

Исследование физических воздействий на расплав показало существенное влияние термовременной обработки (ТВО) и обработки магнитным полем (МП). Разработанная авторами математическая модель (ММ) позволяет прогнозировать параметры кристаллизации и оценить эффективность модифицирования расплава.

Ключевые слова

Расплав, модифицирование, физическое воздействие, параметры кристаллизации, кластерная модель.

АННОТАЦИЯ

SUMMARY

Study of physical actions on the melt showed a significant influence of thermotemporal treatment and treatment with magnetic field. The mathematical model developed by the authors allows predicting the crystallization parameters and evaluating the inoculation efficiency of the melt.

Key words

Melt, inoculation, physical action, crystallization parameters, cluster pattern.

УДК 621.745.55: 669.1

- В.Б. Деев (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Москва), И.Ф. Селянин, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева (ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк)
- V.B. Deyev, I.F. Selyanin, O.G. Prikhodko, K.V. Ponomaryova

Расчет параметров кристаллизации литейных сплавов при физических воздействиях на расплав

Design of crystallization parameters of foundry alloys at physical actions on the melt

Известно, что качество литейных машиностроительных сплавов определяется их структурой, от которой зависит уровень механических, технологических и эксплуатационных свойств деталей. Сегодня в промышленных технологиях литья в машиностроении получают распространение способы физических (внешних) модифицирующих воздействий на расплавы – ультразвук, вибрация, высокотемпературные перегревы, электрический ток, магнитное поле и др. [1...5]. Эти воздействия способствуют получению мелкозернистой структуры и повышению механических и эксплуатационных свойств отливок без введения специальных модифицирующих добавок.

Основное достоинство физических воздействий в том, что они не изменяют химсостав расплава и не приводят к накоплению нежелательных примесей в литейных сплавах при дальнейших переплавах. Соответственно, применение физических воздействий обуславливает перспективу использования повышенного количества вторичных материалов при плавке.

Влияние физических воздействий на расплав можно интерпретировать с позиции кластерной модели, представ-

ленной в работе [5]. Эта универсальная ММ позволяет прогнозировать основные параметры кристаллизации расплавов (критический размер зародыша r_k и количество зародышей в единице объема расплава n_0) после обработки разными физическими воздействиями.

Так, в соответствии с кластерной моделью жидких расплавов, основными структурными составляющими жидкости считаются отдельные разобщенные кластеры, окруженные трехмерной сеткой разупорядоченной зоны, обладающей хаотичной атомной структурой. При этом, кластеры в микрообъемах могут быть разного размера, состава и плотности. Внутренняя атомная структура кластеров близка к структуре исходного твердого тела. Характерный размер кластера имеет нанопорядок, который не превышает размеры критического зародыша r_k .

На основе ММ было разработано программное приложение (ПП) «Расчет параметров кристаллизации расплава после обработки внешними воздействиями» [6] в среде визуального программирования Delphi 2007.

Программа позволяет рассчитать критический радиус зародышей r_k , количество зародышей в единице объема расплава n_0 , в зависимости от экспериментально определенных параметров кристаллизации – переохлаждения расплава и интервала времени зародышеобразования.

ПП учитывает возможность одновременного расчета r_k и n_0 для расплава:

- исходного, обработанного физическими воздействиями (МП, электрическим током – ЭТ, вибрацией, инертным газом);
- с комплексной технологией обработки, а также сравнить эти расчеты с помощью гистограмм.

Расчеты можно проводить для следующих сплавов: углеродистых сталей, чугунов, бронз, Al-сплавов разных составов. Справочные данные по теплофизическим свойствам, необходимым для расчетов, заложены в базу данных программы. Базу, при необходимости, можно дополнять. В работе [7] по рассматриваемой ММ был проведен расчет r_k и n_0 для сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5.

Результаты показали существенное влияние на процесс кристаллизации таких способов физических воздействий, как ТВО и МП.

Большой интерес представляет изучение параметров r_k и n_0 , в зависимости от качества применяемой шихты и разных способов физических

воздействий на расплавы. В рассматриваемом случае исследовали широко применяемый сплав АК7ч.

Ниже представлены результаты расчетов по разработанной ММ с помощью ПП для сплава АК7ч (согласно ГОСТ РФ 1583-93 сплав содержит, %: 6,0...8,0 Si; 0,2...0,4 Mg; ≤ 0,5 Mn; ≤ 0,2 Cu; ≤ 0,3 Zn; ≤ 1,2 Fe, ост. – Al), полученного из разной шихты (образцы для исследования – залитые в песчаные формы цилиндры длиной 300 мм и Ø 26 мм).

Состав шихты	$r_k \times 10^{-7}, \text{м}$	$n_0 \times 10^{14}, \text{м}^{-3}$
АК7ч (чушковые материалы)	0,9253 / 0,3322/ 0,4056 / 0,2098/ 0,4815 / 0,3071	0,1083 / 0,3071/ 0,2453 / 0,4669/ 0,2173 / 0,3291
АК7ч (50% чушковых материалов + 50% вторичных материалов)	0,9706 / 0,3689/ 0,4588 / 0,2271/ 0,5058 / 0,3100	0,1029 / 0,2688/ 0,2114 / 0,4043/ 0,2011 / 0,3196
АК7ч (100% вторичных материалов)	0,9997 / 0,4234/ 0,4979 / 0,2658/ 0,5431 / 0,3239	0,1005 / 0,2095 / 0,2096 / 0,3854/ 0,1842 / 0,3087

Примечание. Представлены значения параметров после обработки расплава: исходный (б/о) / ТВО / МП / (ТВО+МП) / ЭТ / (ТВО+ЭТ).

Плавки сплава АК7ч проводили в печи ИСТ-0,06. Рафинировали расплавы перед заливкой хлористым марганцем. В качестве физических воздействий применяли ТВО ($T = 970...980^\circ\text{C}$, $\tau = 7...10$ мин – при 100% чушковых материалов в шихте; $T = 1000...1020^\circ\text{C}$, $t = 10...12$ мин – при 50...100% чушковых материалов в шихте), постоянное МП с градиентом при заливке в литейную форму с помощью специального устройства [8], постоянный ЭТ при кристаллизации [9], а также их сочетания. Вторичные материалы в шихте во всех вариантах содержали, % об.: 50...55 – мелкого лома и отходов сплавов; 45...50 – брикетированной стружки соответствующих сплавов.

При расчете параметров кристаллизации учитывали экспериментальные значения переохлаждения расплава и интервала времени зародышеобразования, выявленные по кривым охлаждения.

Из полученных данных следует, что обработка расплавов физическими воздействиями (как

по отдельности, так и в комплексе) приводит к уменьшению критического радиуса зародышей r_k и повышению количества зародышей в единице объема расплава n_0 .

В результате, из-за объемного характера кристаллизации в сплавах формируется мелкозернистая структура, что было доказано металлографическими исследованиями (подтверждающими, таким образом, адекватность модели расчета r_k и n_0).

Необходимо отметить, что физические воздействия оказали большой эффект на сплав из шихты с повышенным количеством вторичных материалов (лома и отходов).

Представленная ММ с помощью разработанного ПП позволяет прогнозировать параметры кристаллизации (r_k , n_0) после применения разных физических воздействий и оценить эффективность технологии используемой модифицирующей обработки расплава при производстве тонкостенных отливок разного назначения из черных и цветных сплавов. Для расчета требуются справочные данные и экспериментально определенные кристаллизационные характеристики расплавов.

Выводы

- Разработана универсальная ММ для расчета параметров кристаллизации литейных сплавов, обработанных физическими воздействиями, позволяющая прогнозировать критический размер зародышей кристаллизации, количество зародышей и оценить эффективность модифицирующей обработки расплава.

- Такая методика расчета параметров кристаллизации может быть применима в производственных и научно-исследовательских лабораториях и центрах, занимающихся вопросами получения высококачественных машиностроительных отливок.

СПИСОК

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муратов В.С.
Форсированная тепловая обработка

алюминиевых сплавов // *Металлургия машиностроения*. – 2010. – №2. – С. 44–47.

2. Ри Э.Х., Ри Хосен, Химухин С.Н. и др. Влияние температуры перегрева на свойства отливок из силумина // *Литейное производство*. – 2011. – №7. – С. 10–12.

3. Борисов Г.П., Цуркин В.Н., Синчук А.В., Иванов А.В. О высоковольтной электроимпульсной обработке расплава // *Металлургия машиностроения*. – 2010. – №5. – С. 33–40.

4. Тимченко С.А. Применение электромагнитных сил в литейном процессе // *Литейное производство*. – 2011. – №9. – С. 29–32.

5. Деев В.Б. Развитие научных основ тепловых и электромагнитных воздействий на расплавы и разработка ресурсосберегающих технологий получения высококачественных отливок из алюминиевых сплавов // Автор-дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольск-на-Амуре государственный технический университет, 2012. – 35 с.

6. Свид. РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2009613765. Расчет параметров кристаллизации расплава после обработки внешними воздействиями / В.Б. Деев, С.А. Цецорина, И.Ф. Селянин // Заявка № 2009612649. Приоритет 14 июля 2009 г.

7. Деев В.Б., Селянин И.Ф., Мочалов С.П. и др. Математическое моделирование процесса кристаллизации металлических расплавов после обработки внешними воздействиями // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2009. – №10. – С. 3–5.

8. Пат. на полезную модель № 69072 РФ, МПК С22С 1/02. Устройство для модифицирования сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, В.А. Дегтярь и др. // Заявка № 2007130320. Приоритет 07.08.2007 г. Опубл. 10.12.2007 г.

9. Пат. на полезную модель № 69074 РФ, МПК С22С 1/02. Устройство для модифицирования сплавов в литейной форме / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, В.А. Дегтярь и др. // Заявка № 2007130318. Приоритет 07.08.2007 г. Опубл. 10.12.2007 г.