

УДК 621.74

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.101923

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА, ОПИСЫВАЮЩЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ AL/MG И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ Al-Mg СПЛАВА

© О. А. Чибичик, К. П. Сильченко, Д. О. Земляченко, И. Н. Корчака, Д. Н. Макаренко

Методом ридж-анализа проведено исследование поверхности отклика, описывающей математическую модель влияния соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава при литье под низким давлением. Показано, что на основе математической модели, построенной путем реализации центрального ортогонального композиционного плана (ОЦКП) второго порядка, могут быть найдены субоптимальные значения технологических режимов, обеспечивающих получение максимальных значений жидкотекучести Al-Mg сплава с учетом накладываемых на технологический процесс ограничений

Ключевые слова: ридж-анализ, субоптимальные значения, литье под низким давлением, Al-Mg сплав, жидкотекучесть, поверхность отклика

1. Введение

Характерной особенностью литья под низким давлением (ЛНД), в сравнении с другими видами литья, является возможность многоступенчатого регулирования давления газа над зеркалом расплава в тигле машины с сифонной подачей расплава в литейную форму по металлопроводу. При этом возможна как одноступенчатая схема управления процессом – если жидкотекучесть сплава позволяет такую реализацию – так и двухступенчатая с отсечкой. Последняя используется в том случае, когда жидкотекучесть сплава недостаточна для того, чтобы расплав при давлении продавливал образующийся закристаллизовавшийся расплав и фильтровался вглубь формирующейся отливки. Поэтому актуальным является исследование проблемы, связанной с изучением влияния состава сплава и температуры процесса на жидкотекучесть сплава.

2. Анализ литературных данных

Учет фактора жидкотекучести – как одного из главных выходных характеристик сплава в технологиях ЛНД – очень важен, так как является определяющим при выборе режимов или автоматизации технологических процессов в контексте управления качеством готовых отливок [1–3]. Если на этапе проектирования (САПР), как ключевого для создания эффективного технологического процесса литья [4, 5], не удалось реализовать правильно весь комплекс мер, предупреждающих образование брака, то делать это приходится на этапе эксплуатации при непосредственной экспериментальной отработке технологического процесса. При этом возможны разные варианты – исследование влияния отдельных компонентов химического состава [6, 7], комплексный подход к воздействию на расплав [8, 9], исследование технологических режимов в зависимости от давления [10, 11]. В основном, именно так и происходит, так как предусмотреть все на этапе проектирования практически невозможно. Последнему подходу, включающему в себя также математическое моделирование на основе полученных промышленных экспериментальных данных технологии ЛНД, посвящены работы

[12, 13]. Недостатками данных исследований является то, что отсутствие необходимой степени систематизации приводит к невозможности точного описания процесса ЛНД, в том числе с использованием методов математического моделирования. Вместе с тем, хорошо известно, что наличие адекватных математических моделей является основой для дальнейшего оптимального управления технологическими процессами литейного производства [14].

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования являлось определение субоптимальных значений технологических режимов литья под низким давлением для Al-Mg сплавов.

Для достижения цели ставились такие задачи:

- ридж-анализ поверхности отклика, описывающей влияние соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава;
- получение качественных решений относительно характера влияния технологических режимов на жидкотекучесть.

4. Методы исследований и полученные результаты

В качестве входных переменных выбирались отношение содержания алюминия к содержанию магния Al/Mg, % (x_1) и температура, °C (x_2). В качестве выходных переменных – жидкотекучесть по прутковой пробе, мм (y).

Математическая модель представлена полиномом вида

$$y_i = b_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 (x_1^2 - \beta) + a_4 (x_2^2 - \beta) + a_5 x_1 x_2, \quad (1)$$

где a_i – оцениваемые коэффициенты, β – параметр, рассчитываемый в зависимости от числа точек ядра композиционного плана 2^{n-p} .

Коэффициенты a_i определены по формулам [15]:

$$a_i = c_1 \sum_{j=1}^N x^j y^j, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$a_i = c_2 \sum_{j=1}^N [(x_{i-n}^j)^2 - \beta] y^j, i = n+1, \dots, 2n, \quad (3)$$

$$a_i = c_3 \sum_{j=1}^N x_\mu^j x_\lambda^j y^j, \lambda = 1, \dots, n, \mu \neq \lambda, i = 2n+1, \dots, k, \quad (4)$$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y^j - \beta \sum_{i=1}^n a_{n+i}. \quad (5)$$

В формулах (2)–(5) c_1, c_2, c_3 – коэффициенты для линейной, квадратичных и парных взаимодействий независимых переменных соответственно.

Полученная математическая модель, описывающее влияние соотношения Al/Mg и температуры на жидкотекучесть Al-Mg сплава, имеет вид:

$$y_1 = 255 - 8,835x_1 + 94,352x_2 - 5,325(x_1^2 - 0,6667) - 16,825(x_2^2 - 0,6667) + 4,25x_1x_2. \quad (6)$$

Графическое изображение поверхности отклика может быть представлено в соответствии с принципами, изложенными в работе [16]. Для нахождения оптимальных технологических режимов – соотношения Al/Mg и температуры – по критерию максимума жидкотекучести Al-Mg сплава можно воспользоваться

методами гребневого анализа поверхности отклика, описанного в работе [17]. Решение оптимизационной задачи в параметрическом виде при этом выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} x^*(\lambda) = (\lambda I - A)^{-1} a, \\ r(\lambda) = \sqrt{x^* x^*}, \\ y^*(\lambda) = a_0 + 2a' x^* + x^* A x^*, \end{cases} \quad (7)$$

где $a_0=155, a, A$ – коэффициенты модели (1), λ – собственные числа матрицы $A, x^*(\lambda)$ – оптимальные значения входных переменных, $r(\lambda)$ – радиус цилиндра, вводимого для поиска граничных условий и определения положения оптимальной точки с координатами (x_1^*, x_2^*) на указанной границе факторного пространства, задаваемой вторым уравнением параметрического описания (7), $y^*(\lambda)$ – оптимальные значения выходной переменной (жидкотекучесть по прутковой пробе, мм).

На рис. 1 показан график зависимости $r(\lambda)$ для области собственных значений]-100; 100[, а на рис. 2 – зависимость выходной переменной от радиуса цилиндра, вводимого для поиска граничных условий и определения положения оптимальной точки с координатами (x_1^*, x_2^*) на указанной границе факторного пространства.

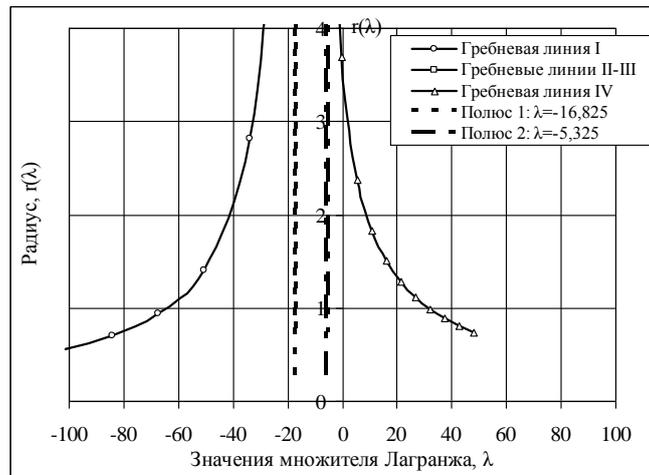


Рис. 1. График зависимости $r(\lambda)$ для области собственных значений]-100; 100[

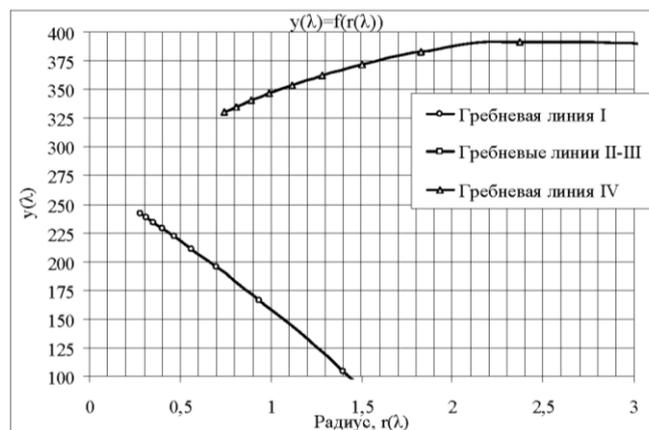


Рис. 2. Зависимость выходной переменной $y^*(\lambda)$ для области, ограниченной выбранным планом эксперимента

Полученные графики дают возможность определить субоптимальные значения входных переменных на границах области планирования, обеспечивающие максимум с учетом таких ограничений величины жидкотекучести по прутковой пробе.

5. Обсуждение результатов

Решение уравнения $|A-\lambda I|=0$ дает два значения собственных чисел λ из диапазона $-\infty < \lambda < +\infty$, обеспечивающие оптимальные значения выходной переменной, а именно: $\lambda_1 = -16,825$, $\lambda_2 = -5,325$ (рис. 1). Это означает, что в рассмотренном диапазоне имеют смысл лишь решения, относящиеся к гребневым линиям I и IV. Исследование характера функции $y^*(\lambda)$ в найденных таким образом двух, имеющих в данной задаче смысл, диапазонах входной переменной, расположенных соответственно слева и справа от λ_1 и λ_2 , дает возможность найти оптимальные значения выходной переменной и обеспечивающие ее значения входных переменных на границе исследованной области планирования. В частности, теоретических максимум может составлять 350–375 мм и достигается

на гребневой линии IV. Интересно, что уменьшение радиуса для гребневой линии I приводит к увеличению жидкотекучести. При этом если достигаемые для этой линии значения жидкотекучести значения являются приемлемыми для практики, есть возможность экономии ресурсов за счет минимизации вводимых элементов и выдерживании температуры на минимально допустимых уровнях.

6. Выводы

Получены графики, позволяющие определить субоптимальные значения жидкотекучести Al-Mg сплава для литья под низким давлением в зависимости от соотношения Al/Mg и температуры. Показано, что в рассмотренном диапазоне области планирования имеют смысл лишь решения, относящиеся к гребневым линиям I и IV. Это дает возможность найти оптимальные значения выходной переменной и обеспечивающие ее значения входных переменных на границе исследованной области планирования. В частности, теоретических максимум может составлять 350–375 мм и достигается на гребневой линии IV.

Литература

1. Дёмин, Д. А. Управление качеством в литейном производстве: технологические аспекты в выборе оптимальных стратегий технического перевооружения [Текст] / Д. А. Дёмин // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Новые решения в современных технологиях. – 2014. – № 7 (1050). – С. 42–52.
2. Бреславский, Д. В. Управление качеством непрерывнолитых заготовок [Текст] / Д. В. Бреславский, О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // Вісник ДДМА. – 2010. – № 3 (20). – С. 41–46.
3. Хорошилов, О. Н. Повышение качества непрерывнолитых заготовок из медных сплавов [Текст] / О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко, А. В. Кипенский, В. В. Наний, В. В. Куличенко // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 12. – С. 29–31.
4. Лысенко, Т. В. Адаптивное автоматизированное синхронизирующее проектирование системы "отливка-песчаная форма" НТИ [Текст] / Т. В. Лысенко, А. Л. Становский // Збірник наукових праць Одеської національної морської академії. – 2008. – № 13. – С. 82–88.
5. Лысенко, Т. В. Методы самосинхронизации динамических процессов САПР литейного производства КГВ [Текст] / Т. В. Лысенко, А. А. Бондарь // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – № 2 (32). – С. 7–10.
6. Доценко, Ю. В. Влияние комплексной технологии на свойства отливок из сплава АК7ч с повышенным содержанием железа [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6, № 5 (54). – С. 45–48. Режим доступа: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/2282>
7. Доценко, Ю. В. Анализ эффективности комплексных технологических решений по повышению качества литейных алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа [Текст]: XIII Междунар. науч. конф. / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов, К. В. Шейдаев // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochova, 2012. – С. 211–216.
8. Доценко, Ю. В. Особенности затвердевания отливок из алюминиевых сплавов при нарастающем давлении и модифицировании [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1, № 5 (55). – С. 18–22. – Режим доступа: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/3378>
9. Доценко, Ю. В. Затвердевание отливок из сплава АК5М при комплексном воздействии на расплав [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Новые решения в современных технологиях. – 2012. – № 1. – С. 3–8.
10. Доценко, Ю. В. Особенности оценки эффективности получения отливок способом литья под высоким давлением [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов, В. В. Мацийчук, С. В. Малых // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Новые решения в современных технологиях. – 2012. – № 9. – С. 21–29.
11. Родионов, Е. М. Технология литья под низким давлением [Текст] / Е. М. Родионов. – М.: НИИмаш, 1984. – 56 с.
12. Чибичик, О. А. Анализ технологического процесса заливки роторов электродвигателя и возможные пути его усовершенствования [Текст] / О. А. Чибичик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – Т. 6, № 1 (30). – С. 55–60.
13. Акимов, О. В. Совершенствование технологических процессов изготовления литых деталей роторов для повышения эксплуатационных характеристик тягового электропривода [Текст] / О. В. Акимов, О. А. Чибичик, А. В. Редькина // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, № 5. – С. 7–12.
14. Дёмин, Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 4 (67). – С. 43–56. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21203

15. Дёмин, Д. А. Методология формирования функционала для задачи оптимального управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Дёмин // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. – № 1 (1). – С. 15–24. Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082>

16. Mohanad, M. K. Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding [Text] / M. K. Mohanad, V. Kostyk, D. Domin, K. Kostyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 2, Issue 5 (80). – P. 45–49. doi: 10.15587/1729-4061.2016.65454

17. Дёмин, Д. А. Адаптивное моделирование в задаче поиска оптимального управления термовременной обработкой чугуна [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 6, № 4 (66). – С. 31–37. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19453/17110>

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Хорошилов О. М.
Дата надходження рукопису 24.04.2017*

Чибичик Ольга Анатольевна, ассистент, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua

Сильченко Константин Петрович, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

Земляченко Дмитрий Олегович, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

Корчака Иван Николаевич, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002

Макаренко Дмитрий Николаевич, старший преподаватель, кафедра химии, экологии и экспертных технологий, Национальный Аэрокосмический Университет им. Н. Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070
E-mail: d.makarenko@khai.edu

УДК 53.092+519

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.102416

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ФОНОНОВ И ФОТОНОВ

© А. А. Мочалов, Н. А. Шаповал, Т. А. Ткаченко, Е. П. Бойко

В данной статье рассмотрены некоторые проблемы квантовой теории излучения. Особенности работы заключаются в разработке методики, которая дает возможность исследовать взаимосвязь между квантами и фононами, а также в проведении исследований зависимости энергии излучения от диапазона различных частот и температуры, что позволяет записать выражение взаимосвязи между числом фононов и квантов

Ключевые слова: взаимосвязь фотонов и фононов, теория излучения, тепловое излучение, квазичастица, энергия

1. Введение

В настоящее время существующая квантовая теория не может объяснить физический смысл некоторых понятий. Например, понятие теплопроводности, введенное в понятие молекулярно-кинетической теории, хорошо описывает физический смысл явления теплопроводности для газов. Из этой теории для газов понятно, как и что, и каким способом переносится тепловая энергия хаотического движения от нагретой области газа к холодной.

Если рассмотреть строение металлов, где атомы расположены в узлах кристаллических решеток. Взаимодействие атомов между собой происходит с силами межатомного взаимодействия во много раз

превосходящих такие силы в газах, причем они не могут свободно перемещаться и могут совершать только хаотические колебательные движения около своего стационарного положения в узлах кристаллической решетки. Из этого следует, что понятие теплопроводности, введенное в молекулярной теории газов, теряет свой физический смысл в твердых телах.

Если рассматривать вещества на микроуровне с помощью метода структурных единиц то остаются нерешенными вопросы: что накапливает тепловую энергию в кристаллической структуре, почему количество фотонов увеличивается с ростом температуры, что рождает фононы в межатомном пространстве, почему излучение тепловой энергии представляет