

А. Ю. Кизилова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В статье описаны методы математического моделирования, применение которых целесообразно для выбора оптимальных параметров технологического процесса изготовления отливок, в частности на этапе проектирования технологии литейной формы.

Ключевые слова: математическая модель, план эксперимента, ортогонализация, регрессионный анализ.

1. Введение

Результаты, описываемые в данной статье, относятся к области математического моделирования технологических процессов в области металлургии, литейного производства, механообработки. Дороговизна и сложность проведения натурных испытаний для совершенствования технологий изготовления отливок, особенно на этапе «металлургической» составляющей [1–5], выводят на первый план методы математического моделирования, применение которых может быть прекрасным инструментом в руках технолога для быстрого освоения новых отливок и оптимизации получаемых при этом решений по критериям максимизации качества и минимизации энерго- и ресурсозатрат.

2. Постановка проблемы

Если условно, укрупнено, разбить технологию изготовления отливок на два этапа: этап проектирования литейной формы и этап производственный — собственно изготовления отливок, то выбор математического аппарата тоже будет различным. От того насколько правильно подобран этот аппарат в зависимости от этапа решения задачи, напрямую зависит качество получаемых решений — собственно названные выше критерии оптимизации. Поэтому в данной статье поставлена задача анализа и выбора математического аппарата для всех этапов получения готовых отливок.

3. Основная часть

3.1. Анализ литературных источников по теме исследования. На этапе проектирования технологии литейной формы могут быть применены методы планирования активного или пассивного эксперимента [6]. Результатом применения этих методов является получение математического описания качества отливок или затрат на литейную форму в зависимости от конструктивных элементов оснаст-

ки или параметров формовочной или стержневой смеси. При этом структура модели представляет собой полином степени n , модель — линейна и может включать коэффициенты, учитывающие совместное влияние нескольких входных переменных. Возможно также построение центральных ортогональных композиционных планов и исследование полученной поверхности отклика на предмет наличия оптимума и характера изменения выходных переменных при различных вариациях входных переменных [7–10].

Однако на втором этапе — производственном — применение таких методов затруднительно. Проблема получения математических моделей, связывающих состав, структуру и свойства сплава состоит в несоответствии большого числа факторов, влияющих на результат, и неизбежно малой выборки исходных данных [11]. Пути преодоления данной проблемы описаны в работах [12–14]. В частности, решение может заключаться в следующем. Совокупность результатов измерений факторов образует пассивный эксперимент. Оценки коэффициентов рассчитываются методом наименьших квадратов [11, 14]. Вследствие произвольного расположения экспериментальных точек в области планирования, матрица входных переменных не является ортогональной, что исключает возможность независимого оценивания влияния каждого из факторов и их взаимодействий, обеспечивающего отсеивание мало значимых компонентов уравнения регрессии. Данная проблема решается применением методов искусственной ортогонализации — получением кусочно-линейного описания функции отклика ко всем гиперквадрантам факторного пространства:

$$y_e = b_{e0} + b_{e1}F_1 + b_{e2}F_2 + \dots + b_{em}F_m, \quad (1)$$

$$B_e = (H_e^T H_e)^{-1} H_e^T Y_e, \quad (2)$$

где

$$H_e = \begin{pmatrix} 1 & F_{j11} & F_{j12} & \dots & F_{j1m} \\ 1 & F_{j21} & F_{j22} & \dots & F_{j2m} \\ - & - & - & - & - \\ 1 & F_{jne1} & F_{jne2} & \dots & F_{jne m} \end{pmatrix}, B_e = \begin{pmatrix} b_{e0} \\ b_{e1} \\ \dots \\ b_{em} \end{pmatrix}, Y_e = \begin{pmatrix} y_{j1} \\ y_{j2} \\ \dots \\ y_{jne} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

После этого уже могут быть рассчитаны значения функции отклика в точках, соответствующих вершинам гиперкуба — суть точкам плана полного факторного эксперимента. Полученный таким образом план называется планом активного ортогонализованного полного факторного эксперимента (ОПФЭ) [11–14].

3.2. Результаты исследований. Применение описанных выше методов позволило построить математическую модель, описывающую прочностные характеристики стали 20ГСЛ для отливки «Корпус» в зависимости от технологических режимов плавки, а также найти оптимальные технологические параметры процесса.

Література

1. Селиверстов В. Ю. Особенности комплексного влияния неметаллических примесей и газодинамического воздействия на структурообразование стали [Текст] / В. Ю. Селиверстов, Ю. В. Доценко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях». — Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. — № 53 — С. 20–26.
2. Селиверстов В. Ю. Разработка рациональной конструкции блока ЛВМ при газодинамическом воздействии в процессе кристаллизации отливки [Текст] / В. Ю. Селиверстов, П. Д. Куш, Ю. В. Доценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 2/13(56). — С. 9–12.
3. Seliverstov V. About modifying action of gas-dynamic influence on the A356 aluminium alloy [Text] / V. Seliverstov, Y. Dotsenko // XIII International scientific conference. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. A collective monograph edited by Henryk Duja, Anna Kawalek. Chapter 1. Series: Monographs No 24. Czestochova 2012. — P. 265–271.
4. Лоевська О. О. Визначення та порівняльний аналіз теплопровідності залізо-фосфатних сумішей [Текст] / О. О. Лоевська, В. Ю. Селівєрстов, Ю. В. Доценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 3/13(57). — С. 10–13.
5. Селиверстов В. Ю. Технологические особенности реализации газодинамического воздействия на металл, затвердевающий в литевой форме [Текст] / В. Ю. Селиверстов, Ю. В. Доценко, К. А. Думенко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. — № 26 — С. 5–14.
6. Демин Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 3/1. — С. 47–50.
7. Демин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 6. — С. 48–59.
8. Демин Д. А. Оптимизация технологических режимов [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 2/1(20). — С. 32–35.
9. Коваленко Б. П. Оптимизация состава холоднотвердеющих смесей (ХТС) с пропиленкарбонатом [Текст] / Б. П. Коваленко, Д. А. Демин, А. Б. Божко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 6. — С. 59–61.
10. Демин Д. А. Принятие решений в процессе управления электроплавкой с учетом факторов нестабильности технологического процесса [Текст] / Д. А. Демин // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — Харків : НТУ «ХПІ». — 2010. — № 17. — С. 67–72.
11. Серая О. В. Оценка параметров уравнения регрессии в условиях малой выборки [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 6/4(42). — 2009. — С. 14–19.
12. Раскин Л. Г. Искусственная ортогонализация пассивного эксперимента в условиях малой выборки нечетких данных [Текст] / Л. Г. Раскин, Д. А. Демин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2010. — № 1(80). — С. 20–23.
13. Демин Д. А. Метод обработки малой выборки нечетких результатов ортогонализованного пассивного эксперимента [Текст] / Д. А. Демин, Т. И. Каткова // Вісник Інженерної Академії. — 2010. — № 2. — 2010. — С. 234–237.
14. Серая О. В. Оценка представительности усеченных ортогональных подпланов плана полного факторного эксперимента [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Демин // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2010. — № 3. — С. 84–88.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОЦЕСАХ ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

А. Ю. Кізілова

У статті описані методи математичного моделювання, застосування яких доцільно для вибору оптимальних параметрів технологічного процесу виготовлення виливків, зокрема на етапі проектування технології ливарної форми.

Ключові слова: математична модель, план експерименту, ортогоналізація, регресійний аналіз.

Анастасія Юрївна Кізілова, магістр кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», тел.: (057) 707-68-54, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

MATHEMATICAL MODELING IN THE DESIGN PROCESSES OF THE CASTING MOLD TECHNOLOGY

A. Kizilova

The article describes the methods of mathematical modeling, use of which is desirable to select the optimal process parameters for making castings, particularly in the design phase of mold technology.

Keywords: mathematical model, experimental design, orthogonalization, regressive analysis.

Anastasia Kizilova, master of Department of Technology and Equipment, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057) 707-68-54, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.