

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МОДЕЛИ РЕГРЕССИОННОГО ТИПА ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СЛИТКОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Е.А. Якубович

Самарский государственный технический университет
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: ensave@samgtu.ru

Приведены результаты синтеза приближенных моделей для прогнозирования характеристик процесса затвердевания непрерывных слитков.

Ключевые слова: *приближенные модели, непрерывный слиток, алюминиевые сплавы.*

Процесс формирования слитка на машинах непрерывного литья является многофакторным и многовариантным, причем многие технологические параметры устанавливаются приближенно. Реальная производственная ситуация усложняется также из-за неконтролируемых колебаний давления и расхода охлаждающей воды и некоторых других технологических параметров. Соответственно одной из главных задач управления формированием слитка является установление связи между показателями процесса затвердевания и внешними технологическими и режимными параметрами для достижения повышенных выходов годного.

В основе разработки и совершенствования технологического процесса непрерывного литья алюминиевых сплавов для получения разнообразной номенклатуры заготовок для последующего использования с целью производства полуфабрикатов методами обработки металлов давлением лежат исследования взаимосвязи между параметрами литья и основными характеристиками процесса, определяющими качество затвердевшего металла. Результаты подобных исследований обычно представляют и систематизируют в виде таблиц, дающих исходный статистический материал для анализа процесса путем построения математических моделей.

Однако в силу сложности моделируемого объекта структура искомых приближенных моделей не может быть заранее определена, поэтому классические методы регрессионного анализа оказываются недостаточно эффективными. Это обстоятельство привело к необходимости разработки методов получения приближенных моделей регрессионного типа на базе структурной и параметрической идентификации [1, 2]. Их преимуществами являются отказ от априорного задания структуры модели и возможность получения моделей с достаточной прогнозирующей силой даже при небольшом количестве точек в пространстве независимых переменных.

Согласно методу прямого моделирования [2, 3] искомая модель зависимости выходной переменной y от вектора независимых переменных \bar{x} синтезируется на ЭВМ в ходе эволюции промежуточных моделей

$$y_i = f_i(\bar{x}), \quad (1)$$

которые ищутся в виде

$$y_i = \sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(\bar{x}), \quad (2)$$

где $\varphi_j(\bar{x})$ – базовые функции;

c_j – коэффициенты;

m – число функций в i -ой модели.

Синтез начинается с наиболее простых исходных моделей ($m = 2$) и завершается нахождением модели, которая по определенному критерию признается наилучшей. В ходе этой процедуры реализуется последовательный отбор лучших из множества заданных базовых функций φ_k ($1 \leq k \leq p$, $p \gg m$). Полная аппроксимирующая формула получается постепенным усложнением описания объекта с увеличением числа полиномов (2) и переопределением входящих в них коэффициентов c_j .

При разработке алгоритма и программы задание базовых функций и выбор критериев для сравнительной оценки моделей являются компетенцией составителя. Обычно используются базовые функции вида

$$\varphi_k = \prod_{l=1}^s x_l^{\gamma_{kl}}, \quad (3)$$

где x_l – независимые переменные;

γ_{kl} – заданные значения показателей степеней, набором которых каждая базовая функция отличается от других.

Все табличные данные об объекте разделяются на две совокупности: обучающую и проверочную. В рассматриваемом случае объектом является процесс формирования непрерывного слитка, и обе совокупности образуются из данных об исследованных режимах литья экспериментального и расчетного характера. В ходе работы программы определение коэффициентов моделей (2) проводится с использованием данных обучающей совокупности, а для оценки точности и отбора моделей используются обе совокупности. Такой прием повышает прогнозирующую способность приближенных моделей за счет снижения информации о «шумовом поле» объекта.

Для процесса непрерывного литья алюминиевых сплавов с получением крупногабаритных плоских слитков получены приближенные модели по результатам численного исследования температурных полей слитков с использованием теории квазиравновесной двухфазной зоны (для сплавов АМг6, В95, Д16). Найдены формулы для определения глубины лунки h , максимального вертикального размера двухфазной зоны δ , т. е. величин, определяющим образом связанных с качеством центральной области слитка, а также температуры поверхности в зоне наиболее интенсивного теплоотвода $t_n(z^*)$. В качестве входных параметров выбраны толщина слитка b , скорость литья v и параметры режима охлаждения поверхности: значение коэффициента теплоотдачи α^* , соответствующее пику кривой $\alpha(z)$ в поясе интенсивного охлаждения за кристаллизатором, z^* – координата этого пика, t^* – температура поверхности в выбранном поперечном сечении, соответствующем полностью затвердевшей части слитка.

Полученные модели удобны в применении и могут использоваться при решении важных практических задач, в том числе для количественной оценки влияния различных факторов на процесс затвердевания слитка. При небольшом числе критериев

оптимизации становится возможным графически изобразить эффективные действия, представляя проектировщику возможность выбрать по этим графикам наилучшую точку, характеризующую наиболее рациональный режим. В качестве примера рассмотрен слиток толщиной 400 мм при фиксированных z^* и t^* для различных скоростей литья v . На основе допустимых и технологически обоснованных величин h и δ с использованием полученных аппроксимирующих зависимостей определены максимально возможные значения $t_n(z^*)$ и соответствующие им величины α^* .

Для улучшения качества центральной зоны слитка важно уменьшить h и δ , а с точки зрения снижения термических напряжений и предотвращения трещинообразования предпочтительнее режимы охлаждения, допускающие более высокие температуры поверхности t_n , в том числе в точке z^* . При заданной толщине слитка с учетом технологических ограничений можно минимизировать h_l и δ , одновременно обеспечивая температуру $t_n(z^*)$ выше заданного уровня. Во многих случаях полезную в технологическом отношении информацию можно получить из анализа изолиний h_l , δ и $t_n(z^*)$ в плоскости (v, α^*) , т. к. два других параметра z^* и t^* определяются реальными возможностями системы охлаждения слитка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюдкин Д.А., Токарев В.Л., Ильин А.А. и др. Оптимизация режима вторичного охлаждения непрерывного слитка с помощью приближенной модели // Сталь. – 1981. – № 9. – С. 30-32.
2. Клявинь Я.Я., Клявиня И.Я., Позняк А.А. Методика синтеза регрессионных моделей на основе данных о влиянии параметров литья на критерии качества // Изв. АН ЛатвССР. Сер. Физ. и техн. науки. – 1982. – № 1. – С. 65-71.
3. Брока М.Э., Клявинь Я.Я., Шадрин Г.Г., Якубович Е.А. Численное исследование затвердевания плоских слитков из высоколегированных алюминиевых сплавов при непрерывном литье // Цветные металлы. – 1986. – № 4. – С. 75-77.

Статья поступила в редакцию 3 октября 2013 г.

APPROXIMATE REGRESSION-TYPE MODELS FOR ANALYSIS OF ALUMINIUM ALLOYS CONTINUOUS INGOTS SOLIDIFICATION

E.A. Yakubovich

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The paper deals with the technique of approximate mathematical models production based on the data of the aluminium alloys ingots cooling regime parameters in the continuous casting process

Keywords: *approximate models, continuous ingot, aluminium alloys.*