

ПУТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИКВАЦИИ В СПЛАВАХ

Ликвация в литейных сплавах существенно влияет на качество получаемой отливки, ее механические свойства. Поэтому задача управления процессом ликвации является одной из наиболее актуальных в литейном производстве.

Целью настоящей работы было определение и оценка путей математического моделирования процесса ликвации в сплавах на основе моделирования межатомного взаимодействия их компонентов.

Для реализации данной цели были решены две задачи: 1) оценка взаимосвязи между коэффициентом ликвации легирующих элементов и признаками-функциями, построенными на основе физико-химических характеристик компонентов; 2) проверка устойчивости этих связей для равновесных условий кристаллизации сплавов.

В качестве модельных использовались двойные алюминиевые системы. Первая задача решалась для алюминиевых сплавов, содержащих 4 % (по массе) легирующих элементов и полученных при постоянной скорости охлаждения ($v \approx 5$ К/с). Обучающая выборка включала экспериментальные данные коэффициентов дендритной ликвации, вычисленные с помощью распределений компонентов, полученных на микроанализаторе "Камека" [1], и расчетные данные, представленные в виде признаков-функций, сформированных из следующих физико-химических характеристик компонентов: 1) линейного коэффициента термического расширения; 2) приведенного поверхностного напряжения; 3) удельного электросопротивления при $T = 293$ К; 4) термического коэффициента электросопротивления; 5) теплоемкости; 6) теплоты сублимации; 7) плотности; 8) теплоты плавления; 9) приведенного термодинамического потенциала; 10) температуры кипения; 11) температуры плавления; 12) вектора Бюргера (минимального); 13) атомного объема; 14) атомного радиуса; 15) энергии связи; 16) 1-го потенциала ионизации; 17) 2-го потенциала ионизации; 18) радиуса главного максимума внешних орбиталей атомов; 19) электроотрицательности по Полингу.

Для формирования признаков-функций использовались сплавы Al-Mg, Al-Ca, Al-Ti, Al-Cr, Al-Mn, Al-Co, Al-Ni, Al-Cu, Al-Zn, Al-Ge, Al-Zr, Al-Nb, Al-Ag, Al-Cd, Al-Sn, Al-W, Al-Bi и следующее соотношение.

$$\Delta P(n, m) = \left| \frac{P_1(n) - P_2(n, m)}{P_1(n)} \right|,$$

где $\Delta P(n, m)$ – признаки-функции; $P_1(n)$ – физико-химические характеристики алюминия; $P_2(n, m)$ – физико-химические характеристики легирующих элементов.

Изучались две математические одномерные модели видов:

$$y_1 = B_0 + B_1 x ; \quad (1)$$

$$y_2 = \exp \{ B_0 + B_1 x \} , \quad (2)$$

где y — коэффициент ликвации легирующих элементов; x — признаки-функции; B_0 — свободный член модели; B_1 — регрессионный коэффициент модели.

Оценка взаимосвязей признаков-функций проводилась с помощью метода регрессионного анализа на ЭВМ ЕС 1022 по вычисленным коэффициентам информативности

$$K_{ij} = |\beta_{ij}| ,$$

где β_{ij} — частный коэффициент корреляции.

Степень существенности взаимосвязей оценивалась с помощью критериев Фишера и Стьюдента.

Как видно из рис. 1, наиболее информативными для коэффициента ликвации являются 6, 10, 11, 15 признаки-функции. Сравнительный анализ вычисленных значений Фишера и Стьюдента с табличными значениями показал, что выделенная группа признаков-функций дает адекватные математические модели даже в одномерном случае. Признаки-функции 1...3, 6...8, 10, 11, 15 относятся к линейной модели вида (1), остальные — к нелинейной вида (2).

Вторая задача решалась для коэффициента распределения легирующих элементов, вычисленного для равновесных условий по соотношению

$$\omega = \alpha / \beta ,$$

где α — предел растворимости легирующего элемента в твердой фазе; β — критерий сочетания, характеризующий точку эвтектики (перитектики).

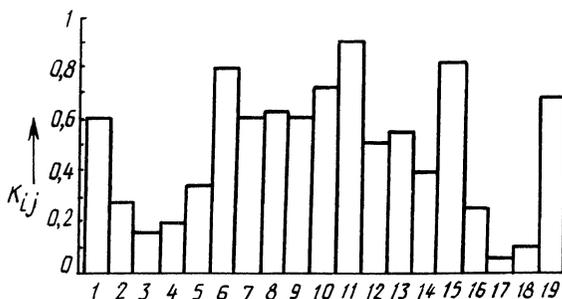


Рис. 1. Изменение степени взаимосвязи между признаками-функциями и коэффициентом ликвации легирующих элементов в алюминиевых сплавах (неравновесные условия кристаллизации)

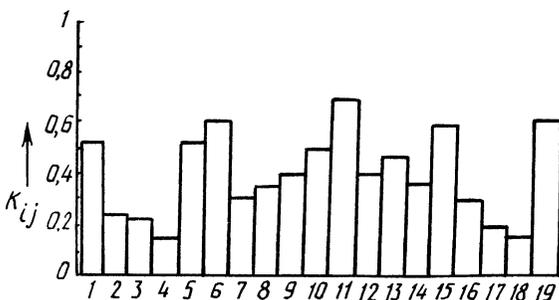


Рис. 2. Изменение степени взаимосвязи между признаками-функциями и коэффициентом распределения легирующих элементов в алюминиевых сплавах (равновесные условия кристаллизации)

Обучающая выборка для решения задачи состояла из систем, использованных в первой задаче. Результаты решения приведены на рис. 2. Признаки-функции 5, 9, 13 относятся к нелинейной модели (2), остальные — к линейной (1). Как видно из рисунка, наиболее информативными являются 6, 10, 11, 15, 19 признаки-функции, т. е. практически выделенная группа признаков-функций совпадает с группой, выделенной при решении задачи для неравновесных условий. Анализ изменения степени взаимосвязи между признаками-функциями и коэффициентами распределения (см. рис. 2) и ликвации (см. рис. 1) показывает, что, несмотря на общность некоторых информативных признаков-функций, имеются отличия в приведенных гистограммах. Это свидетельствует о наличии общих особенностей характера распределения в равновесных и неравновесных условиях кристаллизации.

Таким образом, проведенные исследования показали, что процесс ликвации можно моделировать, применяя модели типа (1) и (2) и используя параметры межзатомного взаимодействия, построенные на основе характеристик энергии связи компонентов, что дает возможность прогнозировать процесс ликвации в сплавах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев В.Ф., Чичко А.Н. Закономерности формирования микроликвации в двойных сплавах на основе алюминия. — М., 1982. — 6 с. — Деп. в БелНИИНТИ 04.06.82, № 409.

УДК 621.742.4

Н.Д. МЫЛЬНИКОВА, Д.М. КУКУЙ,
В.А. ЕСЕПКИН, Л.С. ШУМАНСКАЯ

РЕГЕНЕРИРУЕМОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ С МОДИФИЦИРОВАННЫМ СИЛИКАТНЫМ СВЯЗУЮЩИМ

С каждым годом все острее встает проблема регенерации жидкостекольных смесей и повторного их использования в литейных цехах.

Применение полифосфата натрия в жидкостекольном связующем открывает возможность разупрочнения, охрупчивания связки отработанной смеси, а значит, и облегчения очистки песка от пленки связующего. Таким образом, перспективно изучение влияния модифицированного полифосфатом натрия связующего на регенерируемость жидкостекольных смесей.

Наиболее затруднена регенерируемость жидкостекольной смеси, прогретой при заливке металлом до температур, превышающих 800 °С, т. е. во время расплавления силиката натрия и образования его прочного монолита с зернами песка. В связи с этим для исследований была подготовлена смесь из образцов, подвергнутых термообработке при 800–1200 °С.

Эксперименты по регенерации осуществлялись на модели однокамерной оттирочной установки, приготовленной в масштабе 1:10 по отношению к реальной производственной установке. Концентрация водно-песчаной пульпы составляла 50 %.