

мической обработки диффузионный слой получает максимальную глубину. Повышенное содержание углерода в случае предварительной цементации затрудняет диффузию атомов ванадия. Если же цементация осуществляется после ванадирования, то высокая температура этого процесса способствует также созданию условий дальнейшего проникновения ванадия на большую глубину. Подобная картина "рассасывания" ванадия по глубине диффузионного слоя отмечается и при изменении состава ванадирующей смеси. Это обстоятельство подтверждается результатами исследования структуры и состава диффузионного слоя с помощью электронного микроскопа.

Следует отметить также, что при прочих равных условиях диффузия ванадия в железе армко выше, чем в исследуемой стали. Это еще раз свидетельствует о том, что в результате физико-химического взаимодействия присутствующих в стали элементов имеет место ускорение или замедление проникновения диффундирующего элемента.

Л и т е р а т у р а

1. Пахмурский В.И., Толстова С.В., Мокрова А.М. Влияние химического состава стали на строение ванадированных слоев. - "Физико-химическая механика материалов", 1973, № 6. 2. Беллерт Н. и др. Металловедение и термическая обработка. Варшава, 1975, № 13. 3. Рашков Н., Павлова Б. Новые методы и технология в химической и металлургической промышленности. София, 1977.

УДК 669.71:539.219.3

П.А. Витязь, канд. техн. наук,
Б.М. Хусид, канд. физ-мат. наук,
А.Х. Насыбулин

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВАХ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ОТЖИГЕ

В основе гомогенизационного отжига сплавов и спекания порошковых материалов лежат процессы диффузионного массопереноса в многокомпонентных системах. Распределение элементов по объему после отжига во многом определяет физические и технологические свойства материалов. Поэтому важное

значение приобретает исследование кинетики диффузионного перераспределения легирующих элементов, углерода, азота, бора и т.д. во время термообработки [1].

Часто применяемая для практических расчетов диффузионных процессов линейная система уравнений диффузии с коэффициентами, не зависящими от концентраций составляющих компонент, не всегда приводит к приемлемым результатам. В связи с этим возникает необходимость учета концентрационной зависимости коэффициентов диффузии и, следовательно, решения нелинейных систем уравнений

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \sum_{\beta=1}^p \frac{\partial}{\partial x_{\beta}} \left(\tilde{D}(\bar{C}) \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_{\beta}} \right) \quad (1)$$

с граничными и начальными условиями, соответствующими реальному технологическому процессу. Здесь \bar{C} - вектор концентраций; $\tilde{D}(\bar{C})$ - матрица коэффициентов взаимной диффузии, индекс β определяет пространственное направление.

В работе [2] было рассмотрено несколько методов численного решения системы уравнений (1). Установлено, что оптимальным из рассмотренных локально-одномерных разностных методов является разностная схема с матричной прогонкой и вычислением коэффициентов диффузии при переходе от момента времени t_n к моменту t_{n+1} по значениям концентраций при t_{n+1} . По этой схеме проведены расчеты и анализ гомогенизации пространственно неоднородных систем Fe - Cr - C и Fe - Ni - C в γ -области при 1100°C. Для упрощения рассматривали двумерный случай. Представляет интерес исследовать гомогенизацию пространственно-неоднородной четверной системы Fe - Cr - Ni - C. Для сравнения с тройными системами Fe - Cr - C и Fe - Ni - C имеет смысл выбрать такую же геометрию, как и при расчетах тройных систем [2,3]. Неограниченная среда состоит из двух областей с составами (% по массе): I - Fe + 0,45% C, II - Fe + 1% Cr + 20% Ni. Область II получается повторением квадрата 10x10 мкм вдоль осей Ox_1 и Ox_2 с периодами 100 мкм, а остальное - область I. Через 12 мин отжига (рис. 1, а) распределение Cr и Ni практически не изменилось. Так как подвижность углерода значительно больше, чем подвижности легирующих элементов, за это время произошло значительное его перераспределение. При этом в области II, где содержание хрома и никеля повышено, концентрация углерода увеличилась. Например, в центре включения она составила 1,36% ат. Это значение лежит между со-

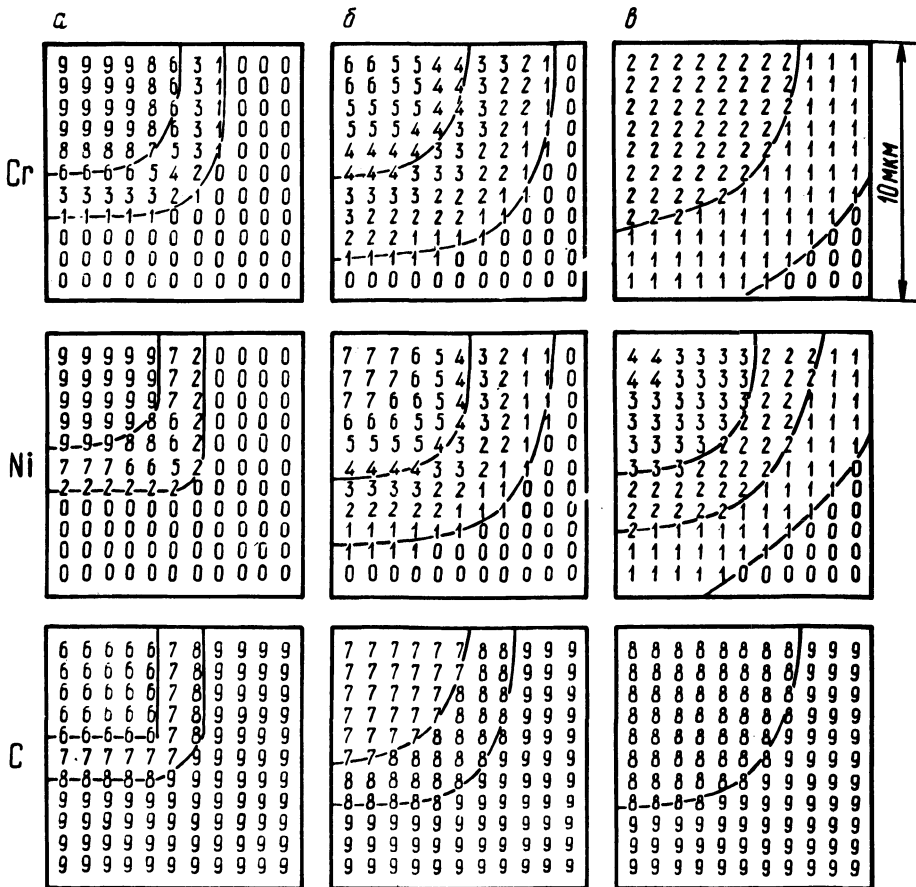


Рис. 1. Кинетика гомогенизации системы Fe-Cr-Ni-C ($A_{Cr, Ni} = 5$). На рисунке показана 1/4 часть "средней" элементарной области [1-3], близкая к области II. Символ "9" соответствует максимальным значениям: 1,07% ат. для хрома, 19% ат. для никеля, 2,03 ат. для углерода.

ответствующими значениями в тройных системах (2,25% ат. для Fe - Cr - C и 1,26% ат. для Fe - Ni - C) [3]. Такой результат можно объяснить противоположным влиянием хрома и никеля на химический потенциал углерода. После двух часов отжига (рис. 1, б) легирующие элементы заметно продиффундировали в область I. Перераспределение углерода происходит теперь только в соответствии с диффузией хрома и никеля, так как уже после нескольких минут отжига распределение углерода становится практически квазиравновесным $\mu_C [C_{Cr}(\bar{x}, t), C_{Ni}(\bar{x}, t), C_C(\bar{x}, t)] \approx \text{const}$. Он диффундирует в сторону

области II. После 6 ч. отжига (рис. 1, в) распределение всех элементов начинает приближаться к равномерному. При расчетах коэффициентов взаимной диффузии необходимо знать значения термодинамических параметров взаимодействия элементов. Так как значение параметра взаимодействия хрома и никеля не установлено, то расчеты проводили для трех величин $A_{Cr,Ni} = 0; 2,5; 5$. Численные расчеты показали, что с увеличением параметра взаимодействия хрома и никеля происходит более активная диффузия этих элементов из области II в область I. Это в свою очередь вызывает ускоренное перераспределение углерода.

Л и т е р а т у р а

1. Райченко А.И. Диффузионные расчеты для порошковых смесей. Киев, 1969. 2. Ворошнин Л.Г. и др. О методах численных расчетов диффузионного массопереноса при гомогенизации неоднородных многокомпонентных систем в многомерной области. — "Изв. АН БССР, сер. физ.-энерг. наук", 1978, № 2. 3. Ворошнин Л.Г. и др. Закономерности диффузионных процессов при гомогенизации неоднородных систем, содержащих элементы со значительно различающимися подвижностями. "Изв. АН БССР, сер. физ.-энерг. наук", 1979, № 1.

УДК 539.219.3

Л.С. Ляхович, докт. техн. наук,
Б.М. Хусид, канд. физ.-мат. наук

О ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДИФФУЗИОННОМ НАСЫЩЕНИИ СПЛАВОВ

Расчет диффузионного массопереноса при химико-термической обработке металлов и сплавов требует задания граничного условия на внешней поверхности изделия. Ввиду сложного характера физико-химических процессов, происходящих при образовании активных атомов в насыщающей среде, доставки и адсорбции их на насыщаемой поверхности, обычно на границе насыщающая среда — сплав задают граничное условие третьего рода (для бинарных систем, см., например, [1]). В работах [2, 3] подобное граничное условие (1) использовали и для многокомпонентных сплавов.