

М. Б. НЕЙМАН, А. Я. ШИНЯЕВ и Б. Г. ДЗАНТИЕВ

ДИФFUЗИЯ ЖЕЛЕЗА В НИКЕЛЬ

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 6 V 1953)

Целью настоящей работы явилось изучение диффузии железа в никель. Исследование диффузии в системе железо — никель представляет как теоретический, так и существенный практический интерес, так как железо, никель и железо-никелевые сплавы играют весьма важную роль в промышленности (1).

В литературе имеются данные по диффузии никеля в железо (2), однако сведения о диффузии железа в никель отсутствовали.

Изучение процесса диффузии железа в никель проводилось нами с помощью метода, предложенного С. Н. Крюковым и А. А. Жуховицким (3) и представляющего собой новый вариант использования меченых атомов для определения коэффициентов диффузии в твердых телах.

Если измерение коэффициента диффузии проводить с помощью образцов, приготовленных в виде фольги толщиной l , на одну из сторон которой нанесен слой диффундирующего металла толщиной $h \ll l$ с концентрацией радиоактивного изотопа C_0 , то в случае большого времени нагревания $t \gg 0$ решение уравнения диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

может быть записано приближенно следующим образом:

$$C \cong C_0 \frac{h}{l} \left(1 + 2e^{-\frac{\pi^2}{l^2} D t} \cos \frac{\pi x}{l} \right). \quad (2)$$

Здесь C — концентрация радиоактивных атомов, t — время нагревания, x — расстояние от поверхности, D — коэффициент диффузии.

Если обозначить интенсивность излучения со стороны радиоактивного слоя через I_1 , а с противоположной стороны через I_2 , то из (2) следует:

$$\ln \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} = \ln K - \frac{\pi^2}{l^2} D t, \quad (3)$$

где K — постоянная, включающая в себя коэффициенты поглощения и отражения радиоактивного излучения.

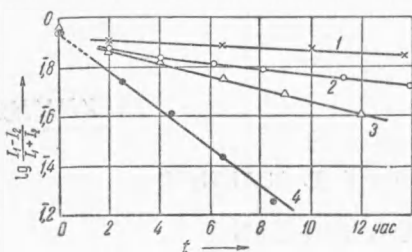
Выражение (3) показывает, что если при данной температуре последовательно прогревать образец в течение определенных отрезков времени и для каждого времени нагревания измерять в одинаковых условиях интенсивность радиоактивного излучения с обеих сторон плоского образца (I_1 и I_2), то построение в координатах t и $\lg \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$ дает прямую, наклон которой определяет коэффициент диффузии при данной температуре.

При проведении экспериментов по диффузии Fe в Ni нами применялась никелевая фольга марки НК по ГОСТ 492-11, содержащая: Si не более 0,15%, Mn не более 0,02%, Mg не более 0,05%, S не более 0,005%. Толщина фольги определялась взвешиванием на аналитических весах и равнялась $43,1 \pm 0,5 \mu$. На фольгу электролитически наносилось железо, меченное радиоактивным изотопом Fe^{59} . Электролитическая ванна для осаждения радиоактивного железа готовилась согласно работе (4).

Нагревание образцов производилось в кварцевом сосуде, помещенном в электрическую печь и соединенном с вакуумной установкой.

В сосуде поддерживался вакуум порядка $10^{-5} - 10^{-6}$ мм. Температура печи при нагреве от 950° до 1130° поддерживалась с точностью $\pm 2^\circ$. Измерение температуры печи осуществлялось с помощью платино-платинородиевой термопары, электродвижущая сила которой измерялась с помощью потенциометра.

Рис. 1. Зависимость $\lg \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$ от времени нагревания t при температурах: 1— 952° , 2— 999° , 3— 1055° , 4— 1126°



При проведении опытов особое внимание было обращено на то, чтобы удовлетворить требованиям, при соблюдении которых может быть применена формула (3). Проводился тщательный контроль толщины радиоактивного слоя, испарения железа и никеля, влияния поверхностной диффузии. Толщина слоя железа составляла менее 0,2% толщины никелевой фольги.

На рис. 1 представлена зависимость $\lg \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$ от времени нагревания t при температурах 952, 999, 1055 и 1126° . Значения D , вычисленные из угловых коэффициентов соответствующих прямых, даны в табл. 1. При вычислениях предполагалось, что величина D не зависит от концентрации атомов железа.

На рис. 2 в координатах $\lg D$ и $1/T$ представлена температурная зависимость коэффициента диффузии железа в никель. Как видно из рис. 2, экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую. Энергия активации и предэкспоненциальный множитель D_0 в уравнении для коэффициента диффузии

$$D = D_0 e^{-E/RT} \quad (4)$$

определялись методом наименьших квадратов по данным табл. 1.

Получены следующие значения:

$$E = 51\,000 \text{ кал/моль}, D_0 = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек.}$$

Очевидно, что толщина образца, применяемого в данном методе, должна быть сравнима с пробегом β -частиц, испускаемых радиоактивным изотопом диффундирующего вещества. Опыт показал, что неудобно пользоваться фольгами толщиной более 80μ , так как требуется большое время нагревания. Также неудобны и очень тонкие фольги (менее $30 - 40 \mu$); в этом случае может существенно сказаться

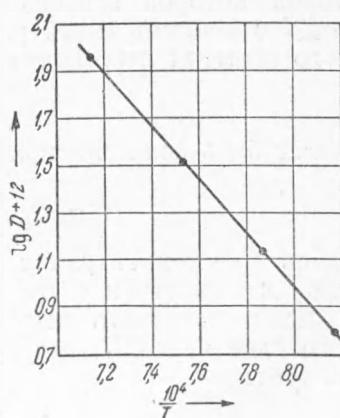


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента диффузии железа в никель

испарение и коробление фольги. Выгодно использовать изотопы с энергией β -частиц $\sim 0,5$ Мэв, когда толщина применяемой фольги должна быть порядка 50 мг/см^2 .

То обстоятельство, что в данном методе не требуется снятия слоев (⁵) или введения в расчет трудно определяемого коэффициента поглощения излучения (⁶), позволяет уменьшить погрешность в измерении коэффициента диффузии. Отметим, что в литературе имеется описание метода (⁷), также не требующего снятия слоев или определения коэффициентов поглощения излучения, однако практическое применение этого метода осложняется необходимостью большого времени нагревания.

Точность применяющейся методики характеризуется графиком на рис. 2, где среднее отклонение экспериментальных точек от прямой, построенной в координатах $\lg D$ и $1/T$ согласно методу наименьших квадратов, составляет $\sim 2\%$.

Значения вероятных ошибок в определении коэффициента D_0 и энергии активации E , вычисленные тем же методом, составляют соответственно:

$$\rho_{D_0} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}, \quad \rho_E = 400 \text{ кал/моль}.$$

Представляет интерес провести сравнение скоростей диффузии железа в никель и никеля в железо. В табл. 1 представлены значения коэффициентов диффузии никеля в железо, вычисленные по формуле (2):

$$D = 0,344 \cdot e^{67500/RT}.$$

Из сопоставления значений коэффициентов диффузии железа в никель и никеля в железо следует, что в рассматриваемом интервале температур скорость диффузии железа в никель в несколько раз больше скорости диффузии никеля в железо. Энергия активации E , определяющая величину энергетического барьера для процесса диффузии никеля в железо имеет большее значение, чем энергия активации процесса диффузии железа в никель.

Поступило
21 II 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Я. Берковский, А. Г. Колоколова, Никелевые сплавы, 1941.
² C. Wells, R. F. Mehl, Trans. Am. Inst. Mining Met. Eng., 145, 337 (1941).
³ С. Н. Крюков, А. А. Жуховицкий, ДАН, 90, 379 (1953). ⁴ J. F. Ross, M. A. Charin, Rev. Sci. Instrum., 13, 77 (1942). ⁵ А. М. Заглубский, Изв. АН СССР, сер. физ., 903 (1937). ⁶ J. Steigman, W. Shockley, F. C. Nix, Phys. Rev., 56, 13 (1939). ⁷ G. C. Ruczynski, J. Appl. Phys., 19, No. 3, 308 (1948).