

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

П. Л. ГРУЗИН, Ю. В. КОРНЕВ и член-корреспондент АН СССР Г. В. КУРДЮМОВ
ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА САМОДИФФУЗИЮ ЖЕЛЕЗА*

Изучение влияния легирующих элементов на самодиффузию твердых металлов имеет большое значение для решения ряда вопросов металловедения, а также для выяснения некоторых закономерностей диффузии, имеющих принципиальное значение. Несмотря на это, публикаций по этому важному разделу диффузионных явлений не имеется.

С указанной точки зрения представляют интерес работы по исследованию влияния третьего элемента на параметры диффузии. Этот вопрос наиболее детально рассмотрен в работах (2-5).

Изучение параметров самодиффузии привело к выводу, что энергия активации самодиффузии связана простым соотношением с энергией связи атомов в решетке ($Q/E = \text{const}$, где E — энергия сублимации и Q — энергия активации самодиффузии) (6). Таким образом, энергия активации самодиффузии может служить мерой сил связи атомов в решетке сплавов.

Предварительные данные, касающиеся влияния углерода на самодиффузию γ -железа, были получены при исследовании самодиффузии чистого железа. Было установлено, что добавка углерода сильно сказывается на параметрах самодиффузии γ -железа. В настоящей работе этот вопрос был подвергнут специальному изучению.

Коэффициент самодиффузии в излагаемой работе определялся методом снятия слоев и измерения интегральной радиоактивности образца.

Для изучения влияния углерода на самодиффузию γ -железа были выбраны стали, химический состав которых приведен в табл. 1.

Покрытие образцов радиоактивным железом Fe^{59} производилось электролитическим способом. Толщина слоя покрытия не превосходила $5 \cdot 10^{-4}$ см при достаточной для измерений активности. Учитывая, что глубина проникновения радиоактивных атомов после диффузии достигала порядка $4 \cdot 10^{-2}$ см, толщину покрытия можно было считать достаточно малой с точки зрения применимости нашего метода.

Диффузионный отжиг производился в кварцевых трубках, из которых откачивался воздух до давления 10^{-3} мм рт. ст. Регулировка температуры осуществлялась при помощи терморегуляторов с точностью $\pm 5^\circ$.

Таблица 1

Марки стали	Вес. %				
	C	Si	Mn	P	S
У-3*	0,30	0,17	0,14	0,002	0,021
У-3	0,33	0,31	0,13	0,011	0,020
У-5	0,45	0,09	0,11	0,012	0,020
У-8	0,77	0,16	0,45	0,011	0,026
У-11	1,06	0,16	0,14	0,009	0,025

* Предварительные данные по работе были доложены в АН СССР в январе 1950 г.

Выполнение эксперимента осложнялось тем, что при температуре 910°C в железе происходит фазовое превращение $\alpha \rightleftharpoons \gamma$. Из литературных данных ⁽¹⁾ известно, что скорость самодиффузии в α -фазе при температуре 910°C превышает скорость самодиффузии в γ -фазе приблизительно в 10^3 раз. Поэтому нахождение образцов в верхней части области существования α -фазы в течение небольшого промежутка времени эквивалентно большому времени пребывания этих образцов в нижней части области γ -фазы. В связи с этим особое внимание было обращено на увеличение скорости нагревания и охлаждения образцов.

Большое внимание было также обращено на предотвращение возможности обезуглероживания образцов в процессе диффузионного отжига. С этой целью последние попарно накладывались друг на друга активными сторонами и свинчивались винтами, изготовленными из той же марки стали, что и образцы. Структура диффузионного слоя всех образцов контролировалась с помощью металлографического микроскопа.

После диффузионного отжига, который продолжался от 15 до 200 час., образцы подвергались предварительной обработке, исключаяющей влияние поверхностной диффузии.

Выше отмечалось, что в качестве радиоактивного индикатора применялся изотоп Fe^{59} . Этот радиоактивный изотоп имеет сложное излучение, состоящее из β -частиц и γ -квантов. Радиоактивность образцов измерялась по фиксированию γ -излучения.

Коэффициент самодиффузии γ -железа для стали У-3 был измерен при температурах: 1050, 1100, 1200, 1300 $^{\circ}\text{C}$.

Кроме того, были проделаны контрольные опыты на образцах

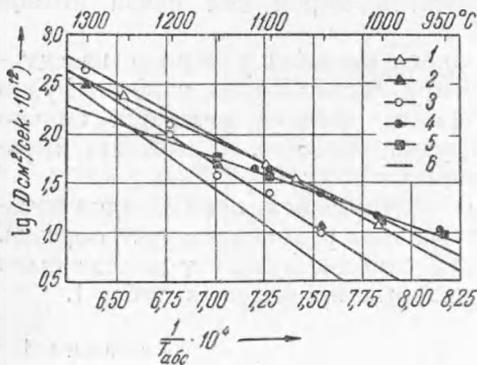


Рис. 1. 1 — У-5, 2 — У-3*, 3 — У-3, 4 — У-8, 5 — У-11, 6 — γ -железо

меньших размеров из стали У-3* при температурах 1050, 1150, 1300 $^{\circ}\text{C}$. На рис. 1 приводится зависимость логарифма коэффициента самодиффузии стали У-3 и У-5 от $1/T$. На этом же рисунке нанесена подобная прямая для чистого γ -железа, полученная П. Л. Грузиным и отвечающая уравнению $D = 0,7 e^{-6800/RT}$ (D выражено в $\text{cm}^2/\text{сек}$). Из рассмотрения рис. 1 следует, что экспериментально определенные точки хорошо укладываются на прямую, причем прямая для чистого железа идет значительно круче. На основании этого можно сделать вывод, что углерод

заметно снижает величину энергии активации самодиффузии, а также и величину D_0 . Что касается разности скоростей самодиффузии железа и сталей У-3 и У-5, то с повышением температуры, как видно из рис. 1, она уменьшается.

Нами была также исследована температурная зависимость коэффициента самодиффузии сталей У-8, У-11. Результаты измерений для этих сталей приведены на рис. 1, 4 и 5. Из рассмотрения этих рисунков следует, что эффект, описанный нами выше для сталей У-3 и У-5, усиливается с увеличением содержания углерода в γ -железе.

Численные значения величин Q и D_0 для сталей с различным содержанием углерода собраны в табл. 2.

Наши данные позволяют выяснить характер зависимости величин Q и D_0 от содержания углерода в стали. Графически эта зависимость

Таблица 2

Марки стали	С в стали в ат. %	Q в кал/г-атом	D ₀ в см ² /сек
Железо	0,18	68 000	7·10 ⁻¹
У-3	1,40	58 000	7·10 ⁻²
У-5	2,09	50 000	8·10 ⁻³
У-8	3,40	45 000	10 ⁻³
У-11	4,70	33 000	10 ⁻⁵

показана на рис. 2. Для сравнения на этом графике, кроме точек, отвечающих значениям энергии активации самодиффузии и предэкспоненциального множителя для исследованных в работе сталей, нанесены значения Q и D₀ железа. Из рассмотрения графика следует, что энергия активации самодиффузии γ-железа, а также и D₀, уменьшается приблизительно по линейному закону с увеличением концентрации углерода в нем.

По нашим данным, величина энергии активации самодиффузии γ-железа с увеличением содержания углерода в железе на 4,5 ат. % уменьшается приблизительно на 50% по сравнению с чистым железом. Численное значение D₀ при этом уменьшается более чем в 10⁴ раз.

Температурная зависимость коэффициента самодиффузии стали может быть приблизительно представлена в следующем виде:

$$D_{\text{стали}} = 10^{-c} e^{-\frac{69000 - 7000c}{RT}},$$

где c — концентрация углерода в стали в ат. %.

Принимая, что между энергией активации самодиффузии и энергией связи решетки имеется определенное соотношение, можно сделать вывод, что добавка углерода в железо уменьшает энергию связи решетки аустенита.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского института
черной металлургии

Поступило
12 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Е. Birchenall and R. F. Mehl, Journ. of Metals, 188, 1100 (1950).
² С. Д. Герцикен и И. Я. Дехтяр, ЖТФ, 17, 881 (1947). ³ С. Д. Герцикен и И. Я. Дехтяр, ЖТФ, 17, 871 (1947). ⁴ М. Е. Блантер, ЖТФ, 20, 1001; 20, 217 (1950). ⁵ С. Д. Герцикен и И. Я. Дехтяр, ЖТФ, 20, 1005 (1950); Вопросы физики металлов и металловедения, № 2, 108, изд. АН УССР (1950).
⁶ И. Я. Дехтяр, ЖТФ, 20, 1005 (1950); Вопросы физики металлов и металловедения, № 2, 158, изд. АН УССР (1950).

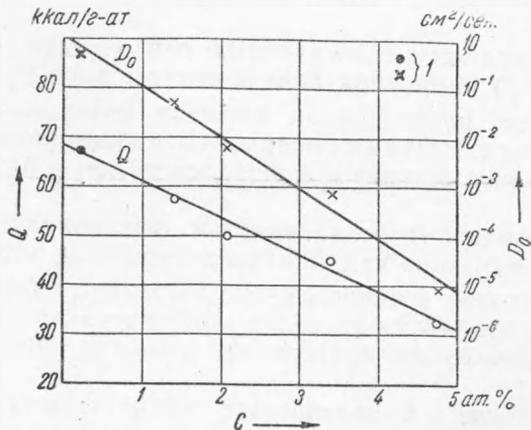


Рис. 2. 1 — γ-железо