

Л. А. АЛЕКСЕЕВ, П. Л. ГРУЗИН, Ю. А. ЛИ, Ю. Л. РОДИОНОВ

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫЕ СМЕЩЕНИЯ
АТОМОВ ЖЕЛЕЗА В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ
ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 24 VIII 1973)

Углерод является составной частью сталей различного класса, его поведение в значительной степени определяет и свойства сталей. В настоящее время вопрос о влиянии углерода на силы связи атомов в углеродистых сплавах недостаточно изучен.

О влиянии углерода на силовое взаимодействие можно косвенно судить по дебаевской температуре, определяемой из рентгенографических, нейтронографических, теплоемкостных измерений. Но все эти методы дают усредненную характеристику, учитывающую колебания всех атомов сплава. Метод ядерного гамма-резонанса (я.г.р.) дает возможность определять парциальные значения \bar{x}^2 атомов сплава, как примесных, так и матричных (¹, ²). На мёссбауэровских спектрах сплавов на основе железа в ряде случаев возможно выделить линии, отвечающие мёссбауэровским атомам, имеющим в своем ближайшем окружении 0, 1, 2, ..., j атомов примеси (j — координационное число). Площади под пиками пропорциональны вероятности эффекта f' и доли атомов железа с соответствующим окружением. Величины f' и \bar{x}^2 связаны соотношением $\ln f' = -\text{const } \bar{x}^2$.

В настоящей работе определяли парциальные значения f' атомов железа, около которых в пределах двух координационных сфер отсутствуют атомы углерода, а также f' для атомов железа, имеющих по соседству атомы углерода. Исследования проводили на сплавах Fe — (29–32) % Ni, Fe — 16 % Ni — 1 % C, Fe — 17 % Ni — 0,6 % C, закаленных от 1200° в воду и имеющих г.д.к.-решетку (γ -твердый раствор). Сплавы выплавлялись в индукционной печи. Образцы для измерения — фольга толщиной 30–50 мкм. Однофазность сплавов проверялась рентгеновским, металлографическим методами, а также с использованием метода я.г.р. Резонансные спектры снимали на спектрометре MS-10 К (ГДР), источником излучения служил изотоп ⁵⁷Co в платине.

При определении f' использовали выражение для S из работы (³)

$$S = \pi \kappa f C_a \exp\left(-\frac{C_a}{2\beta_a}\right) \left[I_0\left(\frac{C_a}{2\beta_a}\right) + I_1\left(\frac{C_a}{2\beta_a}\right) \right], \quad (1)$$

где $C_a = f' \sigma_0 n q_i$, f' — вероятность резонансного поглощения γ -квантов без отдачи, σ_0 — сечение резонансного поглощения, n — толщина поглотителя в атомах на 1 см², q_i — относительная интенсивность i -ой компоненты резонансного спектра, f — вероятность испускания γ -квантов без отдачи, κ — доля резонансных γ -квантов в спектре испускания, $\beta_a = \Gamma_a/\Gamma$, Γ_a — ширина линии в спектре поглощения, экстраполированная к нулевой толщине поглотителя, Γ — естественная ширина линии ⁵⁷Fe. Определение κf проводили методом черного поглотителя (⁴), а также методом обратных функций (⁵). Среднее значение, найденное разными методами для источника Co (Pt), равно $0,60 \pm 0,02$. При каждом измерении определяли фон с помощью медных и никелевых фильтров (~120 мкм).

Определяли также значения f' атомов железа для сплавов Fe — (29—32%) Ni, закаленных от 1100° в воду. При такой термообработке сплавы находились в однофазном состоянии (γ -фаза, г.д.к.-решетка). Резонансные спектры закаленных сплавов FeNi имели вид одиночной уширенной линии лоренцевской формы (рис. 1а). Величина изомерного сдвига $\delta = -0,39$ мм/сек. Величина вероятности эффекта f' для закаленных сплавов FeNi равна 0,7 и практически не зависит от содержания никеля в сплаве. Полученные значения величин f' согласуются с данными работы (2).

Исследования показали, что при отпуске 400—500° сплавов Fe — (29—32%) Ni происходит перераспределение атомов в субмикрочастицах, приводящее к установлению ближнего порядка атомов железа и никеля.

Была определена величина f' для сплавов FeNi, характеризующихся ближним порядком, которая оказалась равной 0,8.

В то же время величина изомерного сдвига практически не изменилась. Таким образом, при упорядочении сплавов Fe — (29—32%) Ni величина вероятности резонансного поглощения гамма-квантов f' возрастает. Такое возрастание f' свидетельствует об увеличении силового взаимодействия атомов при упорядочении сплавов Fe — (29—32%) Ni.

На рисунке 1б приведен резонансный спектр для сплава Fe — 16% Ni — 1% C, находящегося в аустенитном состоянии. Спектр можно разложить на одиночную линию, отвечающую атомам железа, не имеющим в ближайшем окружении атомов углерода (для такого состояния $f' = 0,7$), и квадрупольную линию, отвечающую атомам железа, имеющим по соседству атомы углерода. Для одиночной линии значение изомерного сдвига $\delta = -0,4$ мм/сек, ширина линии $\Gamma_a = 0,15$ мм/сек. Для квадрупольной линии $\delta = -0,34$ мм/сек, величина квадрупольного расщепления $\Delta = 0,64$ мм/сек, $\Gamma_a = 0,3-0,4$ мм/сек.

Величину f' для квадрупольного спектра определяли, исходя из того, что для одиночного пика, связанного с атомами железа, не имеющими по соседству атомов углерода, значение вероятности эффекта f' такое же, как и для сплава FeNi ($f' = 0,7$). В пользу такого допущения говорит равенство изомерных сдвигов для атомов железа в сплаве FeNi и для атомов железа в сплаве Fe—Ni—C, не имеющих среди своих ближайших соседей атомов углерода, а также одинаковое изменение температурного сдвига δ_T . Изменение температурного сдвига δ_T при изменении температуры от 77° до 298° K составляет $0,09 \pm 0,01$ мм/сек для сплава Fe — (32—33%) Ni, изменение δ_T атомов железа, не имеющих по соседству атомов

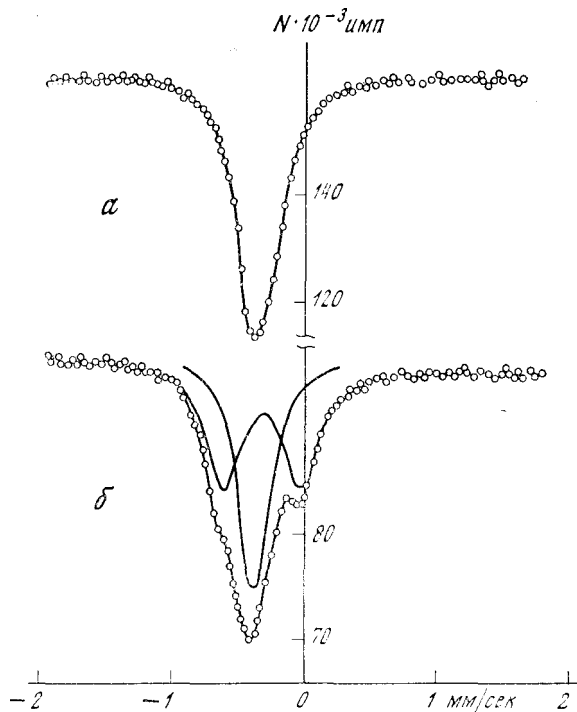


Рис. 1. Спектры резонансного поглощения гамма-квантов: а — Fe — 28% Ni, закалка 1100°; б — Fe — 16% Ni — 1% C, закалка 1200°

Экспериментальные значения f' , $\overline{x^2}$, δ (относительно Co (Pt)), Γ_a , Δ , θ для атомов железа в различном окружении из атомов углерода для сплавов Fe—Ni—C

Сплав	Связь	f'	$\overline{x^2} \cdot 10^{18}$, см ²	θ , °К	$\theta_{\text{ср}}^0$, °К	Γ_a , мм/сек	δ , мм/сек	Δ , мм/сек
Fe—30Ni	Fe—Fe	$0,7 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,1$	347 ± 40		$0,15 \pm 0,03$	$-0,39 \pm 0,01$	
Fe—16Ni—1C	Fe—Fe	$0,7 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,1$	347 ± 40	300	$0,15 \pm 0,03$	$-0,40 \pm 0,01$	0,64
	Fe—C	$0,56 \pm 0,03$	$1,10 \pm 0,1$	270 ± 20		$0,35 \pm 0,05$	$-0,34 \pm 0,01$	
Fe—17Ni—0,6C	Fe—Fe	$0,7 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,1$	347 ± 40	310	$0,15 \pm 0,03$	$-0,40 \pm 0,01$	0,64
	Fe—C	$0,55 \pm 0,03$	$1,10 \pm 0,1$	270 ± 20		$0,35 \pm 0,05$	$-0,35 \pm 0,01$	

углерода, для сплавов FeNiC составляет $0,08 \pm 0,02$ мм/сек. Зная f' одиночного пика и толщину поглотителя, находили долю атомов железа, не имеющих среди своих ближайших соседей атомов углерода α_0 ($\alpha_0 + \alpha_c = 1$, α_c — доля атомов железа, находящихся в окружении из атомов углерода). Зная α_c и S под квадрупольным пиком, находили $f'_{\text{Fe—C}}$ для атомов железа, имеющих по соседству атомы углерода.

Для нахождения ширины линии поглощения Γ были проведены эксперименты с поглотителями разной толщины. Зависимости S и Γ от толщины поглотителя x приведены на рис. 2. Часть спектров снимали на спектрометре ЯГРС-4 с источником ^{57}Co (Pd) ($\chi f = 0,43$).

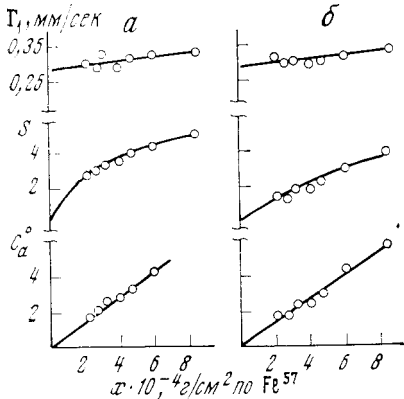


Рис. 2. Зависимость от толщины поглотителя x ширины линии Γ поглощения площади S под резонансной кривой и параметра C_a для атомов железа, не имеющих по соседству атомов углерода (а), а также находящихся в окружении атомов углерода (б)

Значения f' , а также среднеквадратичные смещения $\overline{x^2}$ атомов железа с углеродом и без углерода в ближайшем окружении приведены в табл. 1. Наблюдается возрастание среднеквадратичного смещения атомов железа, находящихся в окружении атомов углерода, по сравнению с атомами железа, не имеющими атомов углерода в ближайшем окружении: $\overline{x^2}_{\text{Fe—C}} / \overline{x^2}_{\text{Fe—Fe}} = 1,67$. О величине вероятности эффекта f' для атомов железа, находящихся в различном окружении из атомов углерода, можно судить также на основании результатов по изменению температурного сдвига δ_T .

Как известно, величина вероятности эффекта f' связана с δ_T (°). Из анализа резонансных спектров, снятых при различных температурах (77—298° К), определены изменения температурных сдвигов для атомов железа, не имеющих по соседству атомов углерода $\Delta \delta_T^{\text{Fe—Fe}}$ а также $\Delta \delta_T^{\text{Fe—C}}$ для атомов железа, имеющих среди ближайших соседей атомы углерода. Изменение температурного сдвига δ_T для атомов железа, не имеющих по соседству атомов углерода, меньше, чем δ_T для атомов железа, имеющих среди ближайших соседей атомы углерода. Такое различие в величинах δ_T свидетельствует о том, что f' для атомов железа в окружении углерода меньше, чем f' для атомов железа, не имеющих по соседству атомов углерода. Из температурных сдвигов определили $\overline{x^2}_{\text{Fe—C}} / \overline{x^2}_{\text{Fe—Fe}} = 1,75$, что близко к значению 1,67, полученному из результатов, приведенных в

табл. 1. Изменение $\overline{x^2}$ свидетельствует о различии парной силовой константы, характеризующей связь Fe—C, по сравнению с силовой константой, характеризующей связь Fe—Fe в аустенитной фазе. Такое различие сил связи приводит к увеличению диффузионной подвижности атомов железа (7) в углеродистых сплавах и может играть существенную роль при фазовых превращениях.

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского института
черной металлургии им. И. П. Бардина
Москва

Поступило
23 VII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. А. Алексеев, П. Л. Грузин, ДАН, т. 160, 376 (1965). ² Л. А. Алексеев, П. Л. Грузин, В. И. Шешин, ДАН, т. 184, 629 (1969). ³ Фам Зуи Хиен, В. С. Шпиль, ЖЭТФ, т. 44, 393 (1963). ⁴ Экспериментальная техника эффекта Мёссбауэра, М., 1967, стр. 113. ⁵ Л. А. Алексеев, Автореферат кандидатской диссертации, М., 1965. ⁶ G. P. Gupta, K. C. Lal, Phys. Stat. Sol. Ser. B, v. 51, 233 (1972). ⁷ П. Л. Грузин, Ю. В. Корнев, Г. В. Курдюмов, ДАН, т. 80, 49 (1951).