

УДК 539.2+621.039.8

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

П. Л. ГРУЗИН, Ю. Л. РОДИОНОВ, В. С. МКРТЧЯН, Ю. А. ЛИ

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОБАЛЬТА НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ Я. Г. Р.

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 5 XI 1971)

Кобальт как легирующий элемент оказывает существенное влияние на физические и механические свойства сплавов. Однако в настоящее время не существует единого мнения относительно роли кобальта в изменении свойств сплавов.

В работе изучалось влияние кобальта на перераспределение атомов легирующих элементов в субмикрообъемах сплавов на основе железа методом ядерного гамма-резонанса (я.г.р.). Исследовались сплавы Fe — 12 Co; Fe — 16 Ni — 5,6 Co; Fe — 16 Ni — 10 Co; Fe — 16 Ni — 15 Co; Fe — 16 Ni — 15 Co — 5 Mo; Fe — 16 Ni — 15 Co — 10 Mo; Fe — 18 Ni — 10 Co — 10 W. Эксперименты проводили на я.г.р.-спектрометре типа MS-10K (ГДР); источником излучения служил изотоп Co-57 в платине; образцы — фольги толщиной 20—40 мк. Анализ спектров выполнен по специальной программе с использованием ЭВМ.

На рис. 1 приведен спектр резонансного поглощения гамма-квантов для образцов сплава Fe — 12 Co, закаленных от 1000° С в воду. (Спектр имеет вид, характерный для сверхтонкого магнитного расщепления.) Определялась величина сверхтонкого магнитного поля H , действующего на ядра железа. Значения H , полученные нами при исследовании закаленных сплавов Fe — Co, близки к значениям H , определенным авторами работы (1). Пластическая деформация закаленных образцов сплавов Fe — Co практически не оказывает влияния

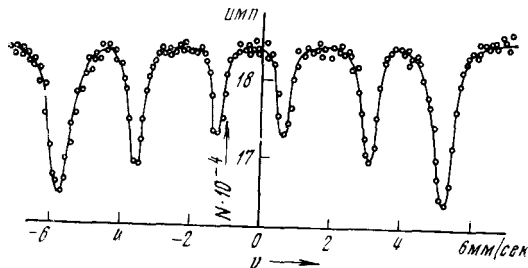


Рис. 1. Спектр резонансного поглощения гамма-квантов для закаленного сплава Fe — 12% Co

на величину сверхтонкого магнитного расщепления H и экспериментальную ширину пиков спектра Γ_s .

В процессе отпуска (при 420—500° С) закаленных и деформированных сплавов Fe — 12 Co происходит возрастание H от (350 ± 1) кэ до (360 ± 1) кэ. Наряду с этим экспериментальная ширина Γ_s пиков поглощения, отвечающих ядерным переходам $\pm 3/2 \rightarrow \pm 1/2$, уменьшается от $0,52 \pm 0,02$ мм/сек до $0,39 \pm 0,02$ мм/сек. Согласно результатам работ (1, 2) такое изменение величин H и Γ_s при отпуске закаленных и деформированных сплавов связано с увеличением числа атомов кобальта, находящихся по соседству с атомами железа, т. е. образованием областей ближнего порядка.

Увеличение H при отпуске при 400—500° С закаленных и деформированных сплавов обнаружено также при исследовании тройных сплавов Fe — Ni — Co. Спектры для закаленных сплавов Fe — Ni — Co аналогич-

ны резонансным спектрам для двойных сплавов Fe — Co, различия имеются только в величинах сверхтонких магнитных полей H , действующих на ядра железа. При кратковременной выдержке при 450° С закаленных образцов сплавов Fe — Ni — Co происходит возрастание величины H с (354 ± 1) кэ до (362 ± 1) кэ для сплава Fe — 15 Ni — 15 Co и с

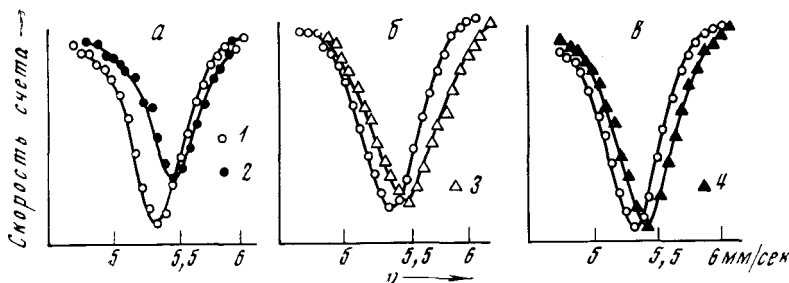


Рис. 2. Резонансные спектры для закаленных и состаренных сплавов: а — Fe — 12 Co, б — Fe — 15 Ni — 15 Co, в — Fe — 16,4 Ni — 5,6 Co; 1 — закалка от 1100° С, 2 — 480° С, 190 час., 3 — 450° С, 3 час., 4 — 450° С, 3 час.

(351 ± 1) кэ до (358 ± 1) кэ для сплава Fe — 16,4 Ni — 5,6 Co. Наиболее отчетливо изменения величины H при отпуске проявляются для крайних пиков спектров, соответствующих переходу $\pm^{3/2} \rightarrow \pm^{1/2}$. Резонансные спектры (крайние пики) для сплавов Fe — Ni — Co после закалки и отпуски при 450° С приведены на рис. 2. Видно, что при отпуске происходит смещение пиков, обусловленное увеличением сверхтонкого магнитного поля H , действующего на ядра железа.

Проводились исследования влияния закалки и последующих отпусков при 400—500° С на резонансные спектры для сплава Fe — 16 Ni. Не было обнаружено изменений в величинах H , определенных с точностью до 1 кэ для сплава в процессе отпуски. Таким образом, наблюдаемое увеличение сверхтонкого магнитного поля H при отпуске сплавов Fe — Ni — Co не может быть связано с перераспределением никеля. Оно обусловлено, по-видимому, перераспределением атомов кобальта и увеличением числа атомов кобальта, находящихся около атомов железа в твердом растворе. Увеличение числа соседей атомов железа и кобальта отвечает возрастанию ближнего порядка.

Представляло интерес изучить влияние кобальта на перераспределение легирующих элементов при старении железо-никелевого мартенсита. В связи с этим были получены резонансные спектры для мартенситно стареющих сплавов, содержащих кобальт (Fe — 16 Ni — 15 Co — 5 Mo, Fe — 12 Ni — 15 Co — 10 Mo, Fe — 18 Ni — 10 Co — 10 W). На рис. 3а приведен спектр резонансного поглощения гамма-квантов для сплава

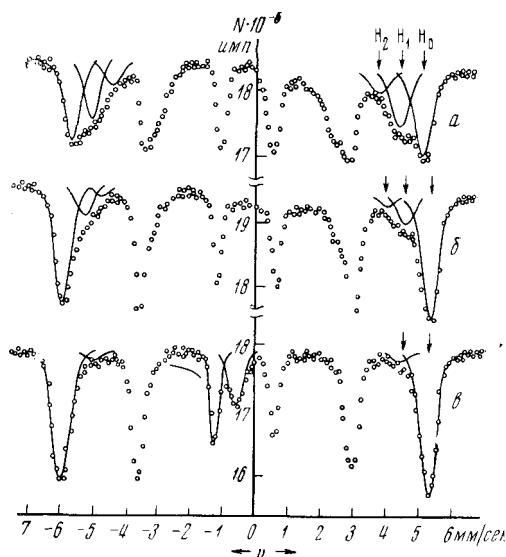


Рис. 3. Резонансные спектры для сплава Fe — 12Ni — 15Co — 10Mo после закалки от 1100° С и отпуски при 500° С: а — закалка 1100° С, б — 500° С, 15 мин., в — 500° С, 20 час

Fe — 12 Ni — 15 Co — 10, Mo, закаленного от 1000°С в воду. Резонансные спектры для других сплавов Fe — Ni — Co, легированных молибденом и вольфрамом, аналогичны. Экспериментальный спектр имеет вид хорошо разрешенного магнитного расщепления с уширенными и асимметричными крайними пиками. Анализ показал, что спектр состоит из трех основных спектров. Этим спектрам соответствуют сверхтонкие поля $H_2 = 280 \pm 5$ кэ, $H_1 = 310 \pm 3$ кэ, $H_0 = 346 \pm 2$ кэ — соответственно внутренние, средние и крайние пики. На основании данных (³, ⁴) по зависимости сверхтонкого магнитного поля H , действующего на ядра железа для двойных сплавов Fe — Mo и более сложных сплавов Fe — Ni — Mo и Fe — Ni — Co — Mo, можно

сделать вывод, что атомы железа в сплаве Fe — 12 Ni — 15 Co — 10 Mo находятся в различных окружениях. Внутренние пики спектра (H_2) соответствуют атомам железа, около которых (в пределах первых двух координационных сфер) находятся два атома молибдена. Средние пики (H_1) соответствуют атомам железа, имеющим по соседству один атом молибдена, и, наконец, крайние пики (H_0) отвечают атомам изотопа Fe-57, не имеющим вблизи молибдена.

При кратковременной выдержке при 500°С образцов сплавов Fe — Ni — Co — Mo интенсивность внутренних пиков, отвечающих атомам железа, находящимся по соседству с атомами молибдена, уменьшается. В то же время расстояние между крайними пиками спектра возрастает, что соответствует увеличению H от 346 до 360 кэ. Аналогичные изменения спектров наблюдаются также для сплавов Fe — 16 Ni — 15 Co — 5 Mo и Fe — 18 Ni — 10 Co — 10 W.

Изменения резонансных спектров, происходящие при кратковременных (до 30 мин.) выдержках при 500°С сплавов железо — никель — кобальт, легированных молибденом и вольфрамом, свидетельствуют о том, что атомы молибдена и вольфрама уходят от атомов

железа. Увеличение H обусловлено увеличением числа атомов кобальта, находящихся около атомов железа и кобальта. После продолжительного отпуска (>20 час.) при 500°С происходит появление парамагнитного пика, что связано с образованием фазы типа Fe₂Mo (⁴).

На рис. 4 приведены кривые зависимости доли атомов железа α_2 , имеющих по соседству два атома молибдена, количества фазы Fe₂Mo, а также изменение величины H для атомов Fe, не имеющих по соседству атомов Mo, от времени отпуска при 500°С. Видно, что при кратковременном отпуске происходит возрастание H . При этом уменьшается доля атомов железа, имеющих по соседству атомы молибдена. На поздних стадиях отпуска сплавов Fe — Ni — Co — Mo происходит появление фазы Fe₂Mo. На рис. 4 приведена также зависимость доли атомов железа в фазе Fe₂Mo от времени отпуска при 500°С для сплавов Fe — Ni — Mo, не содержащих кобальт. Видно, что в сплавах без кобальта фаза Fe₂Mo обнаруживается при значительно меньшем времени отпуска, чем в сплавах, содержащих кобальт. Аналогичные результаты получены при исследовании сплавов Fe — Ni — W и Fe — Ni — Co — W.

Таким образом, методом я.г.р. показано, что на ранних стадиях отпуска железо-кобальтовых сплавов при 400—500°С происходит перераспределение атомов кобальта, приводящее к увеличению числа атомов кобальта в

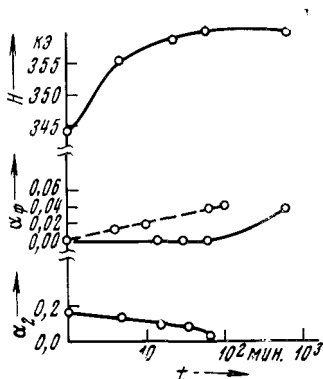


Рис. 4. Кривые зависимости сверхтонкого магнитного поля H , количества α_2 фазы Fe₂Mo, а также изменение доли атомов железа α_2 , имеющих по соседству два атома молибдена, от времени отпуска t при 500°С для сплава Fe — 12 Ni — 15 Co — 10 Mo. Пунктиром показана зависимость α_2 от времени отпуска при 500°С для сплава Fe — 12 Ni — 10 Mo, не содержащего кобальта

ближайшем окружении железа; при этом атомы молибдена и вольфрама уходят от атомов железа, находящихся в твердом растворе. На поздних стадиях отпуска происходит образование фазы Fe_2Mo и Fe_2W . Установление ближнего порядка атомов железа и кобальта замедляет процессы, приводящие к выделению фаз типа Fe_2Mo .

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

Поступило
29 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ C. E. Jonson, M. S. Ridout, T. S. Cranshaw, Proc. Phys. Soc., 81, 1079 (1963). ² A. Heilmann, W. Zinn, Zs. Metalle, 58, 114 (1967). ³ H. L. Marcus, M. E. Fihe, J. Appl. Phys., 38, 4750 (1967). ⁴ П. Л. Грузин, Ю. Л. Родионов и др., ДАН, 202, № 2 (1972).