

Л. И. ЛЫСАК, С. П. КОНДРАТЬЕВ, Ю. Н. МАКОГОН, Б. И. НИКОЛИН

**АНОМАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА Fe — Mn  
СПЛАВОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 4 IX 1972)

Известно, что при переходе из парамагнитного в антиферромагнитное состояние резко уменьшается модуль Юнга, повышается внутреннее трение, изменяется характер зависимости коэффициента линейного расширения от температуры (<sup>1-6</sup>). Мартенситное  $\gamma \rightarrow \epsilon$ -превращение приводит к повышению модуля Юнга, а также вызывает отклонение его температурной зависимости от нормальной при низких температурах. Например, в сплаве Г20 вместо повышения модуля при охлаждении от  $-100$  до  $-196^\circ\text{C}$  авторы (<sup>1, 2</sup>) наблюдали снижение этой величины. Однако закономерность и причины аномального уменьшения модуля Юнга при этих температурах оставались неизученными, так как были получены только две экспериментальные точки. В связи с этим представляло интерес исследовать изменение модуля сдвига и внутреннего трения сплавов с разной концентрацией марганца при охлаждении и нагреве в интервале температур  $-196 \div 250^\circ$ .

Сплавы Г16, Г18, Г22 выплавляли в печи ТВЧ из электролитического марганца и карбонильного железа В-3 и после закалки от  $1100^\circ$  в воде из них вырезали образцы ( $1 \times 1 \times 100 \text{ мм}^3$ ). Измерение внутреннего трения ( $Q^{-1}$ ) и модуля сдвига ( $G \sim f^2$ ) проводили на «обращенном» крутильном маятнике при нагреве и охлаждении со скоростью около  $8^\circ/\text{мин}$ , а относительное удлинение определяли на катковом dilatометре при увеличении около  $6000$  (<sup>1</sup>). Для получения различного количества  $\epsilon$ -мартенсита в одном и том же образце проводили ряд  $\gamma \rightleftharpoons \epsilon$ -переходов путем нагревов до  $400^\circ$  и охлаждений в жидком азоте.

На рис. 1а видно, что при охлаждении сплава Г16 от комнатной температуры до  $-50^\circ$  модуль сдвига почти не изменяется, а при дальнейшем охлаждении до  $-170^\circ$  он резко уменьшается и в интервале температур от  $-170$  до  $-196^\circ$  остается неизменным. При нагреве от  $-196^\circ$  до комнатной температуры экспериментальные точки для модуля сдвига попадают на ту же кривую, что и при охлаждении (рис. 1а). В интервале температур  $20-80^\circ$  величина  $G$  повышается благодаря магнитному превращению в аустените (<sup>1, 2</sup>), а в области от  $80$  до  $200^\circ$  уменьшается, следуя обычной температурной зависимости. Выше  $200^\circ$  происходит более резкое уменьшение модуля сдвига вследствие обратного  $\epsilon \rightarrow \gamma$ -превращения.

При охлаждении от  $250$  до  $140^\circ$  в сплаве не происходит фазовых превращений и модуль сдвига изменяется соответственно его температурной зависимости. В области температур  $140-20^\circ$  наблюдается отклонение от этой зависимости вследствие влияния двух факторов: увеличения модуля сдвига за счет  $\gamma \rightarrow \epsilon$ -превращения и снижения его благодаря магнитному упорядочению в аустените.

Для выяснения природы аномального изменения модуля сдвига сплава Г16 от  $-50$  до  $-170^\circ$  было измерено внутреннее трение (рис. 2а) и относительное удлинение (рис. 3). Оказалось, что кроме пиков А и Г, соответствующих  $\gamma \rightarrow \epsilon$ - и  $\epsilon \rightarrow \gamma$ -превращениям, в области температур аномального уменьшения модуля сдвига наблюдается повышение внутреннего

трения (рис. 2а), величина которого оставалась неизменной в течение длительной выдержки (более 60 мин.). Такое изменение внутреннего трения характерно для магнитного превращения <sup>(8)</sup>. Аналогичная картина изменения внутреннего трения наблюдается в сплавах Г18 и Г22 (рис. 2б, в).

На дилатометрической кривой сплава Г16 при охлаждении и нагреве в области температур аномального изменения модуля сдвига обнаружен

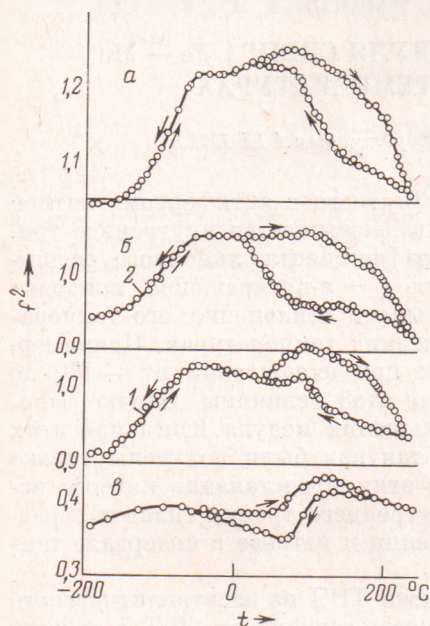


Рис. 1

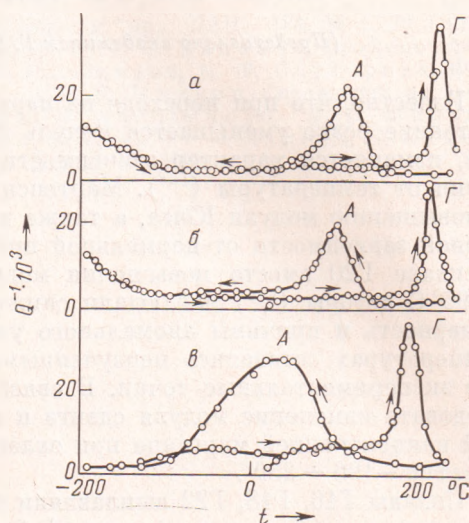


Рис. 2

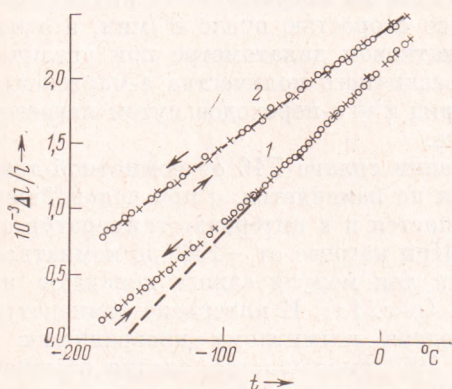


Рис. 3

Рис. 1. Температурная зависимость модуля сдвига  $f^2$  закаленных от 1100° в воде сплавов Г16 (а), Г18 (б, кривая 1) и Г22 (в). Сплав Г18 дополнительно подвергался десяти переходам  $\gamma \rightleftharpoons \epsilon$  (2)

Рис. 2. Температурная зависимость внутреннего трения закаленных от 1100° в воде сплавов Г16 (а), Г18 (б), Г22 (в)

Рис. 3. Зависимость относительного удлинения  $\Delta l/l$  сплавов Г16 (1) и Г28 (2) от температуры

перегиб (рис. 3, 1), который обычно наблюдается при антиферромагнитном превращении <sup>(2)</sup>. Подобного перегиба нет в сплаве Г28, в котором не образуется  $\epsilon$ -мартенсит (рис. 3, 2).

Все эти данные можно объяснить магнитным превращением в  $\epsilon$ -мартенсите, которое было установлено при изучении таких же сплавов методом Мёсбауэра <sup>(11)</sup>. Эти авторы показали, что в  $\epsilon$ -фазе, так же как и в аустените марганцевых сплавов, при температурах ниже  $-30^\circ$  происходит переход из парамагнитного в антиферромагнитное состояние.

При повышении концентрации марганца эффект аномального изменения модуля сдвига проявляется в меньшей степени (рис. 1). Это может

быть связано либо с уменьшением количества  $\epsilon$ -мартенсита, либо с влиянием марганца. Для выяснения этого вопроса сплав Г18 подвергали десяти  $\gamma \rightleftharpoons \epsilon$ -переходам, при которых, как известно, возрастает количество  $\epsilon$ -фазы и соответственно уменьшается количество остаточного аустенита (<sup>9</sup>). Найдено, что в области температур 50–100° эффект аномального изменения модуля сдвига  $\gamma$ -фазы уменьшается, в то время как при низких температурах его изменение остается прежним (ср. кривые 1 и 2 на рис. 1). Следовательно, можно заключить, что марганец оказывает более существенное влияние на величину эффекта изменения модуля сдвига  $\epsilon$ -мартенсита при низких температурах, чем количество этой фазы (рис. 1). Аналогичное влияние марганца на величину изменения модуля наблюдали при магнитном превращении в аустените (<sup>1, 2, 10</sup>). Кроме того, с повышением содержания марганца область аномального изменения модуля сдвига  $\epsilon$ -мартенсита смещается к более низким температурам (рис. 1), в то время как  $\gamma$ -фазы — к более высоким (<sup>2</sup>).

Таким образом, в сплавах Fe — Mn, содержащих  $\epsilon$ -мартенсит и остаточный аустенит, в области низких температур найдено аномальное изменение модуля сдвига, повышение внутреннего трения, изменение коэффициента термического расширения. Эти эффекты объяснены переходом из парамагнитного в антиферромагнитное состояние г.п.у.-решетки  $\epsilon$ -мартенсита. В одном и том же сплаве температура указанных эффектов в г.ц.к.-решетке выше, чем в г.п.у.

Институт металлофизики  
Академии наук УССР  
Киев

Поступило  
31 VIII 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. Н. Богачев, В. Ф. Егорова, Б. А. Потехин, ДАН, 173, № 6, 1295 (1967).
- <sup>2</sup> И. Н. Богачев, В. Ф. Егорова, Т. Л. Фролова, ФММ, 29, 358 (1970).
- <sup>3</sup> А. И. Мелькер, О. Г. Соколов, ДАН, 159, 74 (1964).
- <sup>4</sup> А. И. Мелькер, С. И. Сахин, О. Г. Соколов, Металловедение, № 8, 116 (1964).
- <sup>5</sup> А. И. Мелькер, С. И. Сахин, О. Г. Соколов, Металловедение, № 7, 86 (1963).
- <sup>6</sup> Г. Г. Лукина, А. И. Мелькер, Металловедение, № 11, 3 (1967).
- <sup>7</sup> А. К. Шурин, Вопр. физ. мет. и металловед., № 18, 222 (1964).
- <sup>8</sup> В. С. Постников, Внутреннее трение в металлах, М., 1968.
- <sup>9</sup> Л. И. Лысак, Б. И. Николин, ФММ, 23, 93 (1967).
- <sup>10</sup> Н. Umebayashi, Y. Ishikawa, J. Phys. Soc. Japan, 21, 1281 (1966).
- <sup>11</sup> Н. Ohno, M. Mekata, J. Phys. Soc. Japan, 31, 102 (1971)