

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. Г. ЛИВШИЦ и М. П. РАВДЕЛЬ

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СПЛАВОВ Ni_3Fe ,
СОДЕРЖАЩИХ МОЛИБДЕН**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 22 X 1953)

Сплавы состава Ni_3Fe являются упорядочивающимися, что видно по изменению их удельного электросопротивления ⁽¹⁾ и рентгеновским ^(2, 3) и нейтронографическим ⁽⁴⁾ данным.

Существует мнение ^(5, 6), что введение молибдена в сплав Ni_3Fe и сплавы близкого состава уменьшает степень упорядочения, но не устраняет его. Появившиеся в последнее время ⁽⁷⁾ данные заставляют, однако, пересмотреть эту точку зрения.

В настоящей работе исследуется влияние молибдена на процесс упорядочения сплава Ni_3Fe .

На рис. 1 приведено изменение удельного электросопротивления сплавов с различным содержанием молибдена (от 0 до 5%) в зависимости от степени обжатия при холодной деформации. В исходном состоянии, до деформации, все сплавы были отожжены с очень медленным охлаждением от 550 до 200° (в течение недели) для получения структуры, стабильной при низкой температуре.

Из рис. 1 видно, что электросопротивление сплава Ni_3Fe без Мо увеличивается после холодной деформации на 35%, что соответствует разупорядочению.

Поскольку холодная деформация приводит вновь к статистическому распределению атомов по узлам решетки, принимается, что увеличение электросопротивления после сильного обжатия, грубо говоря, пропорционально степени порядка, существовавшей в сплаве после отжига до наклепа.

Уже 0,5% Мо значительно уменьшает исходную степень порядка сплава Ni_3Fe , а 1% молибдена почти полностью устраняет упорядоченное расположение атомов. Электросопротивление этого сплава не меняется ни после отжига при низких температурах, ни после холодной деформации с любой степенью обжатия.

2% Мо совершенно меняют эффект на противоположный, и после деформации с обжатием 90% наступает значительное уменьшение электросопротивления, которое в сплавах с 5—6% молибдена достигает 13%.

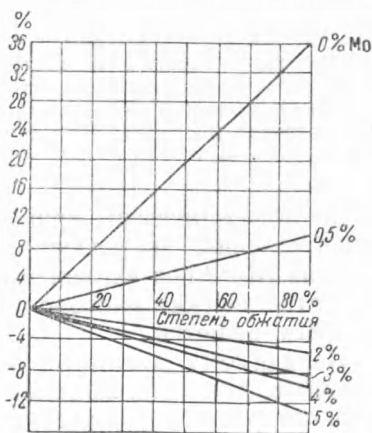


Рис. 1. Зависимость удельного электросопротивления от степени обжатия при протяжке сплавов с различным содержанием молибдена

Деформированные образцы подвергались отпуску на различные температуры, после чего снова измерялось их удельное электросопротивление, а также твердость.

На рис. 2 приведено изменение электросопротивления и твердости в зависимости от температуры отпуска для сплавов с 0; 1 и 5% молибдена. Видно, что эффект изменения электросопротивления для бинарного сплава Ni_3Fe и эффект для сплава с 5% Мо противоположны, но максимальное проявление обоих эффектов наблюдается в одной области температур 400—450°.

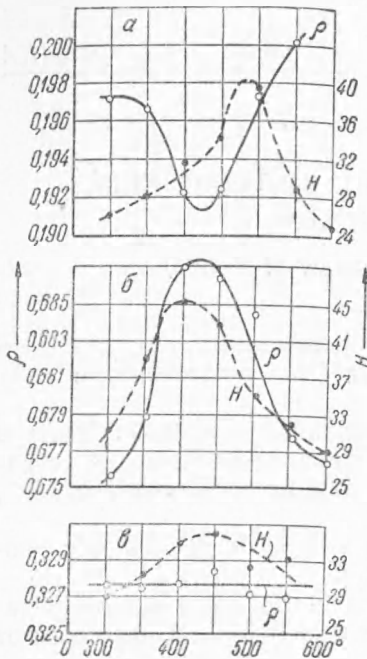


Рис. 2. Зависимость удельного электросопротивления и твердости сплавов Fe—Ni с различным содержанием молибдена от температуры отпуска (выдержка 1 час). а — без Мо; б — 5% Мо; в — 1% Мо

Дилатометрические кривые, так же как и кривые изменения электросопротивления, указывают на особое состояние, которое образуется в сплавах Ni_3Fe под влиянием молибдена и не является ни упорядоченным, ни статистическим расположением атомов по узлам решетки.

Повидимому, атомы молибдена, а может быть, и железа, сегрегируя в решетке твердого раствора, образуют комплексы, т. е. расположение атомов отклоняется от статистической равномерности. Эта сегрегация является причиной дополнительного рассеяния электронов и, следовательно, увеличения электрического сопротивления.

Деформация «разгоняет» эти комплексы и приводит к статистическому распределению атомов, причем электросопротивление понижается. Отпуск до 450° после наклепа снова восстанавливает сегрегацию. Нагрев до более высоких температур, так же как и в упорядочивающемся сплаве Ni_3Fe , сообщает решетке твердого раствора статистическую однородность.

Для определения объемного эффекта на сплавах указанных трех составов были сняты дилатометрические кривые нагрева от исходного состояния (медленное охлаждение в вакууме от 880° до 200° в течение недели) со скоростью 150°/час.

На рис. 3 а представлено изменение объема при нагреве упорядоченного сплава Ni_3F . При температуре 500° наблюдается скачкообразное увеличение объема, связанное с разупорядочением.

Кривая б рис. 3 представляет нагрев сплава с 5% молибдена. Здесь не наблюдается скачкообразного увеличения объема, а наоборот, уменьшение коэффициента термического расширения при ~ 550°. Интересно, что в сплаве с 1% Мо (кривая в) накладываются оба эффекта:

вначале при 550° наступает скачкообразное увеличение объема, которое сразу же подавляется обратным эффектом уменьшения коэффициента термического расширения, в результате чего на кривой получается «горбик».

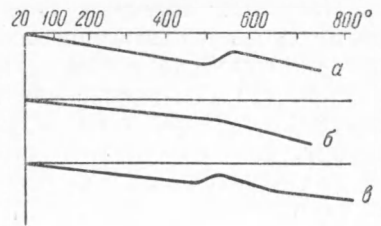


Рис. 3. Дилатометрические кривые нагрева сплавов с различным содержанием молибдена

Таким образом, предполагается, что при низких температурах под влиянием молибдена упорядочение Ni_3Fe устраняется и заменяется сегрегацией одного или двух компонентов (повидимому, Mo и Fe) порядка длины электронной волны, причем увеличивается остаточное сопротивление. Переход от упорядочения к сегрегации происходит непрерывно с возрастанием содержания молибдена.

Такого рода сегрегация уже прощупывалась после наклепа и отжига медных твердых растворов ⁽⁸⁾ и в отожженных однофазных сплавах, содержащих переходные элементы ^(9, 10). Наличие ее показано ⁽¹¹⁾ на ранних стадиях старения пересыщенного алюминиевого раствора.

Авторы выражают благодарность Д. И. Габриэлянцу за содействие при выполнении данной работы.

Поступило
6 X 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ O. Dahl, Z. Metallkunde, 28, 133 (1936). ² P. Leech, C. Sykes, Phil. Mag., 27, 742 (1939). ³ F. E. Haworth, Phys. Rev., 56, 289 (1939). ⁴ F. G. Nix, H. G. Beyer, J. R. Dunning, *ibid.*, 58, 1031 (1940). ⁵ O. L. Boothby, R. M. Bozorth, J. Appl. Phys., 18, № 2, 173 (1947). ⁶ E. Josso, Revue de Métallurgie, № 10 (1950). ⁷ F. Assmus, F. Pfeifer, Z. Metallkunde, 42, № 10 (1951). ⁸ С. Т. Конобеевский, Сборн. научн. докладов секции металловедения и термообработки ВНИТО металлургов, 1940, стр. 19. ⁹ В. Н. Иверонова, Применение рентгеновских лучей к исследованию материалов, 1949. ¹⁰ H. Thomas, Zs. Phys., 129, 219 (1951). ¹¹ Ю. А. Багаряцкий, ДАН, 87, № 4 (1952).