

[8] Гудаев О.А., Гусев В.А., Деменко С.И.,  
Малиновский В.К. // ФТТ. 1985. Т. 27. В. 9.  
С. 2786-2789.

Днепропетровский  
государственный университет

Поступило в Редакцию  
31 августа 1989 г.  
В окончательной редакции  
1 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 13      12 июля 1990 г.  
05.1

© 1990

## ОБЛАСТЬ ЖУРКОВА НА ДИАГРАММАХ ЭШБИ

В.Л. Инденбом

В работе [1] автором была высказана гипотеза о том, что установленная С.Н. Журковым и др. температурно-временная зависимость прочности и скорости ползучести различных твердых тел [2, 3] и даже отклонения от этой зависимости могут быть единообразно и количественно объяснены конкуренцией межузельного и вакансионного механизмов переноса масс. Ряд предсказаний теории был сразу же подтвержден экспериментами, выполненными В.А. Степановым и др. [4, 5]. Подтвердился предсказанный теорией излом на кривых ползучести-долговечности, построенных как функция напряжений  $\sigma$  или температуры  $T$ . Характерная для „области Журкова“ линейная зависимость энергии активации от напряжения  $U = U_0 - \gamma \sigma$  экстраполировалась на значение  $U_0$ , близкое к энергии образования межузельного атома  $U_f^i$  и энергии активации самодиффузии по межузельным атомам  $U_{SD}^i$  (энергия миграции  $U_m^i$  обычно мала по сравнению с  $U_f^i = U_{SD}^i - U_m^i$ ). При понижении напряжения или повышении температуры энергия активации падала до энергии активации самодиффузии по вакансиям  $U_{SD}^v$  или даже энергии миграции вакансий  $U_m^v$ , что косвенно свидетельствовало о высоком уровне вакансионного пересыщения. При закалке в области Журкова выпадают межузельные дислокационные петли, а вне этой области – вакансионные петли. Влияние давления на величину  $U_0$  соответствовало объему межузельного атома и т.д.

Однако проверка теории по энергии активации  $U(\sigma)$  и активационному объему  $\gamma = -\frac{\partial U}{\partial \sigma}$  процессов ползучести-долговечности встречает ряд возражений, поскольку открытым остается вопрос о роли предэкспоненты (см., например, [6]). Эта трудность отпадает, если использовать непосредственно экспериментальные данные

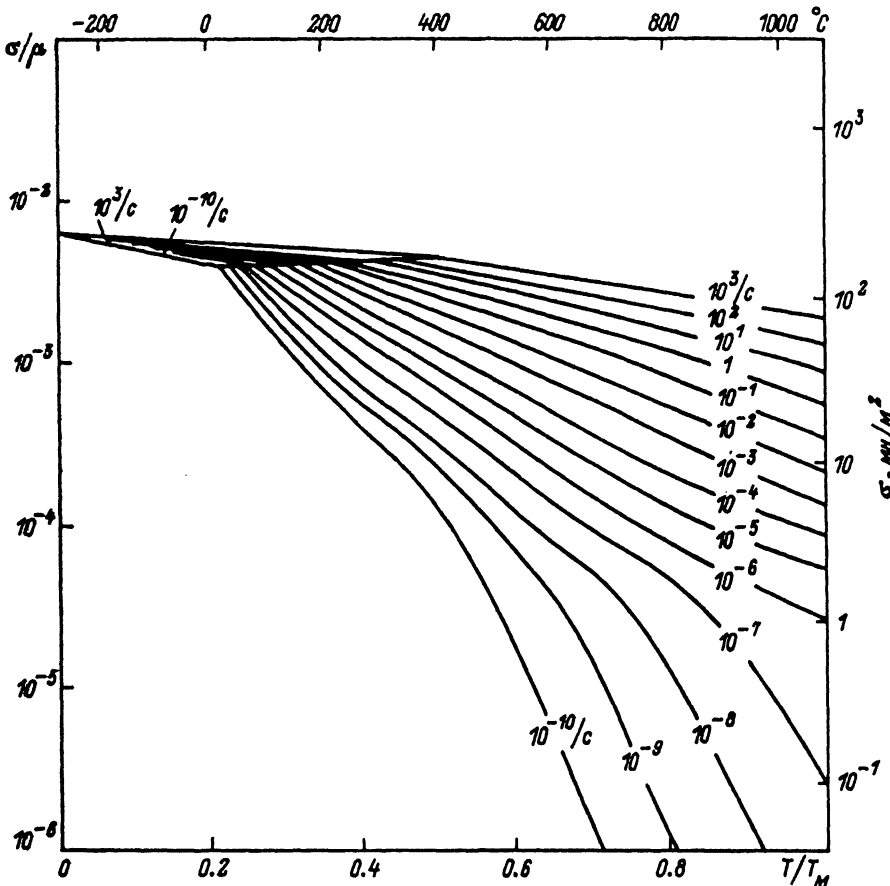


Рис. 1. Диаграмма Эшби для ползучести меди [8]. Цифры на кривых соответствуют скорости ползучести в  $\text{см}^{-1}$ . Хорошо виден переход от вакансионного к межузельному механизму самодиффузии при  $\dot{\epsilon} \approx 5 \cdot 10^{-3} \mu$  и  $T = 0.2-0.5 T_m$ .

по долговечности и ползучести. Очень удобны для этого карты Эшби [7, 8] – карты равных значений долговечности  $\tau(\dot{\epsilon}, T)$  и ползучести  $\dot{\epsilon}(\dot{\epsilon}, T)$ , построенные в виде изолиний на диаграммах  $(\frac{T}{T_m}, \lg \frac{\sigma}{\mu})$ , где  $\mu$  – модуль сдвига,  $T_m$  – температура плавления. На первых диаграммах Эшби [7] область Журкова вообще отсутствовала, что подтверждало сомнения ряда зарубежных групп относительно самого существования области Журкова. С другой стороны, группа Журкова игнорировала карты Эшби, на которых были ясно видны закономерности ползучести и долговечности жаропрочных материалов, соответствующие диффузионной ползучести и диффузионному росту трещин и никак не похожие на закономерности Журкова:

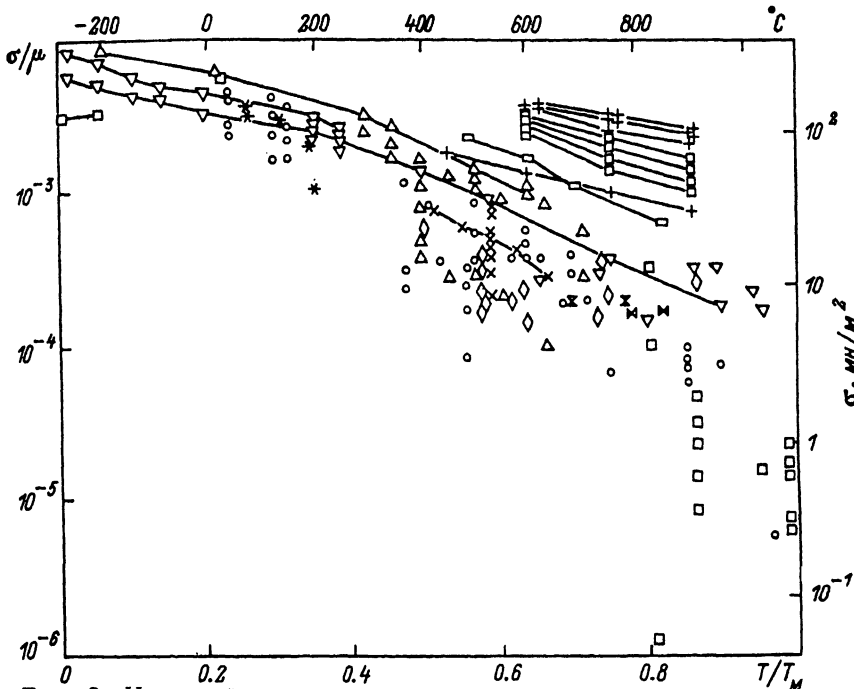


Рис. 2. Исходный экспериментальный массив в области Журкова, использованный в [8] для построения рис. 1. Экспериментальный материал сужен по сравнению с [4], поэтому диаграммы Эшби типа рис. 1 следует трактовать как полукачественные.

$$\tau = \frac{\epsilon_0}{\dot{\epsilon}} = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT}\right). \quad (1)$$

Ситуация изменилась с появлением более полных карт Эшби [8], на которых выявилась область Журкова (см. рис. 1-2). В координатах  $(T, \sigma)$  веер (1) также образует веер с полюсом в точке

$(\sigma_0 = \frac{U_0}{\gamma}, T=0)$  и прямолинейными лучами. В принятых Эшби координатах лучи веера слегка изгибаются, а угловые коэффициенты

лучей в начале веера соответствуют  $\frac{kT_m}{U_0} \lg\left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)$  для долговечности и  $\frac{kT_m}{U_0} \lg\left(\frac{\tau_0 \dot{\epsilon}}{\epsilon_0}\right)$  для ползучести. Таким образом, можно

определить величины  $U_0$  и  $\gamma$ , т.е., согласно (1), энергию образования межузельного атома и расстояние между источниками межузельных атомов  $l = a^{-2} \gamma$  или разориентацию субграниц  $\theta = \frac{\Omega}{\gamma}$ ,

где  $a$  - параметр решетки,  $\Omega$  - атомный объем, представляющую значительный физический интерес. На некоторых диаграммах Эшби в области  $\sigma \approx 10^{-3} \mu$ ,  $T = 0.2-0.4 T_m$  наблюдается характерное сжатие пучка кривых  $\dot{\epsilon} = const$  или  $\tau = const$ , по-видимому, соответствующее миграции атомов по ядру дислокаций.

Из условия постоянства суммы потоков вакансий и межузельных атомов можно дать единообразную оценку положения кривых равной скорости ползучести как в области Журкова, так и в примыкающей к ней части диаграммы (т.е. почти на половине или даже большей части всей площади диаграмм Эшби). Насколько известно автору, это первый случай определения важнейших характеристик конструкционных материалов без всяких механических испытаний непосредственно по характеристикам элементарных точечных дефектов и мозаичности оцениваемой по оптическому, рентгеновскому или нейтронному рассеянию.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Инденбом В.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1970. Т. 12. № 12. С. 526-528.
- [2] Журков С.Н. // Вестн. АН СССР. 1968. № 3. С. 46-52.
- [3] Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
- [4] Степанов В.А., Шпейзман В.В. // ФММ. 1970. Т. 29. С. 375; Орлов А.Н., Степанов В.А., Шпейзман В.В. // Тр. ЛПИ. 1975. № 341. С. 3-34; Mushlaev M.M., Stepanov W.A., Spreizman V.V. // Phys. Stat. Sol. (a). 1971. V. 8. № 2. P. 393-402; Мышляев М.М., Олевский С.С., Максимов С.К., Лихачев В.А. // ФТТ. 1972. Т. 14. № 3. С. 917-918; Зайцев В.И., Лиффер Е.И., Токий В.В. // ФТТ. 1975. Т. 17. № 6. С. 1866-1867.
- [5] Инденбом В.Л., Орлов А.Н. // ФММ. 1977. Т. 43. № 3. С. 469-492.
- [6] Пинес Б.Я. // ФТТ. 1959. Т. 1. № 2. С. 265-274; Пинес Б.Я., Сиренко А.Ф. // ФТТ. 1960. Т. 11. № 6. С. 1043-1051.
- [7] Ashby M.F. // Acta Met. 1972. V. 20. N 7. P. 887-899.
- [8] Фрост Г.Дж., Эшби М.Ф. Карты механизмов деформации. Челябинск: Металлургия, 1989. 328 с.

Институт кристаллографии  
им. А.В. Шубникова АН СССР

Поступило в Редакцию  
24 января 1990 г.  
В окончательной редакции  
23 мая 1990 г.