

Л. Д. СОКОЛОВ

**СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ И  
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ДЕФОРМИРОВАНИЮ У ОДНОФАЗНЫХ МЕТАЛЛОВ**

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 10 XII 1949)

В развитие предыдущих работ (1), обобщение опытных материалов по пластической осадке свинца, олова и меди было произведено систематически через  $100^\circ$  для температур металлов от  $20^\circ$  до температур, близких к точкам плавления\*, и для скоростей деформации  $v$  от  $6 \cdot 10^{-4}$  до  $12 \cdot 10^1$  сек. $^{-1}$  через каждые  $6 \cdot 10$  сек. $^{-1}$ .

Некоторые опытные данные приведены в табл. 1.

Основные результаты обобщения, выполненного по второму варианту (см. (1)), сводятся к следующему.

1. Двойная логарифмическая зависимость сопротивления деформированию  $\sigma$  от скорости деформации  $v$   $\lg \sigma = N \lg v$  удовлетворительно выполняется для всех температур и скоростей, однако значение  $N$ , оставаясь постоянным для сравнительно низких соответственных температур (отношения абсолютной температуры металла к абсолютной температуре плавления металла) и сравнительно высоких соответственных температур (соответствующих температурам пластической обработки металла), меняется однажды (по крайней мере, в интервале скоростей от  $6 \cdot 10^{-4}$  до  $6 \cdot 10$  сек. $^{-1}$ ) для средних соответственных температур (рис. 1). Этим подтвердились работы Ленинградского физико-технического института АН СССР (3), проведенные безотносительно к какой-либо определенной степени деформации.

Интервал изменения значения  $N$  делит кривую  $\lg \sigma = N \lg v$  на два участка: зарекристаллизационный (с большим значением  $N$ ) и дорекристаллизационный (с меньшим значением  $N$  (см. об этом (3))).

2. Положение интервала изменения значения  $N$  (по шкале логарифма скорости) зависит: а) от температуры опыта и б) от степени деформации, для которой составлялась зависимость  $\lg \sigma = N \lg v$ , смещаясь вправо с ростом того и другого фактора; величина этого смещения затухает с ростом степени деформации и с ростом температуры (рис. 1).

3. Значения  $N$  для зарекристаллизационных ветвей кривых  $\lg \sigma = N \lg v$  заметно возрастают с ростом температуры; этим подтверждается полученное ранее (2) увеличение скоростного коэффициента с ростом температуры.

4. Значения  $N$  зависят от степени деформации, для дорекристаллизационных участков обычно уменьшаясь, а для зарекристаллизационных участков увеличиваясь с ростом степени деформации. Качественная картина этого явления была получена и объяснена ранее (4).

\* Описание опытов дано в (2).

Таблица 1

Сопротивление деформированию свинца, олова и меди при разных скоростях деформации, температурах и степенях деформации в  $\text{кг/мм}^2$

Т-ра в °С	$v$ в сек. <sup>-1</sup>					
	$6 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^0$	$12 \cdot 10^0$
Свинец при 10% относительной влажности						
20	1,4	1,8	2,24	2,94	3,09	3,1
100	0,7	0,950	1,23	1,68	2,24	2,4
200	0,3	0,426	0,57	0,81	1,12	1,41
250	0,15	0,2	0,282	0,39	0,525	0,725
Свинец при 20% относительной деформации						
20	1,6	2,18	3,14	4,24	4,90	5,14
100	0,7	1,02	1,45	2,13	3,02	3,8
200	0,3	0,457	0,675	1,02	1,55	2,3
250	0,17	0,251	0,363	0,56	0,805	1,26
Олово при 20% относительной деформации						
20	2,75	4,8	9,65	16,4	28,8	34,6
100	0,71	1,35	2,4	4,65	8,3	14,4
Медь при 20% относительной деформации						
20	25,8	27,5	27,5	30,0	31,2	33,8
100	17,35	18,3	19,4	20,3	21,4	22,9
200	12,9	13,5	14,5	15,4	16,4	17,4
300	7,25	8,9	11,2	12,5	13,2	14,3
400	5,0	6,4	8,16	10,5	12,3	13,4
500	3,9	5,25	6,98	9,5	12,9	14,7
600	2,56	3,46	5,0	7,05	9,55	13,8
700	1,86	2,66	3,98	5,79	8,7	11,5
800	1,17	1,74	2,8	3,92	5,9	9,0
900	0,795	1,19	1,8	2,74	4,16	6,3

Таким образом (обобщая пункты 1, 2, 3, 4), диаграммы зависимости  $\sigma = \varphi(v)$ , построенные для разных температур в координатах  $\lg \sigma - \lg v$ , могут быть подразделены:

а) на диаграммы, составленные для низких соответственных температур, при которых скорость рекристаллизации настолько низка, что любая из принятых в исследовании скоростей деформации выше первой; следовательно, зависимость  $\sigma = \varphi(v)$  для этих условий определяется протеканием только отдыха и выражена очень слабо;

б) на диаграммы, составленные для средних соответственных температур, при которых только высокие скорости деформации выше скорости рекристаллизации, причем чем выше соответственная температура, тем выше скорость рекристаллизации и тем выше должна быть скорость деформации, превышающая первую; с ростом степени деформации в процессе деформирования скорость рекристаллизации возрастает, и зарекристаллизационная часть диаграммы также смещается в область более высоких скоростей деформации;

в) на диаграммы, составленные для повышенных и высоких соответственных температур, при которых рекристаллизация проходит настолько быстро, что любая из принятых в исследовании скоростей деформации ниже скорости рекристаллизации; следовательно, зависимость  $\sigma = \varphi(v)$  для этих условий определяется протеканием только рекристаллизации и выражена в общем тем сильнее, чем выше скорость рекристаллизации.

Так как диаграммы  $\lg \sigma = N \lg v$  для областей повышенных и высоких соответственных температур представляются в виде прямых с постоянным значением  $N$ , то это в значительной степени упрощает вопрос о методе подсчета сопротивления деформированию в зависимости

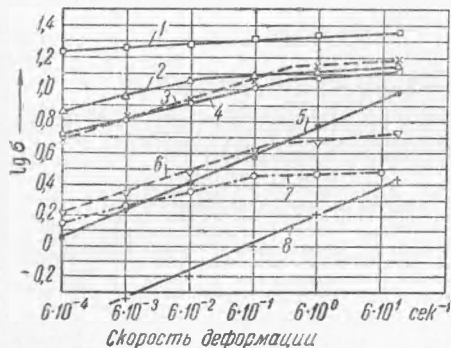


Рис. 1. Зависимость  $\lg \sigma = N \lg v$ . Медь: 1—100°, степень деформации 20%; 2—300°, 20%; 3—400°, 40%; 4—400°, 20%; 5—900°, 20%. Свинец: 6—20°, 20%; 7—20°, 10%; 8—200°, 30%.

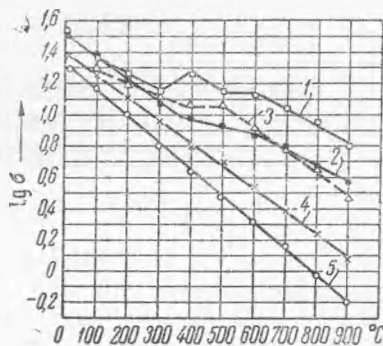


Рис. 2. Зависимость  $\lg \sigma = MT$ . Медь: 1—скорость деформации  $12 \cdot 10^1 \text{ сек}^{-1}$ , степень деформации 20%; 2— $12 \cdot 10^1 \text{ сек}^{-1}$ , 10%; 3— $6 \cdot 10^{-1} \text{ сек}^{-1}$ , 30%; 4— $6 \cdot 10^{-2} \text{ сек}^{-1}$ , 10%; 5— $6 \cdot 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$ , 10%.

от скорости деформации для большинства температурных условий пластической обработки металлов.

Обратимся еще к одному результату обобщения.

Температурная зависимость  $\lg \sigma = MT$  в пределах отдельных участков прямолинейна, чем отчасти подтверждается ряд теорий<sup>(5)</sup>, однако значения  $M$  в большинстве случаев различны для разных участков этой зависимости (рис. 2). Изменение значений  $M$  необходимо вытекает из рассмотренного выше изменения значений  $N$  для диаграмм  $\sigma = \varphi(v)$ .

Надо заметить, что обычное представление о том, что зависимость  $\sigma = \varphi(T)$  у гомогенных металлических систем монотонна, возникло именно потому, что в большинстве случаев эта зависимость устанавливалась из опытов с одной какой-либо скоростью деформации, чаще всего низкой, не могущей соперничать со скоростью рекристаллизации. Очевидно, такое представление носит частный характер, так как энергетическое состояние однофазных систем в рекристаллизационных точках должно меняться так же, как при фазовых превращениях в гетерогенных системах.

Для наблюдения таких изменений, как видим, необходимо рассматривать диаграммы  $\sigma = \varphi(T)$  при разных скоростях деформации.

Поступило  
2 XII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. Д. Соколов, ДАН, 67, № 3 (1949). <sup>2</sup> Л. Д. Соколов, ЖТФ, 16, 437 (1946). <sup>3</sup> Ф. Ф. Витмани Н. А. Златин, ЖТФ, 19, 315 (1949), <sup>4</sup> Л. Д. Соколов, ЖТФ, 18, 93 (1948). <sup>5</sup> М. А. Зайков, ЖТФ, 19, 684 (1949).