

Л. Д. СОКОЛОВ

К ВОПРОСУ О ВЫЧИСЛЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ  
ПЛАСТИЧЕСКОМУ ДЕФОРМИРОВАНИЮ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 24 V 1949)

Обобщение опытных материалов позволило установить, что в большинстве случаев (в широком диапазоне скоростей, температур и степеней деформации) зависимость сопротивления металлов деформированию от скорости деформации может быть достаточно точно выражена двойной логарифмической связью  $\lg \sigma = N \lg v$ , чем подтверждается точка зрения советских ученых, в противоположность точке зрения многих иностранных исследователей, которые считают, что указанная зависимость выражается полулогарифмической связью  $\sigma = \sigma_0 + k \lg v$ .

Из опытов \* по пластической осадке металлических цилиндров из олова, свинца, алюминия, цинка, меди, никеля, сталей 3, 5, 10, У10А, 38ХМЮА, 30ХГСА, 40ХА, 20НЗА, ШХ15, 20Х и др. и латуней (4) с разными скоростями и при разных температурах было получено свыше тысячи кривых истинных напряжений (принимая во внимание свыше 20 разных металлов, 7 скоростей деформации и ряд различных температур) (рис. 1).

Обобщение этих опытных данных было выполнено в двух вариантах.

1. Исходя из представлений об явлениях упрочнения и отдыха в металлах, было получено аналитическое выражение зависимости между напряжениями, скоростями, температурами и степенями деформации; это равенство было проверено почти на всех опытах и дало удовлетворительные результаты (5).

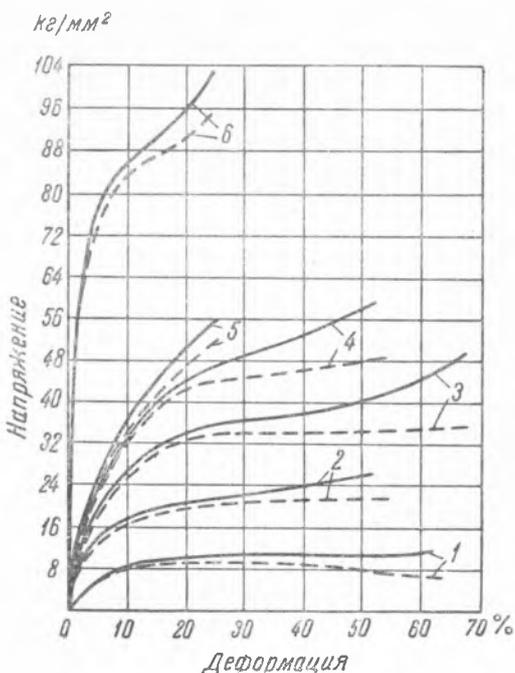


Рис. 1. Удельные давления и истинные напряжения: 1—сталь 30ХГСА 0,1 ( $6 \cdot 10^{-3}$ ),  $1000^\circ$ ; 2—сталь 30ХГСА 0,1 ( $6 \cdot 10^{-3}$ ),  $800^\circ$ ; 3—сталь 30ХГСА 0,1 ( $6 \cdot 10^{-3}$ ),  $700^\circ$ ; 4—сталь 30ХГСА 10 ( $6 \cdot 10^{-1}$ ),  $700^\circ$ ; 5—сталь 30ХГСА 2000 ( $12 \cdot 10^1$ ),  $700^\circ$ ; 6—сталь 30ХГСА 1,0 ( $6 \cdot 10^{-2}$ ),  $20^\circ$

\* Описание опытов см. (1-3).

2. Была произведена количественная проверка целого ряда формул и теорий, из которых наиболее приемлемой оказалась теория Давиденкова<sup>(5)</sup> и полученная из теоретических предпосылок Давиденкова формула Витмана и Степанова<sup>(6)</sup>. Остановимся на втором варианте обобщения, так как первый описан ранее.

Если истинные напряжения  $\sigma$  рассматривать в функции скорости

деформации  $\dot{\nu}$ , причем последнюю откладывать по логарифмической шкале, то можно получить множество кривых, из которых только некоторые, относящиеся главным образом к тугоплавким металлам при  $20^\circ$ , имеют столь незначительную кривизну, что могут быть приближенно приняты за прямые (рис. 2); в большинстве случаев зависимость  $\sigma = \varphi(\dot{\nu})$  в этих „полулогарифмических“ координатах является криволинейной. Последнее указывает на то, что формула

$$\sigma = \sigma_0 + k \lg \dot{\nu}, \quad (1)$$

принятая целым рядом авторов<sup>(7-10)</sup> для количественной оценки зависимости  $\sigma = \varphi(\dot{\nu})$ , является частным случаем другой более общей зависимости и отражает, возможно, до некоторой степени, правильно поведение тугоплав-

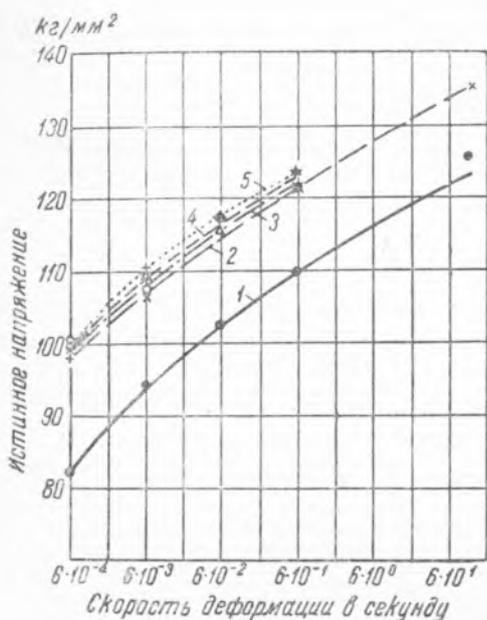


Рис. 2. Зависимость истинного напряжения от скорости деформации при  $20^\circ$  стали У10А: 1—10%, 2—20%, 3—30%, 4—40%, 5—50%

ких металлов при комнатной температуре.

С другой стороны, если опытные данные укладывать в координаты  $\lg \sigma - \lg \dot{\nu}$ , то в большинстве случаев они удовлетворительно могут располагаться около прямых (рис. 3)

$$\lg \frac{\sigma}{\sigma_0} = N \lg \frac{\dot{\nu}}{\dot{\nu}_0}, \quad (2)$$

что указывает на более общий характер этой формулы, полученной Витманом и Степановым из теоретических предпосылок Давиденкова.

Известно, что к такому же виду зависимости  $\sigma = \varphi(\dot{\nu})$ , но экспериментальным путем пришел целый ряд других авторов, в том числе С. И. Губкин<sup>(11)</sup>.

Согласно выводу формулы (2) у Витмана и Степанова, коэффициент  $N$  представляет собой отношение двух коэффициентов:  $N = b/B$ , из которых  $b$  — фактор, учитывающий действие температуры, а  $B$  — энергия активации. Так как энергия активации должна зависеть от точки плавления металла<sup>(12)</sup>, от степени деформации<sup>(13)</sup> и от содержания примесей<sup>(5)</sup> к решетке, то, следовательно, значение  $N$  предстояло исследовать в функции температуры металла в опыте  $T_{оп}$ , температуры плавления\*  $T_{пл}$  (удобнее, отношения  $T_{оп}/T_{пл}$ , т. е. гомологической температуры), степени деформации и наличия примесей.

Это и было сделано, причем было найдено, что для данного

\* Для гетерогенных систем по линии солидуса.

металла и данной степени деформации значения  $N$  в функции отношения  $T_{оп}/T_{пл}$  удовлетворительно укладываются в прямую (рис. 4).

$$N = m \frac{T_{оп}}{T_{пл}} \quad (3)$$

Вначале предполагалось, что зависимость  $N = \varphi(T_{оп}/T_{пл})$  для разных металлов является единой; такое предположение было основано на представлении о соответственных состояниях<sup>(13)</sup>, однако при дальнейшем уточнении такое обобщение не удалось.

Значения  $m$  для разных металлов получились разными, что указывает на то, что свойство гомологических температур, подмеченное Людвигом<sup>(14)</sup>, нельзя считать точным; поведение металлов в отношении гомологических температур должно, очевидно, определяться также типом решетки и характером силовых

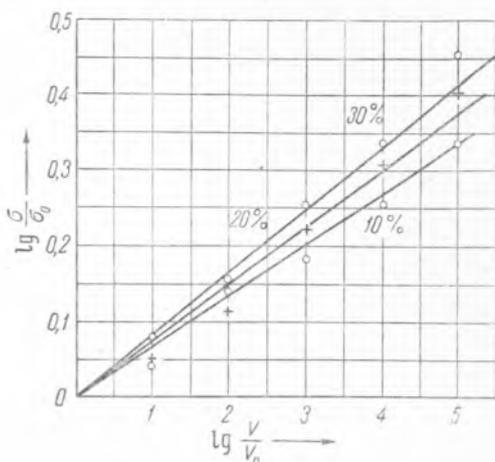


Рис. 3. Зависимость напряжения от скорости. Сталь 20X; 1100°

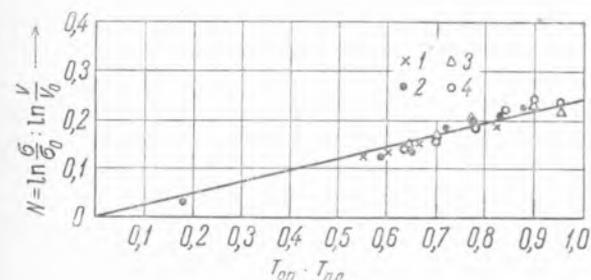


Рис. 4. Зависимость отношения  $\ln \frac{\sigma}{\sigma_0} : \ln \frac{v}{v_0} = N$  от гомологических температур у разных металлов при степени деформации 50%. 1 — сталь-3, 2 — сталь-5, 3 — сталь-10, 4 — сталь У10А

связей в ней. Кроме того,  $m$  зависит еще и от степени деформации; последнее означает, что интенсивность функции  $\sigma = \varphi(v)$  при данной гомологической температуре определяется степенью деформации, что было рассмотрено ранее<sup>(5)</sup>.

В табл. 1 приведены значения  $m$  для некоторых металлов и разных степеней деформации.

Для вычисления значений  $\sigma$  необходимо знать  $\sigma_0$ , т. е. истинное напряжение, соответствующее скорости  $v_0$ . За скорость  $v_0$  удобно принять скорость обычного испытания на прессе Гагарина, порядка  $10^{-4}$  сек.<sup>-1</sup>, что можно получить в любой лаборатории.

Значения  $\sigma_0$  при скорости  $v_0$  около  $10^{-4}$  сек.<sup>-1</sup> (точнее,  $6 \cdot 10^{-4}$  сек.<sup>-1</sup>) для некоторых сталей сведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения  $m$

Металл	Степень деформации в %				
	10	20	30	40	50
Сталь 38ХМЮА . . .	0,05	0,045	0,07	0,08	0,085
Сталь 30ХГСА . . .	0,05	0,045	0,07	0,08	0,085
Сталь 40ХА . . . .	0,175	0,2	0,207	0,235	0,250
Сталь У10А . . . .	0,189	0,222	0,230	0,260	0,260
Свинец . . . . .	0,22	0,27	0,305	0,32	0,33
Медь . . . . .	0,18	0,22	0,25	0,27	—

Таблица 2

Значения  $\sigma_0$  при скорости деформации  $6 \cdot 10^{-4}$  сек.<sup>-1</sup>

Степень деформации	20°	700°	800°	900°	1000°	1100°	1200°
С т а л ь У10А							
10	82	15	8,9	5,8	3,4	1,9	1,12
20	99,9	17,5	10,2	6,0	4,2	2,1	1,5
30	100	17,6	10,2	6,3	4,0	1,8	1,3
40	100	17,3	10,0	6,3	4,0	1,4	1,1
50	98	16,9	9,8	6,2	4,0	1,6	0,8
С т а л ь 30ХГСА							
10	74	23	15	14	8	5,5	4,4
20	87	26,5	18	15,4	8,5	6,0	5,1
30	105	27,5	19	16	8,9	6,0	5,5
40	—	27,5	18,5	16,4	8,5	5,9	5,8
50	—	26	18	15,5	7,5	5,9	7,0
С т а л ь 38ХМЮА							
10	105	17,5	12	11,5	6,5	5,9	4
20	120	19	14,5	14	8,0	7,0	5,3
30	123	20	16	14	9,5	7,65	5,95
40	—	21	16,5	14	9,5	7,7	6,0
50	—	—	16,8	13,5	8,0	7,4	5,95
С т а л ь 40ХА							
10	70	15	7,5	6,7	4,2	2,9	1,8
20	83	15,8	9,5	7,5	5,1	3,4	2,2
30	85	16,5	10	7,9	5,1	3,3	2,0
40	87	16,5	10,3	7,9	5,0	3,0	1,9
50	89	15,8	10,3	7,2	4,8	2,8	1,8

Пользуясь формулами (2) и (3) и табличными значениями  $m$  и  $\sigma_0$ , можно подсчитать  $\sigma$  при скоростях деформации от  $6 \cdot 10^{-4}$  до  $12 \cdot 10^1$ .

Поступило  
16 V 1949

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ① Л. Д. Соколов, ЖТФ, 16, 437 (1946). ② С. З. Юдович и Л. Д. Соколов, Сталь, 2, 127 (1946). ③ Л. Д. Соколов, ЖТФ, 17, 543 (1947). ④ Л. Д. Соколов, ЖТФ, 16, в. 11, 1279 (1946). ⑤ Н. Н. Давиденков, ЖТФ, 9, 12, 1051 (1939). ⑥ Ф. Ф. Витмани В. А. Степанов, ЖТФ, 9, 12, 1070 (1939). ⑦ P. Ludwik, Elemente der technologischen Mechanik, Berlin, 1908. ⑧ I. I. Kanter, Trans. Am. Soc. Met., 24, No. 4, 870, XII (1936). ⑨ Deutler, Phys. Zs., 33, No. 6, 347 (1932). ⑩ C. Soderberg, Trans. Am. Soc. Mech. Eng., 55, Apr. 15-16 (1933). ⑪ С. И. Губкин, Теория обработки металлов давлением, 1947, стр. 386. ⑫ Р. Д. Кузнецов, Физика твердого тела, 2, 1941, стр. 596. ⑬ Т. А. Конторова, ЖТФ, 10, в. 13, 1101 (1940). ⑭ P. Ludwik, VDI, 59, II (1915). ⑮ М. А. Зайков, ЖТФ, 18, в. 6, 847 (1948).