

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Я. Б. ФРИДМАН

**ОБОБЩЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 22 X 1946)

До недавнего времени считалось, что между различными механическими свойствами, определяемыми при растяжении, сжатии, кручении и т. п., не существует определенной зависимости и что поэтому материал имеет столько же различных механических характеристик, сколько существует способов нагружения.

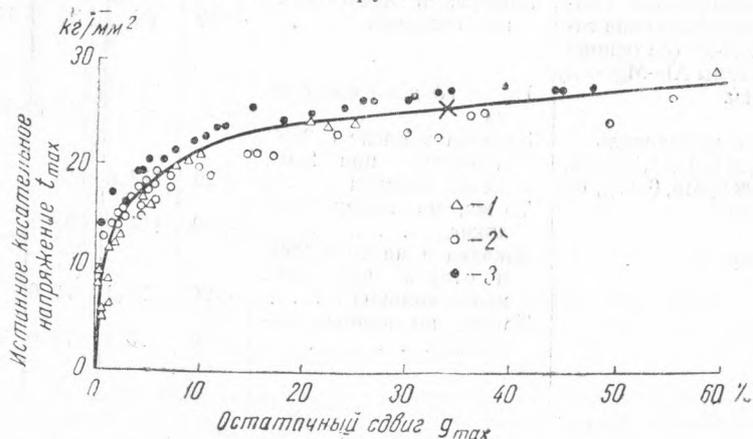


Рис. 1. Диаграммы деформации закаленного и естественно состаренного сплава дюралюмин: 1—при растяжении, 2—при кручении и 3—при сжатии

Огромным шагом вперед явилось введенное П. Людвигом (1, 2) построение обобщенной диаграммы деформации или „кривой течения“, которая близко совпала для растяжения, кручения, сжатия и т. п. и, таким образом, оказалась практически мало зависящей от способа нагружения важной характеристикой материала.

Последующими работами А. Надаи (3) были уточнены координаты диаграмм деформации: 1) $t_{\max} = f(g_{\max})$ и 2) $t_n = F(g_n)$, где t_{\max} и g_{\max} — максимальные, а t_n и g_n — октаэдрические касательные напряжения и деформации (сдвиги).

В этом последнем виде обобщенные кривые Людвига — Надаи представляют одно из наиболее плодотворных понятий современной математической теории пластичности и испытания материалов.

В 1941 г. автором было показано (4) существование практически не зависящей от способа нагружения характеристики также и для процесса касательного разрушения — „обобщенного сопротивления

среза". Обобщенные сопротивления срезу при касательном разрушении, осуществленном разными способами — путем растяжения (с учетом влияния шейки), сжатия, изгиба, кручения и обычного среза (5), — оказались весьма близкими между собой (см. таблицу).

Истинные касательные напряжения t_{\max} в момент вязкого разрушения у различных сплавов

№	Материал	Обработка	Температура испытания, °С	Величина t_{\max} при разрушении, кг/мм ²			
				при кручении сплошного цилиндра	при двойном срезе	при сжатии	при растяжении
1	Магний	Отжиг при 350°	+20	9,6	9,9	10,5	10,7
2	Магний	То же	-195	—	16,3	17,7	17,5
3	Электрон (Mg + 4% Al)	То же	+20	—	12,0	12,7	—
4	Электрон (Mg + 4% Al)	То же	-195	—	20,3	19,7	—
5	Дюралюмин	Закаленный 500° и состаренный при +20° одну неделю	+20	27,9	27,0	26,6	27,6
6	Высокопрочный алюминиевый сплав типа В-95 (на основе системы Al-Mg-Zn)	Закалка и искусственное старение	+20	34	35	34,5	36
7	Бронза	После горячей прессовки	+20	—	47,0	46,8	46,2
8	Сталь хромансиль (0,29% С, 1,12% Si, 0,98% Mn, 0,92% Cr)	Закалка в масле с 890° и отпуск при 210°, вдоль волокна	+20	114,6	113	—	—
9	То же	То же, но поперек волокна	+20	111,9	103,2	—	—
10	То же	Закалка в масле с 890° и отпуск при 510°, вдоль волокна	+20	76,1	77,0	—	—
11	То же	То же, но поперек волокна	+20	73,6	74,0	—	—

Многочисленные эксперименты, проведенные в последние годы (8—11), подтверждают правильность представлений о существовании обобщенных кривых течения (во всяком случае, при не слишком больших степенях деформации) и обобщенного сопротивления срезу. К сожалению, все эти опыты были проведены на немногих материалах, практически находившихся в состоянии физико-химического равновесия: на отожженной меди (1—3, 9), на мягкой отожженной стали с 0,2% С (10, 11) и т. д.

Как известно, в погоне за высокой прочностью в качестве конструкционных материалов в технике применяют обычно неравновесные сплавы, прочность и твердость которых повышены путем перевода их в неравновесное состояние, чаще всего путем резкой закалки и последующего неполного отпуска. Представляется весьма существенным выяснение того, насколько общие законы деформации и, в первую очередь, существование названных обобщенных характеристик справедливо для промышленных, заведомо неравновесных сплавов.

Для выяснения этого вопроса нами были поставлены опыты по проверке зависимости от способа нагружения кривой $t_{\max} = f(g_{\max})$ и сопротивления срезу t_k для различных сплавов, в частности находя-

щихся в метастабильном состоянии. Методика эксперимента и способы подсчетов приведены в предыдущих работах (12).

Результаты этих опытов* даны на рисунках 1, 2, 3, 4 и в таблице. Как видно из приведенных данных, для сплавов дюралюмин и типа В-95 постоянство обобщенных кривых удовлетворительно соблюдается до разрушения (рис. 1 и 2).

У закаленной аустенитной стали (рис. 3) удовлетворительное совпадение кривых растяжения и кручения соблюдается до весьма значительных деформаций ($g_{\max} = 90\%$). При больших деформациях кривая растяжения повышается за счет объемного напряженного состояния во внутренних частях шейки.

Существенные аномалии были обнаружены автором совместно с Т. А. Володиной (13) только для одной группы сплавов — для сталей

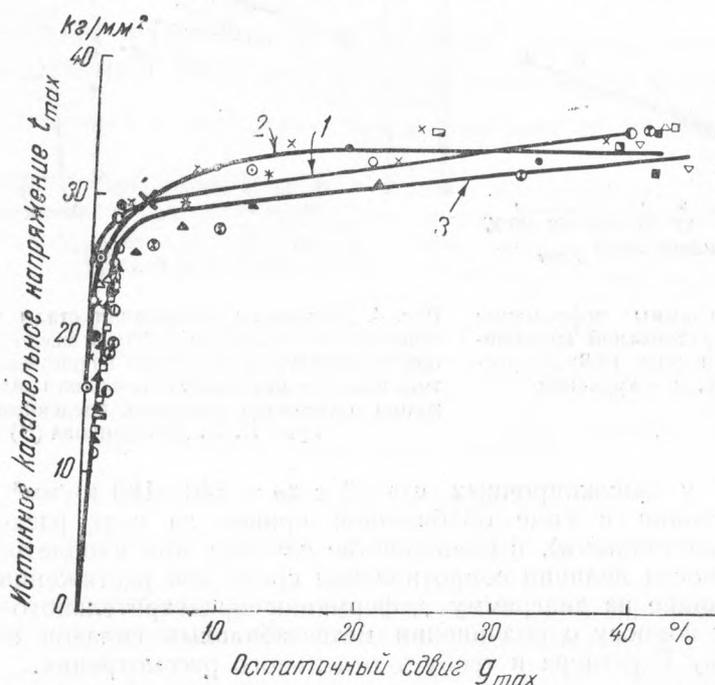


Рис. 2. Диаграммы деформации высокопрочного сплава типа В-95 (на основе системы Al—Mg—Zn); пруток после закалки и искусственного старения. Построены по данным опытов: 1—при растяжении, 2—при сжатии и 3—при кручении

с $\sigma_B > 120$ кг/мм². Как видно из рис. 4, только после отпуска при 500° ($\sigma_B = 111$ кг/мм²) и при 600° ($\sigma_B = 91$ кг/мм²) наблюдается качественное, и то весьма приближенное, соответствие между кривыми растяжения и кручения. При больших прочностях (температуры отпуска 400° и ниже) наблюдается существенное расхождение кривых по оси абсцисс (т. е. по величинам пластичности). По оси ординат, после введения поправки по Н. Н. Давиденкову (14), расхождение значительно уменьшается, но все же достигает в худшем случае — после отпуска 300° — величины 18%.

Конечно, при применении основных законов деформации следует помнить, что понятия обобщенных механических характеристик, как и другие физические законы, непосредственно применимы только к малому элементу объема или к конечному телу, находящемуся в однородном напряженном и деформированном состоянии. Этим в зна-

* Большая часть экспериментов проведена Т. А. Володиной.

чительной мере объясняются различные отклонения при сопоставлении между собой практических механических характеристик при разных способах нагружения.

Таким образом, имеющиеся экспериментальные результаты подтверждают представление о справедливости и применимости обобщенных кривых деформации $t_{\max} = f(g_{\max})$ и обобщенного сопротивления срезу t_k также и для многих метастабильных промышленных сплавов: дюралюмина, сплава типа В-95, аустенитных Cr—Ni сталей типа 18-8.

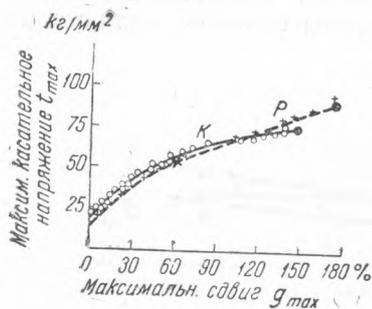


Рис. 3. Диаграммы деформации закаленной аустенитной хромоникелевой стали типа 18-8: *p* — растяжение, *k* — кручение

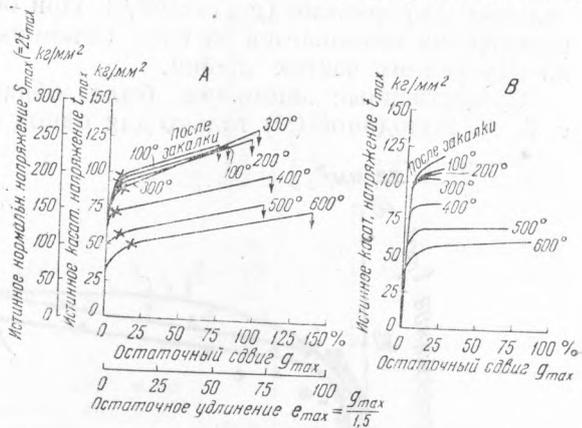


Рис. 4. Диаграммы деформации стали типа хромоникель после закалки с 880° в масло и отпуска при температурах, указанных на рисунке: *A* — растяжение, *B* — кручение. Стрелки на кривых растяжения показывают поправки, введенные по формуле Н. Н. Давиденкова⁽¹⁴⁾

Только у высокопрочных сталей с $\sigma_B = 140-180$ кг/мм² обнаружены аномалии в ходе обобщенной кривой за счет расхождения абсцисс (пластичности), в большинстве случаев при удовлетворительной сходимости величин сопротивления срезу при растяжении и кручении. Влияние на диаграмму деформации предварительного наклепа сводится к вопросу о подчинении метастабильных сплавов обобщенному закону Герстнера и требует отдельного рассмотрения.

Лаборатория физики металлов
Всесоюзного института
авиационных материалов

Поступило
22 X 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. Ludwik, *Elemente der technologischen Mechanik*, 1909. ² P. Ludwik u. R. Scheu, *Stahl u. Eisen*, **45**, Nr. 11, 373 (1925). ³ A. Nadai, *J. Appl. Physics*, **8**, No. 3, 205 (1937). ⁴ Я. Б. Фридман, *ЖТФ*, **11**, № 11, 933 (1941). ⁵ Я. Б. Фридман, *ЖТФ*, **13**, № 9—10, 502 (1943). ⁶ А. А. Ильющин, *Прикл. мат. и мех.*, **7**, № 4 (1943); **9**, № 3 (1945). ⁷ В. В. Соколовский, *Прикл. мат. и мех.*, **9** (1945). ⁸ C. McGregor and J. Hrones, *J. Appl. Mech.*, **4**, No. 4, 163 (1937). ⁹ E. Davis, *J. Appl. Mech.*, **10**, No. 4, 187 (1943). ¹⁰ E. Davis, *J. Appl. Mech.*, **12**, No. 1, 13 (1945). ¹¹ McGregor and Coffin jr., *J. Appl. Mech.*, **13**, No 1, 70 (1946). ¹² Я. Б. Фридман, *Деформация и разрушение металлов при статических и ударных нагрузках*, (1946). ¹³ Я. Б. Фридман и Т. А. Володина, *Зав. лаборатория*, **13**, № 9—10 (1946). ¹⁴ Н. Н. Давиденков и Н. И. Спиридонова, *Зав. лаборатория*, **12**, № 6 (1945).