

Ю. И. ЯГН и И. Н. ВИНОГРАДОВ

# ВЛИЯНИЕ ВИДА ДЕВИАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАСТИЧЕСКОМУ ДЕФОРМИРОВАНИЮ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 4 III 1954)

В данной работе излагаются выводы, полученные на основе испытаний металлов при сложном напряженном состоянии с различными параметрами  $\mu$ , характеризующими вид девиатора напряжений, и с различными отношениями  $K$  среднего нормального напряжения  $\sigma_k$  к интенсивности напряжений  $\sigma_i$ . Создавшиеся виды напряженного состояния представляли двухосное и трехосное сжатие с различными соотношениями между сжимающими напряжениями. Кроме того были произведены испытания на линейное растяжение и на линейное сжатие.

При всех испытаниях соблюдались условия простого нагружения. Для устранения влияния сил трения при испытаниях на различные виды сжатия применялось, как и в работе (1), многократное смазывание образцов говяжьим жиром. Результаты испытаний на линейное растяжение с начала образования шейки на образце корректировались по формуле Н. Н. Давиденкова и Н. И. Спиридоновой (2).

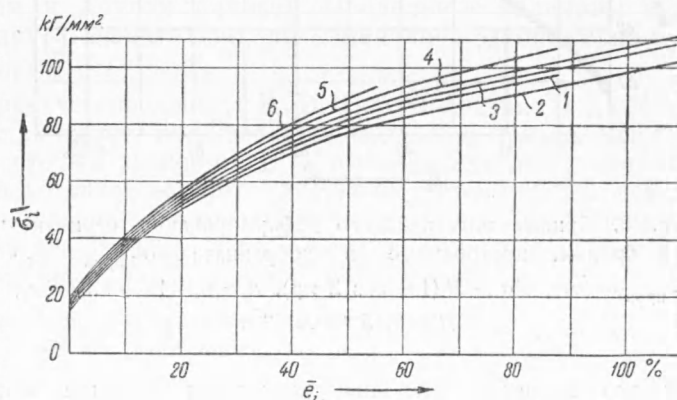


Рис. 1. Кривые пластического деформирования бериллиевой бронзы.  $\varepsilon_i$  — интенсивность истинных деформаций;  $\sigma_i$  — интенсивность истинных напряжений. 1 —  $\mu = +1$ ; 2 —  $\mu = -1$ ; 3 —  $K = -0,333$ ; 4 —  $K = +0,333$ ; 5 —  $K = -0,667$ ; 6 —  $K = -1,0$ ; 7 —  $K = -1,5$ ; 8 —  $K = -2,0$

Испытаниям подверглись бериллиевая бронза ББр2 (с закалкой в воде при  $840^\circ$ ), технически чистое железо (отожженное при температуре  $920^\circ$ ) и алюминиевая бронза БрАЖМц 10-3-1,5 (с закалкой в воде при  $980^\circ$ ).

Для всех испытанных металлов между кривыми пластического деформирования металлов получились расхождения, связанные с изменением как отношения  $K = \bar{\sigma} / \bar{\sigma}_i$ , так и вида девиатора напряжений, если он характеризуется значениями  $\mu$ , отличными от  $\pm 1$  и 0.

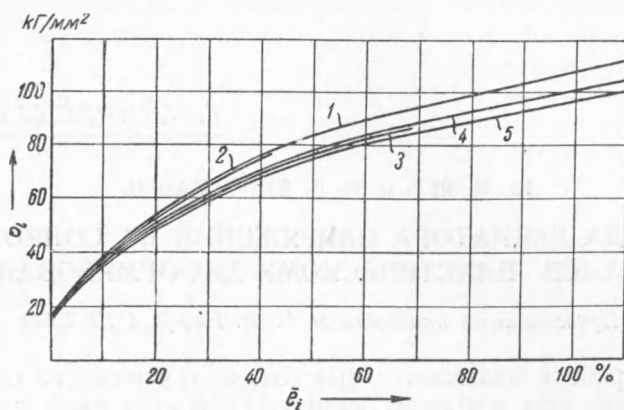


Рис. 2 Кривые пластического деформирования бериллиевой бронзы.  $\bar{\sigma} / \bar{\sigma}_i = K = -1$ . 1 —  $\mu = -1$ ; 2 —  $\mu = 0$ ; 3 —  $\mu = -0,25$ ; 4 —  $\mu = -0,75$ ; 5 —  $\mu = -0,5$

О характере расхождения между кривыми дают представления рис. 1 и 2, относящиеся к бериллиевой бронзе, для которой получились наибольшие расхождения между кривыми.

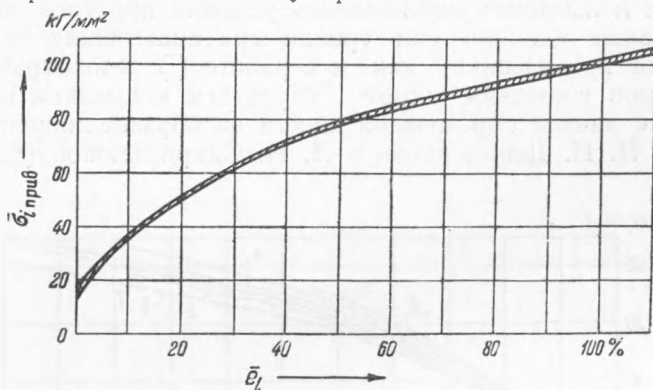


Рис. 3. Кривые пластического деформирования бериллиевой бронзы, построенные в координатах  $\bar{\sigma}_i \text{ прив} - \bar{\epsilon}_i$ .  
 $\bar{\sigma}_i \text{ прив} = \bar{\sigma}_i + A\bar{\sigma} + B(1 - \cos 2\pi\mu)$ ,  $A = 0,0415 + 0,0347 \bar{\epsilon}_i$ ,  
 $B = 5,45 + 0,0136 \bar{\sigma}$

Для каждого металла все получившиеся кривые могут быть практически сведены в одну кривую, если ввести приведенную интенсивность напряжений по формуле

$$\bar{\sigma}_i \text{ прив} = \bar{\sigma}_i + A\bar{\sigma} + B(1 - \cos 2\pi\mu) = f(\bar{\epsilon}_i), \quad (1)$$

где  $f(\bar{\epsilon}_i)$  — функция интенсивности деформации  $\bar{\epsilon}_i$ , представляющая изменения  $\bar{\sigma}_i$  при  $\bar{\sigma} = 0$  и при  $\mu$ , равном одному из указанных значений:  $\pm 1$  или 0;  $A$  и  $B$  — коэффициенты, положительные для бериллиевой бронзы и технически чистого железа и отрицательные для алюминиевой бронзы. Коэффициент  $A$  для технически чистого железа и алюминиевой бронзы, как это получилось и в работе (1),

может считаться постоянным, а для бериллиевой бронзы он изменяется приблизительно линейно в зависимости от  $\bar{e}_i$ . Коэффициент  $B$  для всех трех металлов изменяется приблизительно линейно в зависимости от  $\sigma$ . На рис. 3 показана узкая полоска, в пределах которой распределяются все 22 кривые, построенные по испытаниям бериллиевой бронзы в координатах  $\sigma_i$  прив —  $\bar{e}_i$ .

При испытаниях бериллиевой бронзы и технически чистого железа наблюдалось нарушение подобия девиаторов напряжений и деформаций, которое приблизительно может быть аппроксимировано зависимостью

$$\nu = \mu - (\alpha + \beta K) \sin \pi \mu,$$

где  $\nu$  — известный параметр, характеризующий вид девиатора деформаций (аналогичный параметру  $\mu$  для вида девиатора напряжений);  $\alpha$  и  $\beta$  — положительные постоянные коэффициенты. Получившийся характер зависимости между  $\nu$  от  $\mu$  отвечает приведенным в литературе данным <sup>(3)</sup>. Однако наличие влияния со стороны отношения  $\sigma$  к  $\sigma_i$  не было ранее отмечено.

Деформация алюминиевой бронзы во всех случаях происходила с сохранением подобия девиаторов.

Принимая во внимание, что у алюминиевой бронзы при различных видах девиатора получаются достаточно значительные изменения величин  $\sigma_i$ , можно констатировать, что между зависимостью  $\sigma_i$  от вида девиатора напряжений и явлениями нарушения подобия девиаторов напряжений и деформаций прямой связи не существует.

Испытания алюминиевой бронзы во всех случаях заканчивались разрушением, носившим характер среза по плоскостям, наклоненным приблизительно под  $45^\circ$  к направлениям  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ . Величины  $\sigma_i$ , относящиеся к стадии разрушения, отклонялись от среднего своего значения в пределах 5%, а разности крайних главных напряжений давали отклонения от среднего до 8% (без учета линейного растяжения в том и другом случае). Предельные величины  $\bar{e}_i$  отличались друг от друга значительно, но изменялись закономерно в зависимости от значений  $\sigma$  и  $\mu$ .

Проверка установленных В. В. Новожиловым <sup>(4)</sup> дифференциальных зависимостей между обобщенными модулями при линейной деформации показала, что эти зависимости не выполняются при пластическом деформировании, когда существует влияние на сопротивление деформированию со стороны среднего нормального напряжения. Во всяком случае, отпадают дифференциальные зависимости, содержащие частные производные по первому инварианту тензора напряжений.

Ленинградский политехнический институт  
им. М. И. Калинина

Поступило  
25 I 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Ю. И. Ягн, И. А. Чаплинский, ДАН, 90, № 6 (1953). <sup>2</sup> Н. Н. Давиденков, Н. И. Спиридонова, Зав. лаб., № 6 (1945). <sup>3</sup> Теория пластичности, Сборн. ст. под ред. Ю. Н. Работнова, 1948. <sup>4</sup> В. В. Новожилов, Прикладн. матем. и мех., 15, в. 2 и 6 (1951).