

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ТВЕРДОСТЬЮ, НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ДВУХОСНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Г. Д. ДЕЛЬ, К. Н. ЦУКУБЛИНА, И. Н. ТЕМНИК

(Представлена научным семинаром лаборатории пластических деформаций)

Метод исследования пластических деформаций измерением твердости [1, 2] основан на предположении о существовании единой для различных видов напряженных состояний и путей нагружения зависимости между интенсивностью напряжений и твердостью пластически деформированного металла. Экспериментально обоснованию возможности определения интенсивности напряжений и деформаций в общем случае пластического деформирования по твердости из тарировочного графика, построенного по результатам испытания материала на растяжение, сжатие, посвящена работа [3]. Однако в ней результаты получены при сравнительно небольших пластических деформациях.

В настоящей статье изложены результаты исследования связи между интенсивностью напряжений, твердостью и интенсивностью деформаций в области больших пластических деформаций. Испытание образцов проводилось по методике, предложенной в работах [4], [5]. Сущность методики заключается в следующем. Два сплошных цилиндрических образца различных диаметров нагружаются осевой силой и крутящим моментом. Предполагается, что различие в диаметрах достаточно мало, а сила и момент для обоих образцов меняются по одному закону. По результатам испытания строятся графики зависимости крутящего момента и осевого усилия от сдвига на поверхности или удлинения.

Затем, вычитая из крутящего момента и осевого усилия, приложенных к образцу большего диаметра, соответствующие нагрузки, действовавшие на меньший образец в момент, когда деформации на поверхности стержней были одинаковыми, определяют  $M'$  и  $P'$  на условную трубку, дополняющую образец меньшего диаметра до большего образца. Напряжения на поверхности стержней считаются при этом одинаковыми и определяются по  $M'$  и  $P'$  так же, как и при испытании трубок

$$\sigma_z = \frac{P'}{\pi(R_0^2 - R_M^2)}, \quad \tau = \frac{M'}{2\pi(R_0 - R_M)R_0^2},$$

где  $R_0$  и  $R_M$  — соответственно радиусы большего и меньшего образцов,  $R_0 = \frac{R_0 + R_M}{2}$  — средний радиус трубки. Продольная деформация,

логарифмический сдвиг и угол сдвига на поверхности определяются соответственно

$$e_z = \ln \frac{l}{l_0},$$

$$q = \ln \left[ 1 + \frac{\gamma}{2} (\gamma + \sqrt{4 + \gamma^2}) \right],$$

$$\gamma = \frac{4\pi}{180l} \cdot R_0 \sqrt{\frac{l_0}{l}},$$

где  $l_0$  — первоначальная длина,  $l$  — длина рабочей части образца. Интенсивность напряжений определялась по формуле

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}.$$

Интенсивность деформаций

$$e_t = \sqrt{e_z^2 + \frac{q^2}{3}}.$$

Методика обоснована для случая простого нагружения, при этом предполагалось, что поперечные сечения деформируемых образцов считаются плоскими и радиусы прямыми.

Испытано по 6 пар образцов из четырех материалов (сталь X18 Н9Т, Ст 3, медь, латунь Л62). Заготовки образцов одного материала отрезались от единого прутка и после механической обработки были подвергнуты рекристаллизационному отжигу. Последующая разбраковка образцов проводилась по твердости.

Перед испытанием вдоль образующей была проведена риска и две кольцевые засечки, фиксирующие исходную длину. Твердость  $H_V$  в исходном состоянии, как и после каждой ступени нагружения, измерялась в двух точках цилиндрической поверхности шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 500 кг при испытании сталей и 250 кг — при испытании меди и латуни. Диаметры отпечатков измерялись на инструментальном микроскопе.

Испытание проводилось на машине ZDMU-30 путем нагружения растягивающей силой и крутящим моментом. На каждой ступени деформации после разгрузки измерялись текущие размеры  $l$ ,  $d$  и твердость.

Реализовано плоское напряженное состояние с отношением главных напряжений  $n = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ , равным  $n=0$  (растяжение),  $n=-0,2$ ;  $n=-0,4$ ;

$n=-0,6$ ;  $n=-0,8$  и  $n=-1$  (кручение).

Результаты экспериментов представлены на рис. 1, 2, 3, 4.

Отклонения точек, соответствующих двухосному напряженному состоянию, от тарировочной кривой не превышают  $\pm 15\%$  у графиков, связывающих твердость — интенсивность напряжений, и  $\pm 20\%$  у кривых, связывающих твердость — интенсивность деформаций, построенных по результатам испытания сталей. У цветных металлов отклонения экспериментальных точек, соответствующих двухосному напряженному состоянию, от тарировочной кривой несколько больше. Однако разброс имеет случайный характер и в значительной мере объясняется, по-видимому, неточностью определения напряжений.

Таким образом, полученные результаты показывают, что связь между твердостью при вдавливании, интенсивностью напряжений и деформацией практически не зависит от вида напряженного состояния.

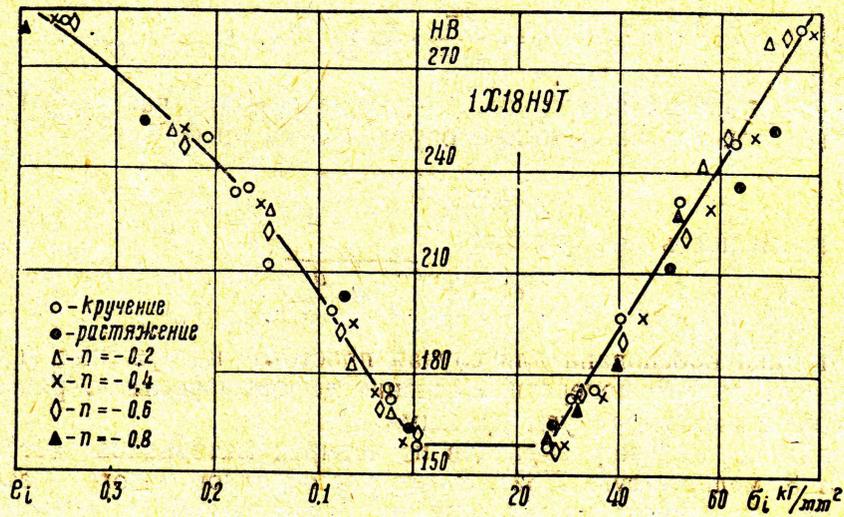


Рис. 1. Связь между твердостью, напряжениями и деформацией в условиях двухосного напряженного состояния для нержавеющей стали X18H9T

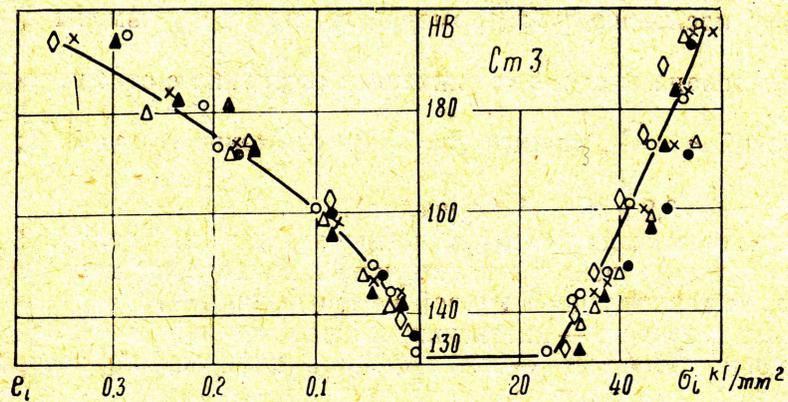


Рис. 2. Связь между твердостью, напряжениями и деформацией в условиях двухосного напряженного состояния для стали 3

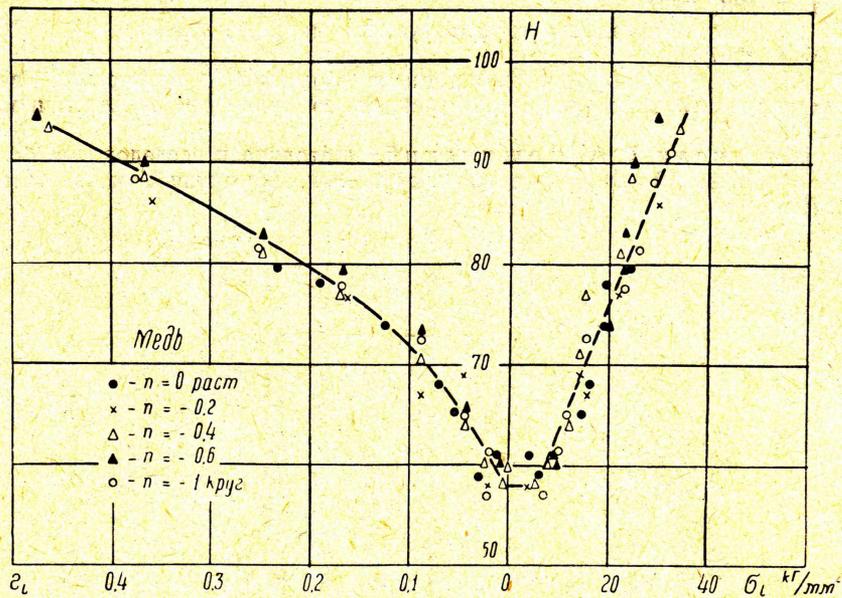


Рис. 3. Связь между твердостью, напряжениями и деформацией в условиях двухосного напряженного состояния для меди

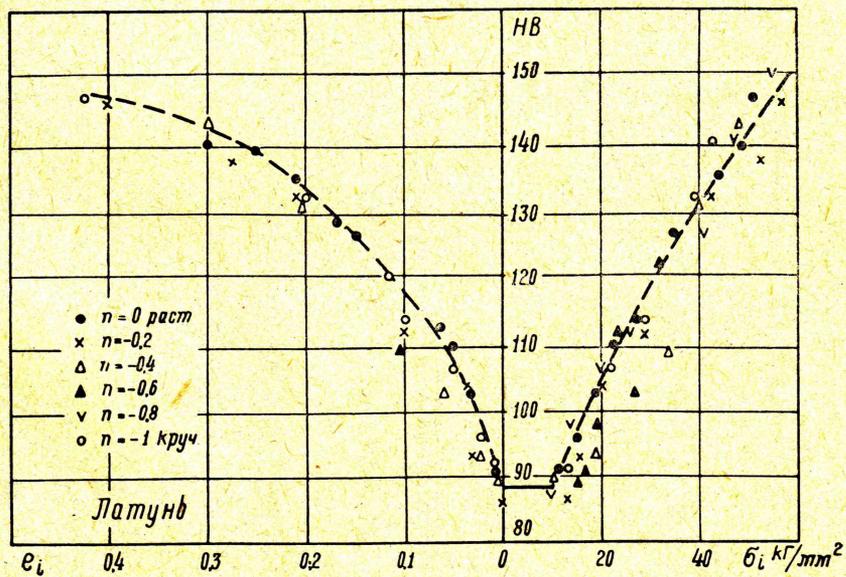


Рис. 4. Связь между твердостью, напряжениями и деформацией в условиях двухосного напряженного состояния для латуни

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Смирнов-Аляев. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Машгиз, 1961.
  2. Г. Д. Дель. Исследование пластической деформации измерением твердости. Изв. ТПИ, т. 138, 1965.
  3. Г. Д. Дель. Твердость деформируемого металла. Известия АН СССР, «Металлы», № 4, 1967.
  4. В. И. Максак. Метод исследования больших пластических деформаций. Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по прочности и пластичности, изд-во «Наука», М., 1967.
  5. В. И. Максак, Г. А. Дощинский. Методика и исследование больших пластических деформаций при простом нагружении. Известия Томск. политехн. ин-та, т. 173, 1970.
-