

## ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ТВЕРДОСТЬЮ И НАПРЯЖЕНИЕМ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА

Ю. С. БОГОМОЛОВ, Г. Д. ДЕЛЬ, Л. М. СЕДОКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

В практике исследования пластической деформации широко используется метод измерения твердости [1, 2, 3]. Зная твердость в различных точках деформированного тела и располагая графиком, связывающим твердость с напряжениями и деформациями, можно получить представление о напряженно-деформируемом состоянии исследуемого тела.

Для получения тарировочных графиков «твердость — напряжение» и «твердость — деформация» необходимо измерять твердость на различных стадиях деформации тела, напряженно-деформированное состояние которого известно. Достаточно надежно можно охарактеризовать напряженно-деформированное состояние в простейших случаях: 1) при растяжении, 2) сжатии и 3) кручении.

Методика построения диаграмм зависимости твердости деформируемого тела от величины напряжений и деформаций в каждом перечисленном случае имеет свои особенности и трудности.

При получении тарировочных графиков по результатам испытания на растяжение ряд образцов из исследуемого материала растягивается до различных степеней деформации (некоторые доводятся до разрушения). На деформированных образцах снимаются лыски, на которых измеряется твердость в различных точках вдоль образца. Величина интенсивности деформации, соответствующая этой твердости, определяется по диаметру  $d$  поперечного сечения, проходящего через точку, в которой измерялась твердость

$$e_i = 2 \ln \frac{d_0}{d}, \quad (1)$$

где  $d_0$  — начальный диаметр образца.

Интенсивность напряжения определяется по деформирующей силе  $P$  для данного поперечного сечения

$$\sigma_i = \frac{4P}{\pi d^2}. \quad (2)$$

Параллельно может производиться измерение твердости в поперечных сечениях образца.

Размеры образцов и чистота поверхности определяются способом измерения твердости: микро- или макро-твердость.

Описанная методика дает достаточно удовлетворительные результаты при небольших деформациях. С появлением шейки напряженное



состояние уже не является линейным, что должно быть учтено при определении интенсивности напряжений [4], и в значительной мере усложняет методику построения тарировочного графика по результатам растяжения.

Однако и при измерении твердости в шейке образца нельзя получить по результатам растяжения тарировочные графики для значительных деформаций, что является основным недостатком данного способа.

При получении тарировочной зависимости «твердость — напряжение» и «твердость — деформация» по результатам испытаний на осевое сжатие возникает целый ряд трудностей, связанных с наличием трения на торцах. Трение между торцами образца и плитами прессы приводит к повышению деформирующей силы, к неравномерности деформированного состояния по объему образца, внешним проявлением которого является бочкообразность.

Существуют различные приемы уменьшения влияния трения на результаты испытаний. Наиболее эффективным путем является уменьшение трения смазкой торцов сжимаемого образца. В качестве смазки используется паста из глицерина и коллоидального графита, свинцовые прокладки и т. п.

На результаты испытания при сжатии существенное влияние оказывает отношение высоты образца к его диаметру. Это отношение на основании анализа кривых сжатия, полученных М. А. Большаниной [5], рекомендуется брать около 2. Применение образцов с еще большим отношением высоты к диаметру приводит к потере устойчивости образца при его пластическом деформировании.

В ходе пластической деформации указанное отношение уменьшается. Поэтому образцы подвергаются периодической обточке по наружному диаметру. Таким путем можно построить тарировочный график в области весьма значительных деформаций ( $e_i$  составляет несколько единиц). Это является основным достоинством изложенной методики.

В случае сжатия без смазки по объему испытуемых образцов напряженное состояние будет неоднородным. Это значительно усложняет методику испытания. Из исследуемого материала изготавливается ряд образцов, каждый из которых сжимается до определенной величины деформации, затем разрезается перпендикулярно оси в среднем сечении. В различных точках сечения измеряется твердость. Интенсивность напряжений определяется по формуле

$$\sigma_i = \frac{P}{F_0} (1 - \varepsilon_{сж}), \quad (3)$$

где  $P$  — нагрузка в кг;  
 $F_0$  — площадь первоначального сечения в мм<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{сж} = \frac{\Delta h}{h}$  — относительная деформация при сжатии.

Интенсивность деформаций

$$e_i = \ln \frac{h_0}{h}. \quad (4)$$

Здесь  $h_0$  — первоначальная высота образца до деформирования в мм;  
 $h$  — текущая высота образца в мм.

Тарировочный график можно также построить по результатам испытания на кручение. Цилиндрический образец радиуса  $R$  закручивается до определенной величины удельного угла закручивания  $\Theta$ .



По нему определяется сдвиг в наружном слое образца  $\gamma = \Theta R$ , а по последнему логарифмический сдвиг [6]

$$g = \ln \left[ 1 + \frac{\gamma}{2} \left( \gamma + \sqrt{4 + \gamma^2} \right) \right]. \quad (5)$$

Интенсивность деформаций  $e_i = \frac{1}{\sqrt{3}} g$ .

Касательное напряжение определяется по крутящему моменту  $M$  из соотношения [5]

$$\tau = \frac{3}{2\pi R^3} \left( M + \frac{1}{3} \gamma \frac{dM}{d\gamma} \right). \quad (6)$$

Интенсивность напряжений  $\sigma_i = \sqrt{3} \tau$ .

В нескольких точках (10—15) по наружному диаметру измеряется твердость.

На рис. 1 приведены тарировочные графики для ряда материалов, построенные по результатам испытания на кручение. Как видно из графиков, разброс экспериментальных точек весьма незначителен.

Наибольшая деформация в этом случае ограничивалась разрушением: для ст. Х13 и ШХ15 она равна 0,6 и для ст. Х81Н9Т около 1,0.

На рис. 1 приведены спаренные графики [2]. Если принять условие независимости связи интенсивности напряжений и деформаций от на-

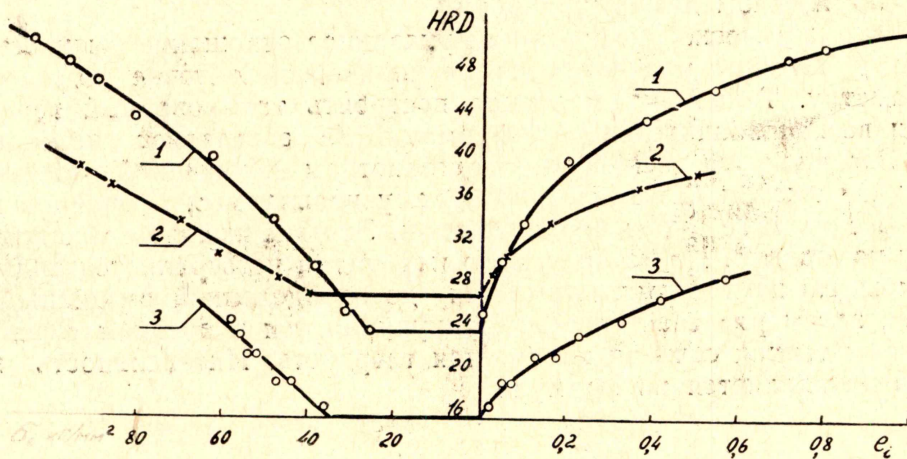


Рис. 1. Спаренные тарировочные графики:  
1 — X18N9T, 2 — ШХ15, 3 — X13

пряженно деформированного состояния, то полученные тарировочные графики будут общими для всех случаев деформирования.

Для сопоставления различных способов получения зависимости «твердость — напряжение» приводится рис. 2, где нижняя кривая построена по результатам испытания на кручение, а верхняя — по результатам испытания на осевое сжатие без смазки с измерением твердости на торцах образца.

Как видно из графиков (рис. 2), начальные участки кривых (до твердости  $HRD=40$ ) незначительно отличаются друг от друга. Значения интенсивности напряжения по тарировочному графику, полученному при сжатии, больше соответствующих значений интенсивности напряжения по тарировочному графику, построенному при кручении, на 15%. При большей величине твердости эта разница существенно возрастает и при  $HRD=54$  составляет около 35%.



Необходимо отметить и значительный разброс результатов при построении тарировочного графика «твердость — интенсивность напряжений» при сжатии (рис. 2), лежащий в пределах  $\pm 15-20\%$ .

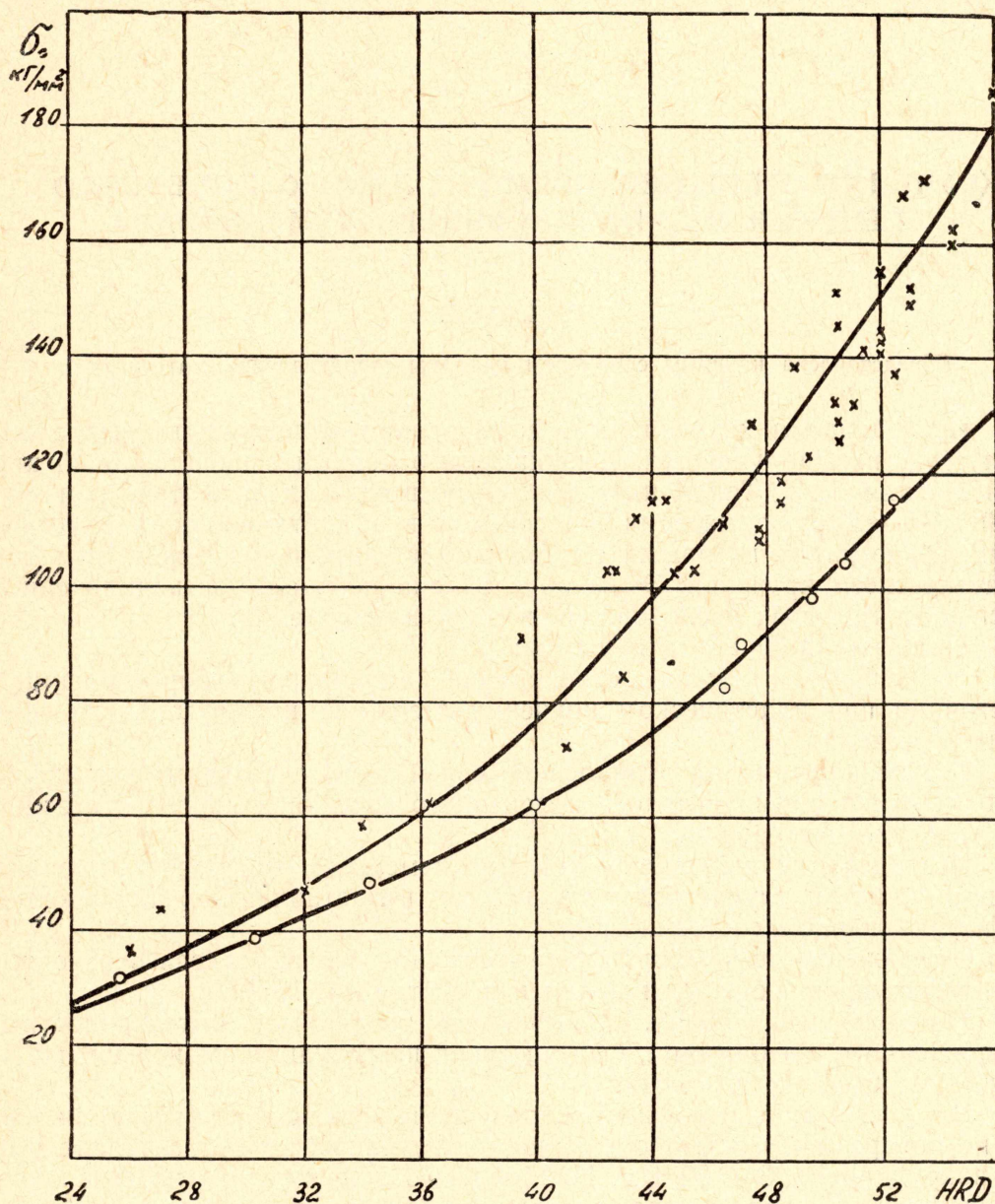


Рис. 2. Сопоставление тарировочных графиков по результатам испытания на осевое сжатие и кручение

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. Бриджмен. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. Изд. иностр. лит., 1955.
2. Г. А. Смирнов-Аляев. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Машгиз, 1961.
3. А. М. Розенберг и Л. А. Хворостухин. Твердость и напряжение в пластически деформированном теле. Журнал технической физики, том XXV, 1955, вып. 2.
4. Н. Н. Давиденков, Н. И. Спиридонова. Анализ напряженного состояния в шейке растянутого образца. Заводская лаборатория, № 6, 1945.
5. В. Д. Кузнецов. Физика твердого тела. Т. 2, Томск, 1941.
6. А. Надаи. Пластичность и разрушение твердых тел. Изд. иностр. лит., 1954.