

УДК 620.178.152.4

**ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТВЕРДОСТИ****В. М. Матюнин**

Московский энергетический институт — Технический университет, Москва, Россия

Анализируются понятия твердости как свойства материалов и метода твердости как способа механических испытаний. Получены диаграммы вдавливания индентора в упругой и упругопластической областях деформирования материалов при ступенчатом и непрерывном нагружении индентора. Дано обоснование связи характеристик твердости при вдавливании индентора с напряжениями при растяжении образца. Предложены методы оперативной оценки механических свойств материалов по характеристикам твердости. Разработаны переносные приборы для испытаний материалов непосредственно в изделиях и оценке механических свойств без их разрушения.

Твердость как свойство материалов, метод твердости как один из видов их механических испытаний, способы и средства измерения твердости, а также связь твердости с другими физико-механическими свойствами с давних пор привлекали внимание многих исследователей — теоретиков и практиков. Главное достоинство метода твердости заключается в возможности ускоренной оценки некоторых показателей механических свойств металла готовых изделий без их разрушения. Поэтому этот метод получил еще другое название — безобразцовый метод оценки механических свойств по характеристикам твердости. В отличие от неразрушающих физических

методов контроля дефектов материалов безобразцовый метод предусматривает локальное механическое воздействие индентора на материал, в результате чего оценивается его сопротивление упругопластическому деформированию.

Вследствие этого безобразцовый метод в более широком понимании можно называть методом инденторных механических испытаний.

В общем случае существующие методы инденторных механических испытаний можно подразделить на методы, основанные на вдавливании индентора вертикальной нагрузкой, царапании индентором горизонтальной нагрузки и отскоке закаленного шара от испытываемой поверхности металла. Наибольшее распространение в технике получили методы вдавливания инденторов различной геометрической формы.

В настоящее время основным назначением инденторных испытаний является измерение твердости материалов. Существуют различные способы и приборы для измерения твердости [1]. Однако измеряемые значения твердости являются условными, так как зависят от физико-механических свойств материалов, условий нагружения и способа подсчета получаемых характеристик. Следует отметить, что понятие твердости пока не имеет полного и четкого определения. Известны попытки заменить понятие твердости каким-либо иным понятием с более ясным физическим смыслом. Физическое содержание понятия любой величины, в том числе и твердости, раскрывается путем установления ее функциональных связей с другими величинами. Так, согласно [2], твердость отождествляется с поверхностной энергией твердого тела, а в работе [3] рассматриваются эмпирические зависимости между твердостью и другими физическими константами, например модулем сдвига. Но эти подходы не привели к общепризнанным понятиям твердости, хотя и убедительно дополняют их с позиций физики твердого тела.

В области механики твердого тела, пользуясь теорией упругости, Г. Герц, решив задачу о сдавливании двух изотропных тел, ограниченных идеально жесткими поверхностями, предложил понятие "абсолютной" твердости. Под "абсолютной" твердостью он понимал контактное напряжение, при котором в теле появляются первые пластические деформации. Исследования Г. Герца имеют большое научно-практическое значение при решении задач упругости контакта твердых тел. По мнению Н. Н. Давиденкова, это понятие "абсолютной" твердости имеет смысл твердости на пределе упругости (пропорциональности). Однако определение твердости на пределе упругости весьма проблематично и требует специальных методических разработок и приборного обеспечения.

М. П. Марковец [4] предложил понятие твердости на пределе текучести, которая соответствует контактному напряжению при достижении остаточной деформации, равной 0,2 %. Это стало возможным после того, как им был разработан способ оценки пластической деформации при вдавливании индентора. Располагая таким способом, можно определить значение твердости для любой другой заданной пластической деформации.

При внедрении индентора в хрупкий материал на его поверхности могут возникать трещины, и в этом случае твердость можно рассматривать как характеристику сопротивления хрупкому разрушению.

Поэтому в соответствии с изложенным выше и принимая во внимание терминологию испытаний и механических свойств материалов [5], можно дать следующее, более точное определение твердости: твердость — это свойство материалов оказывать сопротивление при местном контактом воздействии упругопластической деформации или хрупкому разрушению в поверхностном слое при определенных условиях испытаний.

В технике в основном используются числа твердости, определяемые по методам Бринелля (НВ), Виккерса (НV) и Роквелла (НR). Согласно этим методам вдавливание индентора той или иной формы производится под регламентированной нагрузкой, а измеряемые значения твердости соответствуют разным степеням пластической деформации в зависимости от формы и размеров индентора. Указанные числа твердости, определяемые в соответствии с действующими ГОСТами, широко используются для контроля качества материалов и изделий в процессе их производства и обработки различными способами, а также для оценки изменения структурно-механического состояния в процессе их эксплуатации.

Однако, отмечая несомненную полезность и важное практическое значение чисел твердости, следует указать на их недостаточную информативность в отношении кинетики деформирования и возможности косвенной количественной оценки показателей прочности и пластичности материалов. Так, например, для некоторых марок сталей аустенитного и перлитного классов при близких значениях чисел твердости, определенных стандартными методами, значения пределов текучести, прочности и особенно предельной равномерной деформации могут существенно различаться. Это объясняется тем, что указанные числа твердости представляют лишь конечный результат контактного воздействия индентора под заданной нагрузкой и не отражают поведение материала на разных стадиях упругопластического деформирования.

Более полную информацию о кинетике деформирования, параметрах упрочнения и физико-механических свойствах материалов можно получить путем регистрации диаграмм вдавливания при ступенчатом и непрерывном нагружении индентора. Более того, диаграммы вдавливания являются основой для разработки методов безобразцового определения механических свойств материалов по характеристикам твердости.

Диаграммы вдавливания можно подразделить на первичные, в координатах "нагрузка — абсолютный геометрический параметр отпечатка" и производные от первичных, в координатах "напряжение — относительный геометрический параметр отпечатка". В качестве геометрического параметра обычно используют диаметр или глубину отпечатка. Упругий участок диаграммы вдавливания можно получить регистрируя геометрический параметр невосстановленного отпечатка, т. е. под нагрузкой. Одним из способов получения диаграмм вдавливания в области упругой деформации является способ испытаний прозрачным индентором, при котором возможно прямое измерение диаметра невосстановленного отпечатка микроскопом [4].

На рис. 1, а представлены диаграммы вдавливания, полученные по диаметру невосстановленного отпечатка d при постепенном возрастании нагрузки вдавливания P в области упругой и малой упругопластической деформации при испытании алюминиевого сплава АМц и стали 10 прибором МЭИ-Т9, снабженным прозрачным индентором из оптического стекла. Диаграммы изображены в координатах " $P-d$ " и " $\ln P - \ln d$ ", что объясняется следующим. Согласно исследованиям Г. Герца, зависимость P от d в упругой области имеет следующий вид

$$P = \frac{1}{6R \left(\frac{1 - \mu^2}{E} + \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} \right)} d^3, \quad (1)$$

где R — радиус шара; μ и μ_1 — коэффициенты Пуассона; E и E_1 — модули нормальной упругости испытуемого материала и материала индентора.

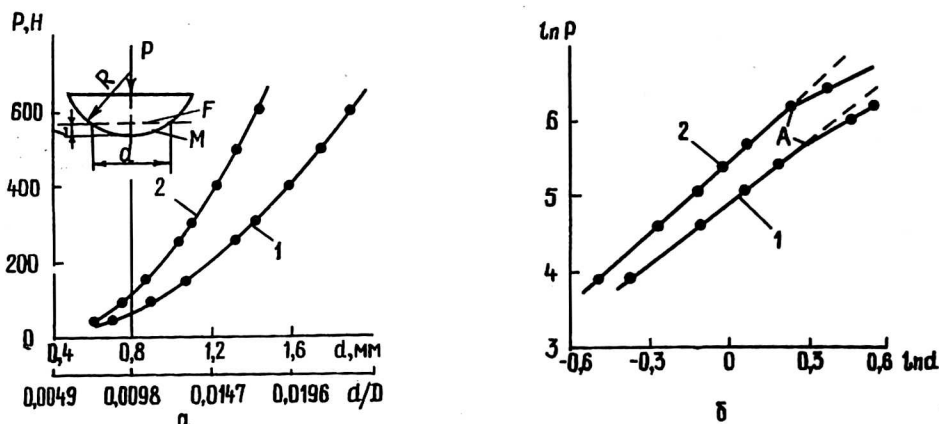


Рис. 1. Диаграммы вдавливания " $P-d$ " (а) и " $\ln P-\ln d$ " (б), полученные по диаметру невосстановленного отпечатка в области упругой и малой упругопластической деформации.

Материалы:

1 — АМц; 2 — сталь 10. Индентор — сфера из оптического стекла, $D = 81,3$ мм

При переходе от упругой деформации к упругопластической показатель степени в выражении (1) уменьшается, что должно отразиться на диаграмме вдавливания. Однако этот факт слабо заметен на диаграмме " $P-d$ ", но более наглядно подтверждается на диаграмме " $\ln P-\ln d$ " в виде точки перелома А (рис. 1, б). Эта точка соответствует нагрузке $P_{уп}$ и диаметру отпечатка $d_{уп}$ на пределе упругости. Таким образом, рассматриваемый способ получения диаграмм вдавливания является одновременно и способом определения твердости на пределе упругости. Для этого достаточно подставить в формулу для подсчета твердости координаты точки перелома $P_{уп}$ и $d_{уп}$. Если твердость на пределе упругости рассчитывать по методу Бринелля как отношение нагрузки $P_{уп}$ к поверхности отпечатка $M_{уп}$ ($H_{Bуп}$) или по методу Мейера как отношение нагрузки $P_{уп}$ к площади круга $F_{уп}$ диаметром $d_{уп}$ ($H_{Mуп}$), то значения твердости, полученные по обоим методам, будут практически равны вследствие незначительного отличия $M_{уп}$ от $F_{уп}$ при относительно малой глубине вдавливания (см. рис. 1, а)

$$H_{Bуп} \approx H_{Mуп} \approx P_{уп}/M_{уп} \approx P_{уп}/F_{уп}.$$

Однако получить указанным способом диаграммы вдавливания по параметрам невосстановленного отпечатка в области развитых упругопластических деформаций невозможно, так как для этого необходимы большие нагрузки вдавливания, которые приводят к разрушению стеклянного индентора. Поэтому с этой целью целесообразно использовать малые твердосплавные шарики диаметром 1,0—2,5 мм, нагружая которые относительно небольшими нагрузками возможно получить диаграммы вдавливания в области больших упругопластических деформаций.

На рис. 2, а представлены первичные диаграммы вдавливания для двух марок стали, полученные по диаметру восстановленного отпечатка в координатах " $P-d$ ", а на рис. 2, б — по глубине восстановленного отпечатка h в координатах " $P-h$ ". Диаграммы " $P-d$ " получены на приборе МЭИ-Т7, а диаграммы " $P-h$ " — на приборе МЭИ-Т12 [6]. На диаграммах отсутствует

упругий участок, а их начало соответствует нагрузке вдавливания, при которой отношение диаметра восстановленного отпечатка d к диаметру шарика D примерно равно 0,1.

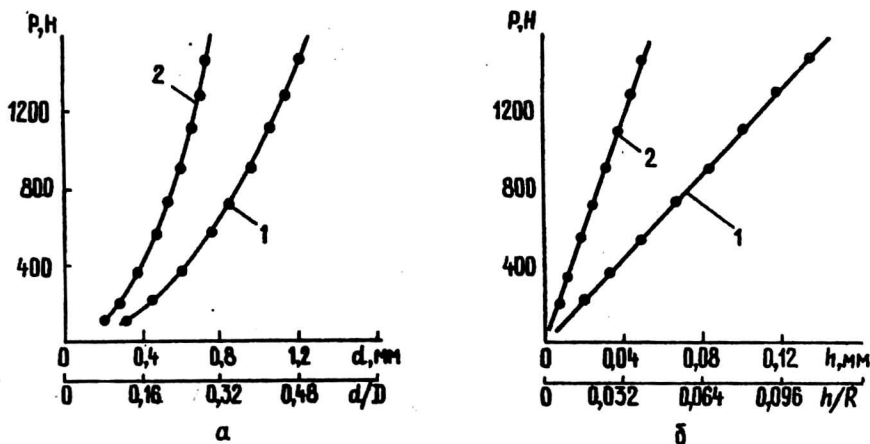


Рис. 2. Диаграммы вдавливания “ $P-d$ ” и “ $P-h$ ”, полученные по диаметру (а) и глубине (б) восстановленного отпечатка в области пластической деформации.

Материалы:

1 — сталь 20; 2 — 35ХВФЮА. Индентор — твердосплавный шарик, $D = 2,5$ мм

Диаграммы “ $P-d$ ” достаточно точно аппроксимируются известным уравнением Е. Мейера

$$P = ad^n \text{ или } P/D^2 = A (d/D)^n, \quad (2)$$

где a — постоянный коэффициент для данного материала, зависящий от D ;

n — показатель упрочнения материала, не зависящий от D ;

$A = aD^{n-2}$ — константа материала.

Показатель упрочнения n легко определяется по результатам двух вдавливаний индентора

$$n = \ln (P_1/P_2) / \ln (d_1/d_2),$$

где P_1 и P_2 — произвольные нагрузки вдавливания; d_1 и d_2 — диаметры остаточных отпечатков, соответствующие этим нагрузкам.

Диаграммы “ $P-h$ ” имеют прямолинейный вид, что было использовано при разработке метода определения пластической твердости НД, а также для расчета геометрических параметров контакта гладких тел в области упругопластической деформации [7].

Рассмотренные выше первичные диаграммы вдавливания (см. рис. 2) получены при ступенчатом нагружении индентора, так как для каждой ступени нагружения необходимо было измерять нагрузку и геометрический параметр отпечатка. Эти диаграммы не отражают процесс деформирования металла во времени, что можно обеспечить при непрерывном вдавливании индентора, а это в свою очередь открывает возможность автоматизации испытаний.

Интенсивное исследование диаграмм непрерывного вдавливания началось в нашей стране в конце 60-х годов этого столетия, причем приоритет отечественной науки в этой области бесспорен. Большинство опубликованных работ содержит результаты испытаний микровдавливанием с регистрацией кинетических диаграмм в координатах "нагрузка — глубина внедрения индентора". Несомненным достоинством микровдавливания являются высокая локальность и возможность испытания тонких слоев металла и даже отдельных ее зерен [8].

Однако, не менее перспективными являются диаграммы непрерывного макровдавливания, в процессе получения которых в упругопластическую деформацию вовлекается гораздо больший объем металла, в результате чего имеется возможность оценить усредненные показатели механических свойств, аналогично испытаниям макрообразцов сжатием или растяжением [9].

На рис. 3 представлены первичные диаграммы непрерывного макровдавливания для двух марок стали. Диаграммы получены на автоматизированном приборе МЭИ-Т7А, разработанном в МЭИ (рис. 4). Диаграммы содержат ветви нагружения и разгрузки, что дает возможность оценить восстановленную глубину полученного отпечатка. Строго говоря, эти диаграммы зарегистрированы в координатах "нагрузка P — упругопластическое сближение α ". Под α понимается полное упругопластическое сближение шара с поверхностью испытуемого материала, состоящее из упругой деформации материала и шара, пластической деформации материала (при условии учета упругой податливости звеньев прибора). Если известны упругие константы E и μ испытуемого материала и материала индентора, то используя решение Г. Герца можно рассчитать как общее упругое сближение, так и отдельно упругую деформацию шара и материала, а также глубину невозстановленного отпечатка t .

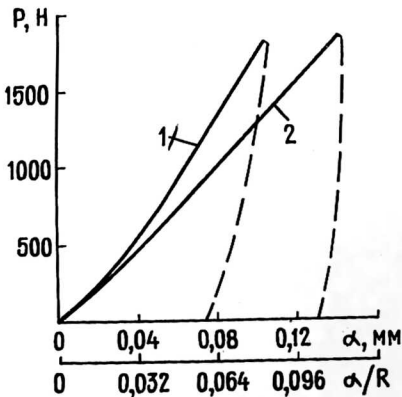


Рис. 3. Диаграммы непрерывного вдавливания, полученные на приборе МЭИ-Т7А
Материалы: 1 — сталь 20X13; 2 — 10X18N10T. Индентор — твердосплавный шарик, $D = 2,5$ мм. Сплошная линия соответствует нагружению, пунктирная — разгрузению

В упругой области вдавливания связь нагрузки P с общим упругим сближением, согласно решению Г. Герца, имеет следующий вид

$$P = \frac{4}{3} \left(\frac{R^{1/2}}{\frac{1-\mu^2}{E} + \frac{1-\mu_1^2}{E_1}} \right) \alpha_{\text{уп}}^{3/2} \quad (3)$$

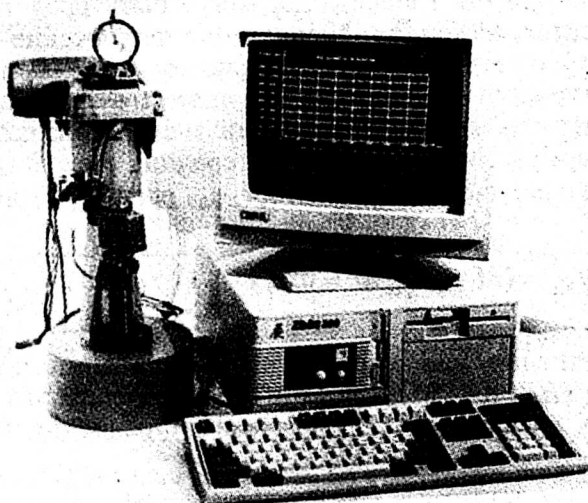


Рис. 4. Общий вид автоматизированного прибора МЭИ-Т7А, работающего при взаимодействии с ЭВМ

За пределами упругой деформации в упругопластической области деформирования связь нагрузки P с полным упругопластическим сближением α аппроксимируется степенной зависимостью, аналогичной по внешнему виду зависимости Е. Мейера (2)

$$P = a_1 \alpha^{n_1},$$

где a_1 — постоянный коэффициент для данного материала, зависящий от D ; n_1 — показатель упрочнения материала, не зависящий от D .

Как уже отмечалось выше, одно из преимуществ диаграмм непрерывного вдавливания заключается в возможности автоматической регистрации текущих значений нагрузки P и упругопластического сближения α в процессе нагружения и разгрузки индентора при взаимодействии испытательного прибора с ЭВМ. При испытании на автоматизированном приборе МЭИ-Т7А первичная информация снимается с датчиков нагрузки и перемещений, преобразуется в дискретную форму и формируется в виде массивов. По заранее введенным в ЭВМ алгоритмам и программам идет статистическая обработка полученных массивов с последующей регистрацией диаграммы " $P-\alpha$ " и выдачей значений a_1 , n_1 на дисплей или принтер. Используя ветвь разгрузки диаграммы, можно определить в автоматизированном режиме глубину восстановленного отпечатка h для заданной нагрузки и оценить значение полного упругого сближения. Этих данных достаточно для того, чтобы решить обратную задачу — определить на основе зависимости (3) модуль нормальной упругости испытуемого материала E . Если учесть, что для абсолютного большинства конструкционных материалов коэффициент Пуассона μ отличается незначительно и примерно равен 0,3, то в общем виде E будет зависеть от следующих параметров

$$E = F(P, \alpha, h, R, \beta),$$

где β — поправка к зависимости Г. Герца, учитывающая влияние пластической деформации материала на величину упругого сближения.

Первичные диаграммы вдавливания могут быть представлены в относительных координатах, например, "контактное напряжение — относительный диаметр (глубина) отпечатка" или "контактное напряжение — контактная деформация". Значения относительного диаметра d/D или относительной глубины t/R отпечатка являются условной мерой контактной деформации. Так, согласно формуле М. П. Марковца, средняя пластическая деформация при вдавливании сферического индентора $\psi_{вд}$ равна (см. рис. 1, а)

$$\psi_{вд} = (M - F) / M = 0,5 \left[1 - \sqrt{1 - (d/D)^2} \right]. \quad (4)$$

Средние контактные напряжения при вдавливании можно оценить по методу Бринелля (HB) или Мейера (HM). Если в формулах для подсчета HB или HM нагрузку вдавливания P выразить из уравнения Е. Мейера (2), то получим:

$$HB = 2A(d/D)^n / \pi \left[1 - \sqrt{1 - (d/D)^2} \right]; \quad (5)$$

$$HM = 4A(d/D)^{n-2} / \pi. \quad (6)$$

Формула (4) позволяет определить относительный диаметр отпечатка d/D для заданного значения $\psi_{вд}$. Так, например, если задана деформация на пределе текучести $\psi_{вд} = 0,2\% = 0,002$, то, как следует из (4), относительный диаметр отпечатка на пределе текучести $(d/D)_{0,2} = 0,0893$. Значения твердости на пределе текучести $HB_{0,2}$ или $HM_{0,2}$ можно определить по формулам (5) и (6), подставляя в них $d/D = (d/D)_{0,2}$. С другой стороны твердость на пределе текучести легко определяется по нагрузке $P_{0,2}$, при которой диаметр остаточного отпечатка достигает значения $d_{0,2} = 0,0893D$.

$$HB_{0,2} \approx HM_{0,2} \approx P_{0,2} / M_{0,2} \approx P_{0,2} / F_{0,2},$$

где $M_{0,2}$ — площадь поверхности отпечатка на пределе текучести; $F_{0,2}$ — площадь круга диаметром $d_{0,2}$.

Как и на пределе упругости значения твердости на пределе текучести $HB_{0,2}$ и $HM_{0,2}$ практически равны вследствие незначительного различия между $M_{0,2}$ и $F_{0,2}$.

На рис. 5, а представлены диаграммы вдавливания стали 20 в координатах " $HB - d/D$ " и " $HM - d/D$ ", полученные в области пластической деформации. Диаграммы " $HB - d/D$ " имеют максимум, который можно найти непосредственно по диаграмме вдавливания или по параметру упрочнения n . Для этого необходимо продифференцировать функцию (5) по d/D и, приравняв производную к нулю, найти относительный диаметр отпечатка $(d/D)_в$, соответствующий максимуму диаграммы

$$(d/D)_в = \sqrt{n(n-2)} / (n-1). \quad (7)$$

Подставив (7) в (5), получим максимальную твердость по Бринеллю

$$HB_в = \frac{2}{\pi} A n^{n/2} (n-2)^{(n-2)/n} (n-1)^{1-n}. \quad (8)$$

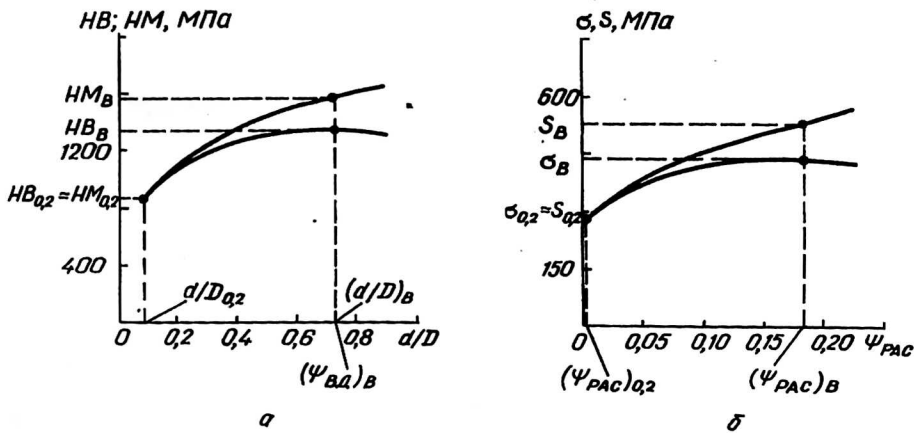


Рис. 5. Диаграммы вдавливания (а) и растяжения (б) стали 10 в координатах "напряжение — условная деформация", полученные в области пластической деформации

Диаграммы " $HM - d/D$ " не имеют спада HM на всем своем протяжении, вплоть до $d/D = 1$. При значении $d/D = (d/D)_B$ из (6) и (7) следует, что твердость по Мейеру HM_B будет равна

$$HM_B = \frac{4A}{\pi} \left[\frac{\sqrt{n(n-2)}}{n-1} \right]^{n-2} \quad (9)$$

Из (9) и (8) видно, что отношение HM_B к HV_B зависит от показателя упрочнения n :

$$HM_B/HV_B = 2(n-1)/n.$$

На диаграммах вдавливания (рис. 5, а) отмечены значения $HV_{0,2} \approx HM_{0,2}$, HV_B , HM_B , $(d/D)_B$. На рис. 5, б, рядом с диаграммами вдавливания для той же стали 20 представлены диаграммы условных σ и истинных S напряжений при растяжении образца в пластической области, на которых по оси деформаций отложены значения относительного поперечного сужения образца $\psi_{рас}$. На этих диаграммах отмечены значения пределов текучести $\sigma_{0,2} \approx S_{0,2}$, соответствующих $(\psi_{рас})_{0,2} = 0,2\% = 0,002$, а также условного σ_B и истинного S_B пределов прочности, соответствующих предельному равномерному сужению $(\psi_{рас})_B$. Из рис. 5 видно, что между диаграммами вдавливания и растяжения имеется явная аналогия с общими характерными зонами и точками. Причем, диаграммы вдавливания " $HV - d/D$ " сходны с диаграммами растяжения " $\sigma - \psi_{рас}$ ", а диаграммы " $HM - d/D$ " — с диаграммами " $S - \psi_{рас}$ ". Более того, значение деформации $(\psi_{вд})_B$, рассчитанное по относительному диаметру отпечатка $(d/D)_B$, соответствующему максимуму диаграммы " $HV - d/D$ ", близка к значению деформации $(\psi_{рас})_B$, соответствующему максимуму диаграммы " $\sigma - \psi_{рас}$ ", где условное напряжение достигает предела

прочности σ_B (см. рис. 5). Поэтому характеристики твердости $HВ$ и HM можно условно назвать характеристиками твердости на пределе прочности.

Обоснованный пересчет характеристики твердости при вдавливании на напряжения при растяжении возможен при условии равенства значений деформации при обоих видах деформирования. Однако для этого необходимо знать соответствие пластической деформации при вдавливании и растяжении. С этой целью целесообразно оперировать величинами интенсивности пластической деформации ϵ_i , учитывая различный характер напряженно-деформированного состояния материала при обоих видах нагружения. В работе [10] было показано, что для конкретного материала существует единая связь твердости с интенсивностью пластической деформации при наклепе ϵ_i , независимо от того, каким видом нагружения и при каком напряженно-деформированном состоянии он получен. Однако для количественной оценки ϵ_i необходимо располагать тарифовочными графиками "твердость — интенсивность пластической деформации", предварительно построенных для каждого материала.

При внедрении индентора также происходит наклеп материала и тем в большей степени, чем больше значение d/D и выше способность материала к деформационному упрочнению. В публикуемой работе была установлена связь интенсивности пластической деформации с параметрами вдавливания, которая имеет следующий вид

$$\epsilon_i = F(d/D, n).$$

Таким образом, обеспечивая равенство ϵ_i при вдавливании и растяжении можно установить надежную связь между напряжениями при обоих видах деформирования на разных уровнях пластической деформации.

А. Ю. Ишлинский [11] впервые теоретически обосновал связь предела текучести с твердостью $HВ$ и HM путем решения осесимметричной задачи пластичности для случая вдавливания шара в идеально-пластическую среду без учета трения. Им были определены значения коэффициентов, устанавливающих прямопропорциональную связь предела текучести с указанными характеристиками твердости для отношения $d/D = 0,376$. Выбор этого отношения можно объяснить тем, что оно примерно соответствует уровню d/D , при котором определяют $HВ$ некоторых материалов стандартными способами.

В работе [12], а также дополнительно и в настоящей работе были найдены значения этих коэффициентов для широкого спектра отношений d/D , при которых определяют $HВ$ и HM и получают диаграммы вдавливания конструкционных материалов. Вначале расчеты были выполнены на ЭВМ методом характеристик (линий скольжения) без учета и с учетом трения для идеально пластического материала, деформирующегося без упрочнения. Однако реальные конструкционные материалы деформируются с упрочнением, поэтому был найден способ учета упрочнения непосредственно через параметр n и степень пластической деформации $\psi_{вд}$. В результате было установлено, что при коэффициенте трения $f = 0,1$ и параметре $2 < n < 2,5$, что характерно для большинства конструкционных материалов, отношения $\sigma/HВ$ и S/HM изменяются незначительно и приближенно равны 0,333 в интервале от предела текучести до предела прочности при условии равенства пластической деформации при вдавливании и растяжении.

Этот вывод подтверждает известную на практике взаимосвязь для некоторых материалов между HV и σ_B с коэффициентом пропорциональности близким к 0,333. Это объясняется тем, что для этих материалов HV и σ_B были определены при близких значениях интенсивности пластической деформации, а значения HV мало отличались от значений HV_B . При невыполнении этих условий коэффициент пропорциональности может существенно измениться.

Таким образом, предел текучести металла можно оперативно оценить по твердости на пределе текучести, а предел прочности (временное сопротивление) — по твердости на пределе прочности по результатам двух вдавливающих индентора, используя коэффициент пропорциональности 0,333.

Для оценки точности определения $\sigma_{0,2}$ и σ_B по характеристикам твердости были проведены многочисленные испытания различных конструкционных материалов и сварных соединений методом вдавливания и методом растяжения. Характеристики твердости определялись на головках разрывных образцов в осевом направлении. Сравнительные испытания, выполненные в различных организациях страны, а также в одной из немецких фирм, показали, что максимальное относительное отклонение значений $\sigma_{0,2}$ и σ_B , определенных методом вдавливания, от значений $\sigma_{0,2}$ и σ_B , определенных методом растяжения, не превышает 7 %.

К настоящему времени накоплен достаточно большой положительный опыт безобразцовой оценки механических свойств по характеристикам твердости. Метод измерения твердости на пределе текучести и оценки предела текучести, а также метод измерения твердости по Бринеллю и оценки временного сопротивления переносными приборами статического действия регламентированы ГОСТ 22761—77. Указанный ГОСТ разработан в МЭИ.

Безобразцовый метод контроля механических свойств по характеристикам твердости уже нашел эффективное применение в энергетике, машиностроении, нефтехимии. Для оперативной оценки механических свойств металла непосредственно в изделии без вырезки из него образцов используется переносной прибор МЭИ-Т7 (рис. 6). Этот прибор аттестован, включен в государственный реестр за № 10649-86 и разрешен к производству и применению на предприятиях страны. Метод и прибор могут быть использованы и в других отраслях промышленности, там где необходим контроль механических свойств металла в процессе изготовления и эксплуатации продукции. Однако, пожалуй, в наибольшей степени он необходим для диагностики структурно-механического состояния металла промышленного оборудования, выработавшего свой ресурс. Относительная доля такого оборудования с каждым годом возрастает, и вопрос о продлении ресурса в условиях дефицита и высокой стоимости металлопроката, труб, запчастей особенно актуален. На рис. 7 представлены области наиболее эффективного применения безобразцового контроля и диагностики механических свойств материалов по характеристикам твердости.

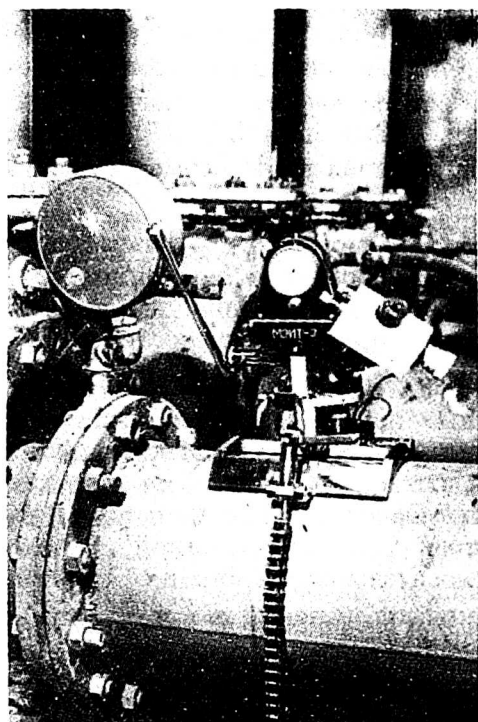


Рис. 6. Общий вид прибора МЗИ-Т7, закрепленного для испытаний на трубопроводе

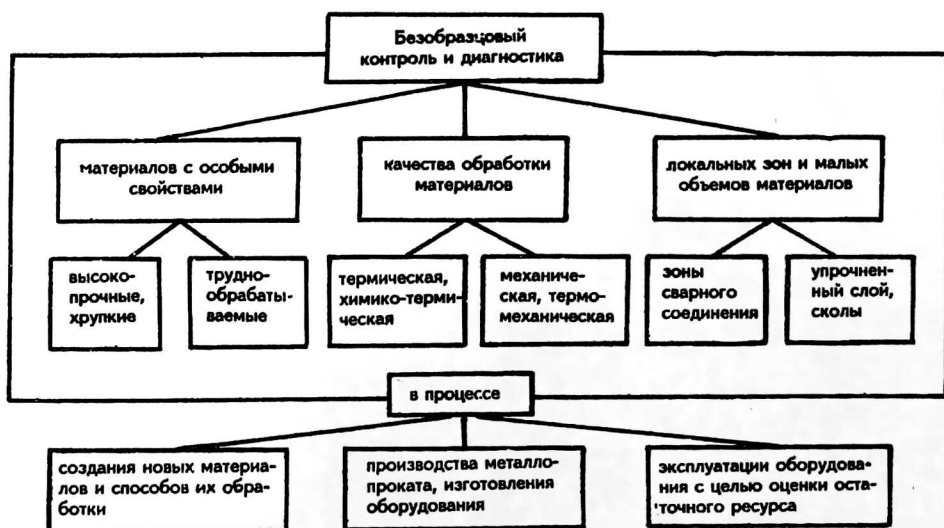


Рис. 7. Области наиболее эффективного применения безобразцового контроля и диагностики механических свойств конструктивных материалов

Л и т е р а т у р а

1. Гудков А. А., Славский Ю. И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1982. — 167 с.
2. Кузнецов В. Д. ЖПФ, 1929. Т. 6. Вып. 1. С. 33.
3. Ровинский Ю. М. Известия АН СССР, отд. техн. наук, 1956, № 9. С. 55.
4. Марковец М. П. Определение механических свойств металлов по твердости. — М.: Машиностроение, 1979. — 191 с.
5. Тимошук Л. Т. Механические испытания металлов. — М.: Металлургия, 1971. — 224 с.
6. Марковец М. П., Матюнин В. М., Шабанов В. М., Юзиков Б. А. Заводская лаборатория, 1989. Т. 55. № 12. С. 73.
7. Дрозд М. С., Матлин М. М., Сидякин Ю. И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. — М.: Машиностроение, 1986. — 220 с.
8. Булычев С. И., Алексин В. П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с.
9. Матюнин В. М. Заводская лаборатория, 1992. Т. 60. № 1. С. 56.
10. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. — М.: Машиностроение, 1971. — 199 с.
11. Ишлинский А. Ю. ПМИ, 1944. Т. 8. Вып. 3. С. 201.
12. Марковец М. П., Матюнин В. М., Семин А. М. Известия АН СССР, МТТ, 1985. № 4. С. 185.

Статья поступила в редакцию 25 июня 1995 г.

EXPRESS-CONTROL OF MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS BY USING OF HARDNESS DATA

V. M. Matjunin

Moscow Power Engineering Institute — Technical University, Moscow, Russia

The idea that the hardness is the property of materials, and the Hardness Method is the way of mechanical tests have been considered in this work. The indenter intruding diagrams for elastic and elastó-plastic deformation types in cases of fixed and continous load have been got. Its shown that the hardness properties of materials that obtained by indenter intruding are in the special function link with stretch strenth of these materials. The methods of express-control of mechanical properties of materials by using the data of hardness properties of these materials have been given. The compact devices to test the materials of construction on itself and give the properties of this materials without destruction of construction have been given.