

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПО ТВЕРДОСТИ

П.И. Стоев, В.И. Мощенко

ННЦ «Харьковский физико-технический институт», 61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1

Поступила в редакцию 27 ноября 2003 г.

Проанализированы методы определения механических характеристик с помощью измерения твердости методом шариковой пробы. Показано, что наиболее высокую точность определения предела прочности и предела текучести дают методы, предложенные М.П. Марковцом, в которых при определении предела текучести сопоставляются напряжения и величины твердости, полученные при одинаковой остаточной деформации в образце и лунке 0,2%, а определение предела прочности основано на точном измерении максимальной твердости. Сделано заключение о возможности использования этих методик для определения механических характеристик по твердости различных конструкционных материалов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: твердость, шариковая проба, механические свойства, предел прочности, предел текучести.

Длительная эксплуатация атомных электростанций вызывает необходимость оперативно определять техническое состояние элементов конструкций и прогнозировать возможность их дальнейшего использования. Для обеспечения успешного решения этих задач широкое применение находят методы неразрушающего контроля. Необходимыми параметрами для проведения комплексного анализа состояния конструкции является данные о динамике деградации механических свойств металла в процессе эксплуатации. Однако применение традиционных методов определения механических свойств (при испытании на растяжение вырезанных образцов) оказываются практически неприемлемыми для материалов конструкций энергетических реакторов АЭС. Поэтому было обращено внимание на метод твердости, который позволяет проводить измерения твердости на реальных конструкциях без их повреждения (без вырезки образцов) и получать характеристики тех участков конструкции, которые требуют тщательного мониторинга.

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные Н.Н. Давиденковым, А.Ю. Ишлинским, М.П. Марковцом, В.В. Соколовским, Г.П. Зайцевым, А.Д. Томленовым, М.М. Хрушовым, Г.Д. Делем, В.В. Варнелло, М.С. Дроздом, И. Бринеллем, Е. Мейером, Г. О'Нейлем, Д. Тейбором, Р. Хиллом и другими показали возможность определения механических свойств металлов по твердости. На основании этих исследований разработан ряд методов определения по характеристикам твердости механических свойств различных материалов.

В данной работе проанализированы методы определения механических характеристик с помощью измерения твердости. Для анализа были выбраны наиболее распространенные на практике методы шариковой пробы, основанные на вдавливании сферического индентора (шара) в исследуемый материал. Особое внимание при анализе обращали на точность, которую обеспечивает метод при определении механических свойств по значениям твердости.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ПО ТВЕРДОСТИ

Идея определения предела текучести по твердости является не новой. Еще в 1936 году Тамманом и Мюллером был предложен способ определения предела текучести по диаметру наплыва вокруг отпечатка, полученного путем вдавливания в испытываемый материал индентора. К настоящему времени разработано много методов определения физического (σ_T) или условного ($\sigma_{0,2}$) предела текучести по твердости [1-5].

Их можно разделить на два класса:

а) основанные на определении твердости, которая характеризует упрочняемость материала и оценивается либо коэффициентом упрочнения, либо равномерной деформацией при растяжении;

б) основанные на определении числа твердости при деформации в лунке, близкой к 0,2%.

К первому классу методов определения предела текучести по твердости можно отнести методы Г.П.Зайцева [6], М.С.Дрозда [7] и др.

В основу метода Зайцева положены установленные им закономерности пластического вдавливания шарика в металл, которые получены на основании закона Мейера

$$P = a_0 \frac{d^n}{D^{n-2}}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, d и D – диаметр отпечатка и шарика, a_0 и n – постоянные. Из анализа результатов испытаний различных материалов автор делает вывод о том, что процесс пластического вдавливания шарика в металл и возникающие при этом формоизменения и напряжения зависят от двух специфических для вдавливания шарика

констант пластичности: a_0 и n . Для одного и того же металла величины a_0 и n сохраняют постоянные значения при любых геометрических условиях опыта, то есть при любых P и D . Их значения определяются из двух опытов по следующим формулам:

$$n = \frac{2 \lg D_1 / D_2 - \lg P_1 / P_2}{\lg D_1 / D_2 - \lg d_1 / d_2} \quad \text{и} \quad a_0 = \frac{P}{D^2} \left(\frac{D}{d} \right)^n \quad (2)$$

Между парой этих констант и парой констант определяемых при растяжении, а именно, пределом прочности и удлинением существует взаимозависимость, позволяющая с достаточной точностью по значениям a_0 и n рассчитать механические характеристики.

$$\sigma_{0,2} = 0,185 a_0 (4-n) 0,8^{2^{n-1}} \quad \text{и} \quad \epsilon = \frac{n-2}{1,13} \quad (3)$$

М.С. Дрозд [7] акцентирует внимание на главном недостатке методов определения твердости по Бринеллю и Мейеру, который проявляется в росте твердости с увеличением степени нагружения (т.е. отношения P/D^2). Он предлагает метод с использованием нового числа твердости, которое по своему физическому содержанию представляет собой не напряжение (истинное или условное), а модуль упрочнения материала при вдавливании в него сферического индентора.

По методу Дрозда величина $\sigma_{0,2}$ определялась по формуле

$$\sigma_{0,2} = 0,185H, \quad (4)$$

где H - так называемое новое число твердости, равное в одном случае

$$H = \frac{9000}{130 - H_{RB}}, \quad (5)$$

где H_{RB} - твердость по Роквеллу, определенная шариком 1/16" при нагрузке 100 кг. В другом случае величина H определяется из испытаний по Бринеллю, следующим образом: при нагрузке 187,5 кг и шарике $D=2,5$ мм измеряется диаметр остаточного отпечатка d . По отношению D/d и соответствующей таблице, предложенной Дроздом [7], определяют число твердости H .

Поскольку метод Г.П. Зайцева основан на признании абсолютной справедливости закона Мейера, который получен эмпирическим путем, поэтому точность этой методики при определении $\sigma_{0,2}$ оказалась не очень высокой. Анализ метода определения нового числа твердости H показал, что твердость H представляет не что иное, как твердость по Бринеллю, определенную на приборе Роквелла.

Способы определения предела текучести, относящиеся ко второму классу, являются наиболее обоснованными физически, так как условный предел текучести при растяжении $\sigma_{0,2}$ в этом случае сопоставляется с твердостью, определенной при той же остаточной степени деформации в лунке, равной 0,2%, как это принято и при растяжении. Эти методы достаточно просты и отличаются высокой точностью. Поэтому они нашли наибольшее применение, как в лабораторных условиях, так и в промышленной практике.

Впервые методика определения предела текучести путем вдавливания сферического индентора до получения в лунке остаточной деформации 0,2% была предложена М.П.Марковцом [8,9]. В этом способе $H_{0,2}$ определяют по общей деформации, равной 0,2%, т. е. по деформации 0,2% в невосстановленной лунке. Общую деформацию в лунке рассчитывают по формуле

$$\psi_H = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} \right] = \frac{t}{D}, \quad (6)$$

где d и D - диаметр отпечатка и шарика, t - глубина невосстановленной лунки. Автор показал, что общая деформация в лунке $\psi = 0,2\%$ достигается при отношении $d/D = 0,09$. Следовательно, для определения $H_{0,2}$ необходимо вдавливать шар всегда до постоянного диаметра невосстановленной лунки $d = 0,09D$ с определением соответствующей нагрузки. Шар $D = 10$ мм следует вдавливать до диаметра лунки $d = 0,9$ мм с определением нагрузки $P_{0,2}$ зависящей от уровня прочности материала. Поделив полученную нагрузку $P_{0,2}$ на площадь поверхности невосстановленной лунки, которая в данном случае постоянна и равна $0,636 \text{ мм}^2$, получим твердость на пределе текучести

$$H_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{0,636}. \quad (7)$$

Связь между пределом текучести $\sigma_{0,2}$, и твердостью $H_{0,2}$ в общем виде выражается формулой:

$$\sigma_{0,2} = c H_{0,2}, \quad (8)$$

где c - коэффициент пропорциональности, учитывающий переход от напряженного состояния на пределе текучести при растяжении к схеме напряженного состояния при вдавливании.

В связи с тем, что соотношение между упругой и остаточной деформацией в лунке с повышением прочности увеличивается, абсолютные значения коэффициента c будет меняться в зависимости от прочности материала. Так, для мягких металлов ($\sigma_{0,2} < 500$ МПа) коэффициент $c < 0,333$, тогда как для более твердых металлов ($\sigma_{0,2} > 500$ МПа) $c > 0,333$. Особенно заметное изменение коэффициента c наблюдается в металлах с

пределом текучести больше 700 МПа.

Изменение коэффициента пропорциональности c в зависимости от твердости металла учитывается в методике М.П.Марковца экспериментальной кривой, построенной в координатах $\sigma_{0,2} - H_{0,2}$. А расчет значений $\sigma_{0,2}$ для конструкционных материалов, твердость которых на пределе текучести не превышает 1750–2000 МПа, автор рекомендует проводить по формуле:

$$\sigma_{0,2} = 0,05 H_{0,2}^{1,37}, \quad (9)$$

которая получена на основании статистической обработки экспериментальных данных. Метод определения $\sigma_{0,2}$ по $H_{0,2}$ гостирован. Зависимость между $H_{0,2}$ и $\sigma_{0,2}$ дана ГОСТе 22762—77 в виде таблицы.

В.П. Новиков [10] усовершенствовал способ определения твердости на пределе текучести $H_{0,2}$, ранее предложенный М.П.Марковцом, и рекомендует определять твердость $H_{0,2}$ с учетом упругого восстановления лунки по формуле:

$$H_{0,2} = \frac{4P_{0,2}}{\pi d^2}, \quad (10)$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, при которой достигается отношение глубины h к диаметру d восстановленного отпечатка, равное 0,022, а абсолютные значения предела текучести находят из соотношения:

$$\sigma_{0,2} = 0,3 H_{0,2}. \quad (11)$$

В этом случае остаточная деформация лунки равна 0,2 %. Максимальная погрешность определения $\sigma_{0,2}$ по твердости $H_{0,2}$ для широкого класса материалов, включая аустенитные стали, по данной методике, не превышает 10%. Основным недостатком этой методики следует считать ее относительную сложность, так как при определении твердости необходимо измерять диаметр и глубину восстановленного отпечатка. Поэтому эта методика в настоящее время не нашла еще широкого применения на практике.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ПО ТВЕРДОСТИ

Способы приближенного определения предела прочности материала по данным измерения его твердости известны давно. Установленное Бринеллем [11] приблизительно трехкратное превышение твердости над пределом прочности в большом числе последующих исследований было подтверждено и уточнено. Были предложены различные эмпирические формулы для пересчета данных измерения твердости по Бринеллю (НВ) в величину предела прочности (σ_B).

Разработке методов определения предела прочности по измерению твердости посвящено большое количество работ [1,11-13]. Эти методы в основном можно разделить на два класса:

а) основанные на определении упрочняемости материала;

б) основанные на определении числа твердости, которое определяется при той же степени деформации в лунке, что и временное сопротивление при растяжении.

К первому классу методов определения предела прочности по твердости можно отнести следующие: Г.П. Зайцева [6], В.В. Варнелло [14], М.С. Дрозда [7].

Г.П. Зайцев предложил рассчитывать σ_B по коэффициенту упрочнения n , основываясь на сходстве диаграмм твердости и растяжения, взаимному соответствию их максимумов и отвечающих этим максимумам величин деформаций:

$$\sigma_B = 0,37 \frac{P}{D^2} \left(\frac{D}{d} \right)^n. \quad (12)$$

М.С. Дрозд предложил определять предел прочности по следующей формуле:

$$\sigma_B = 9,55 - (\sqrt{149 + H} - 12,2), \quad (13)$$

где H – новое число твердости.

Недостатки, которые были присущи методам этих авторов при определении σ_{02} по измерению твердости, сохранились и в данных методах.

В.В. Варнелло, основываясь на анализе диаграмм растяжения металлов в интервалах от предела текучести $\sigma_{0,2}$ до σ_B , предложил определять σ_B по твердости HB по равномерному удлинению δ_r . Экспериментальная проверка этой методики, проведенная никелевых сплавах, показала ее низкую точность.

Методы, относящиеся ко второму классу, можно разделить на две группы:

а) основанные на корреляционной связи между твердостью по Бринеллю НВ и пределом прочности σ_B ;

б) основанные на определении максимальной твердости H_{\max} , которая определяется при той же степени деформации в лунке, что и величина предела прочности σ_B при растяжении.

Простота и достаточная точность позволили широко применять методы второго класса на практике.

В общем виде связь между твердостью по Бринеллю и пределом прочности можно выразить в виде:

$$\sigma_B = c \cdot HB. \quad (14)$$

Впервые эта зависимость была установлена Бринеллем [11], который для углеродистых сталей получил значение коэффициента c , равное 0,346. В дальнейшем фундаментальные исследования, проведенные в ряде лабораторий [1,2,8] подтвердили эту зависимость для углеродистых и низколегированных сталей. Согласно этим исследованиям коэффициент пропорциональности c для указанных материалов оказался близким к 0,333.

Однако те же исследования показали, что коэффициент c зависит от упрочняемости материала, т.е. от предельной равномерной деформации Ψ_r . Чем больше равномерная деформация, тем больше значение коэффициента c . Например, по данным М.П. Марковца [4] для аустенитных сталей в состоянии после аустенизации этот коэффициент возрастает до 0,4, а для серых чугунов снижается до 0,15.

Природу изменения коэффициента c пытались объяснить многие исследователи. Так, например, О'Нейл [1] уменьшение коэффициента c связывал с влиянием наклепа. Д. Тейбор [2] рассматривал величину c как функцию коэффициента упрочнения n в уравнении Мейера и угла вдавливания. Он показал, что при значениях $n > 2,2$ коэффициент c резко возрастает и может превысить 0,5. М.П. Марковец [8] на основе разработанного им способа расчёта деформации в лунке предложил такое объяснение изменения природы коэффициента c . Согласно его исследованиям степень деформации в лунке при вдавливании шара под нагрузкой, соответствующей твердости HB, для всех материалов изменяется по абсолютной величине в небольших пределах и близка к 8%, в то время, как предел прочности этих материалов определяется при равномерных деформациях, изменяющихся в пределах 1-30 %. Следовательно, сопоставление твердости HB с пределом прочности σ_B производится при разных степенях деформации. Этим и объясняется изменение абсолютных значений коэффициента c . Действительно, если степень деформации в лунке при определении твердости материала значительно выше, чем при определении σ_B методом растяжения, то коэффициент c будет меньше 0,333, например, для чугуна он равен 0,15 ($\Psi_{\text{равн}} = 1\%$). Если степень деформации в лунке при вдавливании шара ниже, чем при растяжении, то коэффициент больше 0,333 и для аустенитных сталей и латуней он приближается к 0,5 ($\Psi_{\text{равн}} = 30\%$). Делается вывод о том, что если предел прочности сопоставлять с твердостью HB при одинаковых деформациях, то коэффициент c будет равен 0,333 и останется постоянным независимо от материалов. Однако этот важный вывод требует дальнейшей теоретической и экспериментальной проверки.

Ко второй группе методов определения σ_B по твердости относятся методы, основанные на определении максимальной твердости H_{max} . Эти методы основаны на том, что сопоставление напряжений в лунке при вдавливании шара и растяжении должно производиться при одинаковой по величине пластической деформации. Диаграммы растяжения и твердости имеют сходство, поэтому указанному условию будет удовлетворять определение σ_B по значениям максимальной твердости H_{max} , так как в этом случае напряжения в лунке и при растяжении определяются при близких деформациях.

В работе [15] приведена зависимость максимальной твердости и предела прочности для различных материалов (рис.1). Величину H_{max} определяли по диаграммам твердости при вдавливании шара диаметром 2,5 мм, а напряжения вычисляли по диаметру восстановленной лунки. Статистическая обработка результатов определения H_{max} и σ_B методом наименьших квадратов (см.рис.1) показала высокий коэффициент корреляции между экспериментальными данными и данными, полученными с помощью предложенного уравнения:

$$\sigma_B = 0,333H_{\text{max}}. \quad (15)$$

Анализ экспериментальных результатов показал, что зависимость σ_B (H_{max}) является универсальной и может быть использована для любых металлов в различных состояниях, включая и наклепанные металлы.

В работе [15] приводится зависимость

$$\sigma_B = 0,3H_{\text{max}} + 8, \quad (16)$$

которая с высокой точностью позволяет определять прочностные характеристики пластичных материалов, что экспериментально подтверждено на алюминиевых, медных и магниевых сплавах, а также на сплавах различных классов. Для наклепанных металлов отклонение между рассчитанными по этому уравнению значениями σ_B и экспериментальными точкам не превышает 10%. Авторы также показали, что несколько лучшие результаты для наклепанных материалов дает зависимость

$$\sigma_B = 0,35 H_{\text{max}} - 100. \quad (17)$$

В работе [16] предложено определять σ_B по H_{max} для аустенитных наклепанных сталей с учетом степени наклепа по формуле

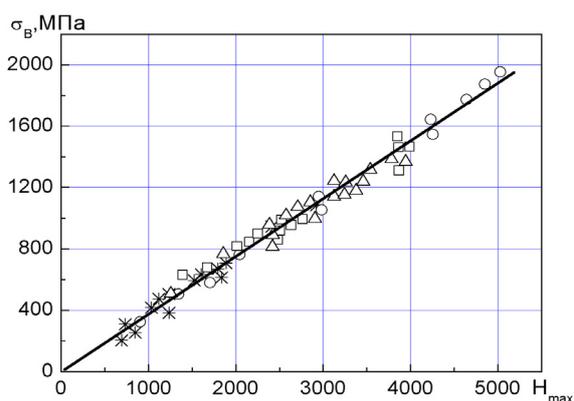


Рис. 1. Зависимость между H_{max} и σ_B для различных материалов (конструкционные углеродистые и перлитные низколегированные стали (Δ); аустенитные стали (\square); нимоники (\circ); алюминиевые сплавы, магнитные сплавы, латунь(*))

$$\sigma_B = 0,35H_{max} - 10 \frac{\psi}{2}, \quad (18)$$

где ψ -степень деформации при наклепе, %..

Наиболее надежно величина H_{max} определяется на диаграммах твердости, построенных в координатах $H-d/D$, $H-P$ и $H-h/D$, где напряжение в лунке H подсчитывают по способу Бринелля. Сложность определения H_{max} связана с высокой трудоемкостью испытаний и необходимостью применения специальной электронной аппаратуры для автоматической записи диаграммы. Поэтому часто для определения H_{max} используют эмпирические уравнения. Так, для подсчета максимальной твердости Г. Вайценегер и Г.П. Зайцев предложили следующую формулу:

$$H_{max} = \frac{D^{n-2}}{\pi} n^{\frac{n}{2}} (n-1)^{1-n} (n-2)^{\frac{n-2}{2}}. \quad (19)$$

М.П. Марковец и В.П. Плотников в работе [17] предложили простой метод определения максимальной твердости аустенитных сталей, также основанный на законе Мейера. Согласно этому способу расчета H_{max} определяется из уравнения:

$$H_{max} = 1,32 P, \quad (20)$$

где P -нагрузка, необходимая для получения остаточного отпечатка диаметром 1 мм при вдавливании шара диаметром 2,5 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа литературных данных следует, что наиболее обоснованы физически методы определения предела прочности, в основе которых лежат положения М.П. Марковца о том, что сопоставление временного сопротивления с твердостью должно производиться при одинаковых деформациях. Полученная при этом зависимость между временным сопротивлением и твердостью будет, вероятно, универсальной.

Проведенный в работе анализ показывает возможность применения методов твердости для приближенного определения пределов прочности и текучести металлов с различным уровнем механических свойств, то есть практически для всех конструкционных материалов, которые применяются в промышленности. Наиболее точными оказались методы Марковского и Дрозда. Однако при более строгом соблюдении условий испытаний вероятно должна повыситься и точность метода Зайцева.

Анализ литературных данных показал, что в настоящее время происходит расширение экспериментальных исследований по определению механических свойств по данным измерения твердости [18-22]. Разрабатываются современные автоматизированные комплексы, использующие методы шариковой пробы, для определения прочностных свойств материала корпуса реакторов и других элементов конструкций [23,24]. Постоянно совершенствуются методы контроля твердости [25]. Получают развитие работы, результаты которых позволяют по данным измерений твердости определять структуру материала [26] и величину пористости [27]. Продолжаются теоретические исследования, начатые А.Ю. Ишлинским по решению задачи о величинах напряжений и деформаций, возникающих в процессе упруго-пластического вдавливания индентора в поверхность материала из реального металла и установление формы зависимости между ними на различных ступенях деформации [28-31].

Таким образом, методы определения механических свойств металлов и сплавов по измерению твердости в настоящее время непрерывно совершенствуются и являются важным инструментом технической диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейль Г.О. Твердость металлов и ее измерение.– М.-Л.: Металлургиздат, 1940.– 376 с.
2. Tabor D. The Hardness of Metals.– Oxford:Clarendon press, 1951.– 171 p.
3. Тылевич И.Н. Определение механических свойств судостроительных материалов методом вдавливания.– Труды ЦНИИ технологии судостроения.– Судпромгиз, 1959.– Вып. XXIII.– 94 с.
4. Марковец М.П. О зависимости между твердостью и другими механическими свойствами металлов. "Исследование в области измерения твердости". Труды метрологических институтов СССР.– М.-Л.: Изд-во стандартов, 1967, Вып. 91 (151).– 76 с.

5. Карашук А.Ф. Исследование локальных методов определения предела текучести по твердости. Кандидатская диссертация.– М.: МЭИ, 1964.–18 с.
6. Зайцев Г.П. Твердость по Бринеллю как функция параметров пластичности металлов //Заводская лаборатория.–1949.– № 6.– С.704-717.
7. Дрозд М.С. Определение механических свойств металлов без разрушения.– М: Изд-во Metallургия, 1965.– 171 с.
8. Марковец М.П. Построение диаграммы истинных напряжений по твердости и технологической пробе. //Журнал технической физики .–1949.–Том XIX.– Вып. 3.– С. 371-382.
9. Марковец М.П. Новый метод определения предела текучести по твердости при вдавливании шарика. В кн. "Методы контроля металлов и сплавов".– М.: Оборонгиз, 1951.– С. 134-147.
10. Новиков В.П. . Исследование способа оценки деформации поверхностных слоев отпечатка при вдавливании шара //Автореферат кандидатской диссертации.– М.: МЭИ, 1952.– 19 с.
11. J.A.Brinell. II Congres Jnt des Methodes d'essai. – Paris, 1900. – 176 p.
12. Давиденков Н.Н., Беляев С.Е., Марковец М.П. Получение основных механических характеристик стали с помощью измерения твердости // Заводская лаборатория.– 1945.– Том 21.–№10.– С. 964-973
13. А. Шапошников. Механические испытания металлов.– М.–Л.: Машгиз, 1954.– 436 с.
14. В.В.Варнелло. Труды Новосибирского института инженеров водного транспорта.–Изд. Речной транспорт, 1956.–Вып.11.– 235 с.
15. Марковец М.П., Плотников В.П. Методика определения максимальной твердости пластичных материалов // Изв.Вузов. Машиностроение.–1972.– № 10.– С. 23-29.
16. Плотников В.И. Исследование зависимостей между характеристиками прочности и твердости аустенитных сталей //Автореферат диссертации на соискание степени канд.техн. наук.–М.: МЭИ,1973.– 20 с.
17. Марковец М.П., Плотников В.П. Методика определения максимальной твердости аустенитных сталей //Заводская лаборатория.– 1975.–№ 10.– С. 1267-1268.
18. Махутов Н.А. Механические свойства конструкционных материалов, прочность и безопасность машин //Заводская лаборатория.– 1999.– № 6.– С. 41-45.
19. Вовк Л.П. К определению комплекса механических характеристик неоднородных материалов ударным вдавливанием индентора //Заводская лаборатория.– 2003.– № 1.– С. 45-48.
20. Шабанов В.М. Связь кривой деформационного упрочнения и диаграммы вдавливания сферического индентора //Заводская лаборатория.– 2002.– № 9.– С. 62-64.
21. Бакиров М.Б., Рудницкий В.А., Кононенко А.И. Определение свойств вязкоупругих материалов методом динамического индентирования //Заводская лаборатория.– 2001.– № 2.– С. 38-42.
22. Бакиров М.Б., Потапов В.В. Феноменологическая методика определения механических свойств корпусных сталей ВВЭР по диаграмме вдавливания шарового индентора //Заводская лаборатория.– 2000.– № 12.– С. 35-44.
23. Ботвин К.В., Максимкин О.П. Автоматизированное определение прочностных характеристик материалов //Заводская лаборатория.– 1998.– № 8.– С. 40-42.
24. Кравченко А.Ф., Кирпичников В.Г. Основные концепции развития оборудования для механических испытаний //Металловедение и термическая обработка металлов.– 2001.– № 11.– С. 21-22.
25. Артемьев Ю.Г. Контактный динамический метод контроля твердости //Заводская лаборатория.– 1998.– № 5.– С. 48-52.
26. Булычев С.И. Анализ структуры по статистике индентирования //Заводская лаборатория.– 2001.– № 6.– С. 55-59.
27. Булычев С.И., Афанасьев В.М., Узинцев О.Е. Определение пористости материала при индентировании //Заводская лаборатория.– 2002.– № 4.– С. 51-56.
28. Шабанов В.М. К исследованию распределения контактных напряжений при непрерывном упругопластическом вдавливании индентора //Заводская лаборатория.– 2003.– № 1.– С. 41-45.
29. Булычев С.И. О корреляции диаграмм вдавливания и растяжения //Заводская лаборатория.– 2003.– № 1.– С. 45-48.
30. Матлин М.М., Мозгунова А.И. Аналитическое определение параметров внедрения сферического индентора по диаграмме растяжения //Заводская лаборатория.– 2002.– № 11.– С. 47-52.
31. Бакиров М.Б., Зайцев М.А., Фролов И.В. Математическое моделирование процесса вдавливания сферы в упругопластическое пространство //Заводская лаборатория.– 2001.– № 1.– С. 43-47.

DEFINITION OF MECHANICAL PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS ON HARDNESS

P.I. Stoev, V.I. Moschenok

NSC Kharkov Institute of Physics and Technology, 61108, Akademicheskaj St., 1, Kharkov, Ukraine

Methods of definition of mechanical properties with helping of measuring of hardness are analyzed. It is shown, that the highest accuracy of definition of ultimate strength and yield stress is given by methods which has been proposed M.P. Markovets, in which at definition of a yield stress the stress and value of hardness received at identical residual deformation in a sample and indentation 0.2 % are compared and the definition of strength is based on exact measurement of the maximal hardness. The conclusion about an opportunity of use of these techniques for definition of the mechanical characteristics on hardness of constructional materials is made.

KEY WORDS: hardness, ball-type assay, mechanical properties, ultimate strength, yield stress.