УДК 621.81

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-4-239-33-35

М. М. Матлин, В. А. Казанкин, Е. Н. Казанкина

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРЕДЕЛЬНОЙ РАВНОМЕРНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: detmash@vstu.ru, matlin@vstu.ru

В работе представлен метод неразрушающего определения предельного равномерного сужения конструкционных сталей по параметрам упругопластического вдавливания сферического индентора. Показана приемлемая точность метода для инженерной оценки пластических свойств материала деталей.

Ключевые слова: сферический индентор, остаточный отпечаток, среднее давление, предельное равномерное сужение.

М. М. Matlin, V. A. Kazankin, E. N. Kazankina

OPERATIONAL CONTROL OF THE LIMIT UNIFORM PLASTIC DEFORMATION

Volgograd State Technical University

The paper presents a non-destructive method for determining the limit uniform narrowing of structural steels by the parameters of the elastic-plastic indentation of a spherical indenter. An acceptable accuracy of the method for engineering assessment of the plastic properties of the material of parts is shown.

Keywords: spherical indenter, residual imprint, average pressure, limit uniform narrowing.

Предельная равномерная деформация (в частности, предельное равномерное сужение ψ_B) характеризует стабильность пластического деформирования материала. Известно, что для пластичных материалов значение ψ_B соответствует наибольшему напряжению σ_B (временному сопротивлению) на диаграмме условных напряжений растяжения, а для относительно хрупких материалов предельная равномерная деформация соответствует напряжению разрыва материала образца. В работе [1] отмечено, что практическое значение предельной равномерной деформации состоит в том, что она существенно зависит от изменений в металле, происходящих в результате воздействия различных технологических и эксплуатационных факторов, изменяющих упрочняемость и пластичность материала.

Согласно действующему стандарту [2], для определения предельной равномерной деформации материала детали необходимо изготовить образцы для испытания на растяжение. Предельное равномерное сужение ψ_B определяют как отношение разности начальной площади F_0 и площади F_B поперечного сечения образца (в момент завершения стадии его равномерной деформации) к начальной площади поперечного сечения образца.

$$\psi_B = \frac{F_0 - F_B}{F_0}. \quad (1)$$

Очевидно, что этот метод приводит к частичному или полному разрушению испытуемой детали; его невозможно использовать при необходимости стопроцентного контроля деталей, а также при малых размерах деталей. Этот метод усовершенствован в работе [3], в соответствии с которым изготавливают контрольный образец, подвергают одноосному растяжению и определяют предельную равномерную пластическую деформацию, пределы прочности и текучести, при этом определяют числа твердости на детали и контрольном образце при пределах прочности и текучести коническими инденторами, углы раскрытия которых соответствуют деформациям прочности и текучести, а искомую величину определяют как отношение произведения предельной равномерной пластической деформации образца на разность чисел твердости при пределах прочности и текучести образца к соответствующей разности чисел твердости, найденных для детали. Однако и этот метод требует дополнительного изготовления образцов и проведения испытаний на растяжение.

Неразрушающий метод определения предельной равномерной пластической деформации,

© Матлин М. М., Казанкин В. А., Казанкина Е. Н., 2020.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00049, и при поддержке РФФИ и Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-48-340002, а также в рамках конкурса СП-2018 (СП-253.2018.1).

предложенный в работе [1] предусматривает построение диаграммы внедрения сферического индентора, по которой определяют величину отношения $(h/R)_B$, соответствующего пределу прочности материала, то есть максимуму на диаграмме внедрения (где h – глубина остаточного отпечатка, соответствующая максимуму на диаграмме внедрения; R – радиус индентора). Автор работы [1] установлено, что для широкого круга сталей значение предельного равномерно сужения ψ_B можно определить по формуле

$$\psi_B \approx 0,4(h/R)_B. \quad (2)$$

Как указывает и сам автор работы [1] построение диаграммы внедрения является довольно трудоемким процессом; кроме того максимум на диаграмме внедрения определяется не точкой, а горизонтальным участком, протяженность которого зависит от механических свойств материала. Поэтому найти значение $(h/R)_B$, соответствующее максимуму диаграммы достаточно сложно; погрешность этого метода составляет порядка $\pm 10\%$.

В то же время методы определения механических свойств индентированием, позволяет оперативно и без разрушения контролировать материал металлоизделий на всех стадиях их изготовления и эксплуатации.

В настоящей работе установлена взаимосвязь предельной равномерной пластической деформации со средним давлением на поверхности остаточного отпечатка, образованного сферическим индентором на поверхности испытуемого материала. На этой основе разработан неразрушающий метод определения предельного равномерного сужения. Согласно этому методу испытуемый материал нагружают посредством сферического индентора нагрузкой, находящейся в диапазоне, соответствующем контролю твердости, измеряют глубину остаточного отпечатка на поверхности испытуемого материала, определяют площадь боковой поверхности остаточного отпечатка и сред-

нее давление на его поверхности, а предельное равномерное сужение испытуемого материала определяют по формуле

$$\psi_B = 100 / (1 + 0,0041q), \quad (3)$$

где $q=F/A$ – среднее давление на поверхности остаточного отпечатка; F – нагрузка на сферический индентор; $A=\pi Dh$ – площадь боковой поверхности остаточного отпечатка; D – диаметр сферического индентора; h – глубина остаточного отпечатка.

Формула (3) в новой форме устанавливает взаимосвязи между основными параметрами, определяющими величину предельного равномерного сужения: пластические свойства материала при контактной деформации (от них зависит глубина остаточного отпечатка), прочностные свойства материала (от них зависит среднее давление на поверхности остаточного отпечатка).

Экспериментальная проверка предложенного метода проведена на образцах, изготовленных из углеродистых и легированных конструкционных сталей различного уровня прочности и пластичности (табл. 1). Для этих сталей предварительно определили величину предельного равномерного сужения $\psi_{B,э}$ путем растяжения стандартных образцов [2] с помощью программно-технического комплекса для испытания металлов (ИР 5143-200. В качестве сферического индентора использовали стальной закаленный шарик (с твердостью по Виккерсу не менее HV 850 кгс/мм²) с диаметром $D=5$ мм, а для сталей с пластической твердостью большей, чем 4500 МПа – сферический индентор из твердого сплава. Значение нагрузки назначали согласно стандартам [4 или 5], предусматривающих контроль твердости с помощью сферического индентора. Нагружение проводили с помощью прессы Бринелля. Глубину остаточного отпечатка измеряли с помощью индикатора часового типа (с ценой деления 1 мкм), установленного на индикаторной стойке.

Таблица 1

Механические свойства испытанных образцов

Номер образца	Марка стали	Предельное равномерное сужение $\psi_{B,э}$ (%) (по ГОСТ 1497–84, ИСО 6892–84)
1	Сталь 20	13,9
2	Сталь 35	10,1
3	Сталь 20Х	3,8
4	Сталь 45Х	5,0
5	Сталь 38Х	4,9
6	Сталь 40ХН	4,8

Таблица 2

Сопоставление значений предельного равномерного сужения ($\psi_{B,3}$), полученных путем растяжения образцов по ГОСТ 1497–84, ИСО 6892–84, (см. табл. 1), и определенных по разработанному методу (ψ_B)

Номер образца	Нагрузка F , Н	Глубина остаточного отпечатка h , мм	Площадь боковой поверхности остаточного отпечатка $A=\pi Dh$, мм ²	Среднее давление на поверхности остаточного отпечатка $q=F/A$, МПа	Предельное равномерное сужение ψ_B , %, форм.(3)	Погрешность $\frac{\psi_{B,3} - \psi_B}{\psi_{B,3}} \cdot 100$ %
1	4905	0,200	3,140	1562	13,505	2,88
2	4905	0,138	2,166	2264	9,725	3,71
3	4905	0,053	0,832	5895	3,973	-4,55
4	4905	0,063	0,989	4959	4,687	6,26
5	4905	0,071	1,118	4400	5,251	-7,16
6	2453	0,031	0,488	5027	4,627	3,60
	4905	0,064	1,005	4880	4,476	6,75
	7358	0,098	1,538	4784	4,627	3,6

В табл. 2 сопоставлены результаты определения предельного равномерного сужения разработанным методом со стандартной методикой. Как видно погрешность неразрушающего метода не превышает (3...7) % и имеет характер двухстороннего разброса. В табл. 2, на примере стали 40ХН (образец № 6) также показано, что изменение нагрузки на индентор в достаточно широком диапазоне (в 3 раза) практически не влияет на определяемые значения предельного равномерного сужения.

Таким образом, результаты экспериментальной проверки свидетельствуют о пригодности разработанного метода для практического использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матюнин, В. М. Индентирование в диагностике механических свойств материалов / В. М. Матюнин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 288 с.
2. ГОСТ 1497–84, ИСО 6892–84. Металлы. Методы испытания на растяжение. Введ. 16.07.1984.
3. А.с. 557295 М.Кл.³, G01N3/08, G01B5/30 Способ измерения предельной равномерной пластической деформации материала деталей / В. М. Аваев, В. Г. Антонова, С. В. Журавлев, В. М. Сапожников и Б. И. Усачев. – Оpubл. 30.06.1977. Бюл. №17.
4. ГОСТ 9012–59 (ИСО 410–82, ИСО 6506–81) Металлы. Методы испытаний. Измерение твердости по Бригеллю. – Введ. 01.01.60; последнее изменение 12.09.18.
5. ГОСТ 18835–73. Металлы. Метод измерения пластической твердости. – Введ. 01.07.75. (ограничение срока действия снято Межгосударственным Советом стандартизации, метрологии и сертификации, протокол №3-93, ИУС №5/6, 1993 г.)