УДК 621.81

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-2-237-55-57

*М. М. Матлин, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин***МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОГО СУЖЕНИЯ ПОСЛЕ РАЗРЫВА*****Волгоградский государственный технический университет**

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

В работе представлен предложенный авторами метод неразрушающего определения относительного сужения после разрыва, базирующийся на закономерностях упругопластического вдавливания сферического индентора. Показана приемлемая точность метода для инженерной оценки пластических свойств углеродистых и легированных конструкционных сталей.

Ключевые слова: сферический индентор, неразрушающий контроль, модуль пластичности, пластическая твердость, относительное сужения после разрыва.

*M. M. Matlin, E. N. Kazankina, V. A. Kazankin***NON-DESTRUCTIVE CONTROL METHOD
OF RELATIVE NARROWING AFTER RUPTURE****Volgograd State Technical University**

The paper presents the method of non-destructive determination of relative narrowing after rupture, based on the laws of elastoplastic indentation of a spherical indenter proposed by the authors. An acceptable accuracy of the method for engineering assessment of the plastic properties of carbon and alloyed structural steels is shown.

Keywords: spherical indenter, non-destructive testing, modulus of plasticity, plastic hardness, relative narrowing after rupture.

Стандартный метод определения относительного сужения после разрыва [1] предусматривает вырезку из детали образцов для испытания на растяжение. Относительное сужение ψ_k после разрыва определяют как отношение разности начальной площади и минимальной площади поперечного сечения образца к начальной площади поперечного сечения образца. Более совершенным является метод [2], однако и он требует изготовления и испытания образцов на растяжение. Неразрушающий метод определения относительного сужения после разрыва предложен в работе [3]. Этот метод предусматривает нанесение царапины алмазным конусом, измерение глубины царапины t , критической длины царапины $L_{ц}$, с последующим определением относительного сужения после разрыва по формуле

$$\psi_k = 0,0076 \left(L_{ц} / t \right)^{0,881}, \quad (1)$$

которая получена путем статистической обработки экспериментальных данных для различных материалов; метод предусматривает построение диаграммы царапания, при которой глубина царапания составляет 5 мкм. В связи с этим этот способ может быть реализован только на тщательно подготовленных плоских

образцах с полированной поверхностью и с использованием специального оборудования.

Предлагаемый метод неразрушающего определения относительного сужения после разрыва базируется на закономерностях модуля пластичности M материала [4, 5]. Модуль пластичности, как и контактный модуль упрочнения (пластическая твердость НД [6, 7]) является комплексной характеристикой механических свойств материала (предела текучести, истинного сопротивления разрыву, коэффициента упрочнения). Так, согласно [5] с уменьшением модуля пластичности (что соответствует уменьшению предела текучести) и с увеличением истинного сопротивления разрыву S_k относительное поперечное сужение ψ_k увеличивается.

Предлагаемый метод предусматривает внедрение сферического индентора в испытываемую поверхность детали, определение контактного модуля упрочнения (пластической твердости НД), по которому определяют модуль пластичности M испытываемого материала по формуле

$$M = a \cdot \text{НД}^b, \quad (2)$$

где « a » и « b » коэффициенты, зависящие от химического состава испытываемого материала.

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

Значение относительного сужения после разрыва ψ_k определяют с учетом истинного сопротивления разрыву S_k испытуемого материала по зависимости

$$\psi_k = \frac{S_k}{M}. \quad (3)$$

Отметим, что истинное сопротивление разрыву S_k можно определить по справочным данным или экспериментально [1], а также разрушающим методом, согласно [8].

Зависимость (3) в новой форме устанавливает взаимосвязи между всеми существенными параметрами, определяющими величину относительного сужения после разрыва: пластические свойства материала при контактной деформации (от них зависит пластическая твердость), прочностные свойства материала (от них зависит истинное сопротивление разрыву), пластические свойства материала при растяжении (от них зависит относительное сужение после разрыва и, следовательно, модуль пластичности), а также коэффициенты a и b , значения которых зависят от химического состава испытуемого материала.

Для определения числовых значений коэффициентов a и b использовали вспомогательные образцы с известными величинами пластической твердости и модуля пластичности; материал вспомогательных образцов (черный или цветной металл) выбирают в зависимости от того относительное сужение после разрыва какого материала предполагается определять.

Экспериментальную проверку описанного выше метода определения относительного сужения после разрыва проводили на образцах, изготовленных из углеродистых и легированных конструкционных сталей различного уровня прочности и пластичности.

В качестве индентора использовали стальной закаленный шарик диаметром 5 мм, а для сталей с пластической твердостью большей, чем 4500 МПа - сферический индентор из твердого сплава.

Для определения коэффициентов a и b использовали вспомогательные образцы, изготовленные из стали 10 с известными значениями пластической твердости $HD_1=1570$ МПа и модулем пластичности $M_{3,1}=14,91$ МПа (в табл. 1 – № 2), а также образец из стали 12Х2Н4А с пластической твердостью $HD_2=6573$ МПа и модулем пластичности $M_{3,2}=38,07$ МПа (в табл. 1 – № 7). Внедрение сферического индентора в поверхность вспомогательных образцов проводили с использованием пресса Бринелля при нагрузке 7358 Н.

Для стальных деталей с учетом числовых значений коэффициентов a и b формула примет вид

$$M = 0,12 \cdot HD^{0,65}. \quad (4)$$

В табл. 1 представлены механические свойства испытанных материалов. Испытания на растяжение проводили с помощью программно-технического комплекса для испытания металлов ИР 5143-200.

Таблица 1

Механические свойства испытанных образцов

Номер образца	Марка стали, пластическая твердость HD, МПа	Истинное сопротивление разрыву, $S_{k,3}$, МПа [1]	Относительное сужение после разрыва $\psi_{k,3}$, %, [1]	Модуль пластичности $M_3=S_{k,3}/\psi_{k,3}$, МПа [1]
1	Сталь 10, 1510	927	68	13,63
2	Сталь 10, 1570	969	65	14,91
3	Сталь 10, 1510	1009	69	14,62
4	Сталь 20, 1570	969	65	14,91
5	Сталь 35, 2158	1000	56	17,85
6	Сталь 45, 2590	1100	54	20,37
7	Сталь 12Х2Н4А, 6573	2246	59	38,07
8	Сталь 40ХН, 5100	1590	54	29,44
9	Сталь 45Х, 4610	1510	54	27,96
10	Сталь 18ХНВА, 5984	2000	55	36,36
11	Сталь У4, 3669	1609	61	26,38
12	Сталь 30ХГСА, 7554	2129	53	40,17

Результаты сравнительных испытаний приведены в табл. 2. Как видно из табл. 2, погрешность оперативного определения относительно-

го сужения после разрыва по сравнению со стандартной методикой [1] не превышает (5...6) % и имеет характер двухстороннего разброса.

Таблица 2

Сопоставление экспериментальных значений относительного сужения после разрыва ($\psi_{k,э}$) путем растяжения образцов по ГОСТ [1] и определенных по описанному методу (ψ_k)

Номер образца	Марка стали пластическая твёрдость НД, МПа	Относительное сужение после разрыва $\psi_{k,э}$, %	Модуль пластичности М, МПа испытываемого материала; форм. (4)	Относительное сужение после разрыва испытываемого материала $\psi_k = S_{k,э} / M$, %;	Погрешность $\frac{\psi_{k,э} - \psi_k}{\psi_{k,э}} \cdot 100$ %
1	Сталь 10, 1510	68	13,98	66,31	2,49
2	Сталь 10, 1570	65	14,33	67,62	-4,03
3	Сталь 10, 1510	69	13,98	72,17	-4,59
4	Сталь 20, 1570	65	14,33	67,62	-4,03
5	Сталь 35, 2158	56	17,63	56,72	-1,85
6	Сталь 45, 2590	54	19,85	55,42	-2,63
7	Сталь 12Х2Н4А, 6573	59	36,37	61,75	-4,66
8	Сталь 40ХН, 5100	54	30,84	51,56	4,52
9	Сталь 45Х, 4610	54	28,88	52,29	3,17
10	Сталь 18ХНВА, 5984	55	34,22	58,44	=6,25
11	Сталь У4, 3669	61	24,90	62,62	-2,66
12	Сталь 30ХГСА, 7554	53	39,81	53,48	-0,91

Следует отметить, что формула (4) получена для углеродистых и легированных конструкционных сталей. Однако можно предполагать, что и для других материалов, которые разрушаются с образованием шейки, конструкция формулы (4) сохранится; при этом значения коэффициентов a и b могут быть иными.

Таким образом, результаты экспериментальной проверки свидетельствуют о пригодности предлагаемого метода для практического использования при контроле различных деталей машин (зубчатые колеса, болты, стержни, элементы металлоконструкций, балки и т. п.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 1497–84, ИСО 6892–84. Металлы. Методы испытания на растяжение. Введ. 16.07.1984.

2. Патент 2319944 РФ, МКИ⁶ G01N3/32. Способ определения максимальных истинных напряжений и деформаций / В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев, А. И. Горунов, С. Б. Гаманюк. – Оpubл. 20.03.2008. Бюл. № 8.

3. Матюнин, В. М. Индентирование в диагностике механических свойств материалов / В. М. Матюнин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 288 с.

4. Шапошников, Н. А. Механические испытания металлов / Н. А. Шапошников. – М.-Л. : Машгиз, 1954. – 443 с.

5. Фридман, Я. Б. Механические свойства металлов. В 2 ч. Ч. 1 / Я. Б. Фридман. – М. : Машиностроение, 1974. – 472 с.

6. ГОСТ 18835–73. Металлы. Метод измерения пластической твердости. – Введ. 01.07.75.

7. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

8. Патент 2680111 РФ, МПК G01N3/42 Способ определения истинного сопротивления разрыву / М. М. Матлин, А. И. Мозгунова, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин. – Оpubл. 15.02.2019. Бюл. № 5.