

УДК 621.81

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-10-293-43-45

*В. А. Казанкин, Е. Н. Казанкина***ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНЫ ИСТИННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
РАЗРЫВУ СТАЛЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: kazankin_vmr@mail.ru

В работе представлен предложенный авторами метод неразрушающего определения истинного сопротивления разрыву сталей по параметрам упругопластического вдавливания сферического индентора. Показана приемлемая точность метода для инженерной оценки свойств углеродистых и легированных конструкционных сталей.

Ключевые слова: сферический индентор, неразрушающий контроль, пластическая твердость, истинное сопротивление разрыву

*V. A. Kazankin, E. N. Kazankina***OPERATIVE CONTROL OF THE VALUE OF TRUE TEAR RESISTANCE OF STEELS****Volgograd State Technical University**

The paper presents the method proposed by the authors for non-destructive determination of true tensile strength of steels by the parameters of elastic-plastic indentation of a spherical indenter. Acceptable accuracy of the method for engineering evaluation of the properties of carbon and alloy structural steels is shown.

Keywords: spherical indenter, non-destructive testing, plastic hardness, true tensile strength

Традиционный метод определения механических характеристик металлов, в том числе соответствующих разрушению – испытание образцов на растяжение согласно стандарту [1]. Очевидно, что при этом из готового изделия необходимо вырезать соответствующие образцы, а затем если это возможно изделие восстановить. Естественно, что и материальные и временные затраты при таком подходе оказываются весьма существенными. В последнее время получили значительное развитие методы неразрушающего контроля путем индентирования. Эти методы подробно представлены, например, в работе [2]. Отметим, что параметры, определяемые при вдавливании индентора, характеризуют сопротивление материала пластической деформации, а не разрушению. Поэтому обоснованными представляются методы определения характеристик разрушения путем царапания, который был предложен в работе [3] и получил дальнейшее развитие (включая разработку испытательного оборудования) в работе [2]. В то же время результаты ряда исследований позволяют предположить, наличие взаимосвязи и между параметрами упругопластического внедрения индентора и критическими характеристиками разрушения (например, истинного сопротивления разрыву S_k). Так еще в работе [4] показано, что величина S_k как

и предел текучести σ_t во многом определяются видом и количеством дефектов в материале. Необходимо отметить, что для конкретной группы материалов предел текучести однозначно зависит от его твердости. Это дает основание полагать, что процесс разрушения металла непрерывный и соответственно σ_t отражает начальный этап разрушения, а S_k – заключительный этап. В связи с этим цель данной работы состоит в установлении количественных соотношений между параметрами упругопластического внедрения сферического индентора и критическими характеристиками разрушения, в частности, истинным сопротивлением разрыву S_k .

Предварительно выполнили экспериментальное исследование прочностных свойств углеродистых и легированных конструкционных сталей с различным уровнем твердости материала. Значения истинного сопротивления разрыву S_k определяли на стандартных цилиндрических десятикратных образцах согласно [1]. Для проведения экспериментального исследования на растяжение использовали программно-технический комплекс для испытания металлов ИР 5143-200. В качестве числа твердости использовали пластическую твердость, определяемую согласно [5, 6]. Дополнительно твердость материала контролировалась с по-

мощью портативного твердомера ТКМ-459 ультразвуковым и динамическим методом, а затем полученные числа твердости переводились в пластическую твердость по известным формулам [6]. Отметим, что как известно [6], значение пластической твердости не зависит от диаметра сферического индентора и контактной нагрузки в широком диапазоне изменения глубин внедрения индентора, что удобно для практического использования. Результаты исследования показаны на рисунке, из которого следует, что зависимость истинного сопротивления разрыву $S_{k,10}$ десятикратных образцов с диаметром 10 мм от пластической твердости НД может быть аппроксимирована выражением

$$S_{k,10} = 0,18НД + 700. \quad (1)$$

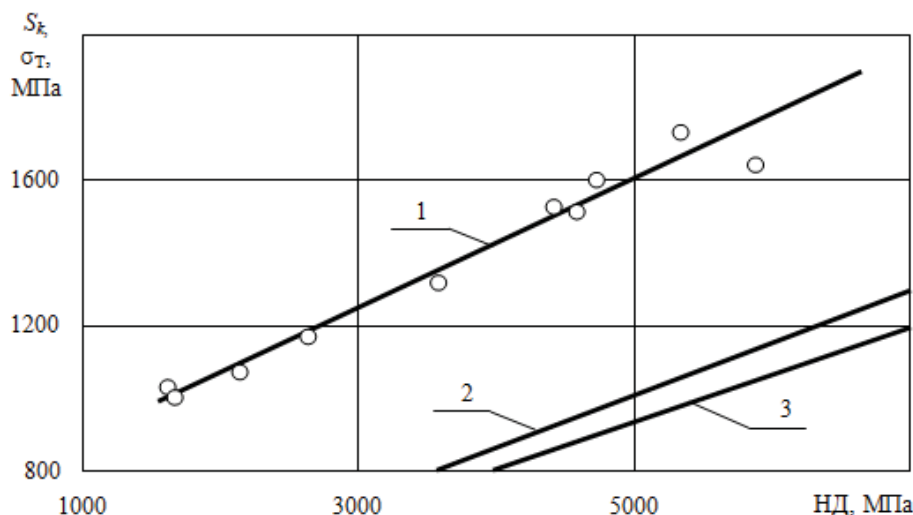
Погрешность расчета по формуле (1) в большинстве случаев не превышает (5...6) %. Там же, на рисунке, показаны графики зависимости предела текучести от пластической твердости, построенные по известной [6] зависимости

$$\sigma_T = (0,20...0,22)НД, \quad (2)$$

в которой меньшие значения – для углеродистых, а большие – для легированных сталей. Как видно из рисунка, графики зависимости для $S_{k,10}$ и σ_T от пластической твердости имеют аналогичный характер. Это подтверждает то, что эти параметры определяются одними и теми же указанными выше факторами.

Очевидно, что при практическом использовании полученных результатов необходимо учитывать масштабный эффект, который состоит в уменьшении прочностных характеристик с увеличением размеров образца или детали. Как известно указанный эффект наиболее ярко проявляется при переменных во времени нагрузках, однако и при статическом нагружении это явление также присутствует. Обзор проявлений масштабного эффекта приведен в работе [7], также на разных размерных уровнях в работе [2]. В работе [8] авторами выполнено специальное исследование масштабного эффекта с использованием сталей разной прочности. При этом для чистоты эксперимента было исключено влияние колебаний химсостава каждой из сталей (образцы изготавливали из материала одной плавки), а также исключено влияние технологического фактора (наклепа поверхности при изготовлении). Экспериментально установлено, что зависимость масштабного коэффициента K_d истинного сопротивления разрыву от диаметра d рабочей части образца (в диапазоне от 3 до 40 мм) может быть аппроксимирована следующей зависимостью (с коэффициентом корреляции 0,9)

$$K_d = \frac{1,15}{d^{0,06}}. \quad (3)$$



Графики зависимости истинного сопротивления разрыву $S_{k,10}$ (линия 1) и предела текучести σ_T (линии 2 и 3) от пластической твердости НД для углеродистых и легированных конструкционных сталей:

линия 1 – расчет $S_{k,10}$ по формуле (1), значки экспериментальные данные авторов; линии 2 и 3 (расчет по формуле 2) соответственно предел текучести σ_T для легированных и углеродистых сталей в зависимости от пластической твердости НД

Согласно формуле (3), в условиях статического нагружения при изменении диаметра ра-

бочей части образца от 3 до 40 мм уменьшение истинного сопротивления разрыву составляет

порядка 20 %. Отметим, что этот результат соответствуют также и экспериментальным данным, приведенным в работах [9, 10].

Таким образом, для конструкционных сталей подтверждено наличие количественной взаимозависимости истинного сопротивления разрыву от параметров упругопластического внедрения сферического индентора (твердости). Это обеспечивает возможность оперативного неразрушающего контроля истинного сопротивления разрыву. Дополнительно отметим, что, несмотря на то, что значение истинного сопротивления разрыву сравнительно редко используется для расчетов деталей на прочность, она является одной из важных прочностных характеристик материала и используется, например, для расчета оптимальной глубины упрочненного слоя [6] при поверхностном пластическом деформировании, при расчете параметров для обработки металлов давлением и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 1497–84, ИСО 6892–84. Металлы. Методы испытания на растяжение.
2. Матюнин, В. М. Индентирование в диагностике ме-

ханических свойств материалов / В. М. Матюнин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 288 с.

3. Давиденков, Н. Н. Некоторые проблемы механики материалов / Н. Н. Давиденков. – Л. : Лениидат, 1943. – 151 с.

4. Пашков, П. О. Пластичность и разрушение металлов / П. О. Пашков. – Судпромгиз, 1950. – 260 с.

5. ГОСТ 18835–73. Металлы. Метод измерения пластической твердости. – Введ. 01.01.74 (ограничение срока действия снято Межгосударственным Советом стандартизации, метрологии и сертификации, протокол №3–93, ИУС №5/6, 1993 г.).

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

7. Сухонос, С. И. Масштабный эффект – неразгаданная угроза / С. И. Сухонос. – М. : Новый Центр, 2001. – 68 с.

8. Матлин, М. М. К вопросу о влиянии масштабного эффекта на истинное сопротивление разрыву сталей / М. М. Матлин, В. А. Казанкин, Е. Н. Казанкина // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (249) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 42–44.

9. Потак, Н. М. Хрупкие разрушения сталей и стальных деталей / Н. М. Потак. – М. : Оборонгиз, 1955. – 390 с.

10. Когаев, В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.