

ВПЛИВ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ІНСТРУМЕНТОВАНОГО ІНДЕНТУВАННЯ

Р.В. Кравчук, О.А. Каток, В.В. Харченко

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка, Київ, Україна

Abstract. The paper discusses the experimental results obtained by the instrumented indentation method in determining the mechanical properties of a material of a flat sample before and after its deformation by uniaxial tension. It is established that plastic deformation leads to an increase in the values of mechanical properties determined by the instrumented indentation method. The results obtained will be used in further studies to develop recommendations for taking into account the effect of plastic deformation in the diagnosis of metal structures.

Запорукою безпечної експлуатації відповідального обладнання у проектний або понад проектний період виступає всебічний моніторинг стану матеріалів конструкцій. Контроль поточного стану матеріалів здійснюється за значеннями їх механічних характеристик. Визначення поточного стану матеріалу реальних конструкцій, що знаходиться в експлуатації, найчастіше потребує їх розвантаження та руйнування. Визначення механічних характеристик матеріалів конструкцій без завдання їм незворотних пошкоджень та без значного впливу на процес експлуатації здійснюється за допомогою неруйнівних методів, серед яких особливе місце посідає метод інструментованого індентування [1-3].

На відміну від лабораторних умов матеріал реальної конструкції знаходиться під впливом ряду додаткових силових та деформаційних факторів таких як напруження від експлуатаційного навантаження, власної ваги, неточності монтажу, температура, локальна та глобальна пластична деформація та ін. Вплив більшості цих чинників на достовірність визначення механічних характеристик методом інструментованого індентування не достатньо досліджений, що у певних випадках може суттєво впливати на точність отриманих результатів. Оцінка впливу вищезгаданих чинників на параметри діаграми індентування є важливою задачею дослідження для підвищення достовірності визначення механічних характеристик методом інструментованого індентування. Зокрема в даній роботі розглядався вплив пластичної деформації.

В роботі розглядаються експериментальні результати, отримані методом інструментованого індентування при визначенні характеристик механічних властивостей матеріалу плоского зразка до та після його деформування на одновісний розтяг. Об'єктом дослідження обрано сталь 45 як модельний матеріал. Такий вибір обумовлений тим, що її фізико-механічні властивості варіюються в широкому діапазоні в залежності від термообробки та відображають характеристики багатьох сталей подібного класу.

Дослідження проводили на пропорційних плоских зразках I типу з товщиною робочої частини 7 мм. Заготовки для зразків вирізали із листової гарячекатаної сталі 45 в напрямку прокату. Індентування проводилось згідно [1] в циклічному режимі навантаження кулькою діаметром 2,5 мм на лабораторній установці UTM-20HT [4] за кімнатної температури. Діаграми індентування записувались в жорсткому режимі навантаження зі швидкістю переміщення індентора 0,05 мм/хв. Крок між сусідніми точками індентування та відстань до краю зразка становили не менше трьох діаметрів відбитку.

Дослідження впливу пластичного деформування на визначення механічних характеристик методом інструментованого індентування проводилось в два етапи. На першому етапі проводилось попереднє пластичне деформування плоских зразків до

певної характерної точки на діаграмі деформування: точка А збігається із початком зміцнення матеріалу, точка Б – напруженням, яке становить півсуму границі текучості та границі міцності, точка В – границею міцності і точка Г – руйнуванням зразка. На рис. 1 представлені діаграми деформування зразків до вищезазначених характерних точок.

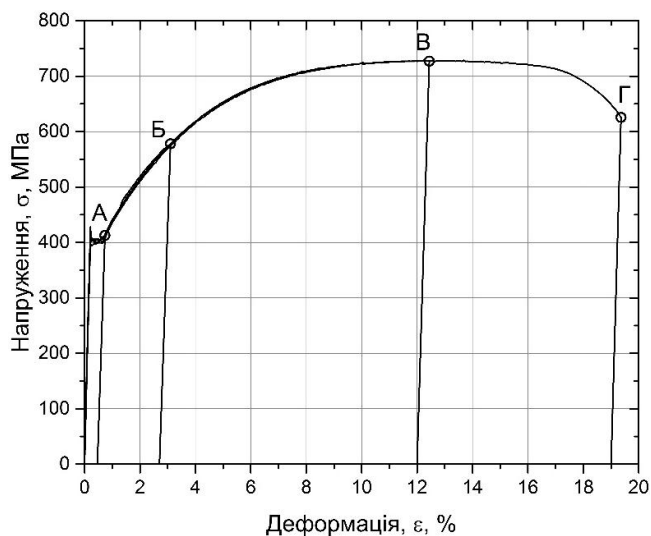


Рис. 1. Діаграма розтягу плоских зразків із сталі 45, де точка А збігається з початком зміцнення матеріалу, точка Б – напруженням, яке становить півсуму границі текучості та границі міцності, точка В – границею міцності і точка Г – руйнуванням зразка.

На другому етапі проводилось визначення механічних характеристик методом інструментованого індентування. Після попереднього пластичного деформування до відповідної точки на діаграмі деформування та повного розвантаження, індентування проводилось вздовж поздовжньої осі зразка в межах робочої зони та перехідних ділянок. При цьому одна із сторін зразка піддавалась механічній обробці з метою повного прилягання поверхонь зразка і робочого стола установки.

Характеристики механічних властивостей методом інструментованого індентування визначали згідно розробленого в Інституті проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України стандарту [5]. Відхилення значень механічних характеристик сталі 45 в початковому стані, визначених за результатами випробувань на одновісний розтяг та методом інструментованого індентування згідно [5], не перевищує 5%, що свідчить про придатність методу до визначення механічних характеристик.

На рис. 2 представлено розподіл значень границі міцності по довжині зразка, визначених методом інструментованого індентування при різних рівнях попереднього пластичного деформування.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що значення механічних характеристик збільшується при зростанні рівня попереднього пластичного деформування, що може бути обумовленим зміцненням матеріалу. Характер розподілу значень механічних характеристик в межах робочої зони зразка носить монотонний характер при рівнях попереднього пластичного деформування менше значення, що відповідає границі міцності, тоді як у зруйнованого зразка в області локалізації пластичних деформацій і руйнування спостерігається різке зростання значень границі міцності та текучості, що може бути обумовлене переходом від одновісної до плоскої деформації.

Відхилення значень границі текучості та границі міцності при деформуванні до рівня границею міцності від таких же, отриманих до початку деформування, не перевищує 3% та 10% відповідно. При деформуванні до рівня напруженням, яке становить півсуму границі текучості та границі міцності – 1,5% та 2% відповідно. Оскільки індентування проводилось на одній із поверхонь, слід відзначити чутливість методу інструментованого індентування до пластичного деформування матеріалу при

якому напрямку індентування не співпадає з напрямком деформування. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування значень характеристик механічних властивостей при пластичному деформуванні, а також визначення рівня пластичного деформування за отриманими механічними характеристиками.

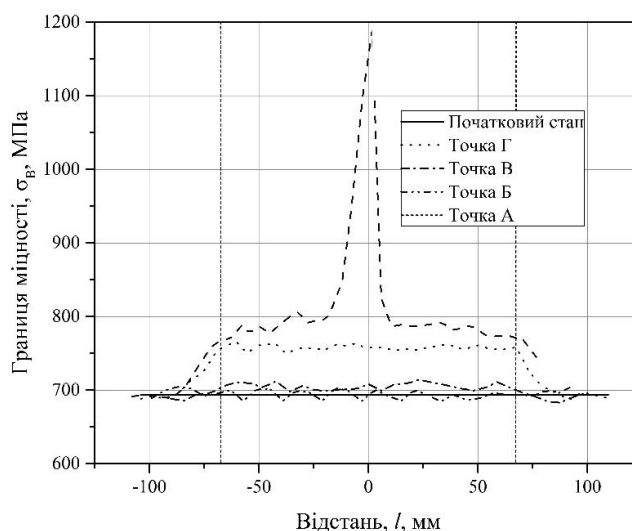


Рис. 2. Розподіл значень границі міцності по довжині зразка, визначених методом інструментованого індентування при різних рівнях деформування, де l_0 – початкова робоча довжина зразка, точка А збігається з початком зміцнення матеріалу, точка Б – напруженням, яке становить півсуму границі текучості та границі міцності, точка В – границею міцності і точка Г – руйнуванням зразка.

Висновки. Отримано розподіл характеристик механічних властивостей по довжині плоских зразків із сталі 45 з різною величиною попереднього пластичного деформування. Встановлено, що відхилення значень границі текучості та границі міцності, визначених методом інструментованого індентування, при пластичному деформуванні до рівня напружень, які становлять півсуму границі текучості та границі міцності, від таких же, отриманих в початковому стані, не перевищують 2%. При деформуванні зразків до рівня максимальних напружень відхилення зростає до 3% та 10% для границь текучості та міцності відповідно. Отримані результати будуть використані в подальших дослідженнях для розробки рекомендацій щодо врахування впливу пластичної деформації при діагностуванні металу конструкцій.

Література

1. ISO 14577-1:2015. Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Test method.
2. ГОСТ Р 56232-2014. Определение диаграммы «напряжение-деформация» методом инструментального индентирования шара. Общие требования. – Введ. 01.01.2016.
3. ГОСТ Р 57172-2016. Техническая диагностика. Определение поверхностных остаточных напряжений методом инструментального индентирования. Общие требования. – Введ. 01.01.2016.
4. Каток О. А. Установка для комплексного дослідження механічних характеристик конструкційних матеріалів обладнання АЕС / О. А. Каток, Р. В. Кравчук, В. В. Харченко, М. П. Рудницький // Проблеми міцності. – 2019. № 2. – С. 171 – 181.
5. СОУ-56-28-2018. Матеріали металеві. Визначення характеристик механічних властивостей конструкційних матеріалів за показниками твердості за Брінеллем та методом інструментованого індентування. Метод випробування.