

УДК 539.4

Альона Середа¹, головний інженер-дослідник

Роман Кравчук¹, канд. техн. наук, старший науковий співробітник

Олег Каток², канд. техн. наук, старший науковий співробітник

Микола Рудницький¹, канд. техн. наук, старший науковий співробітник

Володимир Швець¹, канд. техн. наук, старший науковий співробітник

Валерій Харченко¹, академік НАН України

¹Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренко НАН України, Україна

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНЕВУГЛЕЦЬОВАНОГО ШАРУ ЛЕГОВАНИХ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРІВ ТВЕРДОСТІ

Представлено використання методики визначення величини зневуглецьованого шару легованих високоміцних сталей за результатами вимірів твердості.

На зразках з листового прокату легованої високоміцної сталі марки Armoх 500Т різними методами, а саме металографічними дослідженнями мікроструктури, аналізом хімічного складу, мікро- та макроіндентування отримано результати, які підтвердили ефективність запропонованої методики.

Ключові слова: *метод, твердість, зневуглецьований шар, товщина зневуглецьованого шару, леговані сталі.*

Alona Sereda, Roman Kravchuk, Oleg Katok, Mykola Rudnyts'kyi, Volodymyr Shvets, Valeriy Kharchenko

DETERMINATION OF THE DECARBONIZED LAYER OF HIGH STRENGTH ALLOYED STEEL FROM THE RESULTS OF HARDNESS MEASUREMENTS

The use of a technique for determining the value of the decarbonized layer of high-strength alloy steels based on the results of hardness measurements is presented.

Key words: *method, hardness, decarbonized layer, decarbonized layer thickness, alloyed steels.*

Леговані високоміцні сталі застосовуються при виготовленні відповідальних деталей і елементів складних конструкцій спеціального призначення, які працюють в складних умовах статичного навантаження та короточасних інтенсивних динамічних навантажень в тому числі й імпульсних. Проведення вхідного контролю і контролю механічних характеристик під час виготовлення і експлуатації таких спеціальних конструкцій і їх елементів потребує вдосконалення методик контролю їх механічних характеристик. Особливо це стосується вуглецевих і легованих сталей з вмістом вуглецю не менше 0,3%, де є необхідність перевіряти наявність зневуглецьованого шару [1].

Згідно стандарту [2] встановлюються наступні методи оцінки глибини зневуглецювання в загартованих і незагартованих сталевих виробах:

- а) відбіркові методи;
- б) мікроскопічні методи;
- в) методи вимірювання мікротвердості;
- г) методи хімічного аналізу.

Зазначені методи призначені для виявлення змін в мікроструктурі, твердості або вмісті вуглецю у поверхнях сталевих виробів внаслідок зневуглецювання,

обумовленого нагріванням до високих температур під час гарячої деформації або термічної обробки. Ці методи трудомісткі і енергозатратні.

Пропонується методика визначення величини знеуглецьованого шару за допомогою результатів вимірів твердості у макродіапазоні зусиль індентування [3], що відноситься до відбіркових методів за [2].

Зважаючи на специфіку виробництва та використання конструкцій спеціального призначення (включаючи листовий прокат) пріоритетним було застосування апробованих методів та приладів неруйнівного контролю. Для цього підходить портативний твердомір ERNST Computest SC [4], що задовольняє всім вимогам методики, а саме нанесення малих розмірів відбитків.

Портативний твердомір Ernst Computest SC працює зі статичним навантаженням за методом Роквелла: з попереднім (11,8 Н) і робочим (49 Н) навантаженнями. Перевагою застосування даного твердоміра є малі розміри відбитків, що дає змогу зменшити відстань між ними, за рахунок чого можна уникнути використання методів мікроіндентування.

Підготовку поверхні зразка проводять у відповідності до ASTM E 3 [5].

На підтвердження придатності запропонованої методики визначення знеуглецьованого шару за результатами вимірів твердості були проведені порівняльні комплексні дослідження легованої високоміцної сталі марки Armoх 500Т у вигляді листового прокату товщиною 6 мм, що використовується для виробництва конструкцій спеціального призначення.

Зокрема вимірювали твердість за Брінеллем *HBW* згідно стандартів [6, 7] на стаціонарному твердомірі типу ТШ-2. Значення твердості за Брінеллем *HBW*, що отримані шляхом осереднення результатів п'яти вимірювань, на бокових поверхнях поперек прокатки та на верхній і нижній поверхнях листового матеріалу, приведено в таблиці.

Таблиця. Результати вимірювання твердості за Брінеллем легованої сталі Armoх 500Т.

Напрямок визначення твердості	Твердість за Брінеллем, HBW
Бокова поверхня поперек прокатки	543
Верхня поверхня зразка	418
Нижня поверхня зразка	424

Як видно з даних, наведених в табл., значення твердості за Брінеллем сталі Armoх 500Т, що визначені на бокових поверхнях поперек прокатки вищі ніж на поверхнях листового матеріалу на 30%.

Проведено металографічні дослідження мікроструктури на наявність знеуглецьованого шару, а також аналіз його хімічного складу. Металографічні дослідження проводили оптичним інвертованим мікроскопом «AXIOVERT 40 MAT» з фіксацією мікроструктур цифровою фотокамерою CANON A640 в програмі «AXIOVISION LE» при збільшеннях від 100 до 1000. Мікрошліфи виготовляли на установці «BUEHLER» за стандартною методикою з подальшим виявленням мікроструктури травленням в 4% розчині азотної кислоти в етиловому спирті. Хімічний склад поверхневого шару металу аналізували спектрометром DFS-36 на глибині 0,1 – 0,25 мм від поверхні, а також в середині листа на глибині 3 мм.

Як видно із рисунка, мікроструктура сталі в знеуглецьованих зовнішніх шарах металу містить бейніт і мартенсит, при цьому доля мартенситної складової та вміст вуглецю зростають по мірі віддалення від поверхні.

Також було визначено мікротвердість $HV_{0,1}$ і твердість за Брінеллем HB_{30} по товщині листа. Вимірювання мікротвердості $HV_{0,1}$ при навантаженні 100 г проводили мікротвердоміром PMT-3 згідно [8]. Твердість за Брінеллем HB_{30} вимірювалась портативним твердоміром ERNST Computest SC. Розподіл мікротвердості за Віккерсом $HV_{0,1}$ та твердості за Брінеллем HB_{30} по товщині листа представлено на рисунку.

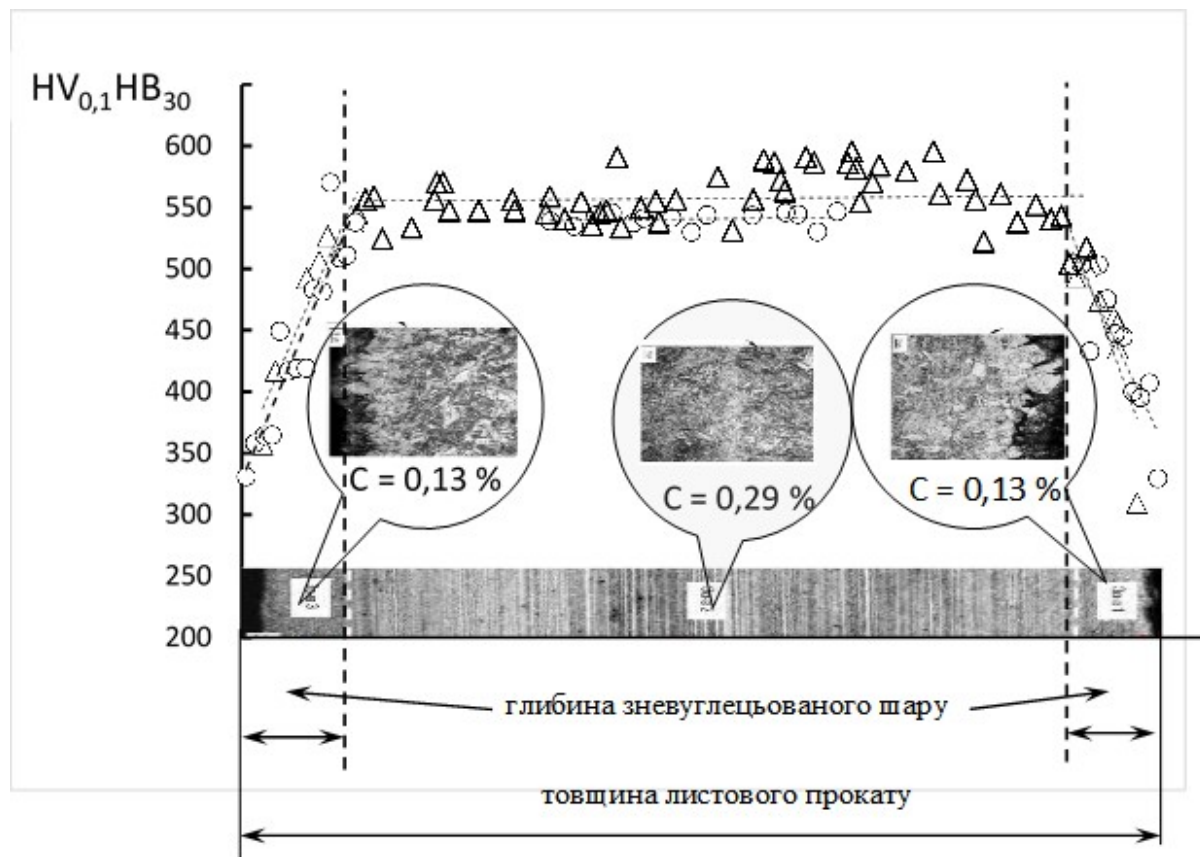


Рисунок. Розподіл мікротвердості за Віккерсом $HV_{0,1}$ (○) і твердості за Брінеллем HB_{30} (Δ) по товщині листа поперек прокатки, а також макро- та мікроструктура (виносні вставки) легированої сталі Arмох 500T по товщині листа 6 мм в тій же площині за різних збільшень.

Розподіли твердості за Брінеллем і мікротвердості за Віккерсом по товщині листа носять аналогічний характер, а значення твердості HB_{30} змінюються від 330 з країв верхньої і нижньої поверхонь до 580 одиниць в середині листа. Різниця значень сягає 43%. Глибина знеуглецьованого шару сягає 0,8 мм.

Отримані результати свідчать про успішне застосування досить швидкої і економічної методики визначення величини знеуглецьованого шару за результатами вимірів твердості в макродіпазоні зусиль індентування на прикладі листового прокату легированої сталі Arмох 500T.

Запропонована методика може бути використана для вхідного контролю якості матеріалу, встановлення припусків на обробку різанням, та оцінки впливу технології виробництва на знеуглецьовання.

Список літератури

- [1]. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. В 3-х т. Под ред. Бернштейна М. Л., Рахштадта А. Г.
- [2]. ASTM E 1077 Стандартні методи випробувань для оцінки глибини знеуглецювання сталевих зразків (ASTM E 1077 Standard test method for Estimating the Depth Decarburization of Steel Specimens).
- [3]. Katok, O.A., Muzyka, M.R., Shvets, V.P. et al. Determination of Hardness of High-Strength Steels by Brinell Method. Part 2. Improvement of the Method and Measurement Results. Strength Mater 54, 802–808 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11223-022-00456-6>.
- [4]. Руководство по эксплуатации портативного твердомера Ernst Computest SC. – Ernst: Редакция 07.2002. – 34 с.
- [5]. ASTM E 3-01 Методика приготування металографічних зразків. (ASTM E 3-01 Guide for Preparation of Metallographic Specimens).
- [6]. СОУ 56-36-2021 «Матеріали металеві. Високоміцні та броньовані листові сталі. Визначення твердості за методом Брінелля». – Чинний з 06.01.2021.
- [7]. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 1. Метод випробування (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT). – Чинний з 01.11.2019.
- [8]. ISO 6507-1:2023 specifies the Vickers hardness test method for the three different ranges of test force for metallic materials including hardmetals and other cemented carbides. – Чинний з 01.10.2023.