

# МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТВЕРДОСТІ ЗА БРІНЕЛЛЕМ

В. П. Швець, О. А. Каток

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

The Brinell hardness test measurement equipment has been developed for structural materials within the range of temperatures from 293 K to 923 K. The temperature dependence of the Brinell hardness of structural steels 45, 15Kh1M1FL and 25Kh1M1FA is obtained.

**Вступ.** Як відомо [1], встановлення взаємозв'язку між твердістю металів та сплавів і їх характеристиками міцності останнім часом викликає значну практичну зацікавленість, оскільки виключає необхідність виготовлення спеціальних зразків із металу конструктивних елементів для поточного контролю технічного стану працюючого обладнання [2, 3]. Знання характеристик механічних властивостей конструкційного матеріалу в експлуатаційних умовах користується все більшим попитом в інженерній практиці для оцінки залишкового ресурсу унікального технічного обладнання, яке в більшості випадків працює при температурах вищих за кімнатну.

Аналіз досліджень, пов'язаних з розвитком і розширенням сфер використання методу твердості при вирішенні задач механіки матеріалів та інших технічних додатків, показує, що в даний час основна увага фахівців у цій галузі зосереджено на підвищенні достовірності кореляцій чисел твердості з характеристиками інших властивостей матеріалів [2 - 5 та ін.]. Твердість сама по собі є унікальною характеристикою, що об'єднує цілий комплекс фізичних і механічних властивостей твердих тіл [6, 7]. Тому її можна вважати інтегральним параметром, на який часто орієнтуються при виборі та оцінці якості матеріалів для конструкцій.

Нижче приведені методика та обладнання для контролю поточного стану конструкційних матеріалів технічних виробів за результатами вимірів високотемпературної твердості.

**Методика та обладнання.** Для вимірювання твердості за Брінеллем конструкційних матеріалів у діапазоні температур від 293 К до 923 К в Інституті проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України на базі твердоміра типу ТШ-2 сконструйовано спеціальний пристрій (рис. 1).

До складу пристрою входить подовжувач 2, хвостовик якого стопорним гвинтом закріплено у втулці 1 твердоміру. В нижній частині подовжувача є отвір, в якому аналогічно закріплена оправка індентора із кулькою 3. Замість звичайної кульки із сталі ШХ15 використано кульку із твердого сплаву на основі карбиду вольфраму (WC). Головною перевагою застосування цієї кульки є можливість підвищення верхньої межі вимірювання твердості до 600 HBW, а також висока температура плавлення і відмінна стійкість до окислення. Для розміщення зразка 4 на підйомному гвинті твердоміра встановлено предметний столик 5 із жароміцної сталі. Предметний столик зі зразком та нижня частина подовжувача з індентором розташовані в робочій зоні трубчастої електропечі 6. Для запобігання перегріву корпусу твердоміра передбачено систему охолодження 7.

Електропіч призначено для радіаційного нагріву та витримки під час випробувань необхідної температури зразка. Нагрівач виконано з ніхромового дроту (не показано), протягнутого у вертикальних керамічних трубках 8, які зафіксовано по внутрішньому діаметру електропечі і захищено теплоізоляцією, покритою захисною оболонкою 9. Для забезпечення рівномірності нагріву зразків і зменшення тепловтрат отвори електропечі закрито термостійкими накладками 10.

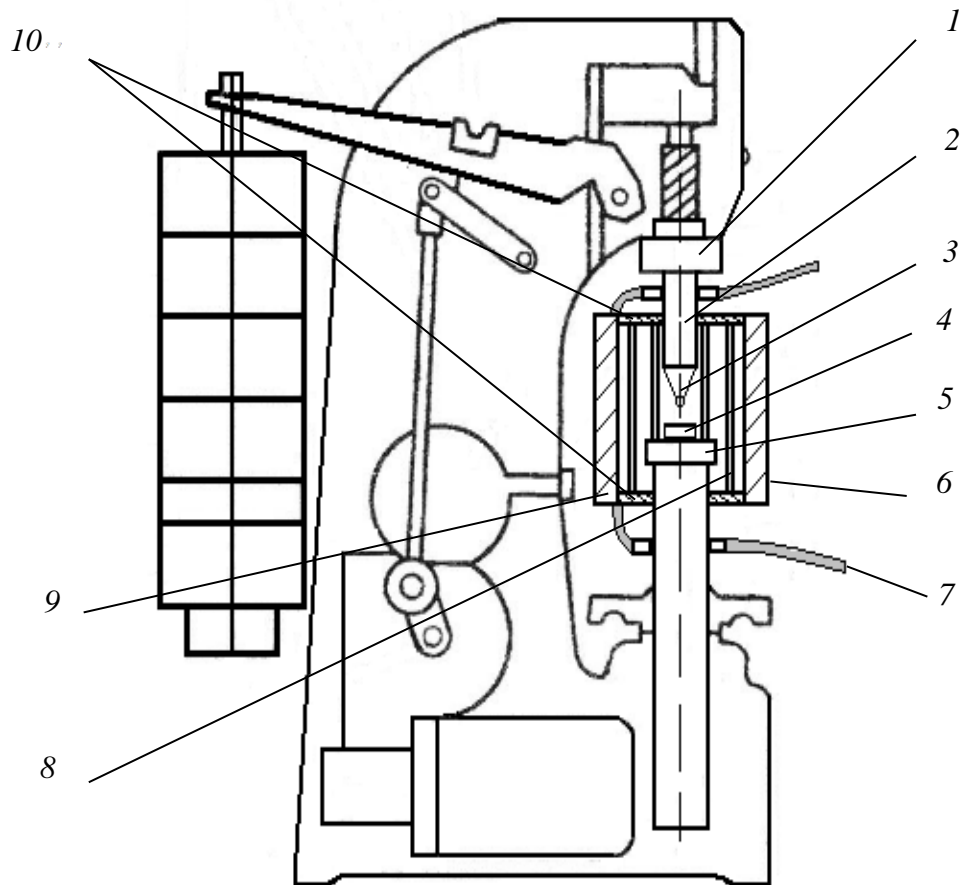


Рис.1. Твердомір типу ТШ-2 із пристроєм для високотемпературних випробувань: 1 – подовжувач; 2 – втулка твердоміра ТШ-2; 3 – оправа індентора із кулькою; 4 – зразок; 5 – предметний столик; 6 – електропіч; 7 – система охолодження; 8 – керамічні трубки; 9 – теплоізоляція із захисною оболонкою; 10 – термостійкі накладки.

Схема системи нагріву зразка та регулювання температури приведено на рис.2. Для нагрівання та підтримки під час випробувань заданої температури зразка застосовують контролер МІК-51 (виробництво підприємства «МІКРОЛ», Україна), у якому використано широтно-імпульсний метод регулювання температури. Похибка підтримання температури не перевищує 0,1 % від діапазону регулювання. Вимірювання температури зразка проводять контактним методом за допомогою первинного перетворювача — хромель-алюмелівої термопари. Контакт між зразком та термопарою забезпечують кріпленням спаю термопари у центрі основи зразка за допомогою зварювання.

Вимірювання твердості проводять наступним чином. На предметний столик встановлюють зразок із привареною термопарою. Обертанням маховичка підйомного гвинта розташовують індентор і зразок на відстані 1 мм ... 2 мм один від одного. Термостійкими накладками закривають отвори електропечі і проводять нагрів зразка до температури випробування. Після витримки при заданій температурі випробувань, тривалість якої встановлюють в залежності від прогріву об'єму матеріалу, зразок підводять до кульки з деяким навантаженням до упора, після чого наносять відбиток. Обертанням маховичка у зворотній бік опускають зразок і поступово відкривають термостійкі накладки до повного охолодження робочої зони електропечі. Виймають зразок з електропечі і за допомогою мікроскопа вимірюють в двох взаємно перпендикулярних напрямках розміри діаметрів

отриманого відбитка. За середнім значенням діаметра відбитка відповідно ГОСТ 9012-59 визначають твердість матеріалу.

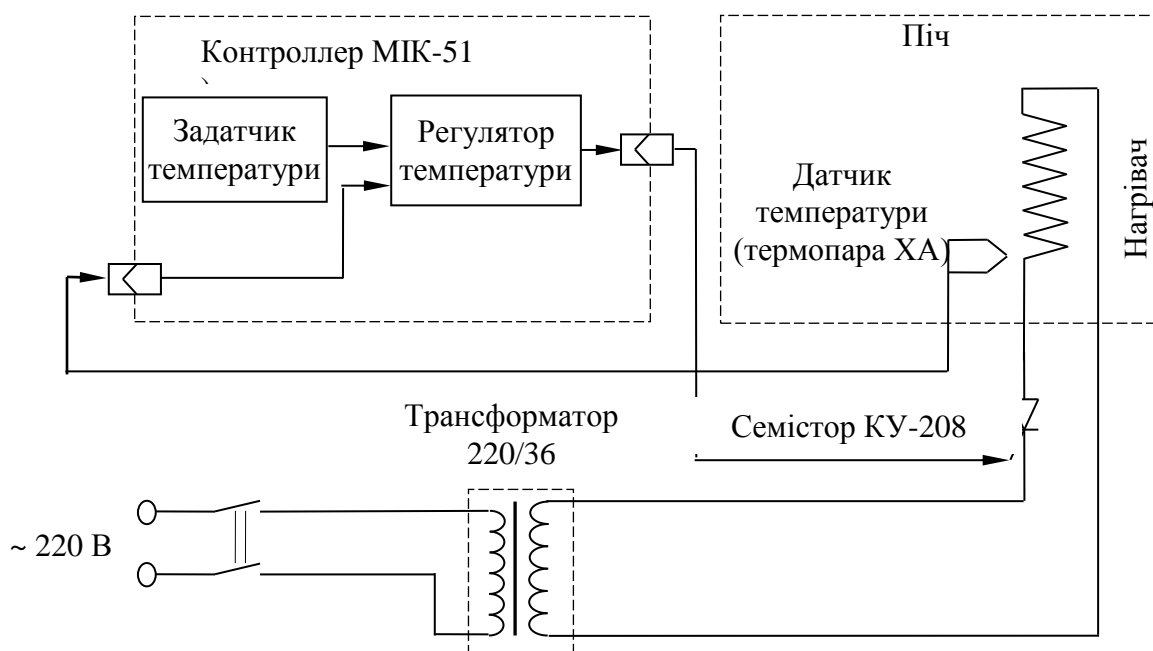


Рис. 2. Блок-схема нагріву зразка

Для запобігання можливості окислення металу випробувану поверхню зразка попередньо покривають шаром борної кислоти, якщо випробування ведеться при температурах до 823 К, або шаром борнокислого натрію, якщо температура випробувань лежить в інтервалі 823 – 923 К. Покриття наносяться шляхом занурення зразка у відповідні розплавлені хімікати. На результати вимірювань твердості ці покриття не впливають [8].

**Результати апробації методики.** Апробацію розроблених методик та обладнання проводили шляхом вимірювання значень характеристик твердості конструкційної сталі 45 та двох марок теплостійких сталей перлітного типу 15X1M1ФЛ та 25X1M1ФА, які широко використовуються для виготовлення конструкційних елементів в тепловій та атомній енергетиці. Для індентування металів було застосовано кульку діаметром 2,5 мм. Навантаження на індентор складало 1839 Н або 612,9 Н. Тривалість витримки під навантаженням становило 60 сек.

Температурна залежність характеристик твердості (НВ) та міцності ( $\sigma_{0,2}$ ) досліджуваних металів показана на рис.3, із якого видно, що із підвищенням температури випробувань опір деформуванню як в умовах статичного розтягу, так і під дією контактних зусиль зменшується. Слід також відмітити деяку кореляцію між залежностями  $HV = \varphi_1(T, K)$  та  $\sigma_{0,2} = \varphi_2(T, K)$ , що раніш відмічалось в роботах [1, 10]. На цих залежностях відмітимо три характерних ділянки, пов'язані з інтенсивністю зміни пластичному деформуванню в умовах розтягу та контактному навантаженні. На першій ділянці, яка знаходиться в інтервалі температур 293-473 К має місце майже лінійна залежність твердості та умовної границі текучості від температури. Подальше підвищення температури випробувань до 803 К дещо знижує інтенсивність опору пластичному деформуванню як в умовах індентування, так і при розтягу. При температурах вищих за 803 К (третя ділянка) відбувається інтенсивне зниження як характеристик твердості, так і міцності, що добре корелює з даними [1, 9, 10]. Таким чином слід відмітити, що розроблена методика і створене обладнання можна успішно використовувати для контролю поточного стану матеріалу конструкційних елементів, що працюють в умовах характерних для енергетичного обладнання.

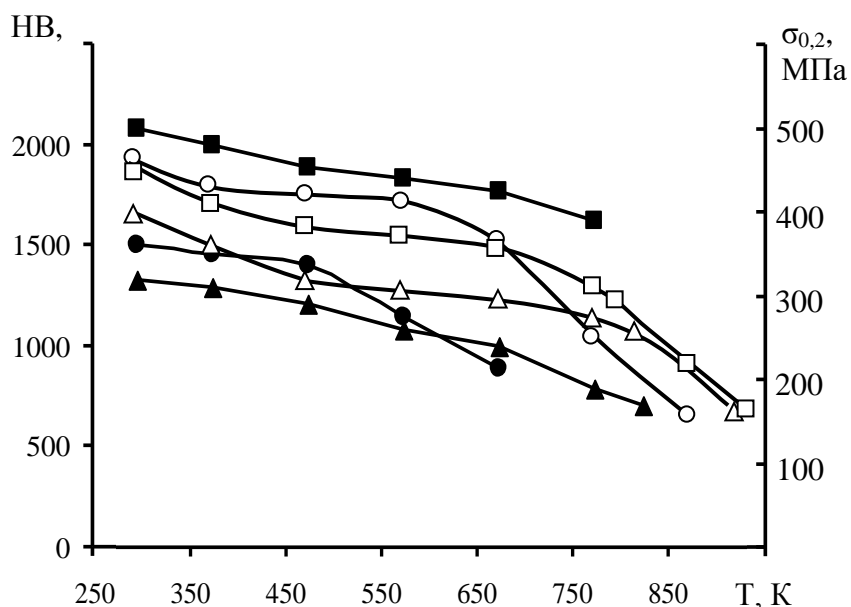


Рис. 3. Температурна залежність характеристик твердості, HV (○, △, □) і міцності,  $\sigma_{0,2}$  (●, ▲, ■) конструкційної сталі 45 (○, ●) та двох теплостійких сталей перлітного типу 15X1M1ФЛ (△, ▲) та 25X1M1ФА (□, ■).

**Висновки.** Розроблено методику і сконструйовано пристрій високотемпературних випробувань, що дозволяє проводити вимірювання твердості конструкційних сталей на базі твердоміра типу ТШ 2 в діапазоні температур 293 – 923 К. Досліджено залежність величини твердості за Брінеллем сталі 45 та теплостійких сталей 15X1M1ФЛ і 25X1M1ФА від температури.

### Література

1. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
2. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
3. Матюнин В.М. Оперативная диагностика механических свойств конструкционных материалов. – М: Издательский дом МЭИ, 2006. – 214с.
4. Каток О. А., Харченко В. В., Дроздов А. В., Панасенко А. В. Определение механических свойств сталей методом непрерывного индентирования // Надежность и долговечность машин и сооружений. – 2008. – Вып. 31. – С. 208 – 213.
5. Лебедев А.А., Музыка Н.Р., Швец В.П. О резервах повышения достоверности методов определения твердости материалов // Пробл. прочности – 2011. №3. С.5 –18.
6. Комаровский А.А. Физическая природа твердости // Контроль. Диагностика. – 2003. - №1. – С.41 - 43.
7. Лебедев А.А., Музыка Н.Р., Швец В.П. Метод оценки вязкости разрушения материала по рассеянию характеристик твердости. // Пробл. прочности. – 2007. №6. С.5 –11.
8. Авдеев Б.А. Техника определения механических свойств материалов. – М.: Машиностроение, 1965. – 488 с.
9. Борисенко В.А. Твердость и прочность тугоплавких материалов при высоких температурах. – К. : Наукова думка, 1984. – 212 с.
10. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. – М. : Металлургия, 1969, 2-е изд. – 752 с.