

УДК 620.178.15

## ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИЧНОЇ ТВЕРДОСТІ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ СТАЛІ

Л.Л. Костіна, доц., к.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Проведені вимірювання твердості зварного шва будівельної сталі на гіпертвердомірі конструкції ХНАДУ. Гіпертвердомір власної конструкції дозволяє визначати твердість будь-яких матеріалів безпосередньо в процесі навантаження в різних системах координат і виявляє особливості деформації.

*Ключові слова:* твердість, крива навантаження, характер деформації.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ТВЕРДОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ

Л.Л. Костина, доц., к.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Проведены измерения твердости сварного шва строительной стали на гипертвердомере конструкции ХНАДУ. Гипертвердомер собственной конструкции позволяет определять твердость любых материалов непосредственно в процессе нагружения в различных системах координат и выявляет особенности деформации.

*Ключевые слова:* твердость, кривая нагружения, характер деформации.

## MEASUREMENT OF KINETIC HARDNESS OF CONSTRUCTION STEEL WELDED JOINT

L. Kostina, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* Measurements of hardness of the steel construction welded joint, using a hardness tester made at KhNAHU are conducted. The hardness tester in question allows determining the hardness of any material directly in the process of loading in different coordinate systems and identifying the characteristics properties of strain.

*Key words:* hardness, loading curve, deformation.

### Вступ

Розвиток технологій дослідження матеріалів дозволяє більш досконало розібратися в фізичних процесах, що відбуваються в сталі у випадках навантаження і деформування. Особливо важливо це для простих за складом вуглецевих будівельних сталей, таких як сталь Ст3, після зварювання, бо більшість конструкцій отримують методами деформації та зварювання. Останнім часом поширюються методи дослідження властивостей ма-

теріалів не після, а безпосередньо під час навантаження. Це дозволяє більш досконало дослідити механізм та особливості деформування матеріалів. До таких методів належать методи вимірювання кінетичної твердості.

### Аналіз публікацій

Поставлене завдання є дуже актуальним, оскільки властивості залежать і від механізму деформації сплаву, що є різним у неоднакових умовах. Будівельні сталі використовую-

ють для арматури та елементів будівельних і мостових конструкцій, визначення властивостей яких після певного строку роботи має деякі труднощі. Тому методи визначення твердості та зв'язку між твердістю та особливостями деформаційних процесів у металі є важливими [3–5].

Кінетичні методи дослідження твердості полягають у вимірюванні реакції матеріалу на навантаження безпосередньо в процесі прикладення навантаження, на відміну від статичних методів, що полягають у вимірюванні відбитку індентора після зняття навантаження. Характер кривої індентування дає уяву про особливості деформації матеріалу.

У процесі зварювання для будь-якого зварного шва розрізняють зону металу шва (зону шва), зону основного металу та зону термічного впливу (ЗТВ). Метал шва звичайно має більшу та неоднорідну твердість. Основний метал під час зварювання не нагрівається до значних температур, тому його твердість не змінюється. У зоні термічного впливу температура у процесі зварювання змінюється від температури рідкого металу (2000–3000 °С) до температури навколишнього середовища (основного металу). Тому в ній відбувається велика кількість дифузійних процесів та фазових змін, що призводить до значної неоднорідності металу і його властивостей. Ця зона є найбільш небезпечною для руйнування. Під час дослідження і характеристики зварних з'єднань звичайно описують усі три зони, тому було доцільно дослідити процеси деформування у всіх трьох.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи було порівняти криві індентування фрагмента зварної конструкції із сталі Ст3 і визначити різницю в характері деформування основного металу, металу шва та зони термічного впливу.

### Результати досліджень та їх обговорення

Основною будівельною сталлю є сталь Ст3. Конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості Ст3 застосовують для виготовлення елементів конструкцій а також ряду деталей. [1, 2]. Сталь Ст3 містить: вуглецю – 0,14–0,22 %, кремнію – 0,05–0,17 %, марганцю – 0,4–0,65 %, нікелю, міді, хрому – до 0,3 %, миш'яку до 0,08 %, сірки і фосфору – до 0,05

і 0,04 % відповідно. Ця сталь зварюється без обмежень. Способи зварювання: ручне дугове, автоматичне дугове під флюсом і газовим захистом, електрошлакове, контактноточкове. Для товщини більшої ніж 36 мм рекомендується підігрів і подальше термооброблення. У процесі зварювання низьковуглецевої сталі Ст3 застосовують дріт Св-08ГС. Сталь Ст3 не схильна до відпускнуї крихкості, нефлокеночутлива. Основою структури сталі є ферит.

Останнім часом поширюються методи дослідження властивостей матеріалів не після, а безпосередньо під час навантаження [8, 10]. Для дослідження процесів деформування сталі Ст3 був обраний оригінальний прилад, який дозволяє фіксувати одночасно навантаження і деформацію зразка, а також проводити за один раз два види деформування – гіпертвердомір [4] (рис. 1). Деформування проводили звичайним індентором кулькової форми діаметром 1,588 мм.

Прилад має додаткове комп'ютерне оснащення з відповідним програмним забезпеченням, що дозволяє отримувати криві навантаження в потрібних координатах (кН – мм, кН – с, МПа – мм).

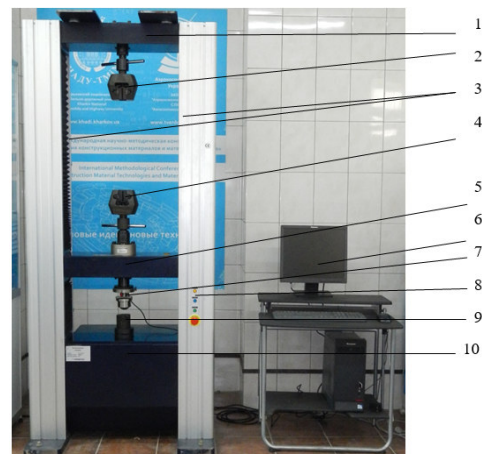


Рис. 1. Загальний вигляд гіпертвердоміра: 1 – верхня траверса; 2 – верхній захват для зразків; 3 – стійки; 4 – нижній захват для зразків; 5 – нижня траверса; 6 – комп'ютер; 7 – державка з індентором; 8 – кнопки управління; 9 – зразок, що індентують; 10 – стілець

Максимальне навантаження було обмежено 30–35 кН, швидкість навантаження становила 0,5 мм/хв. Було проведено експеримен-

тальну перевірку за умови навантажень до 50–55 кН, та вона не показала помітної зміни характеру кривих.

Для досліджень був обраний фрагмент будівельної зварної конструкції із сталі Ст3, що містив основний метал, метал шва та зону термічного впливу (рис. 2). Виріб отримували електродуговим зварюванням. Для вимірювання твердості потрібна рівна поверхня, тому треба було зачистити ділянки зварного шва на наждачному колі. Вимірювання проводили по декількох точках основного металу, зварного шва та зони термічного впливу зразка.

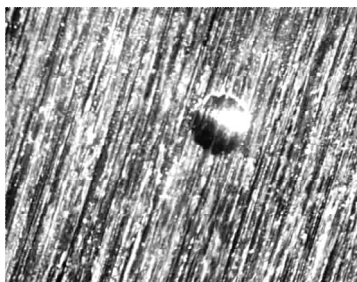


Рис 2. Вид відбитка індентора на металі

Криві, отримані внаслідок експерименту, наведені на рис. 3–5.

Характер отриманих кривих змінюється протягом збільшення навантаження за такими схемами.

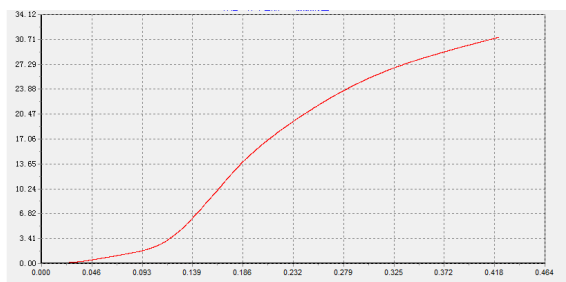


Рис. 3. Крива індентування основного металу

За умови індентування основного металу крива спочатку (до точки, відповідної деформації 0,139 мм і навантаження 6,82 кН) має вигляд параболи

$$Y = 10^{-6}4,32x^2 - 10^{-4}7,459x + 10^{-2}8,73. \quad (1)$$

У зазначеній точці характер кривої змінюється та відповідає рівнянню

$$Y = 1,31x^{1/2} \quad (2)$$

Деформування проходить плавно і досить повільно; сумарний час навантаження до максимальної його величини становить 224 с за умови максимальної деформації 0,420 мм.

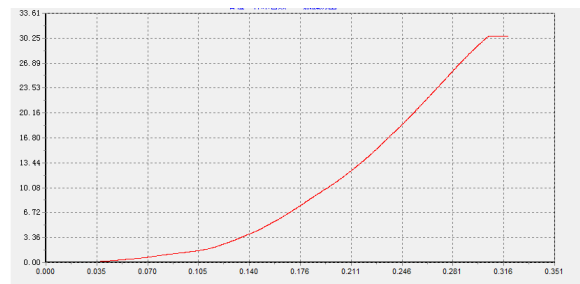


Рис. 4. Крива зміни навантаження в зоні термічного впливу

У зоні термічного впливу крива деформації має вигляд параболи типу

$$Y = 10^{-6}5,38x^2 - 10^{-3}1,21x + 10^{-2}4,52. \quad (3)$$

Зміни характеру кривої під час навантаження немає; навантаження теж відбувається досі повільно, але сумарний час досягнення його максимальної величини становить 170 с за умови максимальної деформації 0,300 мм.

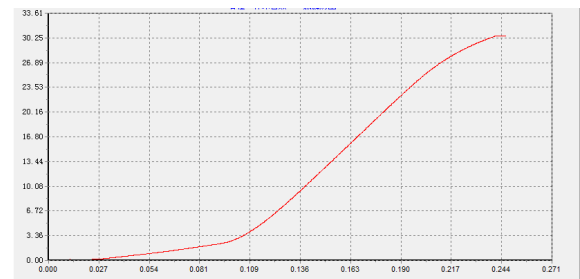


Рис. 5. Крива зміни навантаження металу шва

У процесі деформування основного металу до точки 0,097 мм, 2,25 кН залежність має характер прямої

$$Y = 0,125x. \quad (4)$$

Після першої точки перегину до точки 0,190 мм, 23,1 кН залежність теж пряма,

$$Y = x, \quad (5)$$

а потім трохи повертає на параболу.

Можна також описати її складною поліноміальною залежністю.

Досягнення максимальної величини навантаження відбувається досить швидко – за 131 с за умови максимальної величини деформації 0,244 мм.

### Висновки

У процесі індентування основного металу найбільший час до досягнення максимального навантаження і найбільша глибина проникнення індентора. Це відповідає меншій твердості у випадку звичайного індентування та свідчить про більшу пластичність матеріалу. Зміна характеру кривої, можливо, свідчить про зміну механізму деформації за умови залучення в деформацію нових шарів металу.

На більш твердому металі ЗТВ максимальне навантаження досягається швидше за умови меншої величини деформації. Це може свідчити або про наявність певної помітної кількості крихких ділянок у металі ЗТВ, або про наявність помітної (більшої ніж у випадку деформування основного металу) частки пружної деформації.

Метал шва у разі стандартного дослідження має найбільшу твердість і найменша величина деформування відповідає цьому. Найменший час досягнення максимальної величини навантаження відповідає більшій крихкості металу в цій зоні та більшій частці пружної деформації.

### Література

- ГОСТ 22761-77: Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. – [Введ. 1979.01.01]. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 10 с.
- ГОСТ 380-2005: Стали обыкновенного качества. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 11 с.
- ДСТУ ISO 6506-1:2007: Національний стандарт України Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування. [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 14 с.
- ASTM E 18-08b Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials. – 37 p.
- Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов / В.И. Мощенок. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 324 с.
- ASTME 384-10e2: Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. – 42 p.
- ДСТУ ISO 6507-1:2007: Матеріали металеві. Визначення твердості за Віккерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT). – [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010 – 16 с.
- Патент № 81864 Україна, МПК 51, G01N 3/40 Гіпертвердомір / Мощенок В.І., Костіна Л.Л., Демченко С.В.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № 201301532, заявл. 11.02.2013; опубл. 10.07.2013, Бюл. №13. – 4 с.
- Мощенок В.И. Диаграмма индентирования и современные методы измерения твердости / В.И. Мощенок, Л.Л. Костина. // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2011. – С. 16–18.

Рецензент: В.І. Мощенок, професор, к.т.н., ХНАДУ.