

УЛТРАЗВУКОВИ МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ТВЪРДОСТТА НА МЕТАЛИ

ULTRASONIC METHODS FOR MEASUREMENT HARDNESS OF THE METALS

Стефан Милчев

ЕЛКОСИС-ЕООД, гр. Габрово

Райчо Иларионов

ТУ-Габрово

Иван Симеонов

ТУ-Габрово

Abstract

Method for measurement hardness of metals on the base of reflection of ultrasonic waves at boundaries where there is a difference in acoustic impedances of the materials on each side of the boundary is investigated. Well known piezoelectric principle used to measure hardness in a practice is analyze also. Advantages and disadvantage of both methods are define.

Keywords: Ultrasonic waves, acoustic impedance, hardness of metals

ВЪВЕДЕНИЕ

Колкото и странно да ни се струва, понятието твърдост на металите е обект на дискусии между различните специалистите: металурзи, инженери и научните работници по металознание. Затова не е чудно, че съществуват различни дефиниции за понятието твърдост. Основни характеристики на металите, като износоустойчивост, якост на опън и деформации, модулите на еластичност са свързани с тяхната твърдост. Затова измерването на този параметър е задължително при разработката на нови материали, както и при проектирането и производството на отговорни механични детайли.

Най общата дефиниция за твърдостта се свързва със свойството на метала да се съпротивлява срещу проникването на тела, с различна форма, изработени от материали с голяма здравина, които не получават остатъчна деформация. На тази основа са стандартизирани различни методики за измерване на твърдостта: методи на Бринел, на Роквел, на Викерс [1]. Като правило тези методи са за лабораторни измервания, което е техен основен недостатък, в случаите когато определянето на твърдостта трябва

да се извърши там където се намира детайлът. Той дори може да бъде конструктивно вграден в машина. Затова в последните години добра пазарна реализация намират мобилните уреди за тестване на твърдостта. В настояща работа обект на разглеждане са този клас устройства.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Методите за измерване на твърдостта на металите се разделят на два типа:

а) Статични:

При тези методи измерването се базира на общата дефиниция за твърдост, т.е. оценява се степента на проникване иденитор, площ или дълбочина, и в зависимост от приложената сила се определя твърдостта.

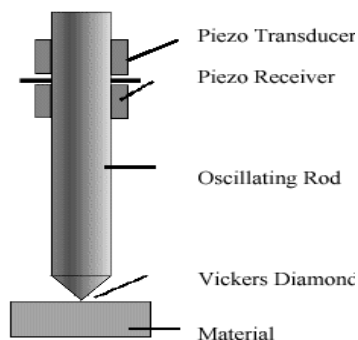
б) Динамични:

При тях се оценява “загубата на енергия” при външно въздействие върху повърхността на изследвания метал.

При разработката на мобилни тестови уреди за твърдост се прилагат и двата метода. Същественото е, че се автоматизира оценката на резултата от външното въздействие, както и неговата индикация. Към настоящия момент практическа, пазарна реализация,

са намерили следните технологии: UCI, REBOUND и TIV.

Методът UCI (Ultrasonic Contact Impedance) [2] намира приложение в практиката в съответствие със стандарт ASTM 1038. Измерването е статично и е по метода на Викерс [3]. На Фиг. 1 е показана принципната схема на реализация.



Фиг. 1. UCI Method

Диамантен връх е закрепен към цилиндричен ултразвуков вибратор, който се разколебава надлъжно от пиезо-излъчвател. Типичната стойност на резонансните ултразвуковите колебания е около 70 kHz. При измерване вибраторът се притиска с определена постоянна сила и диамантеният връх предизвиква пластична деформация на повърхността на изследвания метал. Това води до повишаване на резонансната честота на вибратора с Δf , защото на колебателната система се проявява действието на обратна сила, чиято големина зависи от площта на деформирувания участък.

Изменението на честотата е пропорционално на площта в съответствие с:

$$\Delta f = f(A, E_d, \sigma_d, E_P, \sigma_P, f_0), \quad (1)$$

където:

A - контактна площ;

E_d, E_P – модул на еластичност на диаманта, респ. на изследвания материал;

σ_d, σ_P – Поасоново число на диаманта, респ. на изследвания материал;

f_0 – резонансна честота на вибратора без товар.

Големината на контактната площ зависи от твърдостта на материала и може да се изрази чрез:

$$A = g(E_d, \sigma_d, E_P, \sigma_P) \cdot h(\Delta f/f_0) \quad (2)$$

При известни стойности на $E_d, \sigma_d, E_P, \sigma_P, f_0$ и измервана на Δf , може да се изчисли площта A , а от тук и твърдостта HV по Викерс:

$$HV = F/A, \quad (3)$$

където F – приложената към вибратора сила.

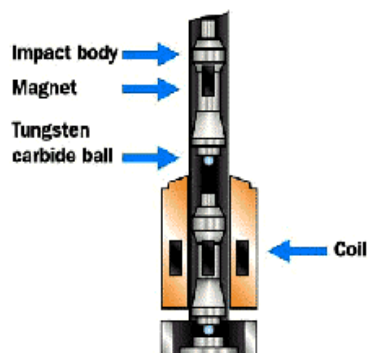
Основните недостатъци на UCI технологията за производство на мобилни тестери за твърдост на метали са:

- методът е статичен и предполага пластична деформация на изследваната повърхност, което в някои случаи е недопустимо;
- тестването на малко по размер детайли е затруднено;
- прецизен подбор и калибровка на сондите в зависимост от тествания детайл.

Методът TIV (Through Indenter Viewing) е също статичен и определянето на твърдостта е по Викерс. Измерването на площта на пластично деформираната тествана повърхност се осъществява чрез CCD камера монтирана в диамантения връх на сондата.

Методът REBOUND е динамичен и за него е в сила стандарт ASTM 956.

Принципът на тестване за твърдост е показан на фиг. 2.



Фиг. 2. REBOUND Method

Сфера от твърд материал с определени размер се изстрелва към изследваната повърхност със скорост V_1 . След отразяване от повърхността, в резултат на “загубата на енергия”, сферата придобива скорост V_R . Загубата на енергия, респ. скоростта V_R зависят от твърдостта на изследваната повърхност. При техническата реализация на тази принципна схема, измерването на двете скорости става по електромагнитен път. Твърдостта се изчислява по формула предложена от D. Leep:

$$HL = V_R / V_1 \cdot 1000 \quad (4)$$

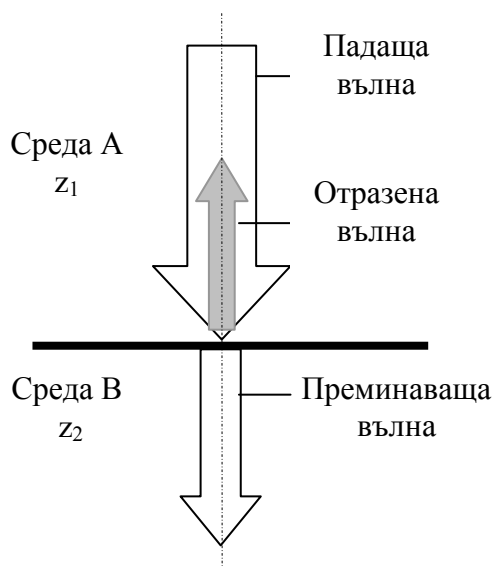
Един от водещите производители на мобилни тестери за твърдост, фирмата Krautkrampf, предлага на пазара комбиниран уред MIC 20, с комплект измерителни сонди, съответно и за двата метода - UCI и REBOUND.

Принципите на двата разгледани метода, базиращи се на ултразвуковия контактен импеданс (UCI) и на отражението свързано със загубата на енергия (REBOUND), могат да бъдат обединени и да се отстранят някои техни недостатъци.

Принципът на отражение, известен като ехолокационен при ултразвуковите вълни, е отдавна известен и е намерил разнообразни практически приложения, включително и за разпознаване на различни материални среди [4].

Нека разгледаме процесите на границата между две среди А и В. В средата А се разпространява падаща ултразвукова вълна, която при достигане на средата В се отразява (фиг. 3).

В конкретния случай средата А е въздух, а средата В - метал с определена твърдост. От теорията за разпространение на ултразвуковите вълни е известно, че на границата на две среди с различно акустично съпротивление падащата вълна предизвиква както отразена, така и преминаваща вълна през средата В. Следователно отраже-



Фиг. 3. Пречупване и отражение на ултразвука от границата на две среди с различен акустичен импеданс при нормално падане

нието е свързано със “загуба на енергия”. Този процес се характеризира с коефициента на отражение m , който зависи от акустичните импеданси z_1 и z_2 на двете среди, респективно на въздуха и изследвания метал и се определя с изрази [5]:

$$m = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \quad (5)$$

Очевидно е, че коефициентът m има стойност в диапазона от 0 до 1.

За акустичния импеданс Z е в сила зависимостта:

$$Z = \rho \cdot V, \quad (6)$$

където: ρ – е плътността на средата, V – звуковата скорост.

Средата А (въздух), акустичният импеданс z_1 се разглежда като константа, тъй като е известна неговата стойност [5].

За средата В акустичният импеданс z_2 може да се изрази, като се вземе предвид формулата за скоростта на надлъжните ултразвукови колебания в твърдите тела [6]:

$$V_2 = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}, \quad (7)$$

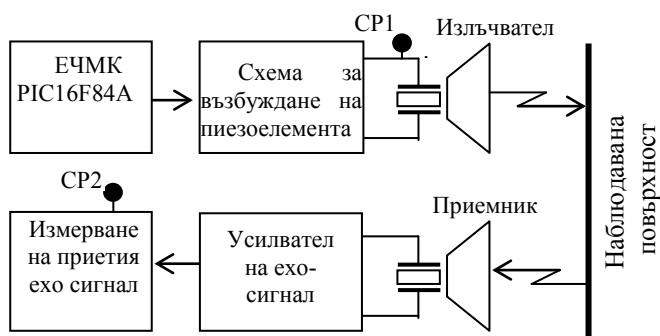
където: E – модул на Юнг, σ – коефициент на Поасон.

От (5), (6) и (7) коефициентът на отражение m може да се изрази като функция от вида:

$$m = f(E, \sigma) \quad (8)$$

В [7] е изследвана корелационната зависимост на модула E от твърдостта на метала. Това означава, че ако се измери коефициентът на отражение m , може да се определи твърдостта на изследвания метал.

Определянето на коефициента на отражение m може да се извърши с помощта на електроакустични преобразуватели, като част от една система, чиято блокова схема е показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Блокова схема на устройство за определяне на коефициента на отражение t

За стойността на коефициента на отражение t се съди по отношението $U_{\text{приемане}}/U$, където $U_{\text{приемане}}$ е стойността на напрежението на отразения сигнал, а U - стойността на напрежението за възбуждане на пиезопреобразувателя. Напреженията $U_{\text{приемане}}$ и U се измерват съответно в контролни точки 2 и 1 (CP2 и CP1, фиг. 3.2) [4].

Установената стойност на амплитудата на отразената акустична вълна е мярка за коефициента на отражение t на съответната контролируема среда. За един и същи коефициент на отражение t , амплитудата на отразената вълна зависи от разстоянието b на излъчвателя до отразяващата среда, и е свързано с коефициента на закъснение на отразената вълна τ

$$\tau = \frac{2b}{V_1}. \quad (9)$$

Следователно, при тази схема на измерване предварително трябва да се извърши таритране, за да се избегне влиянието на разстоянието b върху крайния резултат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледаният ултразвуков ехолокационен принцип, както и зависимостта (8) на коефициента на отражение t на границата

въздух-метал, може да бъде приложен за определяне твърдостта на метала. Това означава, че при проектирането на мобилни тестери за твърдост може успешно да се приложи комбинираният метод UCI-REBOUND I и да се отстранят посочените недостатъци на стандартните методи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Калев Л.Ц., Кортенски Х.К., Стоянов Ю. В., Механична технология, София, Техника, 1971.
- [2] Frank Stefan, Portable hardness testing-principles and application, AGFA NDT GmbH, Germany.
- [3] Kissing, J., Weiler, W., Winckler, I.: Das UCI-Verfahren - ein automatisierbares Härteprüfverfahren nach Vickers unter Prüfkraft, VDI - Berichte Nr. 583/1986, S.371-391.
- [4] Симеонов И.С., Компютърна измервателна система, Дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен „Доктор“, Габрово, Май 2005
- [5] Домаркас В.Й., Пилецкас В.И., Ультразвуковая эхо-скопия, Машиностроение, Ленинград, 1988
- [6] Под ред. Голямина И.П., Ультразвук-маленкая энциклопедия, Москва, Техника, 1979.
- [7] Pesek I., Olejnickova L., Jonsta Z., Meranie modulu pruznosti reznej keramiki ultrazvukovou metodou, Katedra nauki o materialoh, HF-TU v Kisiciah.

БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад е подкрепен финансово от договор ДРНФ 02/09 от 2009 г. по проект “Проектиране и разработване на устройство за безконтактно ултразвуково изследване на материали предназначено за вграждане в автоматизирани производствени системи”, финансиран от Националния фонд за научни изследвания към Министерството на образованието, младежта и науката.