

Meranie tvrdosti prenosnými prístrojmi

Používané skúšobné metódy

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že pri meraní tvrdosti materiálov prenosnými prístrojmi sa vo veľkej miere používa odrazová (dynamická) metóda. Vyplýva to hlavne z dvoch skutočností:

- prístroje na túto metódu sú lacnejšie ako pre statickú metódu UCI (**U**ltrasonic **C**ontact **I**mpedance),
- užívatelia často ignorujú nevhodnosť dynamickej metódy v špecifických oblastiach použitia.

V ďalšom sa poukazuje na základné aspekty, ktoré je potrebné brať do úvahy už pri samotnom rozhodovaní o výbere vhodnej skúšobnej metódy pre danú aplikáciu.

Veľkosť vtlačku

Pri meraní tvrdosti zvyčajne platí, že čím je vtlačok väčší, tým sa dosahuje lepšia reprodukovateľnosť výsledkov. Väčší vtlačok zasiahne väčšiu plochu skúšaného povrchu, lokálne zmeny štruktúry nehomogénneho alebo hrubozrnného materiálu sa vyrovnajú, takže sa dosahujú opakovane reprodukovateľné výsledky. Pri aplikovaní väčšieho vtlačku klesajú nároky na kvalitu povrchu materiálu a jeho prípravu pred meraním.

Naproti tomu malý rozmer vtlačku sond UCI umožňuje meranie tvrdosti jemnozrnných homogénnych materiálov s hladkým povrchom.

Z porovnania vtlačkov (*obr. 1*) je vidieť, že tieto sú pri rázových prístrojoch DynaMIC podstatne väčšie ako u prístrojov pracujúcich metódou UCI. Dynamická metóda sa odporúča na skúšanie väčších odliatok alebo výkovkov. Na skúšanie výrobkov s homogénnou štruktúrou s vytvrdeným povrchom je výhodnejší menší vtlačok, ktorý vytvárajú prístroje UCI. V *tab. 1* a *2* je porovnanie veľkosti a hĺbky vtlačkov oboch typov prístrojov pri rôznej hodnote tvrdosti skúšaného materiálu.

Pomer medzi hĺbkou vtlačku a minimálnou hrúbkou povlaku

Aby výsledok merania tvrdosti povrchovej vrstvy pri skúšaní metódou podľa Vickersa nebol ovplyvnený, musí byť hrúbka, resp. hĺbka vytvrdenej vrstvy, napr. pochrómovania, dostatočne veľká. Odporúča sa, aby hrúbka vrstvy bola minimálne 10-krát väčšia ako hĺbka vtlačku.

Približnú hĺbku vtlačku d pri skúšaní metódou podľa Vickersa možno vypočítať pomocou rovnice (1), ak je známa sila sondy a približná tvrdosť materiálu:

$$d = 0,062 \cdot \sqrt{\frac{F}{HV}} \quad (1)$$

kde: **d** je hĺbka vtlačku (mm),
F – sila (N),
HV – tvrdosť podľa Vickersa,

príčom minimálna hrúbka vrstvy s je : **$s = 10 \times d$**

kde: **s** je hrúbka vrstvy (mm),
d je hĺbka vtlačku (mm).

Faktory ovplyvňujúce výber metódy merania tvrdosti

Na výber vhodnej metódy merania tvrdosti prenosnými prístrojmi vplyva celý rad faktorov, ktoré výrazne ovplyvňujú súlad dosiahnutých výsledkov merania so skutočnými hodnotami tvrdosti.

Hmotnosť skúšaného výrobku

Pri meraní tvrdosti sa musí zohľadniť hmotnosť výrobku. Hoci požiadavky na hmotnosť výrobku pri dynamickej metóde sú vyššie ako pri metóde UCI, výsledky oboch metód môžu byť nepriaznivo ovplyvnené hmotnosťou skúšaného výrobku.

Pri dynamickej metóde pôsobí počas krátkeho času relatívne veľká sila. Napriek malej hmotnosti rázového telieska a malej rázovej energii pri dopade, sa v okamihu nárazu vytvorí sila cca 900 N (v porovnaní s tým maximálna sila sondy UCI je 98 N). Tenké a ľahké výrobky sa pri meraní tvrdosti poddávajú a získané výsledky sú preto nepresné. Pri meraní malých jednoducho tvarovaných dielov možno tento problém riešiť použitím vhodného držiaka (prispôbeného tvarom a rozmermi výrobku), resp. skúšobnej podložky (tá sa upevňuje na zadnú stranu výrobku). Držiak a podložka „zosilnia“

skúšaný diel a urobia ho stabilným. Pri extrémne tenkých materiáloch môže byť nevyhnutné použiť tenkú vrstvu oleja alebo pasty, ako väzobného prostriedku medzi výrobkom a podložkou.

Metóda UCI je založená na meraní zmeny rezonančnej frekvencie. Skúšané výrobky s hmotnosťou pod cca 0,3 kg môžu produkovať vlastné kmity, ktoré potom vedú k chybným výsledkom. Na zamedzenie vlastných kmitov je tiež treba použiť spomínanú skúšobnú podložku. Ak podložku nemožno použiť, treba použiť sondu s menšou skúšobnou silou, aby nevznikli vlastné kmity.

Požiadavky na minimálnu hmotnosť výrobku pri meraní tvrdosti jednotlivými meracími prístrojmi vo väzbe aj na potrebu držiaka výrobku, podložky a väzobnej pasty udáva *tab. 3*.

Presnosť prispôsobenia držiaka alebo podložky ku kontúram výrobku je pre jeho účinnosť rozhodujúca.

Hrúbka materiálu

Hrúbka steny rúrok, potrubí, plechov a pod. je pri skúšaní prenosnými prístrojmi rozhodujúca, obzvlášť pri dynamickej metóde. Pri dopade rázového telieska začne tenká stena meraného výrobku kmitať (napr. ako koža na bubne), čo má negatívny vplyv na výsledok merania.

Pri výbere skúšobnej metódy preto popri hmotnosti skúšaného výrobku dôležitú rolu hrá aj hrúbka steny v mieste merania. Malá hrúbka môže výrazne ovplyvniť meranie, aj keď je výrobok ako celok dostatočne masívny a ťažký.

Pri hrúbke steny menšej ako 20 mm je rázová sila dynamickej metódy dostatočná na vznik kmitov, čo vedie k chybným výsledkom a veľkému rozptylu hodnôt. Nameraná hodnota tvrdosti je nižšia ako skutočná tvrdosť. V takýchto prípadoch je potrebné uprednostniť UCI metódu. Odporúčanú minimálnu hrúbku steny pri jednotlivých metódach merania tvrdosti udáva *tab. 4*.

Na dosiahnutie tuhosti a stability sú potrebné podobné opatrenia ako pri malej hmotnosti výrobku (podložka, väzobný prostriedok).

Pri hrúbkach materiálu nad 20 mm dosahujú obe metódy rovnaké výsledky.

Kvalita povrchu

Všetky metódy merania tvrdosti predpokladajú hladký povrch bez oxidov, farby, mastnoty, oleja, plastových povlakov (napr. na zvýšenie koróznej odolnosti) alebo kovových vrstiev (napr. na zlepšenie elektrickej vodivosti).

Drsnosť povrchu meraného výrobku ovplyvňuje nielen hĺbku vtláčku, ale povrchové nerovnosti nepriaznivo ovplyvňujú výsledky merania a ich reprodukovateľnosť. Týka sa to hlavne statickej metódy, pri ktorej rozmer vtláčku je malý a pri väčšej drsnosti môže korešpondovať s rozmermi nerovností. Pri dynamickej metóde nie je kvalita povrchu kritická.

Pri úprave povrchu treba zabezpečiť, aby nedošlo k spevneniu povrchovej vrstvy jej prehriatím alebo vytvrdením za studena.

Meranie tvrdosti zvarových spojov

Pri meraní tvrdosti zvarových spojov je dôležité najmä meranie v kritickej časti teplom ovplyvnenej oblasti (TOO). Priebeh hodnôt tvrdosti v TOO podáva obraz o spôsobe ovplyvnenia základného materiálu zvaracím procesom. Ak napr. pri zváraní v TOO vzniká martenzit, môžu sa tam tvoriť trhliny. Prirodzene, môžu sa použiť iba tie postupy merania tvrdosti, ktoré v TOO nezanechajú veľké vtláčky.

Iba pri malých skúšobných silách (50 N, resp. 10 N) sa vytvára vickersov vtláčok, ktorý leží ešte v kritickej časti TOO. Použitím dynamickej metódy (väčší vtláčok) sa pri meraní určí iba priemerná tvrdosť väčšej oblasti zvarového spoja. Namerané hodnoty tvrdosti sú potom nižšie, pretože väčší vtláčok zasiahne aj susedné oblasti TOO s nižšou tvrdosťou. Pri meraní tvrdosti zvarov sa ešte aj dnes často používa Poldi-kladivko. Výsledky získané z takéhoto vtláčku sú nepresné, dávajú nižšie hodnoty tvrdosti, z čoho skúšajúci môže urobiť chybný záver, že nie je potrebné ďalšie tepelné spracovanie spoja. Na meranie tvrdosti TOO zvarových spojov je preto bezpodmienečne nutné použiť metódu s čo najmenším rozmerom vtláčku.

Záver

Problematika merania tvrdosti materiálov prenosnými prístrojmi je rozsiahla a nie vždy jednoznačne ohraničená. Už pri výbere prístroja musí budúci užívateľ zvážiť nielen ekonomické ukazovatele (prístroje pracujúce na základe dynamickej, odrazovej metódy sú lacnejšie), ale aj technické a technologické podmienky skúšania. Spoločným menovateľom musí byť schopnosť poskytovať hodnoverné výsledky a perspektívu ďalšieho využitia prístroja.

Metóda UCI sa odporúča pri meraní jemnozrnných materiálov. Obzvlášť výhodne sa používa tam, kde materiálové konštanty musia byť stanovené presne a v malom tolerančnom rozsahu, napr. pri určení

spevnenia pri tvárnení materiálov zastudena a pod. Relatívne malé rozmery vtláčku sondy UCI umožňujú meranie tvrdosti zvarových spojov a obzvlášť v kritickej časti teplom ovplyvnenej oblasti zvarového spoja.

Dynamická metóda sa používa hlavne pri veľkých hrubozrnných výkovkoch a odliatkoch rôznych tvarov, pretože guľôčka rázového prístroja zasiahne v porovnaní s vickersovým diamantom väčšiu oblasť povrchu materiálu a tým lepšie vyhodnotí vlastnosti kovanej alebo liatej štruktúry.

Široký výber skúšobných sond pre obe tieto metódy umožňuje optimálny výber vhodnej metódy a vhodnej kombinácie prístroja a skúšobnej sondy pre daný špecifický skúšobný problém. Tab. 5 uvádza možnosti aplikácie, resp. vhodnosť týchto dvoch metód.

Tab. 1 Približná veľkosť vtláčku pri rôznej hodnote tvrdosti materiálu HRC pre rôzne metódy, typy sond a skúšobné sily prenosných prístrojov

Hodnota tvrdosti materiálu HRC / Material hardness value HRC	Dynamická metóda a sonda / Dynamic method and probe		UCI metóda a sonda / UCI method and probe			
	Dyna G, guľôčka 5 mm, rázová sila 90 N.mm, / ball 5 mm, force 90 N.mm	Dyna D, guľôčka 3 mm, rázová sila 12 N.mm / ball 5 mm, force 12 N.mm	MIC 2010 sila 98 N / force 98 N	MIC 205 sila 50 N / force 50 N	MIC 201 sila 10 N / force 10 N	MIC 2103 sila 3 N / force 3 N
	Veľkosť vtláčku (µm) / Indentation size					
64 HRC		350	152	107	48	25
55 HRC	898	449	175	124	56	28
30 HRC	1030	541	249	175	79	41

Tab. 2 Približná hĺbka vtláčku pri rôznej hodnote tvrdosti materiálu HV

Hodnota tvrdosti materiálu HV / Material hardness value HV	Dynamická metóda a sonda / Dynamic method and probe		UCI metóda a sonda / UCI method and probe			
	Dyna G guľôčka 5 mm, rázová sila 90 N.mm / ball 5 mm, force 90 N.mm	Dyna D guľôčka 3 mm, rázová sila 12 N.mm / ball 5 mm, force 12 N.mm	MIC 2010 sila 98 N / force 98 N	MIC 205 sila 50 N / force 50 N	MIC 201 sila 10 N / force 10 N	MIC 2103 sila 3 N / force 3 N
	Hĺbka vtláčku (µm) / Indentation depth					
800 HV		16	22	16	7	4
600 HV	63	28	25	20	9	5
300 HV	83	35	35	25	11	6

Tab. 3 Požiadavky na minimálnu hmotnosť výrobku vo väzbe na potrebu držiaka výrobku, podložky a väzobného prostriedku pri meraní jednotlivými sondami prenosných prístrojov

Potreba držiaka výrobku, podložky a väzobnej pasty / Necessity of product holder, insert and binding paste	Typ použitej sondy / Type of used probe		
	Dyna G	Dyna D	Sondy UCI / UCI probes
	Minimálna hmotnosť výrobku / Minimum product weight		
Držiak, resp. podložka nie sú potrebné / Holder and/or insert are not required	> 15 kg	> 5 kg	> 0,3 kg
Držiak, resp. podložka sú potrebné / Holder and/or insert are required	5 – 15 kg	2 – 5 kg	0,1 – 0,3 kg
Držiak, resp. podložka a väzobný olej alebo pasta sú potrebné / Holder and/or insert and binding oil or paste are required	0,5 – 5 kg	0,05 – 2 kg	0,01 – 0,1 kg

Tab. 4 Odporúčaná minimálna hrúbka steny pri jednotlivých metódach merania tvrdosti prenosnými prístrojmi

Skúšobná metóda / Test method	Minimálna hrúbka (mm) / Minimum thickness (mm)
Dynamická / Dynamic	20
UCI	2 – 3

Tab. 5 Oblasť použitia jednotlivých metód

Oblasť použitia metódy / Field of method application	Dynamická metóda / Dynamic method	Metóda UCI / UCI method
Masívne diely / <i>Massive parts</i>	++	+
Hrubozrnné materiály / <i>Coarse-grained materials</i>	++	-
Oceľové a hliníkové odliatky / <i>Steel and aluminium castings</i>	++	o
TOO zvarových spojov / <i>HAZ of welded joints</i>	-	++
Rúrky s hrúbkou steny > 20 mm / <i>Tubes > 20 mm in wall thickness</i>	++	++
Rúrky s hrúbkou steny < 20 mm / <i>Tubes < 20 mm in thickness</i>	-	++
Nehomogénne povrchy / <i>Inhomogeneous surfaces</i>	+	-
Tenké vrstvy / <i>Thin layers</i>	-	++
Ťažko prístupné miesta / <i>Hard accessible areas</i>	+	++

Poznámka: ++ veľmi vhodné, + vhodné, o občas vhodné, - neodporúčané

Note: ++ very suitable, + suitable, o sometimes suitable, - non-recommended