

# Měření tvrdosti odlitků dynamickou metodou

Článek se věnuje jedné z moderních metod měření **tvrdosti přenosnými tvrdoměry**, která je vhodná zejména pro měření hrubozrnných odlitků, popř. odlitků s nepřilíš opracovaným povrchem. Popisuje princip metody a na jeho základě ukazuje na možné problémy při měření a pokouší se ukázat možné řešení.

Při měření tvrdosti **přenosnými tvrdoměry může být výsledná hodnota ovlivněna mnoha vlivy** a je na pracovníkovi, aby tyto vlivy dokázal rozpoznat a eliminovat. Při správném použití dává dynamická metoda nejen přesné výsledky, ale umožňuje měřit i tam, kde to dříve nebylo možné.

V průmyslové výrobě jsou materiály zkoušeny především ze dvou důvodů: buď jde o zjištění vlastností nového materiálu, nebo o ověření, zda daný materiál odpovídá požadované specifikaci. Tvrдость můžeme definovat jako odolnost materiálu proti vniku cizího tělesa. Při zkouškách je vnikací těleso vlačováno do povrchu testovaného materiálu určitým specifickým zatížením po definovanou dobu a měří se hloubka nebo rozměr vpichu.

## Zkoušky tvrdosti

Nejrozšířenější je statická zkouška tvrdosti, ve které kulička, kužel nebo jehlan vnikají do testovaného materiálu. Vztah mezi zatížením a plochou nebo hloubkou vpichu odpovídá **hodnotě tvrdosti - dle Brinella, Rockwella, Vickerse**

. Odlišné metody a jinak tvarovaná vnikací tělíska používaná např. při zkoušce podle Brinella a Rockwella dávají na stejném testovaném materiálu odlišné výsledky. Převáděcí tabulky mezi **hodnotami HRC a HB jsou pouze přibližné**

- není zde žádný přesný matematický vztah pro převod z jedné stupnice tvrdosti do druhé. Tzv. konverzní tabulky musejí být určeny prakticky změřením specifického testovaného materiálu různými metodami. Pro srovnání tvrdosti dvou různých vzorků musejí být oba měřeny stejnou metodou - ve stejné stupnici tvrdosti, nebo jedna stupnice musí být převedena do druhé.

## Vlivy na měření

Měření tvrdosti ovlivňují nejrůznější vnější vlivy. Především je to příprava povrchu materiálu, přičemž všeobecně platí, že čím větší hodnota drsnosti, tím větší nepřesnost měření. A tak právě hrubá struktura odlitků může způsobovat odchylky od správné hodnoty. Proto je v těchto případech nejvýhodnější volit takové metody, které zajistí pokud možno co největší vpich (otisk) zkušebního tělíska do materiálu, čímž se vliv drsnosti snižuje.

**Dalším faktorem je struktura materiálu** - v případě příliš malého vpichu můžeme u hrubozrnných materiálů (např. šedá litina) měřit na struktuře a výsledky mohou být opět nesprávné. Řešením je znovu co největší vpich.

V případě odlitků, např. ze šedé litiny, je někdy dále nutno uvažovat odlišnosti povrchové vrstvy od materiálu jádra. V případě měření s malým zkušebním zatížením může vpich zasahovat do jiné hloubky materiálu než při měření s větším zatížením. Někdy nemusí stačit pouze zvětšení zkušebního zatížení, ale je třeba povrchovou strukturu odbrousit.

**Shrneme-li předchozí, dostaneme pro měření tvrdosti odlitků následující požadavky:**

- co největší vpich (otisk měřicího tělíska) pro eliminaci nepříznivého vlivu hrubého povrchu, popř. hrubé struktury materiálu;
- obroušení plošky pro měření kvůli eliminaci vlivu odlišné povrchové struktury.

## Měření po zkušebním zatížení a při zkušebním zatížení

Při klasickém měření tvrdosti dle Brinella, Rockwella nebo Vickerse je nejdříve aplikováno zkušební zatížení na vnikací hrot a po odlehčení se odečítá velikost vpichu, a tedy hodnota tvrdosti. Tvrdość jsme dříve definovali jako odolnost materiálu proti vniku cizího tělesa. Vnik cizího tělesa můžeme definovat jako vratnou a nevratnou deformaci. Při měření některou z uvedených klasických metod tedy pochopitelně po odlehčení měříme pouze vliv nevratné deformace. Naproti tomu u moderních metod měření tvrdosti měříme (elektronicky) během zkušebního zatížení. Výsledkem je spojení vlivu nevratné i vratné deformace. To znamená, že měřená hodnota je ovlivněna druhem měřeného materiálu (vliv jeho modulu pružnosti) a přístroj musí být na tento materiál nastaven.

## Moderní metody měření tvrdosti

V současné době pracují moderní přenosné tvrdoměry na dvou základních principech, jež využívají metody ultrazvukové a dynamické. Metoda ultrazvuková (UCI - Ultrasonic Compact Impedance) využívá k měření tvrdosti sondu s Vickersovým diamantovým hrotem umístěným na tyčince kmitající ve směru svislé osy sondy. Po zatížení do materiálu jsou kmity tyčinky materiálem tlumeny úměrně ploše vpichu (jde tedy o tvrdost) a modulu pružnosti (který zahrnuje vliv materiálu). Metoda je vynikající pro měření tvrdosti jemnozrnných materiálů s dobře připraveným povrchem. Z hlediska přístupu k měřenému místu umožňuje často úspěšně měřit

dříve neřešitelné úkoly. Není příliš ovlivněna požadavky na hmotu měřeného materiálu, dají se tedy měřit i velmi malé nebo tenké výrobky. Díky příliš malému vpichu je metoda nevhodná pro měření na hrubším povrchu nebo v případě hrubozrnných materiálů. Pro měření tvrdosti odlitků se tedy všeobecně nejví jako optimální.

### **Dynamická (odrazová) metoda měření tvrdosti**

Měření je prováděno pomocí tvrzené kuličky vystřelené směrem k testovanému objektu. Na povrch naráží definovanou rychlostí, resp. kinetickou energií. Nárazem vzniká deformace povrchu, díky které vnikací tělísko ztrácí část své energie. Ztráta energie je tím větší, čím větší je deformace, tedy čím je materiál měkčí. Jako vnikací tělísko se používá kulička ze slinutých karbidů, popř. u velmi tvrdých materiálů kulička diamantová, která je vystřelena k testovanému povrchu pružinou.

Rychlosti kuličky před a po dopadu jsou obě měřeny nekontaktně. V pouzdru vnikacího tělíska je proto umístěn permanentní magnet, který indukuje napětí při průchodu cívkou umístěnou ve spodní části sondy. Toto indukované napětí je úměrné rychlosti.

**Vynálezce metody D. Leeb definoval svou vlastní jednotku tvrdosti** - hodnotu Leeb.

Hodnota tvrdosti dle Leeba, HL, je spočítána jako poměr rychlosti vnikacího tělíska před dopadem

*$vR$  a rychlosti*

*po dopadu  $vI$  na testovaný povrch:*

Můžeme si položit otázku, kdo vlastně potřebuje měřit hodnotu tvrdosti v jednotkách HL (Leeb). Odpověď zní, že každý, kdo používá dynamickou odrazovou metodu měření tvrdosti, protože hodnota HL je podle uvedené rovnice vyjádřením tvrdosti touto metodou. Avšak minimum uživatelů skutečně používá jednotku tvrdosti Leeb (HL) ve svých specifikacích nebo zkušebních zprávách. Jednotka HL je většinou konvertována do požadované stupnice tvrdosti (HV, HB, HS, HRC, HRB, N.mm-2). Tedy pouze konverze (převod) jednotek může vnést dynamickou odrazovou metodu do praxe. Proto by měly být konverzní tabulky uloženy v paměti každého přístroje. Tyto převodní tabulky (křivky) jsou experimentálně určeny pro každý materiál samostatně na vzorcích odlišných tvrdostí měřených dynamickou metodou a metodou dle Rockwella.

### **Kompenzace směru měření (gravitace)**

Sonda používá k pohonu vnikacího tělíska směrem k povrchu testovaného materiálu pružinu. V

průběhu letu k testovanému povrchu magnet obsažený v pouzdru vnikacího tělíska generuje signál v cívce umístěné okolo spodní části sondy. Po dopadu se tělísko odráží a generuje druhý signál v cívce. Přístroje počítají hodnotu tvrdosti pomocí poměru napětí indukovaného v cívce. Ale pozor, na vyhodnocení hodnoty tvrdosti má samozřejmě vliv směr měření. V případě měření z boku výrobku nebo dokonce ze spodní části je výsledek zkreslen vlivem tíhového zrychlení (gravitace). To lze napravit třemi způsoby:

- ruční opravou měřených hodnot dle tabulek, což je ovšem nepřesné, pomalé a zdrojem možných chyb;
- ručním zadáním směru měření do přístroje, což je nutné provést před měřením, ovšem v případě odchylky od definovaného směru je měření nepřesné;
- **automatickou kompenzací, která je velmi přesná a uživatel přitom nemusí vliv směru měření vůbec uvažovat.**

Automatickou kompenzací vlivu gravitace na měření jsou v současné době vybaveny pouze dynamické tvrdoměry firmy Krautkramer. Při průletu vnikacího tělíska cívkou se nejen měří velikost indukovaných napětí, ale analyzuje se i jejich fáze právě pro automatickou kompenzaci změny orientace.

### **Aplikační možnosti**

Aplikační možnosti jsou určeny počáteční silou úderu a druhem vnikacího tělíska. Podívejme se na nabídku přístrojů firmy Krautkramer, které na náš trh dodává společnost Testima. Uživatel může volit přístroj DynaMIC a tři různé modely sond (Dyna D, Dyna E a Dyna G), nebo může zvolit přístroj DynaPocket.

Dynamická odrazová metoda může být používána na větších dílech, hrubozrnných materiálech, výkvcích a všech typech odlitků, protože sférický tvar vnikacího tělíska má dostatečně velký vpich, a proto se hodí pro strukturu odlitků. Tělísko Dyna D pokrývá standardní aplikace. Dyna G, které má nárazovou energii téměř devětkrát vyšší a používá kuličku o větším průměru, je navržena pro zkoušení především pevných větších dílů. Dyna E je doporučena pro části s tvrdostí nad 650 HV, resp. 56 HRC a má kuličku z diamantu místo karbidu wolframu.

### **Požadavky na zkoušené těleso**

Pro srovnání hodnoty měřené dynamickou metodou a metodou klasickou (např. dle Brinella) nebo tzv. Poldi kladívkem je dobré znát přibližnou hloubku vtisku zkušebního tělíska. Je nutné si uvědomit, že dynamická metoda měří v jiné hloubce než zmíněné klasické metody, tzn.

naměřené hodnoty se mohou i značně odlišovat. Řešením je odbroušení povrchové vrstvy.

Všechny metody měření tvrdosti vyžadují hladký povrch bez oxidů, barvy, maziv, plastových povlaků proti korozi nebo kovových povlaků pro lepší elektrickou vodivost. Hloubka vpichu by měla být větší ve srovnání s nerovnostmi povrchu. Pokud je povrch upravován, je třeba dbát na to, aby se tvrdost nezměnila např. přehřátím povrchu.

Dynamická metoda působí velkou silou po krátkou dobu během nárazu. Tenké a lehké díly se mohou ohýbat (rozkmitat) a způsobit tak chybné měření. Řešením pro zkoušku menších částí jednoduchých tvarů je podpora zadní části měřeného objektu, která zpevní součást proti rozkmitání. Extrémně tenké materiály mohou vyžadovat také akustické spojení s podporou pomocí maziva nebo pasty. Tabulka 5 obsahuje orientační údaje pro určení požadavků na podepření měřených částí. Efektivnost podepření je dána tím, jak přesně podpora přiléhá k obrysu zadní strany měřeného dílu.

### **Tloušťka stěny**

Kritickou vlastností materiálu pro měření přenosnými tvrdoměry je tloušťka stěny trubek, ventilů nebo pístů. Navzdory malým rozměrům vnikacího tělíska sond dynamické metody a nízké nárazové energii působí na testovaný povrch velké síly okolo 900 N v krátkém okamžiku nárazu. Tato síla v případě tloušťky stěny menší než 10 ÷ 20 mm způsobuje vibrace a tenká stěna tak začne po nárazu tělíska sondy dynamického tvrdoměru kmitat podobně jako blána bubny. Vibrace mohou způsobit měření menších hodnot tvrdosti a větší rozptýl hodnot. Hodnota 10 mm je přitom pouze orientační a záleží na konkrétní geometrii. Uspokojivých výsledků bylo dosaženo např. na trubce o  $\varnothing$  300 mm a tloušťkách stěny 10 ÷ 15 mm. Příliš malá tloušťka stěny tak může negativně ovlivnit naměřenou hodnotu tvrdosti dokonce i při měření pevné součásti o hmotnosti několik tun.