

# POSTUPCI MJERENJA TVRDOĆE

Tvrdoća predstavlja otpornost materijala prema prodiranju nekog drugog, znatno tvrdog tijela. Tvrdoća se, također, definira kao otpor materijala prema plastičnoj deformaciji.

Unatoč tome što tvrdoća ne predstavlja fizikalno egzaktno definirano mehaničko svojstvo, mjerenje tvrdoće je jedan od najraširenijih postupaka na području ispitivanja mehaničkih svojstava. Razlog tome je s jedne strane što je tvrdoća u korelaciji s nekim drugim mehaničkim svojstvima (npr. Rm), a s druge strane mjerenje tvrdoće je jednostavnije i prije svega brže od ispitivanja nekih drugih mehaničkih svojstava.

Nadalje, za mjerenje tvrdoće nisu potrebni posebno izrađeni uzorci već je mjerenje moguće, ovisno o metodi, na poluproizvodima ili čak na gotovim proizvodima. Zbog toga su se s vremenom razvile različite metode mjerenja tvrdoće:

1. Paranje (zarez):
  - Mohsova skala tvrdoće
  - Martensov postupak
2. Utiskivanje:
  - Ispitivanje tvrdoće prema Brinellu
  - Ispitivanje tvrdoće prema Vickersu
  - Ispitivanje tvrdoće prema Rockwellu
3. Odskok:
  - Shoreov postupak

## 1. ISPITIVANJE TVRDOĆE ZAREZOM - MOHSOVA SKALA

Mohsova skala je niz od deset minerala, poredanih po tvrdoći, koji se koristi za procjenu relativne tvrdoće drugih minerala ili tvari. Mohsovu skalu je prvi predložio njemački mineralog Frederich Mohs (1773-1839), izabравši deset dostupnih minerala. Mineral koji je "viši" u Mohsovoj skali ima i veću tvrdoću. Ukoliko nepoznata tvar može zarezati površinu minerala iz Mohsove skale, ona je tvrđa od tog minerala. Skala nije linearna; tvrdoća dijamanta nije deset puta veća od talka (dijamant je puno tvrdi). Danas se upotrebljava uglavnom u mineralogiji i proširena je na 15 minerala.

Tablica 1: Mohsova skala tvrdoće minerala

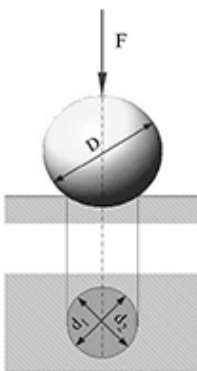
Tvrdoća po Mohsu	Mineral	Tvrdoća po Mohsu	Mineral
1	Talk	6	Ortoklas
2	Gips	7	Kvarc
3	Kalcit	8	Topaz
4	Fluorit	9	Korund
5	Apatit	10	Dijamant

## 1.2 POSTUPCI ISPITIVANJE TVRDOĆE UTISKIVANJEM

Tlačnom silom određenog iznosa u uzorak se utiskuje indentor (kaljena čelična kuglica, dijamantna piramida ili dijamantni stožac). Mjeri se trajna deformacija na površini materijala koji se ispituje. Tvrdoća se izražava naprezanjima na površini udubljenja (osim Rockwella).

### 1.2.1. BRINELLOVA METODA

Kod Brinellove metode je tijelo koje se utiskuje u metal (po ovoj metodi se mjeri isključivo tvrdoća metalnih materijala) kuglica od kaljenog čelika. Tijelo koje se utiskuje naziva se penetrator ili indentor. Iznimno za mjerenje tvrdih materijala koristi se kuglica od tvrdog metala ("WIDIA").



Slika 1: Skica penetratora i otiska kod Brinellove metode

Kuglica se pritišće određenom silom, a u materijalu ostaje otisak oblika kalote. Kod ove metode se tvrdoća određuje na temelju veličine otiska. Promjer čelične kuglice  $D$  može biti od 1-10 mm (1, 2, 2.5, 5 i 10 mm), a sila kojom se opterećuje kuglica  $F$  takva da veličina proizvedenog otiska ( $d$ ) bude u slijedećem omjeru s promjerom kuglice  $D$ :  $d=(0,24 - 0,6)D$

Ukoliko je promjer otiska ( $d$ ) manji od  $0,24D$  znači da je primijenjena premala sila ( $F$ ), odnosno ukoliko je  $d>0,6D$  znači da je sila ( $F$ ) bila prevelika. Iz ovoga je vidljivo da je kod mjerenja tvrdoće po Brinellu rezultat mjerenja ovisan o primijenjenoj sili. Vrijednost izmjerene tvrdoće Brinellovom metodom piše se na slijedeći način - npr: HB10/29420/15=165, što znači da je kuglica promjera  $D=10\text{mm}$  opterećivana silom  $F=29420\text{N}$  (3000 kp) u trajanju od 15 sekundi. S kuglicom od kaljenog čelika dozvoljeno je tvrdoću mjeriti do vrijednosti  $HB=450$ , dok se za tvrde materijale mora koristiti kuglica iz tvrdog metala.

### Prednosti metode:

- Lako mjerenje veličine otiska, dovoljno je mjerno povećalo
- Jednostavna priprema površine - dovoljno je i grubo brušenje
- Metoda je selektivna - mjerno područje od 0-450 jedinica za čeličnu kuglicu

### Nedostaci:

- Ne mogu se mjeriti materijali visoke tvrdoće
- Tvrdoća je ovisna o opterećenju, pa prema "stupnju opterećenja (X)" treba izabrati odgovarajuću silu
- Otisak je relativno velik, pa funkcionalno ili estetski nagrđuje površinu (ukoliko se tvrdoća mjeri na proizvodu, a ne na uzorku)

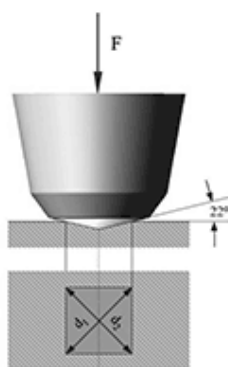
## 1.2.2. VICKERSOVA METODA

Vickers je svojom metodom uklonio glavne nedostatke Brinellove metode, pa je primjenom ove metode moguće mjeriti i najtvrđe materijale. Ovdje tvrdoća nije ovisna o primijenjenoj sili.

Prvi nedostatak uklonjen je primjenom najtvrđeg materijala - dijamanta za penetrator, a drugi geometrijom penetratora.

Naime, kod Vickersa je penetrator istostrana četverostrana piramida s kutom između stranica od  $136^\circ$ . Ovakav kut nije odabran nasumce, već zbog činjenice da se utiskivanjem penetratora s tim kutom dobivaju vrijednosti tvrdoće neovisne o primijenjenoj sili. Ovo svojstvo je važno jer se tvrdoća mekih i tvrdih materijala može mjeriti primjenom iste sile, kao što se i tvrdoća istog materijala može mjeriti s različitim opterećenjima.

Utiskivanjem penetratora u materijalu ostaje otisak oblika piramide (Slika 2).



Slika 2: Skica penetratora i otiska kod Vickersove metode



# VORAX

NAPREDNI MATERIJALI I TEHNIČKA RJEŠENJA ZA EKONOMIČNU ZAŠTITU OD NEŽELJENOG TROŠENJA OPREME

Vorax d.o.o. Vukovarska 68, 51000 Rijeka, HF  
T: +385 51 493 893 F: +385 51 493 894 www.vorax.hr

Pomoću mjernog mikroskopa mjere se dijagonale ( $d_1$ ,  $d_2$ ) baze piramide otisnute u materijalu. Kod Vickersa se, kao i kod Brinella, tvrdoća računa na osnovi veličine otiska. Primijenjena sila ( $F$ ) varira od 49 N (5 kp) do 981 N (100 kp). U određenim uvjetima može se koristiti i manja sila. Mikrotvrdomjeri koji rade po Vickersovoj metodi raspolažu čak i sa silom  $F=0,098$  N (10 p!).

Upotreba određene sile ovisi od debljine uzorka. Moguće je mjeriti i vrlo tanke uzorke primjenom male sile. Nadalje upotrebom male sile moguće je mjeriti tvrdoću pojedinih zrna (kristala). Stoga za mjerenje veličine otiska nije dovoljno mjerno povećalo kao kod Brinella već mjerni mikroskop.

Pored toga osim finog brušenja potrebno je i poliranje uzoraka kao što se to radi u metalografskoj pripremi.

Uz simbol HV, pri rezultatu mjerenja navodi se kao indeks i primijenjeno opterećenje u kp (npr.  $HV_5=400$ , znači da je sila utiskivanja iznosila 5 kp odnosno 49 N). Vrijednosti tvrdoća izmjerenih po Vickersovoj metodi odgovaraju približno vrijednostima Brinellove tvrdoće. Kod viših vrijednosti tvrdoća razlika se povećava.

Prednosti metode:

- tvrdoća je neovisna o primijenjenoj sili
- moguće mjerenje tvrdoće i najtvrdih materijala
- moguće je mjerenje tvrdoće vrlo tankih uzoraka te čak tvrdoća pojedinih zrna (kristala) jasno primjenom male sile
- Vickersova metoda jedina je primjenjiva u znanstveno istraživačkom radu na području materijala
- otisak je vrlo malen pa ne oštećuje površinu (važno pri mjerenju tvrdoće gotovih proizvoda).

Nedostaci:

- potrebna brižljiva priprema površine uzorka na kojoj se obavlja mjerenje
- za mjerenje veličine otiska potreban je mjerni mikroskop.

### 1.2.3. ROCKWELLOVA METODA

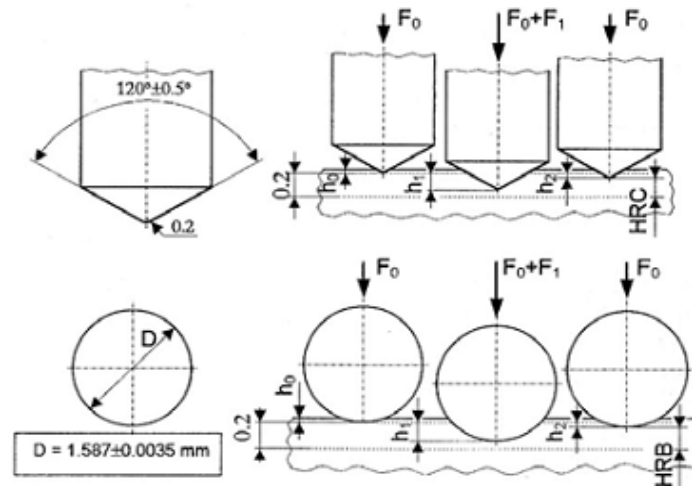
Kod ove metode se u metal (po ovoj metodi se mjeri tvrdoća samo metalnih materijala) utiskuje dijamantni stožac (engl. "cone" - HRC metoda) ili kuglica od kaljenog čelika (engl. "ball" - HRB metoda).

Penetrator je dijamantni stožac s vršnim kutem od  $120^\circ$ . Kod Rockwellove metode se, za razliku od Brinellove i Vickersove, mjeri dubina prodiranja penetratora, a ne veličina otiska.

Tvrdoća se po HRC metodi tako da u položaju 1 penetrator se predopterećuje silom  $F=100$  N što za posljedicu ima prodiranje penetratora ispod površine uzorka. Ta točka je i početni položaj za mjerenje dubine prodiranja. Ukupna moguća dubina prodiranja iznosi 0,2 mm i podijeljena je na 100 dijelova.



Jedna podjela iznosi prema tome 0,002 mm, i predstavlja jedan stupanj tvrdoće po HRC metodi. Skala je okrenuta naopako, pa početnom položaju pripada vrijednost 100, a najvećoj mogućoj dubini prodiranja 0. Razlog tomu je činjenica da se manjoj dubini prodiranja (tvrđi materijali) pridružuje veći broj koji karakterizira veću tvrdoću, i obrnuto.



Slika 3: Shematski prikaz mjerenja tvrdoće po HRC i HRB metodi

Nakon preopterećenja ( $F=98$  N) slijedi glavno opterećenje ( $F=1373$  N) pa je u položaju 2 penetrator opterećen s ukupno 1471 N. Taj položaj ne predstavlja tvrdoću po HRC-u jer je penetrator opterećen ukupnom silom (1471 N). Slijedi rasterećenje glavnog opterećenja ( $F=1373$  N), ostaje samo preopterećenje ( $F=98$  N), a penetrator se uslijed elastičnosti materijala vrati u položaj 3. Ova dubina predstavlja tvrdoću, tj. u ovom položaju se očitava tvrdoća na skali tvrdomjera. Naime, svaki tvrdomjer koji mjeri tvrdoću po Rockwell-ovoj metodi ima mjerni sat čija je skala podijeljena u stupnjevima HRC.

Po HRC metodi gotovo isključivo se mjeri tvrdoća toplinski obrađenih čelika. Zato se metoda najviše koristi u pogonskim uvjetima, u prijemnoj kontroli poluproizvoda, te za praćenje efekata postupka toplinske obrade čelika.

Postupak mjerenja je puno brži nego kod Brinella i Vickersa, no selektivnost metode slabija. Naime, mjerno područje je podijeljeno na 100 jedinica, a mjere se najčešće materijali tvrdoće između 20 i 70 HRC.

Prednosti metode:

- Mjerenje je brzo, tvrdoća se očitava na skali tvrdomjera
- Nije potrebna brižljiva priprema mjerne površine

Nedostaci:

- Slaba selektivnost metode. Čitavo mjerno područje je od 0 do 100 HRC (teoretski) praktički od 20 do 70 HRC. Stoga se ova metoda koristi gotovo samo u pogonima, gotovo isključivo na toplinski obrađenim čelicima. Greška:  $\pm 2$  HRC.

Vrijednosti tvrdoće izmjerene po različitim metodama mogu se međusobno uspoređivati - vrijednosti su navedene na stranici "[Usporedna tablica tvrdoća čelika](#)".

### 1.3. ISPITIVANJE TVRDOĆE METODOM ODSKOKA

Shoreov postupak se temelji na mjerenju odskoka čelične kuglice koja je spuštena s određene visine na površinu uzorka. Mjera tvrdoće je visina odskoka. Za ispitivanje tvrdoće građevinskih materijala (beton, laki beton, opeka i sl.) metodom odskoka, upotrebljavaju se sklerometri.

