

Vežba 6

Određivanje tvrdoće statičkim dejstvom sile

Pitanja:

1. Definisati tvrdoću?

Tvrdoća predstavlja mehaničko svojstvo materijala, a definiše se kao otpor kojim se neko telo suprotstavlja prodiranju drugog tvrđeg tela u njegovu površinu.

2. Navesti metode za određivanje tvrdoće statičkim dejstvom sile.

Za određivanje tvrdoće statičkim dejstvom sile primenjuju se 3 metode :

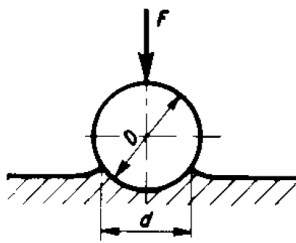
1. Brinelova
2. Vikersova
3. Rokvelova

Metoda	Oznak metode	Vrsta utiskivača	Materijal utiskivača	Opterećenje	Standardno vreme utiskivanja	Materijali koji se ispituju	Priprema površine
Brinel	HB	Kuglica	Čelik	F	10-15 s	Meki materijali	Površina mora biti čista, odmašćena i obrušena
Vikers	HV	Kvadratna piramida	Dijamant			Sve vrste materijala	
Rokvel B	HRB	Kuglica	Čelik		4-8 s	Meki i vrlo meki materijali	Površina ne mora uslovno biti čista, odmašćena i obrušena
Rokvel C	HRC	Kupa	Dijamant			Srednje tvrdi, tvrdi i vrlo tvrdi.	

3. Definisati tvrdoću prema metodi **Brinel** i šematski prikazati postupak ispitivanja.

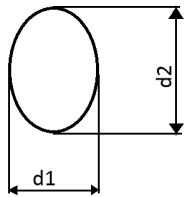
Tvrdoća, po metodi Brinela, HB, definiše se kao količnik sile utiskivanja F i površine otiske S koju takav utislivač napravi u ispitivanom materijalu. $HB=F/S$

Uzorak mora biti celom površinom oslonjen na čvrsti nosač, rastojanje centra otiska od ivice uzorka ne sme iznositi manje od 2,5d, a rastojanje između dva susedna otiska ne sme biti manje od 4d.



$$HB = \frac{0.102F}{A} = 0.102F \frac{2}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d_{sr}^2})}$$

$$d_{sr} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

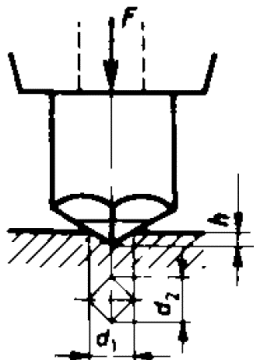


4. Uslovi koji treba da budu ispunjeni za primenu metode **Brinell** su:

Sobna temperatura (10-35 °C), površina mora biti čista, odmašćena, obrušena, uzorak mora biti celom površinom oslonjen na čvrsti nosač, rastojanje centra otiska od ivice uzorka ne sme iznositi manje od 2,5d, a rastojanje između dva susedna otiska ne sme biti manje od 4d.

5. Definisati tvrdoću prema metodi **Vickers** i šematski prikazati postupak ispitivanja.

Tvrdoća, po metodi Vickers, HV, definiše se kao količnik sile utiskivanja F i površine otiske S koju takav utislivač napravi u ispitivanom materijalu. $HV = F/S$.



$$HV = \frac{0.102F}{A}$$

$$HV \approx 0.1891 \frac{F}{d_{sr}^2}$$

$$A = \frac{d_{sr}^2}{2 \sin(136/2)}$$

$$d_{sr} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

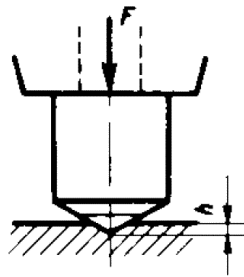
6. Uslovi koji treba da budu ispunjeni za primenu metode **Vickers** su:

Sobna temperatura (10-35 °C), površina mora biti čista, odmašćena, obrušena, uzorak mora biti celom površinom oslonjen na čvrsti nosač, rastojanje centra otiska od ivice uzorka mora biti 2,5 puta veće od srednje vrednosti dužine dijagonale otiska, rastojanje između centra dva susedna otiska mora da bude najmanje 3 puta veće od srednje vrednosti dužine dijagonale otiskao kod čelika, bakra i legure bakra, odnosno najmanje 6 puta veće kad je uzorak od lakih metala, olova, kalaja i drugih legura.

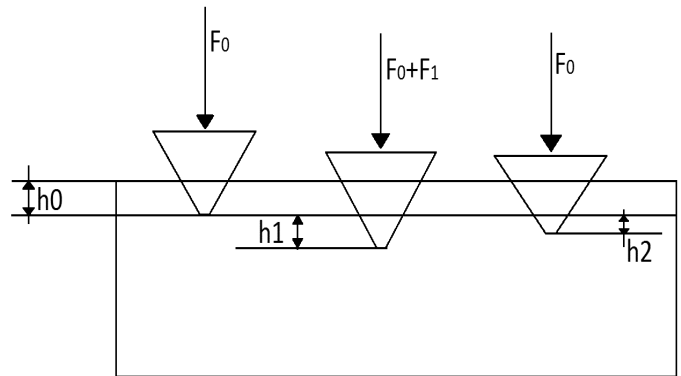
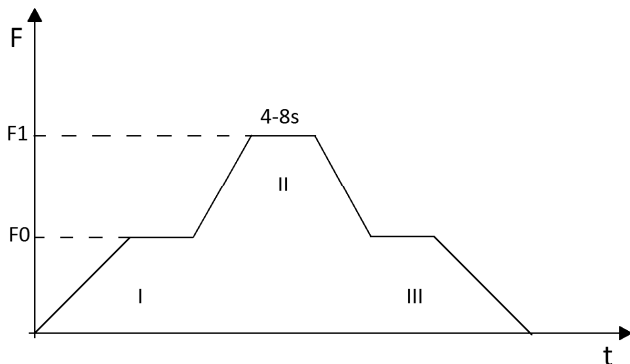
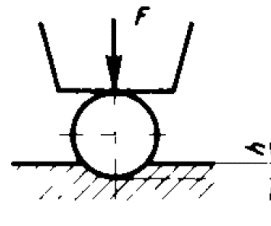
7. Prikazati i opisati faze ispitivanja metodama **Rokvel B i C**

Tvrdoća po metodi Rokvel definiše se nepovratnom dubinom otiska koju načini utiskivač na površini uzorka ispitivanog materijala

HRC



HRB



Ispitivanje se vrši u tri faze:

I Faza: Na utiskivač se deluje početnom silom F_0 kojom se ostvari dubina otiska h_0 . Dejstvo početne sile ima za cilj da neutrališe uticaj hrapavosti površine i površinskih nečistoća.

II Faza: U ovoj fazi dodaje se glavno opterećenje F_1 , tako da ukupna sila utiskivanja iznosi:

$$F = F_0 + F_1$$

Utiskivač prodire do dubine h_1 . S obzirom da se ostvarena dubina h_1 , sastoji iz PLASTIČNOG i ELASTIČNOG dela deformacije, kao i da njihov relativni odnos zavisi od vremena dejstva glavne sile, neophodno je obezbediti da ova faza traje toliko dugo dok se ne ostvari maksimalno učešće PLASTIČNOG dela u ukupnoj deformaciji.

III Faza: Otpočinje u momentu uklanjanja glavne sile F_1 , tako da je karakteriše dejstvo početne sile F_0 . Zbog promene opterećenja na utiskivaču, dolazi do pada vrednosti dubine otiska sa h_1 na h_2 što ima za posledicu nestanak ELASTIČNOG dela deformacije. Dubina otiska h_2 može se shvatiti kao ekvivalent plastičnog dela deformacija ostvarene pod dejstvom glavne sile.

Vrednost jednog podeoka skale tvrdoće iznosi 0.002mm. Određuje se tako što se 0.2mm podeli na sto delova. Za postupak C skala sadrži 100 podeoka a za postupak B sadrži 130 podeoka.

Pretvaranje trajne dubine otiska h_2 u broj podeoka skale tvrdoće vrši se deljenjem njene vrednosti s ametričkom vrednošću jednog podeoka (0.002mm).

Izračunata vrednost predstavlja zaostalo povećanje dubine otiska pod dejstvom početne sile a posle prestanka dejstva glavne sile i obeležava se sa „e“.

$$e = \frac{h_2}{0.002} \text{ podeoka skale tvrdoće}$$

Tvrdoća po Rokvelu, određuje se na sledeći način:

$$\text{HRB} = 130 - e = 130 - (h_3 - h_1) / 0.002 \quad (\text{za postupak B})$$

$$\text{HRC} = 100 - e = 100 - (h_3 - h_1) / 0.002 \quad (\text{za postupak C})$$

Zadatak 1

Pri ispitivanju čelika Č.1730 sa čeličnom kuglicom $D=2,5\text{mm}$ i silom utiskivanja $F=187,5\text{daN}$, dobijen je otisak prečnika $d_1=1,010$ i $d_2=1,014\text{mm}$. Odrediti veličinu tvrdoće po Brinelu.

Rešenje :

$$\text{Prečnik otiska } d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{1,010 + 1,014}{2} = 1,012\text{mm}$$

Tvrdoća po Brinelu

$$\text{HBS}_{2,5/187,5/15} = \frac{F}{A} = \frac{2 \times 187,5}{2,5 \times 3,14 \times (2,5 - \sqrt{(2,5)^2 - 1,012^2})} = 239$$

Zadatak 2

Konkavni cilindar – **dijagonala otiska paralelna je sa osom cilindra**

Sila utiskivanja $F=9,807\text{N}$

Srednja vrednost dijagonale otiska $d=0,100\text{mm}$

Prečnik konkavne sfere $D=5\text{mm}$

$$\text{HV} = \frac{F}{S} = 0,102 \frac{2F \sin(136^\circ / 2)}{d^2} = 0,1891 \times \frac{F}{d^2}$$

0.102- Konstanta $1/g=1/1.980665=0.102$ obezbedjuje preciznije preračunavanje vrednosti sile.

$$\text{Tvrdoća po Vickersu} = 0,1891 \times \frac{9,807}{(0,100)^2} = 185\text{HV}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{0,100}{5} = 0,02$$

Korekcionni faktor prema tablici 19(korekcionni faktor za konkavne cilindrične površine-jedna dijagonala otiska je paralelna osi cilindra)

$$\text{Kk} = 1,013$$

$$\text{Tvrdoća po Vickersu} = 185 \times 1,013 = 187\text{HV}$$

Zadatak 3

Pravilo za označavanje tvrdoće po metodi Vickers:

Simboli i označavanje tvrdoće po Vickersu:

-za tvrdoću koja je određena po metodi Vickersa, koristi se simbol HV, a puna oznaka tvrdoće sadrži još XXX HV x/x

Primer označavanja tvrdoće po Vickersu:

856 HV 30 10

Tvrdoća po Vikesu iznosi 856, izmerena je korišćenjem sile od 294,3N(30x9.81N), čije je puno dejstvo trajalo 10-15s.

Zadatak 4

Pravilo za označavanje tvrdoće po metodi Brinell

Simboli tvrdoće po Brinellu, zavisno od vrste materijala kuglice su:

HBS-kada se koriste čelične kuglice

HBW-kada je kuglica od tvrdog metala

Ispred simbola za tvrdoću po Brinellu upisuje se vrednost tvrdoće, a iza simbola indeksi koji ukazuju na uslove ispitivanja, i to:

-prečnik kuglice D u mm

-intenzitet sile kojom se vrši utiskivanje kuglice

-vreme dejstva sile u sekundama, ako se ono razlikuje od utvrđene vrednosti 10-15s (tabela 7)

Primer: Označavanje tvrdoće po Brinellu: **650HBW 1/30/20**

Tvrdoća po Brinellu iznosi 650

Pri merenju je korišćena kuglica od tvrdog metala prečnika 1mm

Sila od 294,2N(30x9.81N) čije je dejstvo trajalo 20s.

Zadatak 5

Označavanje tvrdoće po Rokvelu:

Za tvrdoću određenu po metodi Rokvela, koristi se simbol HR, a puna oznaka sadrži:

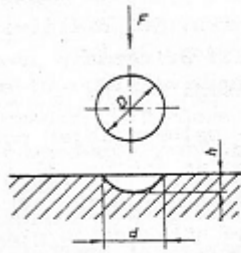
-simbol postupka odnosno simbol primenjene skale tvrdoće

-ispred simbola se upisuje vrednost tvrdoće (brojna vrednost)

Primer **68 HRC** –tvrdoća po Rokvelu je 68, određena je primenom C skale tvrdoće

90HRB- tvrdoća po Rokvelu je 90, određena je primenom B skale tvrdoće

ISPITIVANJE TVRDOĆE PO BRINELU



HBS - OBIČNA ČELIČNA KUGLICA
HBS ≤ 450
HBW - KUGLICA OD TVRDOG METALA
HBW ≤ 650

OZNAKA	NAZIV	JEDINICA
D	PREČNIK KUGLICE (10; 5; 2,5; 2; 1)	mm
F	SILA UTISKIVANJA	N
d	PREČNIK OTISKA	mm
HBS ili HBW	TVRDOĆA PO BRINELU $HBS = \frac{0,102 \cdot F}{D^2(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	—
h	DUBINA OTISKA $h = \frac{0,102 \cdot F}{3D \cdot HBS}$ DEBLJINA UZORKA $b > 8h$	mm

USLOVI ISPITIVANJA

a) TEMPERATURA ISPITIVANJA 23±5°C ILI SOBNA TEMPERATURA 10-35°C
 b) PREČNIK OTISKA d MORA BITI U GRANICAMA (0,24-0,5) D
 c) DEBLJINA UZORKA b MORA BITI VEĆA OD 8h
 d) VREME UTISKIVANJA JE NORMALNO 10-15 S, ZAVISNO OD MATERIJALA MOŽE BITI I VEĆE.

e) SILA UTISKIVANJA, IZ ODNOSA $K = 0,102 F/D^2$, PREPORUKE:
 K=30 ZA ČELIK, LIVENO GVOZDE SA HBS>140, BAKARNE LEGURE SA HBS>200
 K=10 ZA LIVENO GVOZDE SA HBS<140, BAKARNE LEGURE HBS 35-200
 ALUMINIJUM LEGURE SA HBS>80.
 K=5 ZA BAKARNE LEGURE HBS<35, ZA ALUMINIJUM LEGURE HBS>35+80,
 K=2,5 ZA LAKE LEGURE HBS>35
 K=1,25 ZA OLOVO
 K=1 ZA KALAJ
 (K=15) ZA LAKE LEGURE VELIKE TVRDOĆE HBS>80

INDEKS OZNAKE TVRDOĆE HBS I HBW ZA VREME UTISKIVANJA 10-15 S

PREČNIK KUGLICE	D = 10 mm	D = 5 mm	D = 2,5 mm	D = 2 mm	D = 1 mm
INDEKS	10/3000	5/750	2,5/187,5	2/120	1/30
	10/1500	—	—	—	—
OZNAKE TVRDOĆE	10/1000	5/250	2,5/62,5	2/40	1/10
	10/500	5/125	2,5/31,25	2/20	1/5
HBS	10/250	5/62,5	2,5/15,625	2/10	1/2,5
	10/125	5/31,25	2,5/7,812	2/5	1/1,25
HBW	10/100	5/25	2,5/6,25	2/4	1/1

NAČIN NANOŠENJA OTISAKA

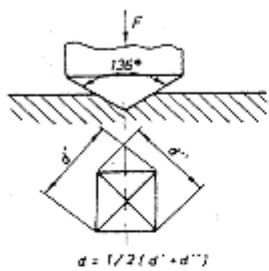
a) RASTOJANJE OD SREDINE OTISKA DO IVICE UZORKA NAJMANJE:
 - ZA ČELIK, LIVENO GVOZDE BAKARNE LEGURE - 2,5 d
 - ZA ALUMINIJUM LEGURE, OLOVO, KALAJ, - 3 d

b) RASTOJANJE IZMEDU SREDINE DVA OTISKA
 - ZA ČELIK, LIVENO GVOZDE, BAKARNE LEGURE - 4 d
 - ZA ALUMINIJUM LEGURE, OLOVO, KALAJ 6 d

Prof. Dr. V. Dukić

ISPITIVANJE TVRDOĆE PO VIKERSU

AISC. B4.020



OZNAKA	NAZIV	JEDINICA
α	UGAO PIRAMIDE	°
F	SILA UTISKIVANJA	N
d	DIJAGONALNA OTISKA - SREDNJA	mm
HV	TVRDOĆA PO VIKERSU $HV = \frac{0,102 \cdot 1,8544 F}{d^2} \approx 0,189 \frac{F}{d^2}$	-
h	DUBINA OTISKA	mm

VRSTE METODA	TVRDOĆA PO VIKERSU - MAKRO TVRDOĆA					
	HV ₅	HV ₁₀	HV ₂₀	HV ₃₀	HV ₅₀	HV ₁₀₀
	TVRDOĆA PO VIKERSU SA MALIM OPTEREĆENJA					
	HV _{0,2}	HV _{0,3}	HV _{0,5}	HV ₁	HV ₂	HV ₃
U INDEKSU JE SILA UTISKIVANJA U daN	MIKROTVRDOĆA PO VIKERSU					
	HV _{0,15}	HV _{0,1}	HV _{0,05}	HV _{0,025}		

USLOVI ISPITIVANJA

a) TEMPERATURA ISPITIVANJA : 23^{±5} °C ILI SOBNA TEMPERATURA 10-35 °C

b) VREME UTISKIVANJA NORMALNO JE 10-15S, A MOŽE BITI I VEĆE S TO SE MORA U INDEKSU NAZNAČITI.

c) SILA UTISKIVANJA MOŽE BITI U RASPONU OD 0,025 - 100 daN
PREPORUKE SU:
ZA ČELIK 30 daN
ZA ALUMINIJUM 10 daN

NAČIN NANOŠENJA OTISKA

a) RASTOJANJA OD SREDINE OTISKA DO IVICE UZORKA NAJMANJE:
- ZA ČELIK BAKARNE LEGURE - 2,5d
- ZA LAKE METALE - 3d

b) RASTOJANJE IZMEDU SREDINE DVA OTISKA
- ZA ČELIK, BAKARNE LEGURE - 4d
- ZA LAKE METALE - 7d

c) DEBLJINA UZORKA
- ZA SVE MATERIALE - 1,5d

ISPITIVANJE TVRDOĆE PO ROKVELU

JUS C. A4. 031

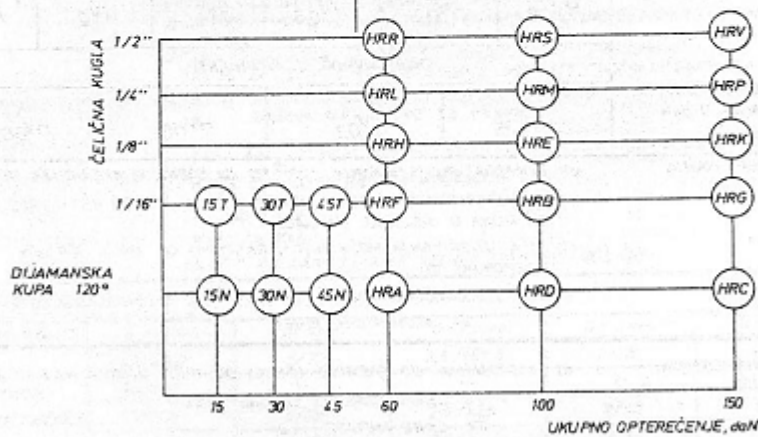
	OZNAKA	NAZIV	JEDINICA	
	F_0	PREDOPTEREĆENJE	N	
	F_1	GLAVNO OPTEREĆENJE	N	
	F	UKUPNO OPTEREĆENJE	N	
	h_1	DUBINA PRODIRANJA I FAZA	mm	
	h_2	DUBINA PRODIRANJA II FAZA	mm	
	h_3	DUBINA PRODIRANJA III FAZA	mm	
	HRB	$HRB = 130 - e = 130 - \frac{h_2 - h_1}{0,002}$		—
	HRC	$HRC = 100 - e = 100 - \frac{h_2 - h_1}{0,002}$		—
	HRB ≥ 25	HRC ≥ 20		

USLOVI ISPITIVANJA a) TEMPERATURA ISPITIVANJA 23^{±5} °C ILI SOBNA TEMPERATURA 10-35 °C

VRSTE METODA

ZA POVRŠINSKE
SLOJEVE

MAKRO TVRDOĆA



NAČIN NANOŠENJA
OTISKA

a) RASTOJANJE OD SREDINE OTISKA DO IVICE UZORKA MORA BITI NAJMANJE 3 mm.

b) RASTOJANJE OD SREDINE DVA SUSEDNA OTISKA MORA BITI NAJMANJE 3 mm.

c) DEBLJINA UZORKA
 $b \geq 8h$

ZA HRB $h = (130 - HB) \cdot 0,002$ ZA HRC $h = (100 - HRC) \cdot 0,002$

Prof. Dr. V. Dukić