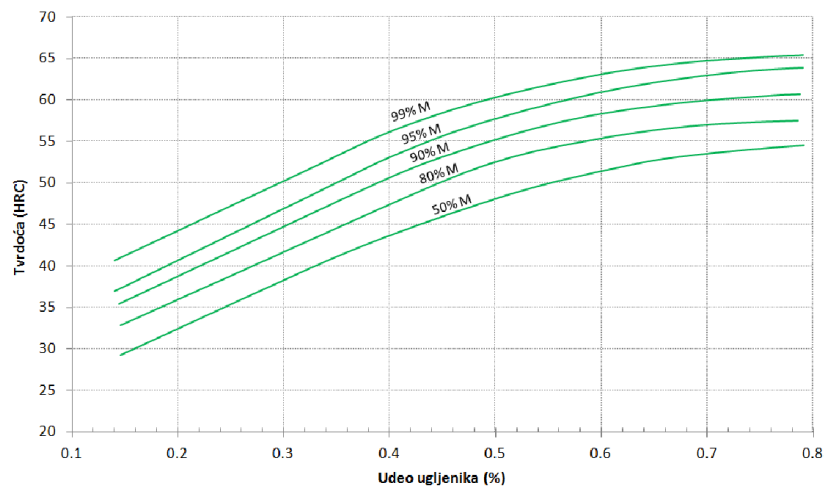


## VEŽBA 7 - KALJIVOST I PROKALJIVOST

### Kaljivost

Pod kaljivošću čelika se podrazumeva tvrdoća posle kaljenja u slučaju potpuno martenzitne transformacije. Za neki čelik to je maksimalna moguća tvrdoća na površini komada. Kaljivost u najvećoj meri zavisi od procenta ugljenika (slika 1), a manje od udela legirajućih elemenata i veličine austenitnog zrna.

Kaljivost se određuje kaljenjem tankih pločica. Izražava se tvrdoćom (HRC i HV) koja se može postići na kaljenim pločicama. U praksi se ne mogu postići te tvrdoće zbog dimenzija komada i drugih uticajnih faktora.



Slika 1: Približan odnos između tvrdoće i udela ugljenika za razne procenete martenzita [1]

## Prokaljivost

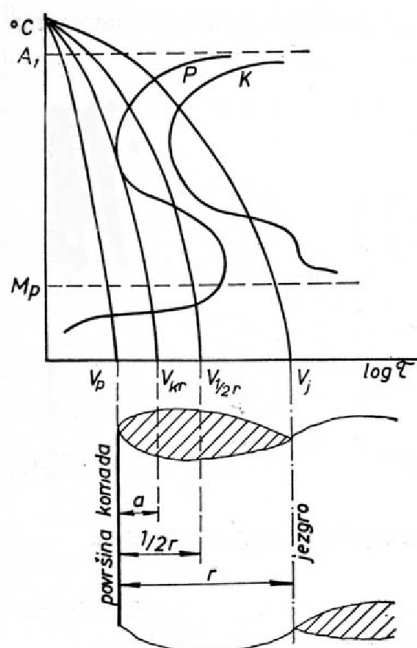
Pokazuje do koje dubine ispod površine komada je obavljena martenzitna transformacija u određenoj meri. Martenzitna transformacija odvija se samo u onim slojevima radnog komada u kojima je brzina hlađenja viša od kritične. Koja će se brzina hlađenja ostvariti u određenom sloju zavisi od velikog broja faktora. Faktori koji utiču na brzinu hlađenja, a time na prokaljivost su:

- **vrsta čelika** - hemijski sastav, struktura pre kaljenja, sposobnost provođenja toplote itd. Ugljenični čelici odlikuju se manjom prokaljivošću od legiranih čelika. Povećanje prokaljivosti postiže se dodatkom mangana, hroma, molibdena i nikla;
- **oblik i dimenzije radnog predmeta**;
- **uslovi hlađenja** - u sredstvima sa većim intenzitetom hlađenja ostvaruje se veća prokaljivost. Uslovi hlađenja definišu se preko faktora rashladne sposobnosti "H" čije su vrednosti date u **tabeli 1**.

Tabela 1: Faktor rashladne sposobnosti ra različite uslove hlađenja

Relativno kretanje		Faktor rashladne sposobnosti H			
Sredstva za hlađenje	Komada	Vazduh	Ulje	Voda	Rastvor soli
Nema	Nema	0.02	0.3	1.0	2.2
Nema	Srednje		0.4 - 0.6	1.5 - 3	
Nema	Jako		0.6 - 0.8	3.0 - 6	7.5
Jako ili mlazom			1.0 - 1.7	6.0 - 12	

Na **slici 2** linije hlađenja određenih slojeva cilindričnog komada predstavljene su u šematskom CCT dijagramu pripadajućeg materijala. U prikazanom primeru uslovi hlađenja se razlikuju na površini komada, u nekom delu u unutrašnjosti i u jezgri komada. Za dati primer, samo deo dubine  $a$  ima brzinu hlađenja veću od kritične, a to znači da uslovi za potpunu martenzitnu transformaciju postoje samo u površinskom sloju debljine  $a$ . Na polovini radijusa linija hlađenja se preseca sa linijom raspada austenita -- jedan deo austenita transformisaće se u neku stabilnu strukturu, a ostatak u martenzit. U jezgri uopšte neće doći do martenzitne transformacije.



Slika 2: Šema različitih brzina hlađenja po dubini komada

Na osnovu slike 2 može se zaključiti da bi za čelik čije bi linije početka i kraja transformacije bile pomerene udesno u odnosu na linije prikazane na slici, prokaljivost za iste brzine hlađenja bila veća. Stoga legirani čelici, čije su linije u odnosu na ugljenične čelike pomerene u desno, zahtevaju manje brzine hlađenja, tj. imaju veću prokaljivost.

**Za neki radni predmet kaže se da je u potpunosti prokaljen kada se u jezgru nalazi 50% martenzita.**

**Primer:** čelik DIN C60 (Č1730) može se u potpunosti prokaliti samo za prečnike do 10 mm, za veće dimenzije osobine se smanjuju. U tabeli 2 prikazane su osobine ovog čelika nakon poboljšavanja, zavisno od veličine prečnika. Tabela 3 daje sličan prikaz za slučaj normalizovanog stanja.

*Tabela 2: Mehaničke osobine čelika C60 nakon poboljšavanja [1]*

Prečnik (mm)	$R_{p0.2\%}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Zatezna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Izduženje (%)
do 16	570	830 - 980	11
17 - 40	490	780 - 930	13
41 - 100	450	740 - 890	14

*Tabela 3: Mehaničke osobine čelika C60 nakon normalizacije [1]*

Prečnik (mm)	$R_{p0.2\%}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Zatezna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Izduženje (%)
do 16	min. 380	min. 710	10
17 - 40	min. 340	min. 670	11
41 - 100	min. 310	min. 650	11

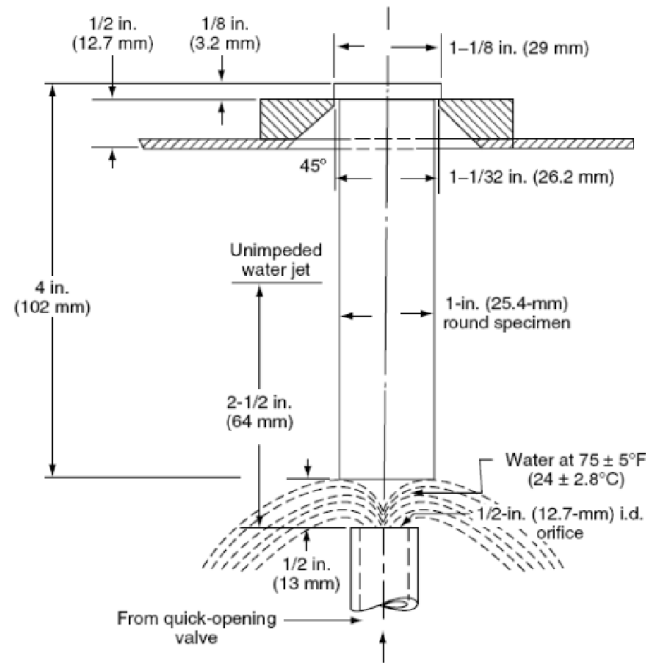
### *Određivanje prokaljivosti po Grosmanu (Grossmann)*

Veliki broj cilindričnih čeličnih šipki različitog prečnika kali se u određenim uslovima. Meri se procenat martenzita u centru svake šipke. Izdvaja se ona šipka koja ima 50 % martenzita u centru, a prečnik iste predstavlja kritični prečnik  $D_k$ . Taj prečnik važi samo za određene uslove hlađenja koji se definišu preko faktora  $H$  koji predstavlja rashladnu sposobnost sredstva za hlađenje. Faktor  $H$  dat je u tabeli 1.

Kako bi se odredila prokaljivost nezavisno od sredstva za hlađenje, Grosman uvodi idealni kritični prečnik  $D_i$ . Predstavlja prečnik nekog čelika koji je hlađen u idealnim uslovima ( $H=\infty$ ), pri kome nastaje 50 % martenzita u centru. Ovakvi uslovi hlađenja podrazumevaju da se komad ohladi za beskonačno kratko vreme.

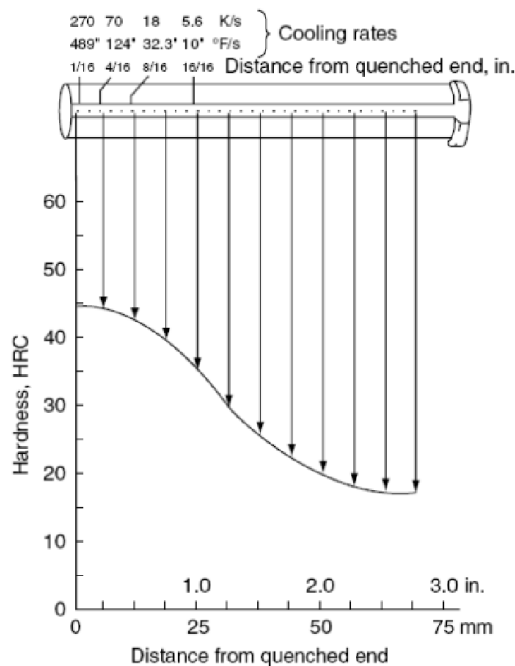
Uticaj procenta ugljenika i krupnoće zrna na idealni prečnik prikazan je u "Dijagrami i tablice", dijagram П.Г.1, a uticaj udela legirajućih elemenata na dijagramu П.Г.2. Odnos idelnog kritičnog i kritičnog prečnika prikazan je u "Dijagrami i tablice", dijagrami П.Г.3 do П.Г.6.

*Određivanje prokaljivosti po Džominiju (Jominy)*



*Slika 3: Šema Džomini postupka*

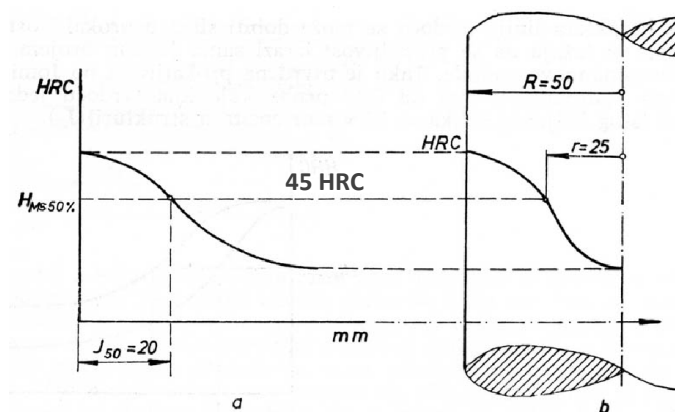
Ovaj postupak je brži i jeftiniji od prethodnog. Izvodi se na samo jednoj probi i odlikuje se dobrom ponovljivošću. Definisan je mnogim standardima, pa i našim JUS standardom. Uzorak dimenzija  $\phi 25 \times 100 \text{ mm}$  zagreva se u peći sa zaštitnom atmosferom (30-40min) do T kaljenja na kojoj se zadržava 30 min. Zatim se brzo postavlja na uređaj i kali od donjeg čela koje se hladi mlazom vode. Hlađenje se vrši u tačno određenim uslovima: mlaz ističe iz cevi prečnika  $\frac{1}{2}$  cola (12,7mm), otvor cevi udaljen je od epruvete  $\frac{1}{2}$  cola, brzina isticanja vode definisana je visinom stuba vode (63,5mm), temperatura vode za hlađenje je  $24 \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (Slika 3). Epruveta se hladi mlazom 10min, a zatim se hladi u vodi.



*Slika 4: Merenje tvrdoće i prikazivanje Džomini krive*

Najveća brzina hlađenja javlja se na čelu epruvete i smanjuje se prema drugom kraju epruvete, što dovodi do stvaranja različitih mikrostruktura i variranja tvrdoće. Nakon kaljenja epruveta se brusi sa dve strane po 0,3 mm, po izvodnici, a zatim se meri tvrdoća. Dobijaju se krive prokaljivosti kao što je prikazano na slici 4.

Podatak o prokaljivosti za jedan čelik dat je rastojanjem  $J_{50}$  (mm) od čela i u toj tački tvrdoća je jednaka tvrdoći strukture sa 50% martenzita istog čelika. Međutim, ako je komad cilindričnog oblika nastaje raspored tvrdoće kao što je prikazano na slici 5b. Odavde se vidi da je za tvrdoću 45 HRC rastojanje od čela probe 20 mm, a kod stvarnog komada (hlađenog na određeni način) tvrdoća se postiže do dubine 25 mm. Pošto je radijus komada  $R=50$  mm, a dubina na kojoj se javlja pomenuta tvrdoća  $r=25$  mm, to će za ovu tvrdoću dubinski odnos biti  $r/R=0.5$ .



Slika 5: Odnos linije prokaljivosti i linije rasporeda tvrdoća u cilindričnom komadu; a) linija prokaljivosti, b) linija rasporeda tvrdoće

Lamont je izradio dijagrame zavisnosti prečnika stvarnog komada od veličine prokaljivosti po Jominiju i uslova hlađenja za jedan određeni dubinski odnos  $r/R$ . Ove zavisnosti predstavljene su u "Dijagrami i tablice", dijagram П.Л.1. Primenom pomenutih dijagrama mogu se rešavati sledeći zadaci u termičkoj obradi:

1. Za zadati čelik poznate prokaljivosti, zadati prečnik komada i za neophodni dubinski odnos određuju se uslovi hlađenja;
2. Za zadati prečnik komada, dopuštene uslove hlađenja, uzevši u obzir oblik i veličinu komada, preko neophodne prokaljivosti bira se čelik;
3. Za zadati čelik, prečnik komada, poznate uslove hlađenja, može se odrediti dubinski odnos tvrdoća itd.