

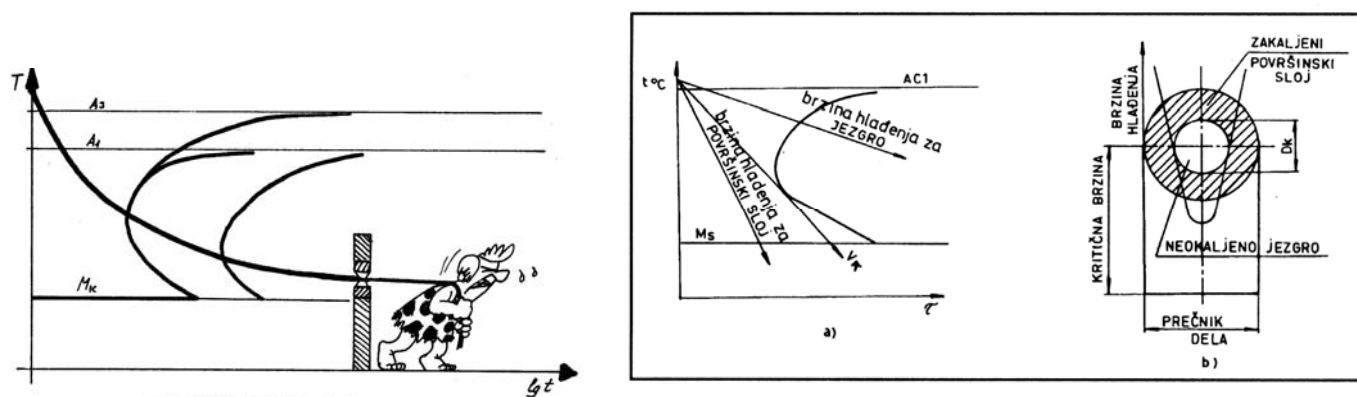
## Vježba br. 7

# ISPITIVANJE PROKALJIVOSTI ČELIKA

*Pod prokaljivošću čelika podrazumijeva se sposobnost čelika da se okali do određene dubine.*

Kako se pri izvođenju kaljenja ne može ostvariti ista brzina hlađenja površinskog sloja i jezgra predmeta obrade, to se ne može dobiti ista tvrdoća po cjelokupnoj zapremini.

Površinski sloj u toku kaljenja se intenzivno hladi, tako da je brzina hlađenja veća od kritične brzine hlađenja, pa se u toj zoni dobija martenzitna struktura odnosno najveća tvrdoća tijela.



Uticaj brzine hlađenja na prokaljivost čelika

Počev od površinskog sloja prema jezgru tijela smanjuje se intenzitet hlađenja, odnosno brzina hlađenja opada. Na nekoj dubini od površinskog sloja, koja je određena kritičnim prečnikom  $D_k$ , brzina hlađenja dobija vrednosti kritične brzine hlađenja  $V_k$ , odnosno intenzitet hlađenja je takav da kriva hlađenja tangira krivu početka transformacije u dijagramu izotermalne transformacije.

Jezgro predmeta obrade hladi se sa brzinom koja ne obezbeđuje dobijanje martenzitne strukture, odnosno kriva hlađenja zadire u deo dijagrama izotermalne transformacije i nastaje bei nitna ili perlitna struktura.

Faktori koji imaju najveći uticaj na dubinu okaljene zone odnosno kritičnu brzinu hlađenja su:

- hemijski sastav,
- homogenost i veličina austenitnog zrna,
- temperatura austenitizacije,
- prisustvo nerastvorenih karbida i nemetalnih uključaka i
- način izrade čelika i njegova predhodna obrada.

Svi faktori koji utiču na smanjenje kritične brzine hlađenja obezbeđuju dobijanje martenzitne strukture po većoj dubini predmeta obrade. Najveći uticaj svakako imaju prisutni legirajući elementi, posebno Cr, Mo, Co i dr.

Za određivanje dubine okaljene zone, odnosno dubine prokaljivosti, u praksi se koriste tri metode, i to:

- metoda čeonog hlađenja - **Džomini metoda** (*Jominy method*);
- metoda svestranog kaljenja Grosman metoda.

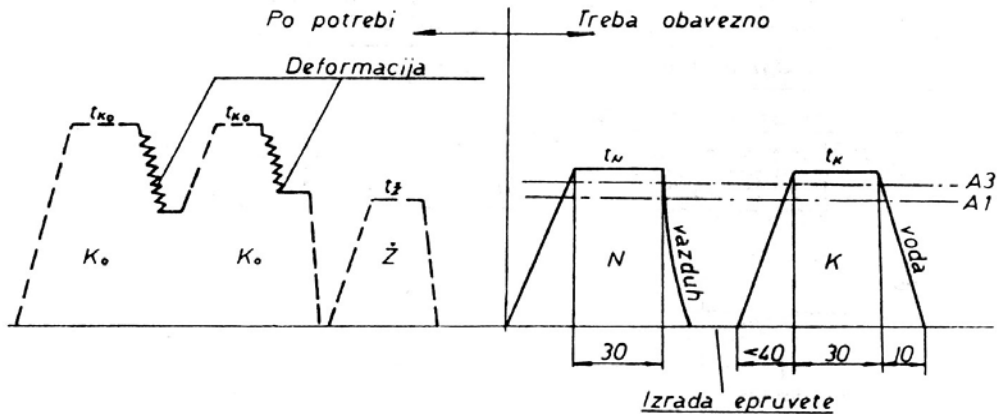
Kod pomenutih metoda kao mjerilo prokaljivosti usvaja se dubina otvrdnjavanja, tj. odstojanje od hladene površine do mesta sa kritičnom tvrdoćom, odnosno mjesta sa tvrdoćom 50% martenzitne strukture za dati čelik. Veličina ove kritične tvrdoće zavisna je prvenstveno od sadržaja ugljenika.

## ISPITIVANJE PROKALJIVOSTI ČELIKA PO DŽOMINI METODI

Ispitivanje prokaljivosti čelika po Džomini-u omogućava da se ustanovi promjena tvrdoće po dubini posle čeonog hlađenja i da se na osnovu tih promjena donese zaključak o pogodnosti čelika za termičku obradu kaljenjem.

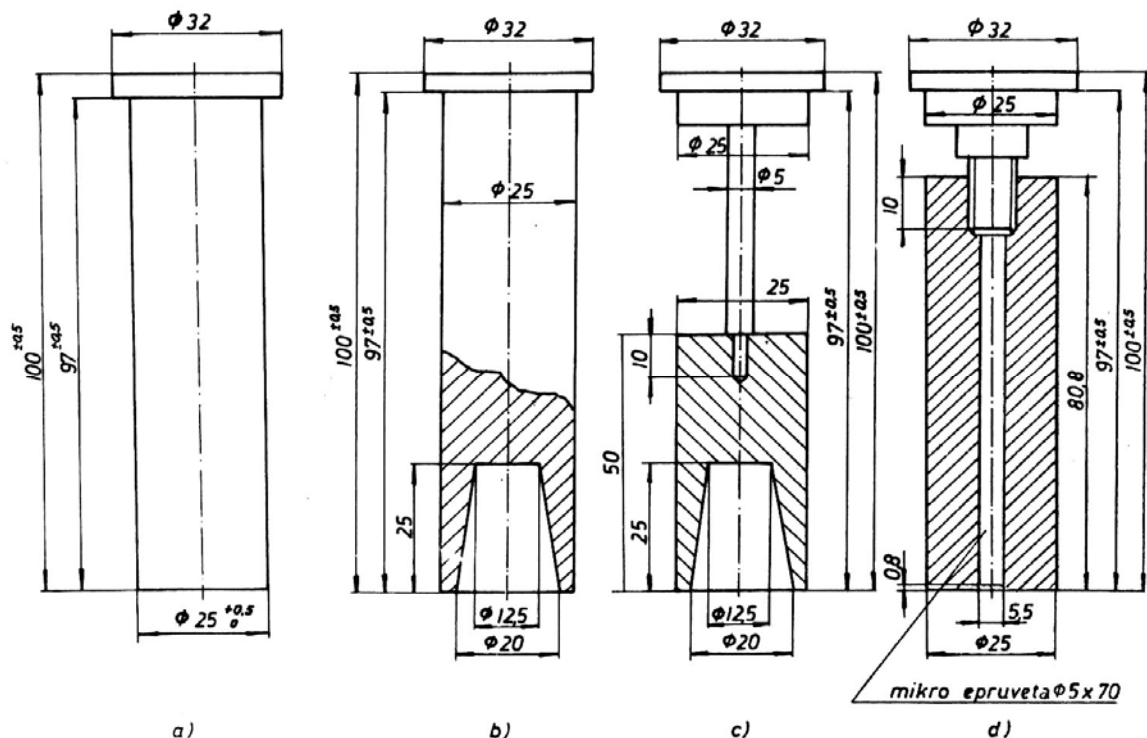
### *Uzimanje uzoraka i dimenzije epruveta*

Uzorak iz koga se izrađuje epruveta za ispitivanje prokaljivosti mora biti normalizovan. Ako je uzorak većih dimenzija, onda se kovanjem dovodi na mjere bliske prečniku epruvete, zatim normalizacije i obrađuje na na završne dimenzije.



*Režim termičke obrade za ispitivanje prokaljivosti*

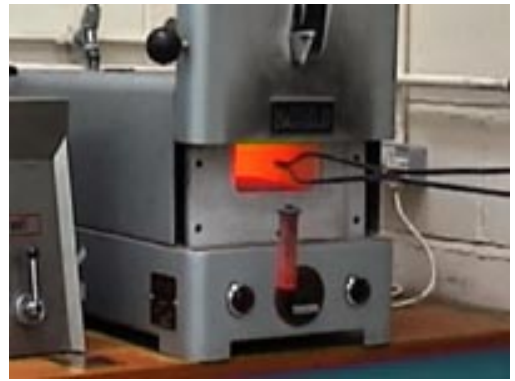
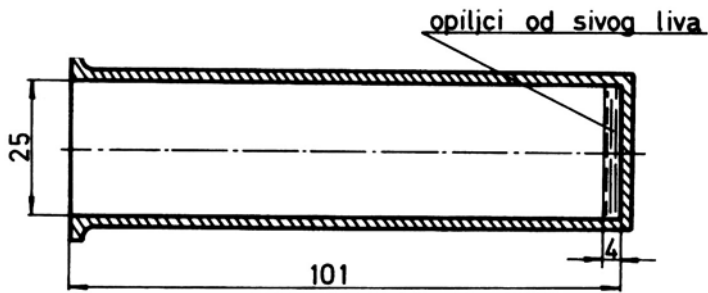
Oblik i dimenzije normalne epruvete date su na sledećoj slici (a). U slučaju da nema dovoljno materijala rade se epruvete bez glave ili mikro epruvete (d), a za ispitivanje čelika slabe prokaljivosti koriste se epruvete pod b i c. Rezultati ispitivanja dobijeni na različitim epruvetama ne mogu se upoređivati.



*Epruvete za ispitivanje prokaljivosti Džomini metodom*

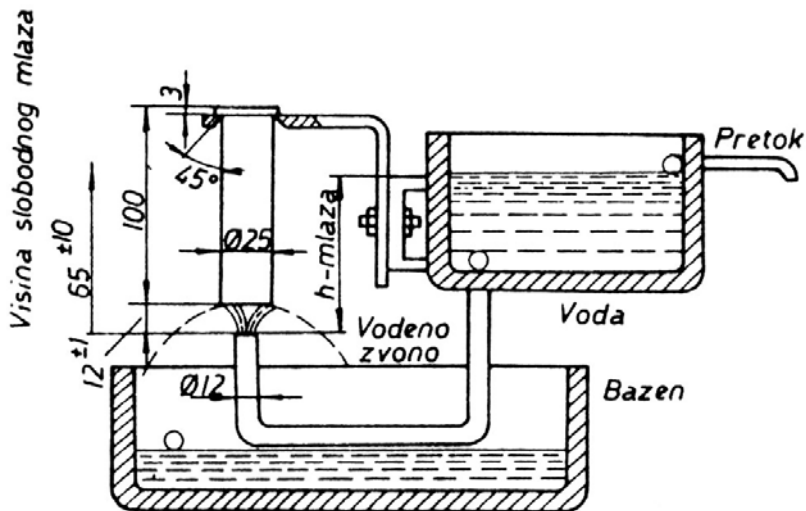
### Uslovi i tok ispitivanja

- Epruveta sa kojom se vrši ispitivanje mora imati oblik, mjere i kvalitete obrade prema crtežu. Čeona površina mora biti polirana, dok ivice čeonog površine moraju ostati oštre.
- Zagrijavanje epruvete mora se vršiti u neutralnoj atmosferi. U nedostatku iste, koristi se zaštitna kutija sa ili bez poklopca, u koju se stavlja malo materijala bogatog ugljenikom (npr.: opiljci sivog liva, grafit, koks i sl.).



Zaštitna kutija i električna peć za zagrijavanje epruvete

- Zagrijavanje epruvete vrši se u pećima iz kojih se epruveta može lako i brzo izvaditi. Peći moraju da su takve električne snage, da se epruveta zagrijeje do temperature kaljenja najviše za 40 min sa tačnošću regulacije temperature  $\pm 5^\circ\text{C}$ .
- Po isteku trajanja vremena zagrijavanja na temperaturi kaljenja od 30 min epruveta se prenosi do uređaja za čeonu hladjenje. Uređaj treba da je blizu peći, da temperatura kaljenja ne padne ispod kritične temperature.



Šema i izgled uređaja za hladjenje vodom



Izgled različitih konstrukcija uređaja za ispitivanje prokaljivosti Džomini metodom

- Epruveta se izvadi iz zaštitne kutije i postavi na nosač epruvete uređaja za hladjenje i odmah započne sa hladjenjem punim mlazom vode (vrijeme prenošenja do početka hladjenja je do 5 sek.).
- Epruveta se hladi u vremenu od 10 min mlazom vode, temperature 5-30 °C, koji ističe iz mlaznice prečnika 12,5 mm, a čija se osa podudara sa osom epruvete - tako da mlaz koji ističe iz mlaznice kvasi epruvetu samo po čelu, dok je po obodu ne smije kvasiti.
- Po isteku vremena hladjenja prekida se tok vode iz mlaznice; epruveta se brzo vadi iz nosača i naglo potapa u

kadu sa vodom, koja u sebi sadrži 5-10% kuhinjske soli.

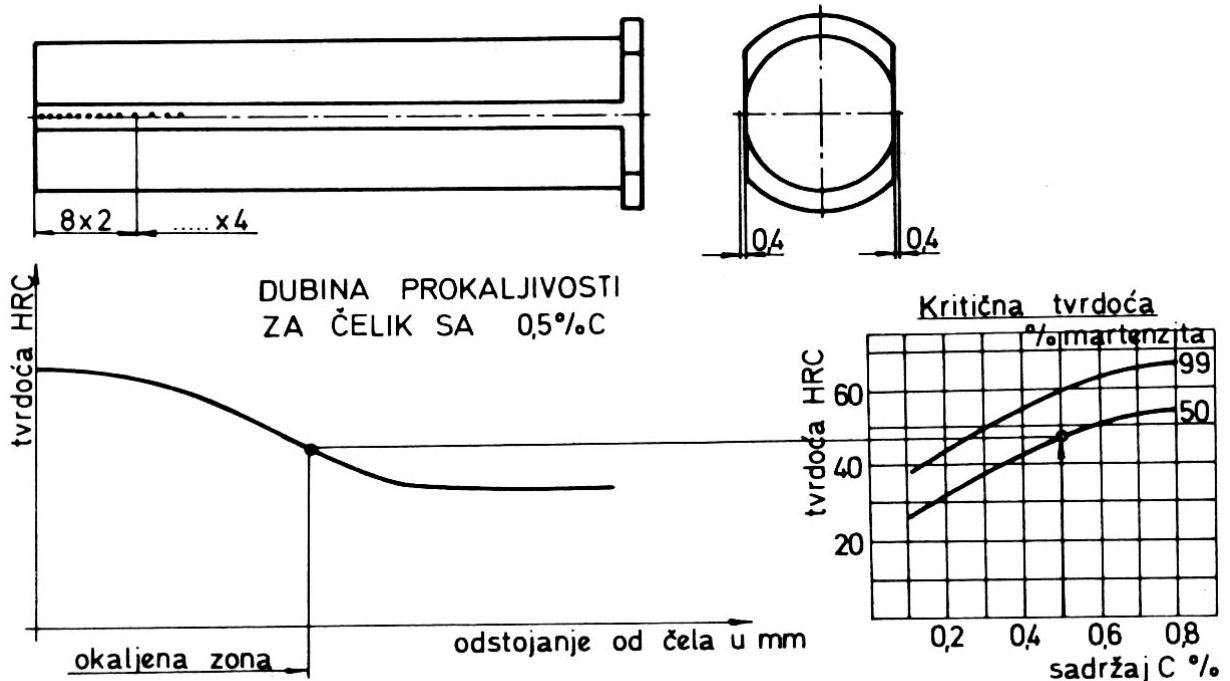
- Pritisak mlaza vode, koja ističe iz mlaznice, određen je visinom slobodnog isticanja mlaza vode na uređaju bez epruvete u granicama od 60 do 70 mm.
- Po završenom hladjenju epruveta se brusi, tako da se dobiju dve međjueobno paralelne površine, a zatim se po njima mjeri tvrdoća posle prethodne provjere kvaliteta brušenja.
- Provera kvaliteta brušenja, tj. eventualnog lokalnog zagrijavanja, vrši se slabim nagrizanjem obrušene površine 5% rastvorom HNO<sub>3</sub>. Tamnija mesta ukazuju na otpuštanje materijala, pa se na istoj epruveti pažljivije bruse nove površine.

Na ispravno brušenim površinama mjeri se promjena tvrdoće, po metodi *Vickers* ili *Rokvel C*, duž jedne izvodnice i to za prvih 8 tačaka na odstojanju 2 mm, a posle na odstojanju 4 mm. Tvrdoća se može mjeriti na više obrušenih površina jedne epruvete.

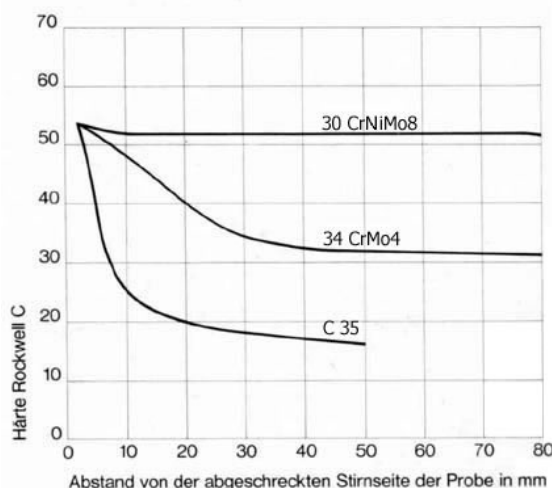


Pri mjerenju tvrdoće položaj svake tačke mora biti tačno određen u podužnom pravcu.

Rezultati mjerenja tvrdoće unose se u dijagram vrijednosti tvrdoće – rastojanje od čela epruvete. Dubina prokaljivosti određuje se na osnovu dijagrama zavisnosti tvrdoće čelika od sadržaja ugljenika, i prenošenjem kritične tvrdoće na krivu prokaljivosti..



*Određivanje dubine okaljene zone Džomini metodom*



*Krive prokaljivosti za različite čelike*