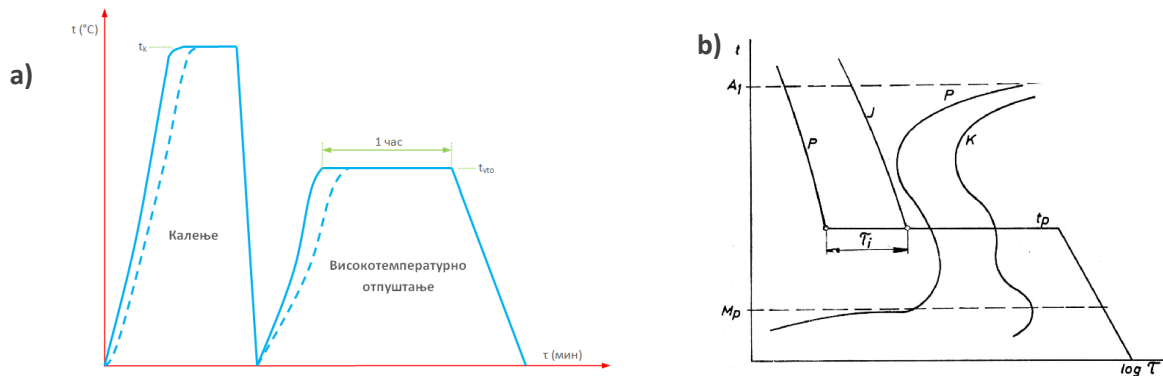


## VEŽBA 8 - IZBOR ČELIKA ZA POBOLJŠAVANJE

Posle kaljenja vrši se otpuštanje. Ako je cilj kaljenja dobijanje strukture povećane tvrdoće vrši se niskotemperaturno otpuštanje (NTO) na 200-250°C. Međutim, ako je cilj poboljšavanje mehaničkih osobina otpuštanje je na znatno višim temperaturama (600°C). Kombinacija kaljenja i otpuštnja na visokim temperaturama stoga nosi naziv **POBOLJŠAVANJE**. Ovakav način poboljšavanja naziva se poboljšavanje sa kombinovanim postupkom (slika 1a). Poboljšavanje se može obaviti i izotermnom transformacijom austenita, tada je reč o izotermnom poboljšavanju (slika 1b).

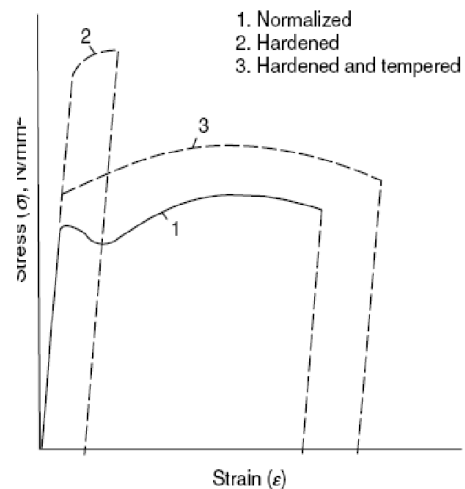


Slika 1: Grafikon poboljšavanja: a) kombinovani postupak, b) izotermno poboljšavanje

Cilj poboljšavanja je optimalno usklađivanje mehaničkih osobina materijala sa zahtevima koji se traže od materijala pri eksploataciji. Pri preradi čelika prve operacije su vezane za oblikovanje bilo rezanjem bilo deformisanjem. Stanje materijala u ovoj preradi treba da omogući što lakši rad. Međutim, u eksploataciji postoji potreba da materijal bude što čvršći i žilaviji. Iako su maksimalna čvrstoća i žilavost u suprotnosti, dobra veza postiže se poboljšavanjem koje omogućuje dobijanje maksimalne žilavosti pri određenoj čvrstoći. Žilavost je veoma važna mehanička osobina pre svega kod komponenata kod koje su izložene dinamičkim i udarnim opterećenjima.

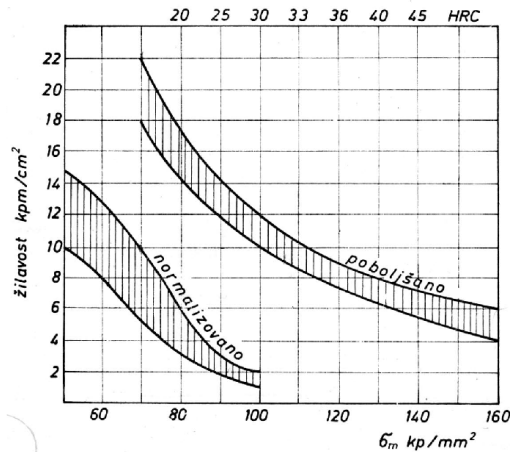
Pri kombinovanom poboljšavanju nastaju neki od prelaznih oblika strukture sorbit, ili trustit, a kod izoternog poboljšavanja prelazni oblik strukture beinit. Cilj je izdvojiti što sitnija zrna karbida koji ograničavaju kretanje dislokacija.

Postupak koji takođe daje dobre mehaničke osobine je normalizacija. Proces poboljšavanja je složeniji i skuplji od postupka normalizacije, ali se poboljšavanjem postižu bolje osobine koje se mogu u određenim granicama precizno regulisati. Cilj poboljšavanja može se između ostalog objasniti preko dijagrama zatezanja (slika 2).



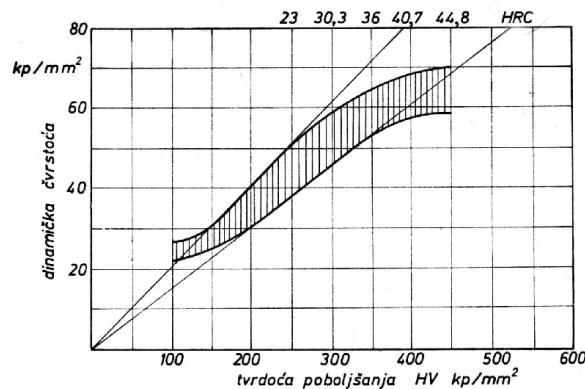
Slika 2: Kriva napon – deformacija čelika nakon različitih vrsta T.O.: 1. normalizovan, 2. kaljen, 3. poboljšan

Nakon kaljenja čelik poseduje visok napon tečenja, ali malu duktilnost (izduženje), dok mala površina ispod krive ukazuje na nisku žilavost. Poboljšan čelik ima viši napon tečenja nego čelik u normalizovanom stanju, ali i mnogo veće izduženje. Najveća površina ispod krive ukazuje na žilavost koja je veća od žilavosti samo kaljenog i žilavosti normalizovanog čelika. Na slici 3 je dat odnos žilavosti i čvrstoće nakon normalizacije i nakon poboljšavanja. Vidi se da se kod poboljšavanja pri istoj čvrstoći ostvaruje veća žilavost nego kod normalizacije.



Slika 3: Zavisnost žilavosti od zatezne čvrstoće kod normalizacije i poboljšavanja

Poboljšavanje ima uticaj na dinamičku čvrstoću jer dinamička čvrstoća raste sa porastom statičke čvrstoće.  $\sigma_D$  u poboljšanom stanju ne zavisi od vrste čelika već samo od tvrdoće poboljšavanja (slika 4). Presek koji možemo poboljšati zavisi od legirajućih elemenata, a tvrdoća od %C. Oblik krive važi za sve dinamičke čvrstoće (zatezanje, savijanje, uvijanje).



Slika 4: Zavisnost zatezne dinamičke čvrstoće od tvrdoće poboljšavanja

Svi navedeni dijagrami važe za slučaj kada je poboljšanje obavljeno po celom preseku komada, tj kada u jezgri imamo tvrdoću koja odgovara tvrdoći strukture sa 50% martenzita. U kaljenoj strukturi ne sme biti stabilnog ferita. Ako nemartenzitni deo strukture sadrži stabilne oblike, kao što je ferit (posle kaljenja) tvrdoće su znatno manje, naročito kod čelika sa malim %C. Ovaj deo strukture se posle otpuštanja ne menja, pa se ne može smatrati da je poboljšavanje obavljeno. Stoga, što je napred navedeno za  $\sigma_D$ , važi za slučaj da u strukturi nema ferita i perlita.

Može se zaključiti da uspeh poboljšavanja na mestima sa 50% martenzitne strukture nastaje samo tada ako je prateća struktura na tom mestu neki prelazni oblik (beinit, sorbit, trustit). U protivnom osobine jako odstupaju od predviđenih za poboljšavanje.

**Izbor čelika**

Da bi se komad određenih dimenzija mogao poboljšati (50% martenzita + 50% prelazne strukture najmanje), mora se birati pogodan čelik. Prema tome, prokaljivost je faktor koji se mora imati u vidu pri izboru čelika za poboljšavanje uzimajući u obzir dimenzije komada. Pomoću veličine prokaljivosti (Jominy) se za određeni obim komada može prognozirati da li je moguće poboljšavanje po celom preseku.

Postupak poboljšavanja se primenjuje na posebno razvijenim čelicima opšte namene - čelici za poboljšavanje, ali i na čelicima specijalne namene (za opruge, cementaciju, alatni, vatrootporni itd.).

*a) Izbor - provera prema čvrstoći*

Proverava se da li određeni čelik uopšte može da postigne traženu čvrstoću. Vršiti se izbor (provera) prema dinamičkoj čvrstoći. Kako čvrstoća najviše zavisi od udela ugljenika određuje se koliko ugljenika treba da sadrži čelik da bi postigao traženu čvrstoću. Za tu svrhu koristi se sledeći izraz:

$$\%C = (0.00083 \cdot \sigma_D + 0.1667)^2 \dots\dots\dots 1$$

gde je:  $\sigma_D$  - dinamička čvrstoća u MPa

Dobijena neophodna količina ugljenika upoređuje se sa donjom vrednošću udela ugljenika kod razmatranog čelika.

Kako bi se postigla određena dinamička čvrstoća mora se ostvariti odgovarajuća tvrdoća nakon poboljšavanja ( $H_p$  u HRC):

$$H_p = \frac{\sigma_D - 200}{10} \dots\dots\dots 2$$

Za postizanje određene tvrdoće nakon poboljšavanja zahteva se odgovarajuća tvrdoća nakon kaljenja ( $H_k$  u HRC):

$$H_k = 35 + 0.5H_p \dots\dots\dots 3$$

*b) Izbor - provera prema prokaljivosti*

Nakon što se utvrdi da u čeliku ima dovoljno ugljenika da bi se uopšte postigla zahtevana čvrstoća, proverava se da li se ta čvrstoća može postići na željenoj dubini. U tu svrhu koristi se formula H. Justa:

$$H_k = 95\sqrt{C} - 0.00276J_{50}^2 \cdot \sqrt{C} + 20Cr + 38Mo + 14Mn + 5.5Ni + 6.1Si + 39V + 96P - 0.81K - 12.28\sqrt{J_{50}} + 0.898J_{50} - 13 \dots\dots\dots 4$$

gde su:

C, Cr, Mo, Mn, Ni, Si, V i P - srednji udeli hemijskih elemenata. Za pojedine čelike hemijski sastav može se pronaći u dokumentu "[Dijagrami i tablice](#)", strane 17 i 18.

K - krupnoća zrna

$J_{50}$  - prokaljivost prema Džominiju. Određuje se iz dijagrama koji se nalaze u dokumentu "[Dijagrami i tablice](#)", strane 15 i 16.

Vrednost "Hk" koja se dobije prema [izrazu broj 4](#) upoređuje se zahtevanom tvrdoćom nakon kaljenja koja je određena na osnovu [izraza broj 3](#). Ukoliko je tvrdoća prema [izrazu 4](#) manja od zahtevane tvrdoće čelik ne može da postigne zahtevanu čvrstoću na željenoj dubini i odbacuje se. U tom slučaju potrebno je izabrati neki drugi čelik koji se odlikuje većom prokaljivošću.