

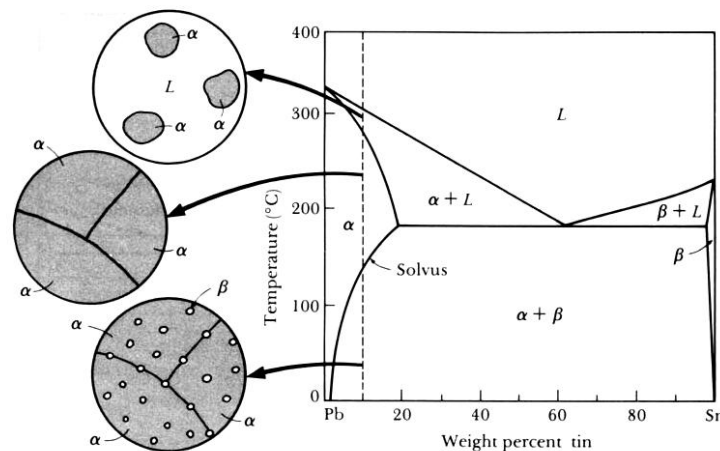
STARENJE ČELIKA

Termička obrada starenjem je dosta prisutna kod termičke obrade alatnih čelika koji se koriste u preradi plastike. Suštinska prednost je što se mogu izbeći troškovi naknadnog brušenja i dorade alata koji su obavezni nakon klasičnog kaljenja, da bi se eliminisale posledice promene dimenzija nastalih pri hlađenju alata velikim brzinama sa visokih temperatura.

Glavni procesi prilikom termičke obrade su:

- Stvaranje homogenog prezasičenog čvrstog rastvora – solution treating
- Razlaganje prezasičenog čvrstog rastvora – precipitation hardening

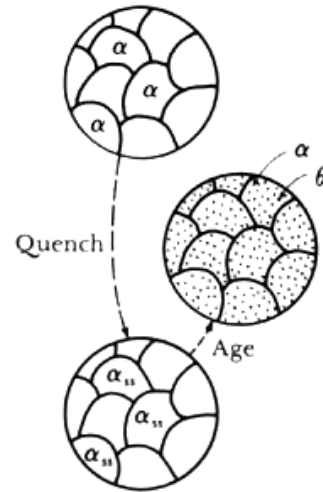
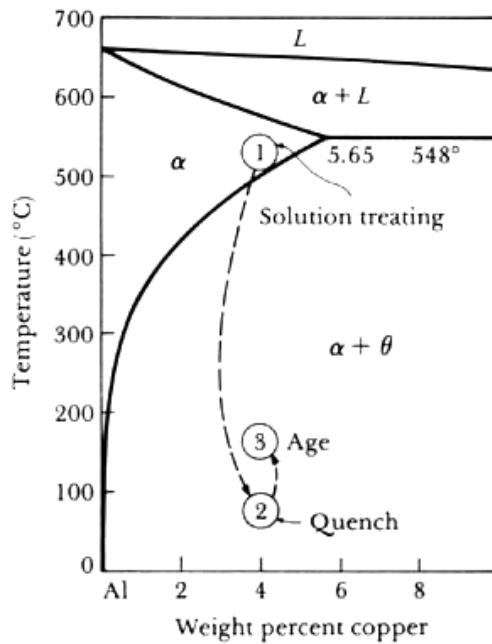
Na slici 1 dat je principijalni dijagram termičke obrade – solution treating – na primeru nejednostavnije dvofazne legure Pb-Sn.



Sl.1.

Levi donji krug pokazuje tip strukture koju ova legura ima na sobnoj temperaturi nakon sporog hlađenja. Osnovica je α faza sa relativno ravnomerno raspoređenom β fazom, kako unutar zrna, tako i po granicama zrna. Drugi krug pokazuje kako izgleda čvrsti rastvor ako se materijal zagreje iznad solvus linije. Tu je dobijen potpuno homogen čvrsti rastvor, pošto je na toj temperaturi rastvorivost α faze jako povećana. Međutim, ako se material zagreje na previsoku temperaturu, kao na primeru najvišljeg kruga – sl.1. – tada se u strukturi pojavljuje efekat delimičnog topljenja i termički obrađivani uzorak je nepopravljivo oštećen.

Nakon dobijanja homogenog rastvora, a za taj proces je potrebno precizno odrediti potrebno vreme držanja na datoj temperaturi, mora se izvršiti naglo hlađenje na sobnu temperaturu da se spreči izlučivanje nepoželjnih struktura. Pri sporom hlađenju bi ponovo dobili istu strukturu kao na početku procesa – datu u najdonjem krugu. Primer termičke obrade starenjem i promene u strukturi dat je na slici 2.



Sl.2.

Kod čelika čvsti rastvor može biti

- Ferit
- Austenit
- Martenzit

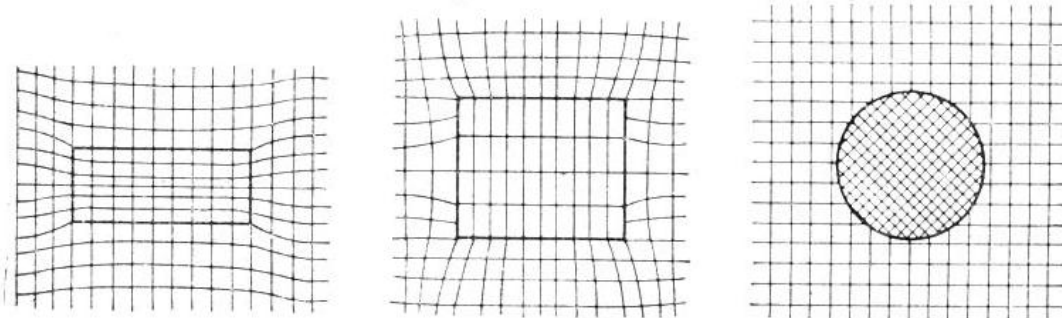
Ojačavanje čelika starenjem se koristi za povišenje čvrstoće

- Martenzitno starećih čelika (čelika povišene čvrstoće)
- Toplotno postojanih čelika
- Nerđajućih čelika
- Alatnih čelika za obradu plastičnih masa

Mehanizam starenje odnosno izlučivanja novih faza iz prezasičenog čvrstog rastvora zavisi od :

- Vrste prezasičenog rastvora
- Hemijskog sastava
- Temperature procesa starenja
- Trajanja procesa starenja
- Načina zagrevanja (porasta temperature kontinualno ili odjednom)

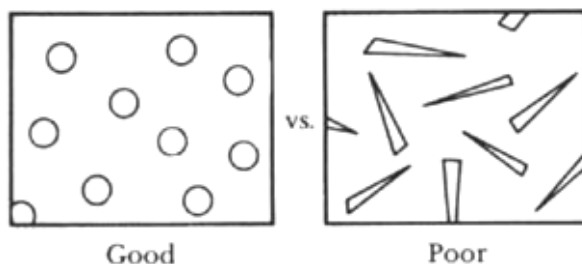
Razlikuju se dva osnovna mehanizma nastanka novih faza pri starenju – spinoidalni i stvaranje klica. Pri tome nova faza može da formira koherentnu, polukoherentnu ili nekoherentnu granicu sa polaznom rešetkom – sl.3.



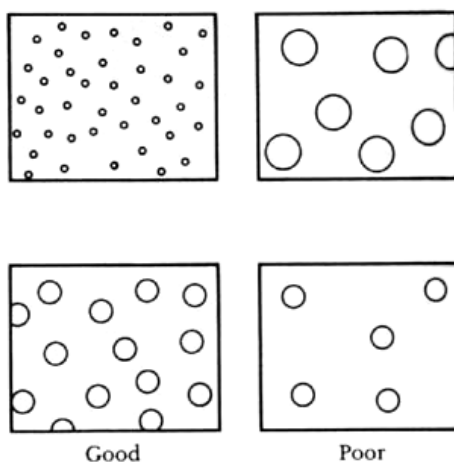
Sl.3-

To bitno utiče na oblik novonastale faze, koji može biti igličast, pločast ili sferičan. Od toga jako zavisi efekat povišenja čvrstoće, veličina žilavosti, veličina unutrašnjih napona i td.

Švrstoća pre svega zavisi od veličine navonastalih izlučenih čestica, oblika i ravnomernosti rasporeda u osnovi. U opštem slučaju, sferične čestice su bolje od igličastih – slika 4.



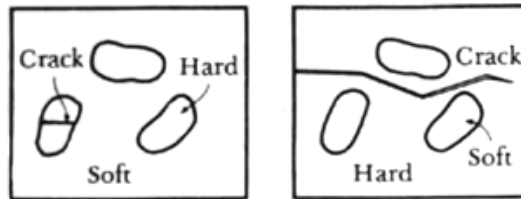
Sl. 4.



Sl. 5,

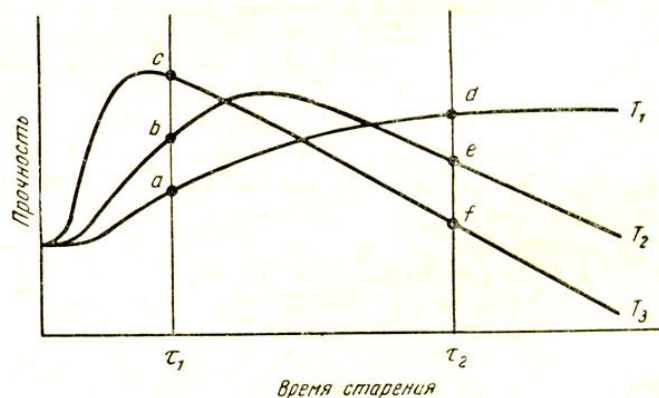
Na slici 5 je prikazano opšte pravilo da su sitnije i gušće raspoređene čestice bolje u pogledu povišenja čvrstoće materijala, kao i to da pri istoj veličini, ravnomerniji raspored deluje bolje na efekat porasta čvrstoće.

Poseban uticaj ima sastav metalne osnove u odnosu na sastav i mehaničke osobine izlučene faze. Na slici 6 se vidi način širenja prslina. Bolja varijanta je da su ojačavajuće faze tvrde a metalna osnova mekša, pošto je tada mnogo teže širenje prslina.



Sl. 6.

Kod starenja je izuzetno važno na kojoj temperaturi se odvija proces. Na slici 7 je data zavisnost čvrstoće od temperature i trajanja starenja. U ovom primeru je jasno vidljivo da se za najviše temperature ($T_1 < T_2 < T_3$) dobija maksimalna vrednost čvrstoće za nakraće vreme. Što je temperatura niža stime je potrebno više vremena da se dobije maksimum čvrstoće. Pad čvrstoće od vrednosti c do vrednosti f na slici 7 posledica je predugog trajanja procesa i nazivamo ga “prestarevanje”.



Sl. 7.

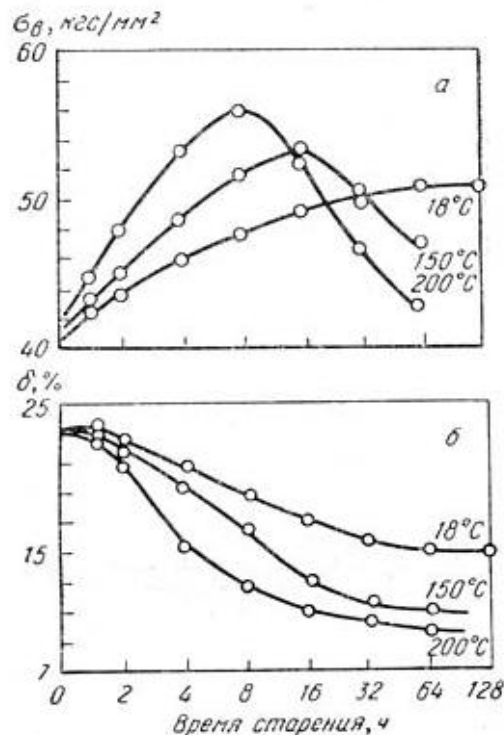
Važno je napomenuti da uticaj temperature i trajanja procesa nemaju isti tip zavisnosti kod čvrstoće i kod žilavosti. Na slici 8 dat je primer uticaja temperature i trajanja procesa kod jedne legure aluminijuma gde se vidi da čvrstoća ima izraziti maksimum koji jako zavisi od temperature i trajanja, dok žilavost ima oblik kontinualno opadajuće linije. Što je temperatura starenja višlja stime je žilavost ovog materijala niža.

Prema promenama u strukturi i osobinama materijala razlikujemo više vrsta starenja. **Potpuno starenje** podrazumeva postupak kod kojeg su parametri tako izabrani da je postignuta najviša čvrstoća materijala. **Nepotpuno starenje** podrazumeva postupak kod kojeg je izlučivanje ojačavajućih faza prekinuto u trenutku kada se dobija optimalan odnos čvrstoće i plastičnosti materijala, a to znači po pravilu i nešto nižu vrednost čvrstoće nego kod potpunog starenja. **Prestarevanje** je postupak kod kojeg je došlo do značajnog koagulisanja ojačavajuće faze što ima za posledicu značajan pad čvrstoće koji je praćen sa povišenom stabilnošću dimenzija, snižavanje unutrašnjih napona i td.

Stepenasto starenje je poseban postupak koji se sastoji od najmanje dve etape. U prvoj etapi se koriste niže temperature procesa sa ciljem da se formiraju što sitnije i što finije dispergovane ojačavajuće faze. Ovde se po pravilu dobijaju efekat ojačavanja sa “zonama” –

GP1 ili GP2. Ove zone su ustvari delići čvrstog rastvora sa povišenom koncentracijom atoma koji učestvuju u procesu izlučivanja (starenja). Prisustvo ovih faza se određuje rentgenografijom ili TEM (transmissionom mikroskopijom). Tek u drugoj fazi starenja biramo odgovarajuću temperaturu i trajanje tako da dobijemo tačno željeni odnos između mehaničkih osobina, ali vezano i za konkretne radne uslove alata, kao naprimer radna temperatura, naponi usled radnog ciklusa, prisustvo udara, promenljivog opterećenja, željene otpornosti na habanje, antikorozivnost i td.

Važno je napomenuti da alat može u toku rada da nastavi da “stari” pod uticajem radne temperature, ako se u toku rada alata prevaziđu vrednosti koje su korišćene u toku procesa termičke obrade (starenja). Visoki naponi u toku rada takođe mogu dovesti do efekta neželjenog starenja, koje će za posledicu imati porast krтости materijala, gubitak čvrstoće i žilavosti ili neke druge potrebne osobine dobije pri termičkoj obradi alata.



Sl. 8.

Žašto se ipak ova tehnologija ipak koristi kod alata za preradu plastike. Pre svega, nakon prvog dela procesa – solution treating (dobijanja homogenog čvrstog rastvora), materijal ima relativno malu tvrdoću i čvrstoću tako da se lako obrađuje. Nakon obrade, proces starenja nema uticaja na promenu dimenzija alata niti bilo kakvih deformacija. Samo se menjaju mehaničke osobine i pre svega tvrdoća, kojom se najlakše i najtačnije prati efekat procesa starenja. Obično se dobijaju tvrdoće oko 40 HRC kod kojih čelik dobija izuzetnu stabilnost dimenzija i dobru sposobnost za poliranje tako da se mogu raditi i najprecizniji alati za obradu plastike. Međutim, otpornost na habanje često nije zadovoljavajuća, ako su alati predviđeni za serije od 500.000 komada. To se može rešiti ako se alati nitriraju, tvrdo hromiraju (što je provereno u dugoj praksi) ali i prevuku sa adekvatnim mikronskim slojem TiN, CrN ili neke druge varujante tvde prevlake. U praksi ima i rezultata sa modifikiranjem površina alata pomoću IB (Ion Bombardment – jonskog bombardovanja) gde se radni vek povišava oko pet puta a da se nakon tretmana ne mogu videti nikakve makro promene na alatu – boja površine, tvrdoća HRC i td.