

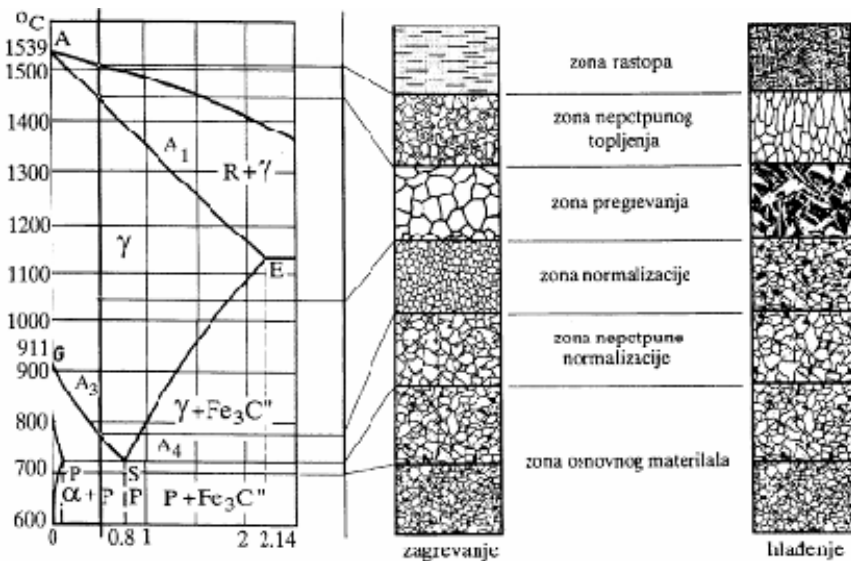
3.5. STRUKTURNE PROMENE U ZAVARENOM SPOJU

Usled dejstva termičkog ciklusa pri zavarivanju (zagrevanje ili hlađenje) nastaju različite strukturne promene, zavisno od postupka i parametara zavarivanja, kao i od vrste i stanja osnovnog metala. U slučaju niskougličnog žarenog čelika mogu da nastanu zona rastopa, zona nepotpunog topljenja, zona pregrevanja, zona normalizacije, zona nepotpune normalizacije i zona osnovnog materijala, sl. 3.22, a u slučaju hladnovaljanog čelika nastaje još i zona rekristalizacije, sl. 3.23.

Pri zagrevanju podeutektoidnog žarenog čelika uočljivo je sledeće, sl. 3.22:

- zagrevanjem do A_1 linije feritno-perlitna struktura i dalje dominira, ali feritno zrno postaje sve krupnije (zona osnovnog materijala);
- između A_1 i A_3 linija struktura se sastoji od krupnozrnog ferita i sitnozrnog austenita (zona nepotpune normalizacije);
- iznad A_3 linije austenitizacija je završena (zona normalizacije);
- oblast koja je najbliža ivicama rastopljenog žleba je zagrejana skoro do solidus (A_4) linije, pa je u njoj dominantan krupnozrni austenit (zona pregrevanja);
- iznad A_4 linije nastaje delimično topljenje po granicama austenitnih zrna (zona nepotpunog topljenja).

Pri zagrevanju podeutektoidnog hladnovaljanog čelika, osim navedenih pojava, uočljiva je i rekristalizacija na temperaturama iznad $0,4T_s$, sl. 3.23.



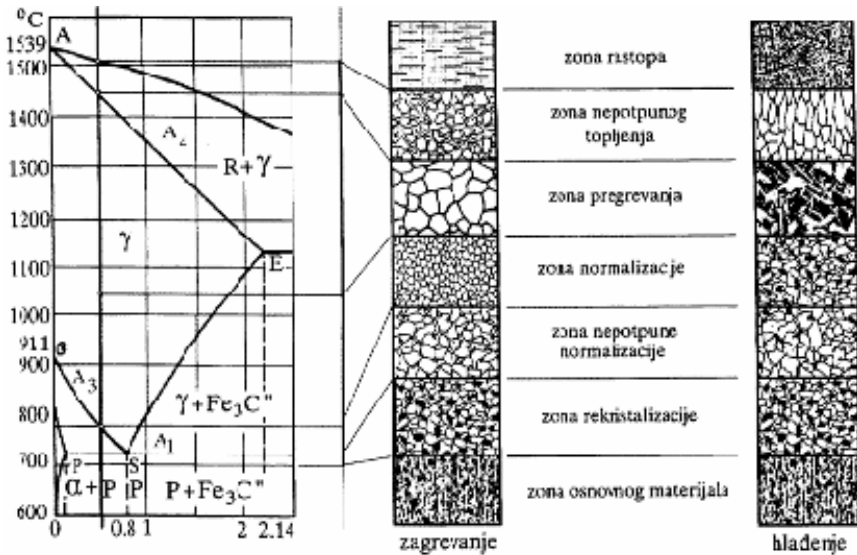
Slika 3.22. Strukture u žarenom čeliku pri zagrevanju i hlađenju tokom zavarivanja

Pri hlađenju podeutektoidnog žarenog čelika nastaju sledeće zone, sl. 3.22:

- **zona nepotpunog topljenja**, koja nastaje u oblasti između solidus i likvidus linije i odlikuje se usmerenim kristalnim zrnima, u pravcu najbržeg odvođenja toplote;
- **zona pregrevanja**, koja nastaje u oblasti krupnozrnog austenita i ima nehomogenu raspodelu ugljenika, tako da u oblastima siromašnim ugljenikom postoje uslovi za nastanak krupnoigličaste feritne faze (Vidmanštetenova struktura), dok u oblastima bogatim ugljenikom može da nastane martenzit;
- **zona normalizacije**, koja nastaje u oblasti sitnozrnog austenita pod uslovima koji odgovaraju istoimenoj termičkoj obradi;

- **zona nepotpune normalizacije (delimične prekrystalizacije)**, koja nastaje u oblasti mešovite feritno-austenitne strukture, odlikuje se feritom krupnijeg zrna i perlitom sitnijeg zrna;

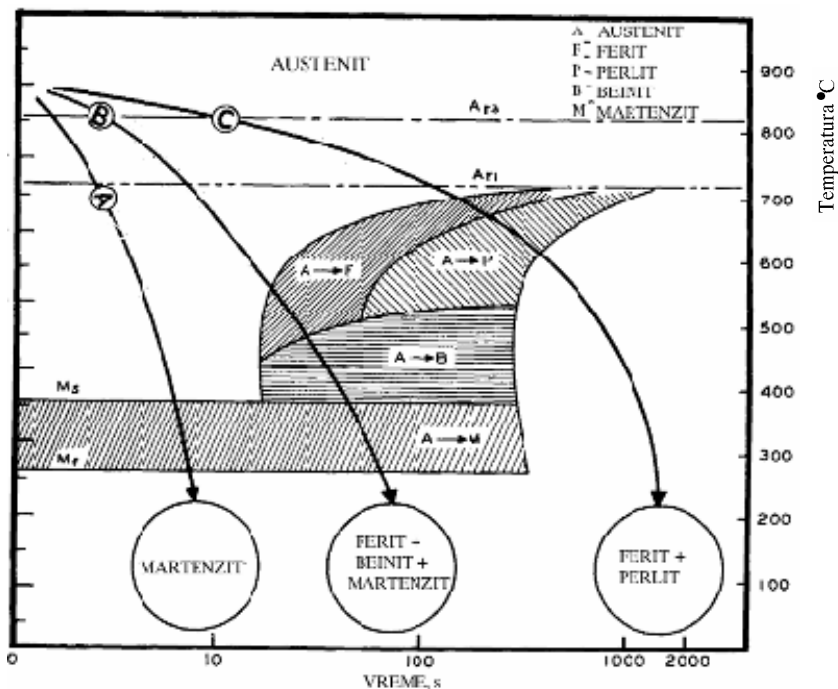
Pri hlađenju podeutektoidnog hladnovaljanog čelika osim navedenih zona, nastaje još i **zona rekristalizacije**, koja je javlja u oblasti deformisanih zrna, sl. 3.23.



Slika 3.23. Struktura u hladnovaljanom čeliku pri zagreivanju i hlađenju tokom zavarivanja

U zoni osnovnog materijala moguća je pojava starenja, iako se kod obe vrste čelika struktura po pravilu ne menja ispod linije A₁. Ova pojava je posledica aktiviranja slobodnih intersticijskih primesa N i C u feritu, a po mehanizmu aktiviranja razlikuju se termičko i deformaciono starenje. Starenjem može da se smanji žilavost i povisi temperatura prelaska u krti lom, što ovu zonu čini nepoželjnom u zavarenom spoju.

Strukturne promene pri hlađenju čelika se u principu analiziraju pomoću TTT dijagrama. S obzirom na specifičnosti procesa zavarivanja (kontinualno hlađenje), umesto TTT dijagrama koriste se dijagrami kontinualnog hlađenja (KH – kontinualno hlađenje), i to prilagođeni za zavarivanje (KHZ – kontinualno hlađenje pri zavarivanju), sl. 3.24, koji bolje opisuje realne uslove hlađenja pri zavarivanju. Dijagrami kontinualnog hlađenja pri zavarivanju su zasnovani na mnogo višoj temperaturi austenitizacije od KH dijagrama, a krive hlađenja se dobijaju pomoću simulatora termičkih ciklusa zavarivanja. Ovi dijagrami su specifični za svaki čelik, a za njihovo dobijanje je potrebno dugo vreme i komplikovan eksperiment, što značajno ograničava njihovu primenu. Na dijagramu na sl. 3.24 su nacrtane tri krive hlađenja (A, B i C), kojima se dobijaju tri tipične strukture: martenzitna (brzina hlađenja veća od kritične, direktna transformacija austenita u martenzit, kriva A), feritno-beinitno-martenzitna (brzina hlađenja obezbeđuje prolazak kroz područja transformacije austenita u ferit, beinit i martenzit, kriva B) i feritno-perlitna (brzina hlađenja mala, postoji samo transformacija austenita u ferit i perlit, kriva C). Primena KHZ dijagrama je posebno važna kod niskolegiranih čelika povišene čvrstoće (galava 10.2.2) i omogućava da se definiše potrebna količina unete toplote da bi se dobila odgovarajuća struktura zavarenog spoja.



Slika 3.24. Šematski prikaz KHZ dijagrama za ugljenični čelik

Definicije:

Koeficijent mešanja – količnik površine osnovnog metal u metalu šava i ukupne površine metala šava

Koeficijent oblika šava – količnik širine šava i dubine uvarivanja

Koeficijent nadvišenja šava – količnik širine šava i nadvišenja

Koeficijent topljenja – količnik istopljene mase jezgra elektrode i jačine struje u jedinici vremena

Primarna kristalizacija – kristalizacija u uslovima istovremenog zagrevanja i hlađenja, tipična za metal šava

Unutarkristalna segregacija – povećana koncentracija nekih hemijskih elemenata unutar metalnog zrna, koja nastaje zbog razlike između solidus i likvidus temperatura

Međukristalna segregacija – povećana koncentracija nekih hemijskih elemenata po granicama metalnog zrna, koja nastaje usled izlučivanja lakotopljivih eutektikuma

Lokalna segregacija – lokalno povećanje koncentracija nekih hemijskih elemenata usled nejednovremene kristalizacije perifernih i centralnih oblasti metala šava

Apsorpcija – upijanje gasova iz okoline (kiseonik, vodonik, azot)

Oksidacija, sagorevanje – hemijske reakcije vezivanja sa apsorbovanim kiseonikom, kojima nastaju oksidi

Prečišćavanja metala šava – smanjenje sadržaja sumpora, fosfora i oksida pomoću namerno izazvanih hemijskih reakcija

Desumporizacija – smanjenje sadržaja sumpora

Defosforizacija – smanjenje sadržaja fosfora

Dezoksidacija – smanjenje sadržaja oksida

Tople prsline – prsline koje nastaju na povišenoj temperaturi usled neravnomernog skupljanja i širenja metala smanjene plastičnosti

Kristalizacione tople prsline – tople prsline koje nastaju u temperaturnom intervalu između likvidus i solidus linija

Likvacione tople prsline – tople prsline koje nastaju na temperaturi ispod solidus linije

Temperaturni interval krтости (TIK) – područje smanjene plastičnosti legure između solidus i likvidus temperature

Hladne prsline – prsline koje nastaju na kraju hlađenja kombinovanim dejstvom zateznih napona, vodonika i martenzitne transformacije

Lamelarne prsline – prsline koje nastaju dejstvom zateznih napona u pravcu debljine

Prsline usled ponovnog zagrevanja – prsline koje nastaju usled neravnomernog širenja pri termičkoj obradi posle zavarivanja

Oblast pregrevanja – krupnozrna oblast u ZUT, neposredno uz oblast nepotpunog topljenja, koja odgovara temperaturi znatno iznad A_{c3}

Oblast normalizacije – sitnozrna oblast u ZUT koja odgovara temperaturi iznad A_{c3}

Oblast nepotpune normalizacije – oblast u ZUT koja odgovara temperaturi između A_{c1} i A_{c3}

Oblast rekristalizacije – oblast u ZUT koja nastaje kod hladnovaljanih čelika ispod A_{c1}

Dijagrami kontinualnog hlađenja pri zavarivanju (KHZ) – dijagram austenitnog raspada koji simulira uslove zavarivanja