

Normalizacijsko žarjenje verig

F. Legat^{**}, J. Žvokelj^{**}

UVOD

Tehnika varjenja verig pozna več postopkov:

1. Med najstarejše spada takoimenovano kovaško varjenje, ki pa se danes zelo redko še uporablja. V poštev pride pri varjenju nepomirjenih, nizkoogljčnih jekel, kadar ni mogoče zaradi nenormalne oblike ali velikosti verižnega elementa narediti na bolj sodobnem stroju.

Poznano je varjenje z enim ali z dvema gretjema. Narezane komade in upognjene na stiskalki v obliko U segrevamo na kovaškem ognjišču. Ko surovec doseže kovaško temperaturo, ga pripravimo za varjenje, tako da ga na koncih sploščimo in delno zakrivimo. Tako pripravljen člen segrevamo ponovno na 1100–1200° C, ga lepo prekrijemo in zakujemo do konca. Končno obliko zvar dobi pod ročnim padalnim kladivom, kjer se kalibrira v posebnem orodju. To je varjenje z dvema gretjema. Pri enem gretju opravimo celotno kovanje naenkrat. Zvar ni kvaliteten in se z enim gretjem sploh ne uporablja več.

Tudi pri varjenju z dvema gretjema dobimo dosti oksidnih vključkov in zažganih razpok. Prav zato računamo pri obremenitvah v praksi le na njegovo 75 %-vrednost.

2. Topo elektroporovno varjenje je drugi, tudi dokaj star način, ki pa se je v zadnjih letih spremenil in moderniziral.

Delimo ga v:

- klasični sočelno uporovni način,
- v moderni sočelno uporovni način,

kjer imamo konstanten dovod energije za vsak zvar, posebno močan pritisk in celoten obrez zvarnega venca.

Pri klasičnem, že dolgo poznanem načinu nastane pri prehodu električnega toka preko stika velik upor. Oba konca, ki sta normalno obrezana, se močno segrejeta. Segrevanju sledi stiskanje preko posebnih ročic ali vzmeti in tako dobimo zvar.

Na zvarnem mestu nastane velika odebelitev preza, zvarni venec, ki ga posebno orodje zakuje in noži dokončno odstranijo.

Pri samem varjenju pa v zvaru nastanejo oksidi, ki se pri stiskanju delno iztisnejo iz vara, precej pa jih ostane še v spoju. Zvar zato ni homogen, v njem najdemo vedno napake, okside, izceje in razne vključke. Pri termični obdelavi, kot je poboljšanje, se te napake še povečujejo.

3. Novi, izpopolnjeni način čelnega elektroporovnega varjenja je razvila firma WAFIOS. V osnovi je princip varjenja skoraj enak staremu, le z novo regulacijsko tehniko je dovod energije bolj natančen, enakomeren.

Pritisk je dokaj velik in pri večjih strojih v celoti izveden s hidravliko. Stroji so poznani pod imenom KEH.

Postopek varjenja je razdeljen v več stopenj:

Prvi dve stopnji služita samo kot priprava spojnega dela. Cilj te priprave je enakomeren dotok električne energije v določenih električnih fazah. Postopek je zelo čist in porabi manj materiala. Za nemoten proces v proizvodnji moramo imeti nekoliko bolj pozorno pripravljeno žico, po možnosti vlečeno, kar nam daje dobre stične ploskve pri elektrodah in solidne tolerance pri upogibanju.

Izpopolnjen in izboljššan klasičen način sočelnega elektroporovnega varjenja je danes že osvojeni (KEH) sistem sočelnega elektroporovnega varjenja. Ta je tako izpopolnjen da z njim uspešno varimo vsa navadna in mikrolegirana jekla, ki jih norma DIN 17115 predvideva za proizvodnjo navadnih in visokoodpornih verig. Ta sistem zato uspešno zamenjuje obžigalni način varjenja in klasičen način sočelnega varjenja.

Pomembne lastnosti novega sistema varjenja so:

- kontroliran dovod energije za varjenje,
- kontroliran hidravlični tlak za stiskanje,
- oblika spojev — zvarnih mest je že pri rezanju in upogibanju lepo in primerno pripravljena,
- lep obrez zvarnega venca,
- elektroenergija se v celoti porabi le za segrevanje zvarnega spoja,
- dimenzijsko območje varjenja je od premera \varnothing 3 mm do \varnothing 26 mm.

4. Obžigalno elektroporovno varjenje z izmeničnim tokom:

Pri tem načinu varjenja jeklena spojna dela, ki jih varimo, staknemo le toliko, da med njima pride do električnega kratkega stika.

Ko spojna dela takoj nato rahlo odmaknemo, nastane tokovni lok. Material se na spojnih površinah zaradi elektroporovnega loka močno sregreje. Temperatura je tako visoka, da se material na površini stopi. Ogljik v jeklu začne zgorevati in z ostalim raztopljenim materialom izletava iz spojnega dela. Pri varjenju pustimo, da del tega materiala na spojnih površinah odgori, potem pa s primernim pritiskom zvarna konca stisnemo. Tako se material zvari. Pri tem okrog zvara nastane greben — grad, ki ga takoj odrežemo s posebnimi noži, ki so na varilnem stroju.

Po tem postopku lahko varimo vsa jekla, ki se praktično uporabljajo za verige. Nekaj težav povzročajo le nekatera Cr-Si jekla, Al-jekla in siva litina. Vse te zlitine pa v praksi ne pridejo dostikrat v poštev.

*1 Franc Legat, dipl. ing. met., Veriga Lesce, Lesce

*2 Janez Žvokelj, dipl. ing. met., Metalurški inštitut Ljubljana

** Originalno publicirano: 23, 1989, 4

*** Rokopis prejet: avgust 1989

Obžigalno elektroporovno varjenje z izmeničnim tokom je pri proizvodnji verig izvedljivo na dva načina:

- varjenje brez predgrevanja in
- varjenje s predgrevanjem.

Za vsak način mora biti varilni stroj posebej prirejen.

Pri varjenju brez predgrevanja se hrbtni del verižnega člana segreva istočasno, ko se člen vari — vzporedno segrevanje in varjenje. Varilni stroj mora za ta način varjenja razpolagati z večjo količino energije, z močnejšim transformatorjem.

Postopek obžigalnega varjenja s predgrevanjem lahko razdelimo na naslednje faze:

- predgrevanje,
- obžiganje,
- stiskanje — varjenje.

Pri varjenju dobi člen glede na postopek, višino temperature in količine toplote zelo pisano kristalno strukturo.

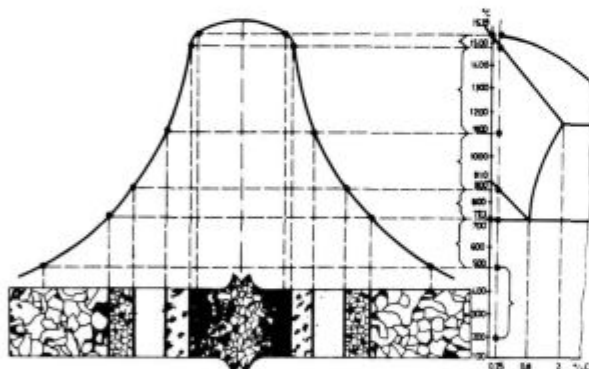
Za obžigalno varjenje lepo kaže celoten strukturni raspored — **slika 1**.

Lastnosti zvarnih spojev pri obžigalnem varjenju so odvisne predvsem od dveh pogojev:

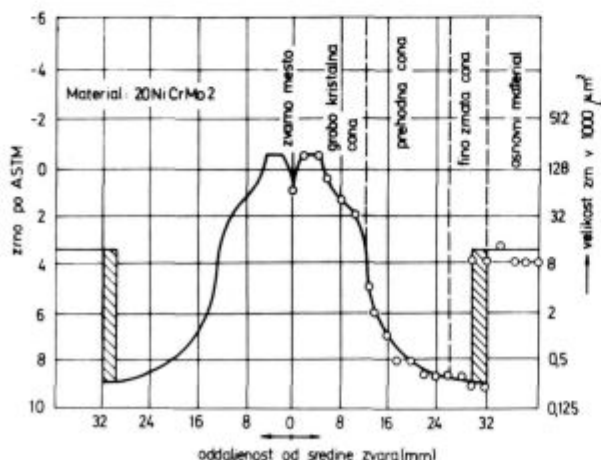
- toplotnega ciklusa, ki nastane med samim procesom varjenja in
- kemičnih sprememb, ki nastanejo v zvarnem spoju in delno tudi v njegovi okolici.

Če pogledamo tvorbo in obliko kristalov v zvarnem spoju, nastanejo zaradi toplotnega vpliva različne strukture:

1. struktura osnovnega materiala,
2. zvarni spoj (običajno delno lita struktura),



Slika 1



Sprememba velikosti avstenitnega zrna pri odgrevano varjeni coni

Slika 2

3. vmes med strukturo osnovnega materiala in zvara pa je prehodna — toplotno vplivana zona, ki ima od osnovne strukture najprej fino zrnati del, nato pa preide v bližini zvara v Widmanstättenko obliko zrn.

Kakšne temperature nastopajo pri varjenju na posameznih mestih, kaže diagram. **Slika 2** nam nazorno kaže spreminjanje velikosti avstenitnih zrn v varjeni coni in v odvisnosti od oddaljenosti od zvara.

Seveda vpliva na celotno razporeditev velikosti kristalov že osnovna struktura jekla. To je posebno zanimivo pri manganskih jeklih, ki imajo ponavadi izrazito trakasto strukturo.

Velikost avstenitnih zrn in tvorba sekundarne strukture v posameznih conah je precej odvisna od kemične sestave jekla, pogojev avstenitizacije in od posameznih legirnih elementov, ki regulirajo oziroma preprečujejo naraščanje zrn, pa tudi od pogojev hlajenja.

Zelo pomembna je seveda izguba ogljika v zvaru in tvorba lite strukture.

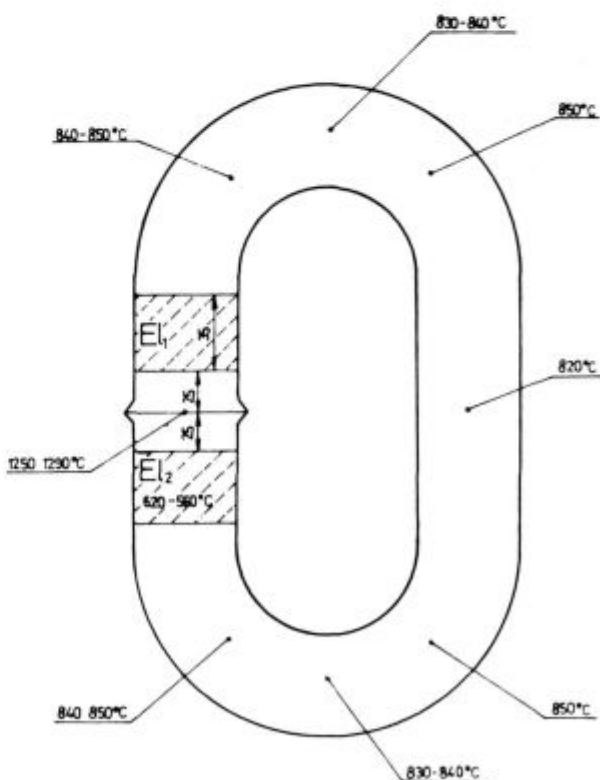
Poleg ogljika izgublamo v zvaru tudi ostale elemente, vendar je odstopanje pri ogljiku največje. Feritna cona nastane zaradi spremembe faz v samem zvaru.

Kako so razporejena temperaturna polja po členu, vidimo na členu $\varnothing 50$ mm iz jekla Č 8330 nekaj sekund po varjenju (**slika 3**).

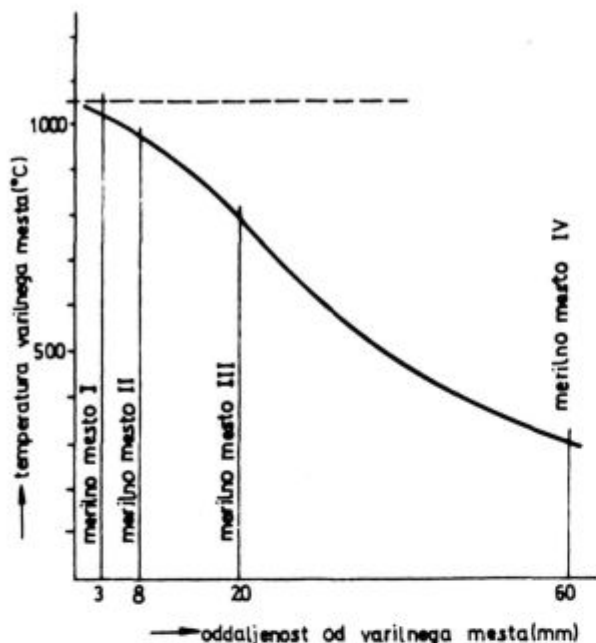
Krivulja na **sliki 4** nam kaže toplotne cone po stiskanju v odvisnosti od oddaljenosti od varilnega mesta.

Na diagramu vidimo, da temperatura 8 mm oddaljene točke od zvara znaša le še 980—1000°C po stiskanju; 20 mm oddaljena točka je v tem času segreta na 800°C. Na merilnem mestu 4 pa temperatura pade na 480°C—500°C. Ta del se nahaja že pod elektrodami, ki intenziv-

Temperaturne točke in temperaturne cone pri členu $\varnothing 50$ mm v 8 s po varjenju



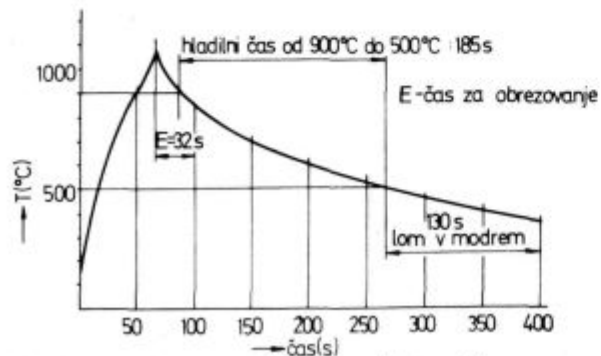
Slika 3



Slika 4

no odvajajo toploto zaradi dobre prevodnosti in zadovoljivega hlajenja. Seveda te krivulje veljajo samo za mrzle člene; za tiste, ki so bili po krivljenju ohlajeni in nato šele varjeni. Pri toplem upogibanju pa so temperature višje po celem členu, razen zvarnega venca, ki ima isto temperaturo pri stiskanju.

Diagram na sliki 5 nam kaže ohlajevalni čas in padanje temperature s časom na zvarnem delu členu. Važen je čas, ki ga rabi člen za ohlajanje od 900 do 500°C. Ta čas je v našem primeru dolg 185 sekund, kar ne vpliva na strukturo toliko, da bi prišlo lahko do zakalitve. Obrezovanje zvarnega venca se izvrši takoj po varjenju in traja 32 sekund. Ta čas je precej odvisen od temperature zvarnega dela (hiter transport do obsekovalnega primoža) od kvalitete jekla, od velikosti venca in od obsekovalnega orodja. Obsekovanje je zaključeno običajno pri temperaturi 830–860°C, kar je tudi potrebno. Ves postopek varilnega postrojenja mora biti tako urejen, da se obsekovanje izvrši v toplem območju nad A_{c3} črto. Prav posebno se moramo izogibati območja loma v modrem, to se pravi temperaturnega intervala 300–500°C. Ta temperatura pri našem obrezovanju nikdar ne nastopa. Približamo pa se tej coni pri vtiskava-



Toplotna cona in temp.točke varnega dela in okolice v odvisnosti od časa

Slika 5

nju mostičkov (prečk). Temperature so običajno 600 do 680°C. Nevarnost razpok pri vtiskavanju nastopi pri členih, ki so bili bolj kratko odrezani in imajo zato manjše odgorevanje.

Prav tako se zelo različno segrevajo tudi posamezni deli pri toplem elektroporovnem varjenju. Slika 6 nam predstavlja jeklo 20 NiCrMo 2, in sicer zvar členov, varjenih na stroju, ki je bil predhodnik novega KEH sistema.

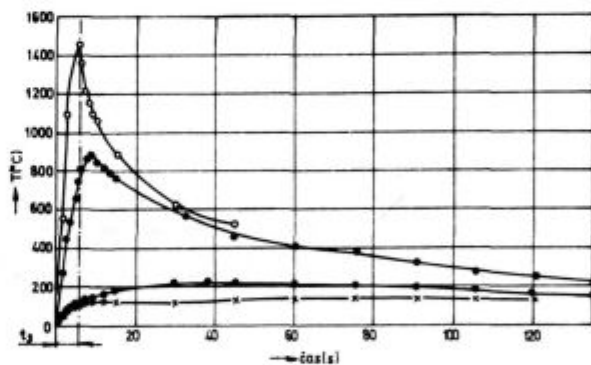
Pri konstantnem pritisku smo spremljali ohlajanje:

- zvarne cone, ki jo predstavlja zgornja krivulja,
- elektrod, ki so posnete na drugi krivulji,
- radiusov, ki jih predstavlja temperaturna krivulja na tretjem mestu,
- prav tako zanimiv pa je tudi hrbtni del na četrti krivulji.

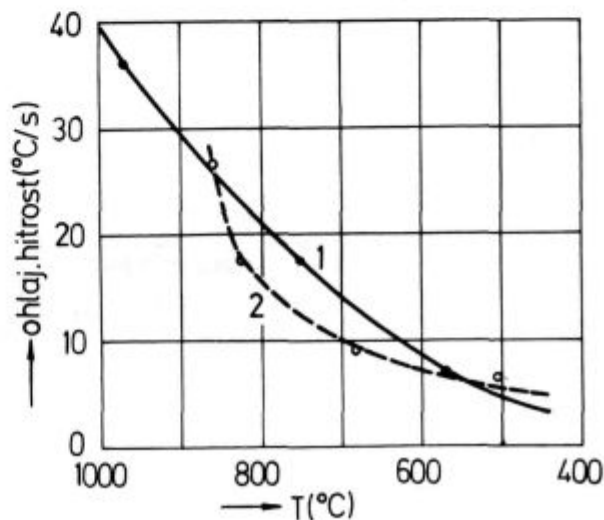
Velika zrna pa niso zaželena, ker iz velikih kristalov avstenita nastanejo po prekristalizaciji velika zrna ferita in perlit. Z nadaljnjim naraščanjem temperature postaja zrno vse bolj grobo, da nastane taka struktura, ki je podobna liti. Pri taki strukturi se perlit ne izloča več ob mejah feritnih zrn, temveč tvori s feritom zrna, ki so zelo podobna Widmanstättski strukturi.

Slika 7 nam daje še dodatno primerjavo: ohlajanje zvara (1) in mesta pod elektrodami (2).

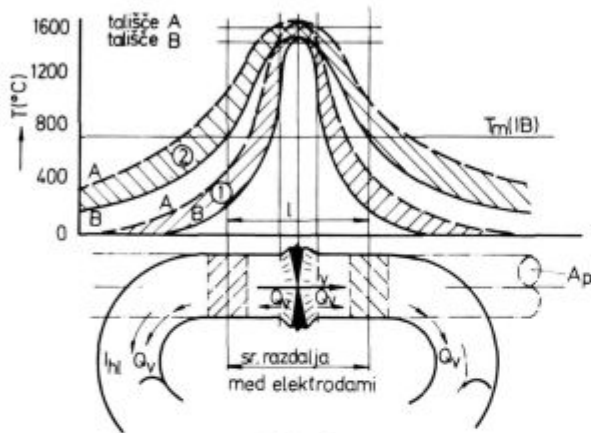
Razporeditev temperatur po členu za novi sistem varjenja nam kaže slika št. 8. Upoštevati moramo, da je člen pred varjenjem v hladnem stanju. Krivulja 1 predstavlja navadno jeklo St 35.2, krivulja 2 pa jeklo 20 NiCrMo 2.



Slika 6



Slika 7



Slika 8

Pri ohlajanju jekla je važno, da preidemo čim hitreje temperaturno območje med Ar_3 in Ar_1 točko. Počasno ohlajevanje ni primerno, ker se iz kristalnih kali razvijejo večja zrna kot pri hitrem. Poleg tega se spremeni tudi oblika izločenega perlita. Počasnejše ko je ohlajevanje skozi območje GOS, bolj grobe bodo lamele perlita.

Za popravo struktur je potrebna posebna toplotna obdelava, normalizacija. Ta postopek je treba izvesti le tedaj, če je izhodna struktura materiala grobozrnata in nehomogena. Če je jeklo samo po sebi fino zrnato in zrna enakomerne velikosti, je vsaka normalizacija brezpredmetna.

Verige pri tem segrejemo na temperaturo 30 do 50° C nad temperaturo premene, da dobimo avstenitno strukturo. Grobozrnate strukture jekla v prehodni coni zvara, v zvaru in tudi na sosednjih delih se spremenijo v enakomerno avstenitno strukturo. Segrevanje in žarjenje na predpisani temperaturi je omejeno le na čas, da ves material doseže to strukturo. Če je žarjenje predolgo, kristali avstenita preveč zrastejo in slabo vplivajo na pre-kristalizacijo zvara, ki nastopi pri ohlajanju materiala.

Material pri normalizaciji ohlajamo normalno na zraku in čim bolj enakomerno. Pri tem se pri žarjenju dosežena enakomerna avstenitna struktura pre-kristalizira v fino zrnato enakomerno strukturo ferita in perlita, ki ima zaradi tega enakomernejše in boljše mehanske lastnosti.

Z normalizacijo smo dosegli predvsem odpravo neprekristaliziranih struktur v zvaru, boljše fino zrnato strukturo celotnega zvarnega območja, kot je bila v surovem stanju. Prehodi zvara v osnovni material so enakomernejši in homogeni. V samem zvaru pa je opaziti delno razogljichenje in tudi zmanjšanje vrednosti trdote, kar navadno popravimo kasneje že s poboljšanjem materiala.

Po normalizaciji se zboljšajo trdnostne lastnosti in poveča se žilavost materiala, kar je posledica homogene kristalne strukture, ki smo jo dosegli. Normalizacijski postopek se posebno priporoča pri izdelavi visokoodpornih verig, ki jih delamo iz mikrolegiranih jekel.

Rudarske in sidrne verige normaliziramo v vertikalnih pretočnih žarilnih pečeh Schmitz-Appelt. Veriga pri normalizaciji potuje skozi peč z vrha proti dnu s predpisano hitrostjo, odvisno od dimenzije verige. Pri tem se segreje na predpisano temperaturo normalizacije. Ves postopek je kontroliran z registracijo za čas in temperaturo. Ohlajanje verige opravljamo na zraku. Ogrevanje peči je urejeno na plin.

Sicer je možna kurjava tudi z mazutom, z elektriko ali pa je celotna peč kombinirana. Ta kombinacija je izvedena s plinskimi gorilci, ki so v normalni višini, v spod-

njem delu pa je električni dodatek, kjer se segrevanje nadaljuje direktno pod spiralami. S tem načinom podaljšamo toplotno polje nad črto Ac_3 in lahko segrevamo tudi legirana jekla z manjšo toplotno prevodnostjo.

Pri tem segrevanju so važne temperature in časi. Veriga teče v smeri proti zgorelim dimnim plinom in se predgreva. Na ta način pride že primerno vroča v bližino gorilcev. Toplotno polje nad GOS linijo mora biti dovolj dolgo, da pri določeni hitrosti zadošča za pretvorbo po celem preseku. Prav zato za vsako verigo posebej določimo hitrost.

V naslednjih dveh tabelah podajamo učinke naših dveh peči:

Tabela 1 Typ SDGO 500 (povprečni učinek ca. 500 kg/h)

Nazivni premer verige Ø mm	Ogrevni čas minut	Pretočna hitrost m/min.	Učinek z enim pramenom kg/h	Število pramen	Efektivni učinek kg/h
5	3	2,15	65	7	455
8	4,8	1,35	110	4-5	440-550
10	6	1,10	150	3-4	450-600
13	8	0,8	185	3	555
16	9,5	0,68	240	2	480
20	12	0,54	280	2	560
26	16	0,4	360	1-2	360-720
30	18	0,36	430	1	430
33	20	0,325	480	1	480
36	21	0,31	540	1	540
40	24	0,27	580	1	580

Tabela 2 Typ SDGO 1200 (povprečni učinek ca. 1200 kg/h)

Nazivni premer verig Ø mm	Ogrevni čas minut	Pretočna hitrost m/min.	Učinek z enim pramenom kg/h	Število pramen
45	23,0	0,3	800	1
51	26,0	0,27	800	1
60	30,0	0,23	1100	1
80	40,0	0,175	1500	1
100	50,0	0,14	2000	1

Učinki novih peči so nekoliko boljši, ker se dimni plini še dokaj vroči na vrhu peči obrnejo in tečejo še nekaj metrov ob verigi do dimnika. Na drugi strani pa poveča ta izkoristek tudi električni dodatek, ki je v spodnjem delu peči tik nad hladilno kadjo.

Naše peči so starejše, so brez tega dodatka in so zgoraj odprte kot normalen dimnik.

Peči so bile nabavljene še v času, ko smo za verige uporabljali dokaj enostavna jekla. Za sidrne verige so bile poznane kvalitete: St 35-13K, St 41-50 po LR in St 52.

Vse to so jekla, ki nimajo posebnih legiranih dodatkov in s svojo dokaj veliko toplotno prevodnostjo ne ovirajo dokončnega in popolnega pregretja tudi pri sorazmerno veliki hitrosti verige skozi peč.

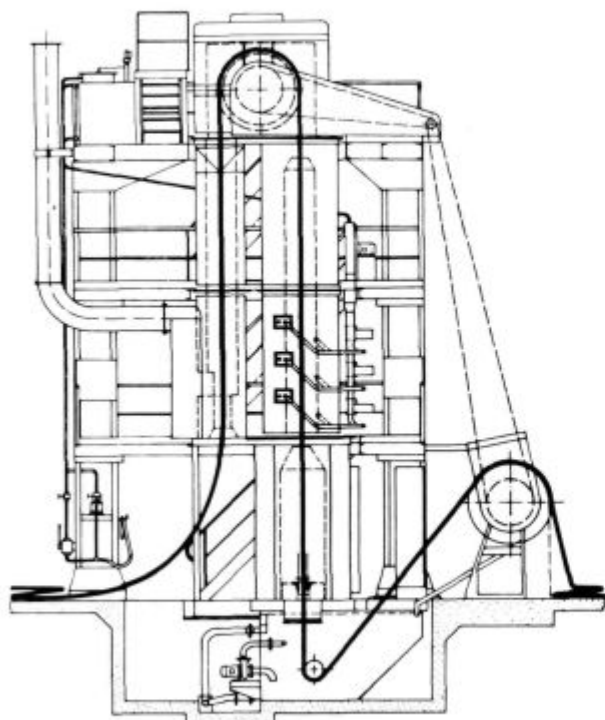
V letih 60-70 pa tudi pri rudarskih verigah še ni bilo tako visokih kvalitetnih razredov, da ne bi dosegali predpisanih trdnosti, kot so bile za DIN 22252 razred B.

Novo peč kaže **slika 9**.

Debelo risana črta predstavlja verigo, ki teče skozi peč.

Naslednja **slika 10** nam daje grafičen posnetek toplotne obdelave — normalizacije za sidrno verigo Ø 68 mm St 52 V — U 3 pri hitrosti $V=0,18$ m/min. pri segrevanju in spodaj pri ohlajanju.

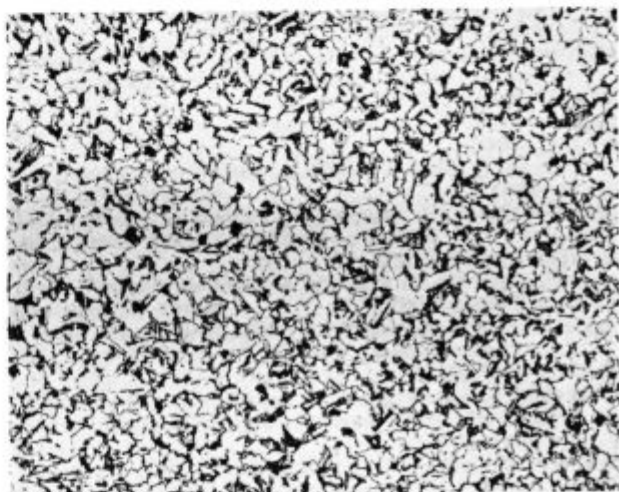
Normalizacijske peči se uporabljajo lahko tudi za kaljenje.



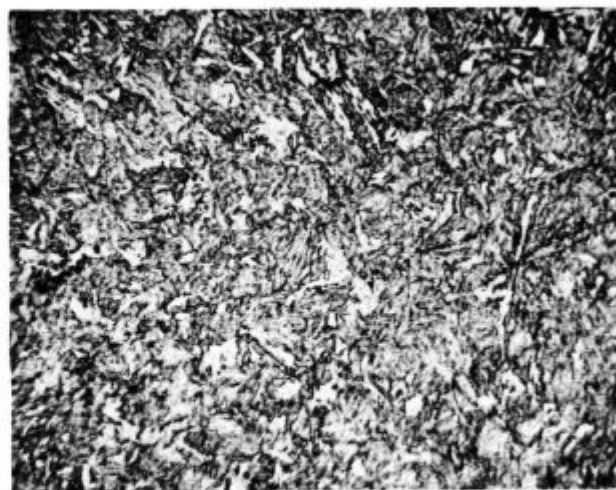
Slika 9



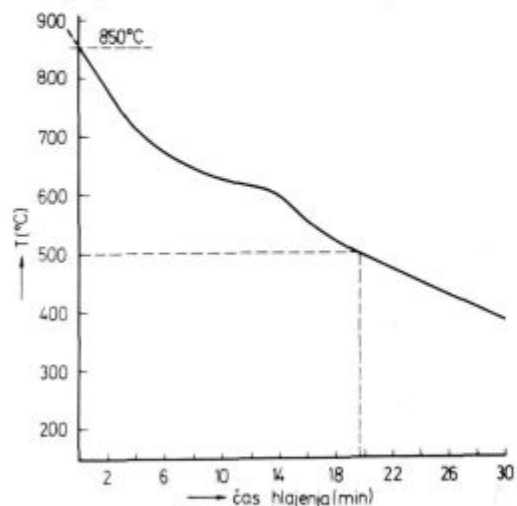
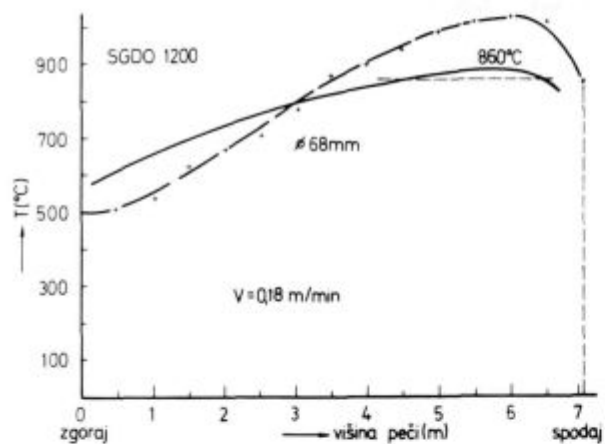
Slika 11



Slika 12



Slika 13



Slika 10

Slabe strani teh peči pri kaljenju verig so naslednje:
 — točnost temperatur je sporna, ker preveč nihajo zaradi grobe regulacije,
 — hitrost skozi peč je za mikrolegirana jekla prevelika,

- ohlajanje je neučinkovito in
- oksidacija pri prehodu skozi peč dokaj močna.

Za boljšo ponazoritev postopka prilagamo nekaj metalografskih posnetkov verig, ki so bile normalizirane ali poboljšane v teh pečeh.

Surov zvar po varjenju — mikroposnetek Č 8330 Ø 46 mm.

Povečava 100 × (slika 11)

Dobro normaliziran zvar na pretočni peči SDGO 1200 Č 8330 Ø 46 mm, temperatura 880° C.

Povečava 100 × (slika 12)

Poboljšan zvar rudarske verige Č 7435, Ø 26 mm, obdelan na pretočni peči SDGO 500. Temperatura kaljenja 880—890° C. Popuščanje 490° C.

Povečava 100 × (slika 13)

ZAKLJUČEK

Po varjenju, ne glede kakšnem: topem, obžigalnem ali topim z povečanim pritiskom, moramo vsako verigo normalizirati tako, da izenačimo strukture preko zvara in toplotno vplivane cone. To gretje preko GOS linije izenači zrna in s pomočjo difuzije zmanjšuje tudi izgubo ogljika v feritni zvarni coni.

Normalizacijsko žarjenje lahko izvedemo na več načinov, vendar je še vedno najcenejši način, ki je opisan v našem poročilu. Pri teh pečeh je seveda možna zamenjava mazuta ali plina kot grelnega sredstva z elektriko. Se pa zaradi varstva okolja in boljših delovnih pogojev tudi na tem področju pojavlja indukcija, ki pa je nekoliko dražja, vendar za kvalitetne verige v bodočnosti potrebna.