

TOPLOTNA OBDELAVA VISOKOKVALITETNIH VERIG Z INDUKCIJO

INDUCTION HEAT TREATMENT OF HIGH-QUALITY CHAINS

Franc Legat

Zabreznica 36, 4274 Žirovnica, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 1999-10-20; sprejem za objavo - accepted for publication: 2000-04-10

Predstavljen je postopek toplotne obdelave verig z induktivnim ogrevanjem. Opisane so prednosti in slabe strani postopka, naprava, mikrostruktura in trdota zvarov ter dani so podatki o porabi energije in storilnosti pri toplotni obdelavi verig s premerom 6 do 13 mm.

Ključne besede: jeklene verige, induktivno ogrevanje, toplotna obdelava, mikrostruktura, trdota, poraba energije

The procedure for the induction heat treatment of chains is presented. The heating equipment, the microstructure and hardness of the welds, the productivity, the specific use of energy for 6 to 13 mm thickness chains as well as the benefits and the drawbacks of the procedure are described.

Key words: steel chains, induction heat treatment, microstructure, hardness, use of energy

1 UVOD

Pri varjenju se člen, odvisno od postopka, različno segreje zato dobi pisano mikrostrukturo. Lastnosti zvarnih spojev pri obžigalnem varjenju so odvisne predvsem od dveh pogojev:

- od toplotnega ciklusa med procesom varjenja in
- od kemičnih sprememb v zvarnem spoju in v njegovi okolici.

Zato srečamo v zvarnem spoju in ob njem:

1. mikrostrukturo osnovnega materiala
2. mikrostrukturo v zvarnem spoju (strjevalna mikrostruktura) in
3. mikrostrukturo v toplotno vplivanem pasu med osnovnim materialom in zvarom. V tem pasu se mikrostruktura spremeni od osnovne finoiznate do groboiznate v bližini zvara.

Na **sliki 1** sta shematsko prikazana temperatura in velikost zrn na preseku zvara. Velikost avstenitnih zrn in tvorba sekundarne strukture v posameznih conah sta odvisni od kemične sestave jekla ter od razmer pri avstenizaciji in hlajenju. Nekateri elementi preprečujejo rast zrn. Zelo pomemben je odgor ogljika iz zvara. Poleg ogljika izgorevajo v zvaru tudi drugi elementi, vendar je odgor ogljika največji.

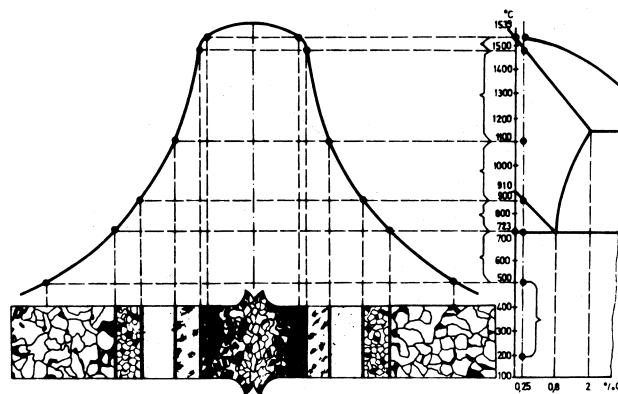
Velika avstenitna zrna v členih niso želena, ker iz njih nastajajo po premeni velika zrna ferita in perlita. Z nadaljnjim naraščanjem temperature postajajo avstenitna zrna vse bolj groba in iz njih pri premeni nastane tudi groba mikrostruktura. Pri taki mikrostrukturi perlita ne najdemo več ob feritnih zrnih, temveč s feritom widmanstetsko mikrostrukturo.

Pri ohlajanju jekla je važno, da preidemo čim hitreje temperaturno območje med točkama A_{r3} in A_{r1} . Počasno

ohlajevanje ni primerno, ker iz kristalnih kali zrastejo večja zrna kot pri hitrem in se spremeni tudi oblika perlita. Čim počasnejše je ohlajevanje skozi območje GOS, tem debelejšje bodo lamele v perlitu.

Za popravo groboiznate mikrostrukture je nujno potrebna normalizacija. Če je jeklo po naravi finoiznato in so zrna enakomerne velikosti, je normalizacija nepotrebna.

Pri normalizaciji se verige segrejejo od 30 do 50°C nad temperaturo premene, da nastane avstenit. Iz groboiznate mikrostrukture v prehodni coni zvara in v zvaru nastanejo enakomerna avstenitna zrna. Zadrževanje pri predpisani temperaturi je omejeno le na čas, potreben za kompletno premeno. Če je žarjenje predolgo, avstenitna zrna preveč zrastejo in pri ohladitvi nastane slabša mikrostruktura. Pri normalizaciji verigo ohlajamo na zraku čimbolj enakomerno. Pri tem avstenit premeni v finoiznato mikrostrukturo iz ferita in perlita, ki ima enakomerno in boljše mehanske lastnosti. Z normalizacijo se

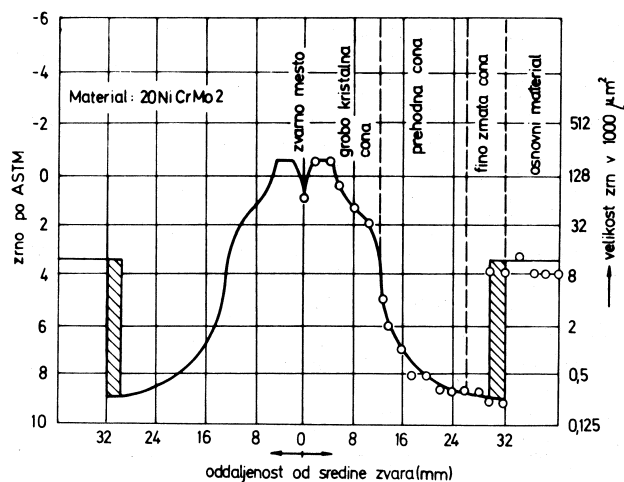


Slika 1: Različne mikrostrukture na preseku zvara verige

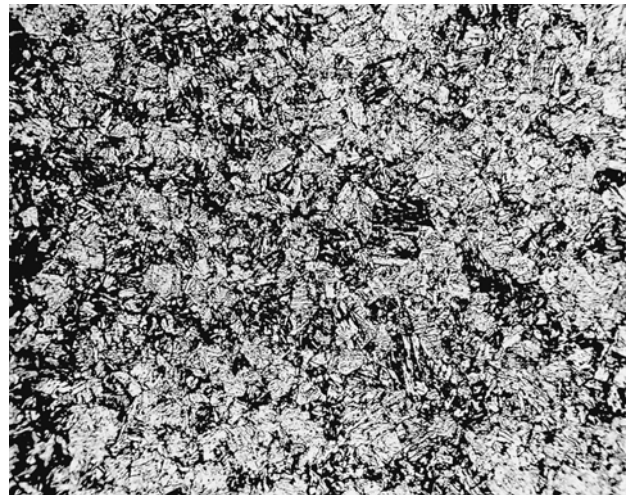
doseže finoznata in enakomerna mikrostruktura celotnega zvarnega območja, kot je bila po varjenju. Prehodi zvara v osnovni material so po normalizaciji enakomerni in homogeni. V zvaru se opazi delno razogljčenje in tudi zmanjšano trdoto. To lahko kasneje popravimo s poboljšanjem materiala. Tehnične in sidrne verige normaliziramo v vertikalnih pretočnih žarilnih pečeh. Veriga pri normalizaciji potuje skozi peč z vrha proti dnu s predpisano hitrostjo, ki je odvisna od demenzije verige. Pri tem se segreje na predpisano temperaturo normalizacije. Med postopkom kontroliramo čas in temperaturo. Ohlajanje verige opravimo na zraku. Peč lahko ogrevamo s plinom ali z elektriko. Tehnične visokoodporne verige se po izhodu iz peči za normalizacijo ohlajajo v vodi, olju ali emulziji. V podjetju Veriga Lesce se poboljšanje opravi v dvokomornem avtomatu, ki opravlja vse možne toplotne operacije do mase vložka 600 kg. Problematična je toplotna obdelava za rudarske verige, za dolge elevatorske konce in splošno verige višjih trdnostnih stopenj do premera 26 mm. Poboljšanje v pretočni peči ne zadošča več, ker so premalo točne temperature, hitrosti pretoka in enakomernosti pregretja.

2 INDUKCIJSKO OGREVANJE

Zadnje čase se vedno bolj uvaja, posebno pri kvalitativnih verigah, indukcijsko segrevanje. Naprave so moderne in avtomatsko vodene. Poleg konduktivnega segrevanja ta postopek najmanj kvari okolje. Peči so v inozemstvu drage, zato smo sami naredili projekt in peč. Nosilec celotne naloge je bila razvojna služba podjetja Veriga Lesce. Vse preiskave, analize in primerjave so bile narejene doma in nato preverjene tudi zunaj pri uporabnikih in proizvajalcih podobnih peči. Strokovnjakom Instituta "Jožef Stefan" je bil omogočen ogled delujočih generatorjev in potrebne opreme. Skupaj smo preizkusili poboljšanje specialnih jekel za verige in na ta način določili parametre dela peči. Na osnovi tehnične dokumentacije, ki je bila izdelana v Verigi Lesce pa so



Slika 2: Velikost avstenitnih zrn po varenju na varilnem stroju za člene iz jekla 20NiCrMo2



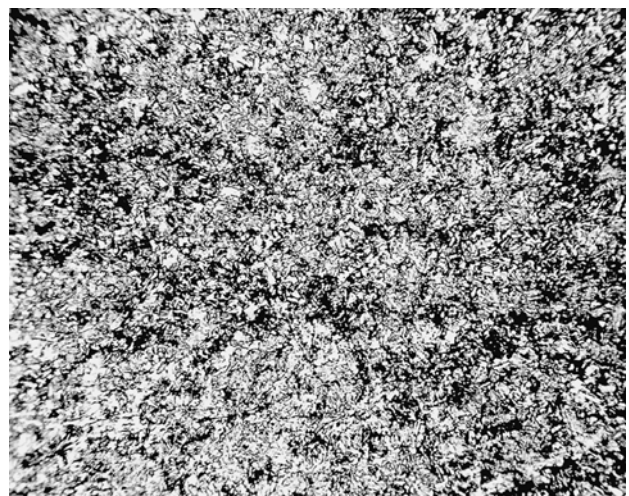
Slika 3: Sredina zvara po poboljšanju v indukcijski peči. Temp. kaljenja - 900 °C; popuščanje - 420°C. Veriga Φ 5 mm po DIN 5684-8; jeklo - 20NiCrMo3; trdota - 36-38 HRC; povečava 100-kratna

izdelali kooperanti vso potrebno opremo. Montažo in celoten nadzor so zopet opravili strokovnjaki iz Verige. Kooperantska podjetja so sodelovala tudi pri postavitvi in izdelavi dveh novih naprav, ki se uporabljata za poboljšanje visokoodpornih in rudarskih verig od premerov 5 do 13 mm in od 13 do 20 mm.

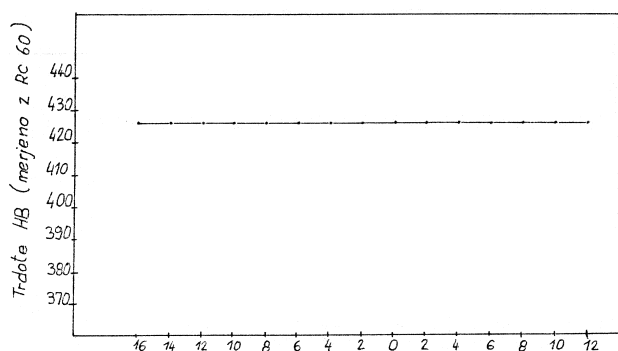
Indukcijsko in konduktivno gretje segrevata material direktno; pri drugih postopkih se verige segrevajo s prevajanjem toplote na površino in nato v notranjost materiala. Časi, ki so za segrevanje potrebni, so pri prvih dveh načinih najkrajši. Posebej je treba paziti na izbiro prave frekvence, ki je odvisna od vrste materiala, ki ga ogrevamo, od debeline in od tehničnih pogojev naprave.

Splošne prednosti ogrevanja z indukcijsko napravo:

- preprečeno je razogljčenje površine zaradi zelo kratkega segrevanja



Slika 4: Zvar verige Φ 7 mm po DIN 5684-8; jeklo - 20NiCrMo3; kaljenje - 920 °C; popuščanje - 400 °C; trdote - 38-40 HRC; povečava 100-kratna



Slika 5: Razdelitev trdote po preseku

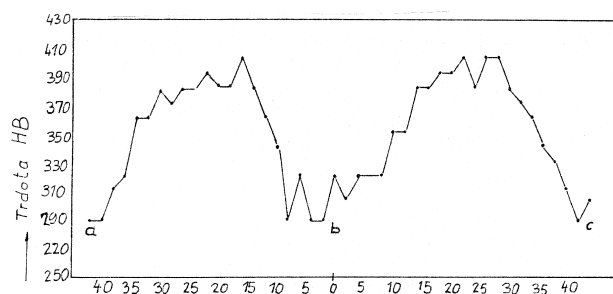
- preprečeno je nastajanje grobih zrn avstenita - s tem dosežemo visoko trdnost jedra za zelo zahtevne izdelke. Tudi to je posledica hitrega segrevanja
- zmanjšan je nastanek škaje, posebno pri temperaturah nad 800°C, zato ostane površina lepa. Če se uporabi zaščitna atmosfera, se škajanje še zmanjša
- doseže se enakomerna temperatura
- možna je natančna avtomatska regulacija
- čas procesa je kratek.

Postavitev indukcijskega agregata zahteva:

- manj prostora. Glavni del potrebnega prostora zavzema podajalna naprava. Drugi deli agregata so zaprti v ohišjih in omarah, ki ne rabijo veliko prostora
- ni potreben poseben temelj. Omare in naprava se postavijo na tla dvorane
- ne nastajajo plini: zato ni potreben dimnik in naprave za ventilacijo. Plini, ki nastajajo, so odvisni od predpriprave kosov
- energija se dovaja s fleksibilnimi in vodnohlajenimi kablji.

Prednosti uporabe indukcijske naprave so:

- hitra priprava za proizvodnjo, ker ni potrebno predgrevanje. Že po nekaj minutah dobimo prvi komad segret iz naprave
- ni toplotne obremenitve naprave, površina sevanja je majhna, zato ni potrebna odsesovalna kabina. Segreva se samo veriga, peč pa je vodnohlajena.
- strežba je enostavna. Celotna naprava je izdelana tako, da avtomatiko daje delovni takt. Za strežbo je primerna tudi priučena delovna sila.



Slika 6: Diagram za doseganje novih želenih trdot

- časi menjav in popravil so kratki.

Takt naprave, ki verigo transportira skozi ogrevno tuljavo, daje tudi kapaciteto. Takt je odvisen od časa za pregretje materiala različnih debelin. Induktivno segrevanje je optimalno takrat, ko pri pravilni frekvenci takti čas odgovarja pregrevnemu. Obstaja več izvedb, od peči z eno spiralo, ki se uporabljajo za ogrevanje od 20 do 1200 °C in peči z več tuljavami, kjer surovci tečejo kontinuirno skozi zaporedne induktorje. Kalilne temperature so med 800 in 1050 °C, premer verig med 2,5 in 34,0 mm. Temperatura popuščanja je med 400 in 600 °C.

Pri indukcijskem gretju se toplota razvije v materialu brez dotika med njim in virom energije. Segrevanje verige se lahko izvede v celoti ali pa samo v posameznih conah člena. Pri celotnem segrevanju se uporabljajo cilindrične tuljave, ki imajo tako dolžino, da je takti čas usklajen s časom pregretja celega člena. Pri conskem ogrevanju več tuljav ogreva posamezne cone.

V peči je možno:

- kaljenje (napuščanje in zapiranje ravnih členov)
- kontinuirno delo
- povezava vseh treh operacij: kaljenje, homogenizacija in popuščanje ravnih delov.

Kakšni so diagrami in posamezni členi z vsemi trdotami za novo peč v Verigi Lesce prikazujejo slike in podatki, ki so bili posneti ob homologaciji naprave po 1000 obratovnih urah.

Nekaj podatkov iz proizvodnje za 100 kW indukcijsko peč je v **tabeli 1**.

Proizvodni program verig se je s to napravo razširil na področje visokoodpornih verig. Naprava pomeni dvig

Tabela 1: Podatki iz toplotne obdelave verig z indukcijskim ogrevanjem

Premer verige	klasa po DIN 5684	°C	Št. ind.	V m/min	kW	kg/h	kWh/kg
5	6	900	1	1,3	35	39	0,90
7	6	900	2	1,6	45	103	0,44
7	6	420	2	2,6	34	167	0,20
8	SIP	910	2	1,6	45	134	0,33
8	SIP	910	3	1,4	36	118	0,30
8	SIP	910	3	3,2	45	270	0,17
9	6	910	3	1,4	43	147	0,29
9	6	415	3	2,0	38	210	0,18
11	6	960	3	1,1	47	178	0,26
13	6	900	4	1,2	51	274	0,19

kapacitete in kvalitete v primerjavi z doslej uporabljenimi pečmi. Rezultat je večja in cenejša proizvodnja. Tehnologija induktivne toplotne obdelave verig je preprosta in ne zahteva dodatnega zaposlovanja kvalificirane delovne sile. Ekološko je zelo sprejemljiva, ker v okolico ne oddaja toplotnega sevanja, dima ali plinov. Hladilna voda je načrtovana v zaprtem krogu, zato ne bremeni vodnih virov. Energetska bilanca na enoto proizvoda je zelo ugodna. Poraba energije na kg prodane verige je le 2,5% energije pri segrevanju s plinom ali v komornih pečeh.

Nova induktivna peč je bila zadnji člen v vrsti zahtev mednarodne institucije za podeljevanje kvalitetnega znaka proizvajalcu verig. S pridobljenim znakom je bil omogočen prodor na doslej zaprta tržišča.

Sestavni deli naprave so naslednji:

1. srednjefrekvenčni generator kot izvir energije
2. hladilni sistem za hlajenje induktorjev
3. štiri induktorji za dimenzijsko območje Φ 5 do 13 mm in štiri induktorji za območje Φ 13 do 20 mm
4. jeklena konstrukcija s pogonskim, transportnim in regulacijskim mehanizmom
5. kalilna banja s šobami in vodilnim mehanizmom.

Induktivni ogrevni element sestavljajo ohišje z vodnimi in električnimi priključki, bakreno navitje in notranja keramična cev. Ohišje je iz visokotlačne salonitne cevi, ki ima zadostno mehansko trdnost, se dobro strojno obdeluje. Material je odporen proti temperaturi in udarcem ter deluje kot električni izolator. Vsi električni in vodni priključki, pokrovi in vijačni elementi so iz nemagnetnih materialov, da se ne bi zaradi bližine induktivne tuljave v njih inducirali tokovi in se deli ne bi po nepotrebnem segrevali.

Bakreno navitje sestavljajo tri tuljave, vezane v serijo. Število navojev je določeno izkustveno in je prirejeno frekvenci generatorja, celotni dolžini peči (kapaciteti) in verigi, ki se ogreva. Tuljava je lakirana z elektrotehničnim lakom, med posameznimi navitji so izolacijske ploščice iz vitroplasta.

3 LITERATURA

- 1 Semiatin, S. L., Stutz, D. E.: Induction heat treatment of steel, American Society for Metals, Metals Park, 1986
- 2 Thelning, Karl-Erik: Steel and its heat treatment, Butterworth, London, 1984