

Osvajanje izdelave verig iz nerjavnih jekel

Chain Production from Stainless Steel

F. Legat, Veriga Lesce, Lesce

A. Lagoja, Železarna Jesenice, Jesenice

Kvalitetne verige za dvigala in transporterje za kemično industrijo po DIN 5684 in DIN 5687 so izdelane iz nerjavnih jekel. Podane so lastnosti superferitnih avstenitnih in martenzitnih nerjavnih jekel in primerjava uporabnosti za te namene ob upoštevanju cene posameznih vrst jekel in proizvodnih stroškov zaradi različnih tehnologij oblikovanja in varjenja verig.

Ključne besede: verige, superferitna, avstenitna, martenzitna nerjavna jekla, umerjanje

For high tensile steel chains for hoists, conveyors after DIN 5684, DIN 5687 and other chains for chemical industry stainless steels are used. The price of steels and production costs are very important, therefore we have to know which basic material must be used: superferritic stainless steel or austenitic stainless steel.

Key words: chains, superferritic, austenitic, martenzitic stainless steels, welding

1 Uvod

Ker imajo verige kot končni proizvod v bistvu nosilne in prenosne funkcije, je potrebno pri zahtevah za jekla za verige navesti trdnostne lastnosti. Pri tem moramo upoštevati, da verig ne uporabljamo le pri sobni temperaturi, temveč tudi v mrazu in pri povišanih temperaturah ter da ni obremenitev le statična, temveč tudi udarna ali nihajoča. Zaradi tega pride do posebnih zahtev za trdnostne lastnosti jekel.

Višina zahtevanih lastnosti se ravna po vrsti verige. Verige brez posebnih kvalitetnih zahtev uporabljamo tam, kjer predvidevamo nizke obratovne obremenitve in je ob zlomu pričakovati majhen riziko.

Kvalitetne verige se uporabljajo: v normalni kvaliteti, poboljšane, visoko-trdne ali obrabno-odporne verige kot tudi verige s posebnimi fizikalnimi in kemičnimi lastnostmi materialov.

Trdnostne lastnosti verig so po mnenju proizvajalcev verig določene z: nosilno silo, preizkusno napetostjo in s porušno napetostjo. Izkazalo se je, da je pri izdelavi verig iz jekla s feritno-perlitno strukturo ali s poboljšano strukturo potrebno upoštevati faktor verige okrog 0.7 kot smerno vrednost, to pomeni porušna sila verige znaša približno 70% računsko porušne sile, ki jo dobimo iz natezne trdnosti jekla in iz preseka palice.

Za varjene verige iz okroglega jekla s stabilizirano austenitno strukturo lahko uporabimo zaradi močnejšega utrjevanja materiala v primerjavi s feritnim jeklom smerno vrednost 0.8. Razlaga za razliko med porušno silo verige in porušno silo okroglega jekla temelji na razporeditvi napetosti v členu verige. Na določenih mestih nastopajo napetostne konice v velikosti večkratnih normalnih napetosti, kjer opažamo glede na obliko verige (delitev, širina, mostiček) znatne razlike v porazdelitvi in velikosti napetosti. Zato za doseganje trdnostnih lastnosti kvalitetne verige po varjenju glede na vrsto jekla normaliziramo ali poboljšamo.

Pri kvalitetnih verigah pa ni le obvezno spremljati trdnost, temveč je zaradi varnosti v uporabi, predvsem pa zaradi preprečevanja krhkih lomov velikega pomena odgovarjajoča preoblikovalnost, žilavost in neobčutljivost jekel proti staranju. Minimalna preoblikovalnost materiala verige, ki je v uporabi, naj bi na eni strani z določeno preoblikovalno rezervo zagotavljala prevzem prekomernih obremenitev, ki bi lahko povzročile nasilen lom; na drugi strani pa bi se prekomerno raztegnjeni verižni členi zaradi slabega ujemanja z verižnim kolesom krivili in bi lahko pri neprimernem jeklu in nestrokovni predelavi povzročilo krhke lome, predvsem v območju zvara. Zaradi tega pri motorno gnanih verigah preoblikovalnost jekla ne sme biti prevelika, da je zagotovljena enakomerna delitev in s tem miren tek preko verižnih koles. Pri preizkusih verig z dano preizkusno silo ne sme biti presežen določen skupni raztezek.

Jekla morajo imeti glede na namen uporabe verig, kot smo to obravnavali pri kvalitetnih verigah, določene fizikalne lastnosti ali korozijsko odpornost.

Od jekel zahtevamo preoblikovalnost s hladnim ali vročim upogibanjem in predvsem sposobnost varjenja. Sposobnost varjenja lahko omejimo predvsem zaradi pogojev izdelave verig na sposobnost za obžigalno varjenje in za topo varjenje s stiskanjem, predvsem za manjše dimenzije. Pri varjenju ne sme priti do takih sprememb v mikrostrukturi, ki bi kvarno vplivale na mehanske ali fizikalne (korozijska odpornost) lastnosti materiala. Morebitne škodljive mikro-strukturne spremembe moramo s poznejšo toplotno obdelavo popraviti.

2

Največji potrošnik nerjavnih jekel je kemična industrija v svojih številnih panogah in prehrabena industrija. Dobra korozijska odpornost ne pomeni daljše življenjske dobe samih verig, ampak zagotavlja tudi pravilno odvijanje proizvodnega procesa, ki bi ga korozijski produkti lahko bistveno motili.

Korozijska odpornost je pomembna tudi za estetski videz predmetov, pri čemer prav drobni detajli kot npr. verige, vijaki in maticice še posebno motijo, če so izdelani iz neustreznega korozijsko neodpornega materiala. Nerjavna jekla se vedno več uporabljajo za predmete široke potrošnje, zato proizvodnja nerjavnih izdelkov v zadnjih letih še posebno narašča.

Domača industrija je uporabljala za izdelavo nerjavnih verig in vijakov izključno uvožena jekla. V okviru slovenskih železarn so bili že izvršeni poizkusi izdelave raznih izdelkov iz nerjavnih jekel, ki jih izdelujejo naše železarne. Izkazalo se je, da so domače vrste nerjavnih jekel, čeprav podobnih kemičnih sestav kot inozemske, manj primerna za izdelavo kvalitetnejših nerjavnih izdelkov. To pa pomeni, da morajo imeti nerjavna jekla, ki so primerna za izdelavo verig, vendarle še nekatere specifične lastnosti.

Izbor nerjavnih jekel, ki so uporabna za izdelavo verig povzemamo iz literaturnih podatkov, ki se v glavnem nanašajo na DIN norme. To so Cr-Ni in Cr-Ni-Mo austenitna jekla (karakteristična oznaka A) ter Cr in Cr-Mo feritna in martenzitna jekla (karakteristična oznaka C) in celo austenitna in martenzitna jekla z izločevalnim utrjanjem. Vendar pa moramo pripomniti, da je največji del nerjavnih verig izdelan iz austenitnih jekel, zlasti iz vrste A 2 in A 4, to je jekel, ki sta podobni našim jeklom Č. 4580 (Acron 11 extra) in Č. 4573 (Acron 12).

Osnovno lastnost nerjavnih jekel, to je korozijsko odpornost pri vijakih, še zlasti odpornost proti napetostni koroziji — zagotavljata sestava in struktura jekla.

Pri verigah je hladno preoblikovanje manjše kot pri vijakih, vendar je varjenje odprto vprašanje za varilne avtomate drobnejših verig.

3 Preizkusi

Za verige smo za vse dimenzije uporabljali iste kvalitete kot za ostale izdelke, vendar so bile pri proizvodnji težave različne:

- jeklo je imelo pisane lastnosti, kar pomeni nesimetrično upogibanje,
- težave pri varjenju zaradi vzmetnih sil v hrbtnem delu, ki so bile tudi različne.

Ker nas je posebno zanimala sama tehnologija proizvodnje z vsemi posebnostmi, smo zasledovali izdelavo verige iz austenitnega jekla.

Kot vzorčni primer smo vzeli verigo DIN 766 ϕ 13 mm kalibrirano in preizkušeno po upogibanju na stroju KER 7 in varjeno na stroju KEH 7.

Jeklo po kvaliteti: Wnr. 1.4401, X5 CrNiMo 18 10, Č. 4573.

Žica je imela kemično sestavo, podano v tabeli 1.

Tabela 1.

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%
0.04	0.92	2.0	0.014	0.012	11.9	17.9	2.3

Valjani kolobarji so imeli premer kot običajni kolobarji pri valjčnih progah, žica pa je imela premer ϕ 15 mm z običajnimi tolerancami na premer in obliko.

Priprava žice je bila naslednja:

- peskanje valjane žice ϕ 15 mm in takoj vlečenje na ϕ 13.6 mm,
- gašenje s temperature 1030–1050°C v vodi in
- ponovno vlečenje na ϕ 13.2 mm.

V praksi uporabljamo tudi drugo tehnološko pot, ki ima kot osnovno dimenzijo valjano žico ϕ 14 mm gašeno takoj in nato vlečeno na ϕ 13.2 mm. Ta postopek je praktično bolj nesiguren, zato je pri nas v uporabi dvakratno vlečenje in vmesno gašenje.

Po pripravi smo imeli mehanske lastnosti, podane v tabeli 2.

Tabela 2.

Jeklo	R_e N/mm ²	R_m N/mm ²	A_5 %
Č. 4573	210	700	48

Upogibanje je teklo v hladnem stanju na upogibalnem stroju tipa KER. To je stroj firme WAFIOS, ki ima sistem upogibanja izveden z valji tako, da se deformacija lepo porazdeli po celem radiusu člena. Priprava palice za člen je enaka kot za druge verige iz mikrolegiranega jekla. Zvarni spoj ima posebno "V" obliko, ki zagotavlja enakomeren in dober zvar.

Stroj je tekel s kapaciteto 33–35 členov/minuto in ni kazal povečane porabe upogibalnega orodja. Spojni deli so imeli ustrezen kot; vzmetnost pa se je gibala med 0.6–0.8 pri delitvi $t = 37\text{--}37.5$ mm.

Varjenje je potekalo na stroju KEH 7, to je stroj firme WAFIOS, ki ima že moderno izvedeno elektroniko in avtomatiko. Zvari so enakomerni, zvarni venec pa se lepo obreže z dveh strani: prečni odrez in nato še vzdolžni odrez po osi člena. Ta način nam daje popolnoma čist zvar in ga štejemo za 100% zvar. Vsi prelomi pri pravem postopku nastopijo v osnovnem materialu.

Razlika je, če primerjamo to jeklo z mikrolegiranimi, da morajo biti razdalje med elektrodami čim manjše. Čim ožji del segretega člena mora biti obsežen pri varjenju in stiskanju. V nasprotnem slučaju je žmula prevelika, pritisk se ne koncentrira na pravem mestu, pa tudi zvarni venec je toliko širok, da je problematično obrezovanje. Seveda pa so pri teh jeklih elektrode bolj izpostavljene, ker hitreje pride do lokalnega pregretja in do okvare elektrod. V našem primeru smo uporabljali elektrode zlitine CuCrZr z oznako CRM 16 ali VARMAT 3 po oznaki Mariborske livarne s trdoto 120–135 HB.

Varilni stroj je varil s hitrostjo 20 členov/minuto.

Zaradi zanimivih rezultatov navajamo nekaj vrednosti o trdnosti in ostalih lastnosti, ki so za verige te vrste pomembne.

Rezultati preizkusov:

Ploskev v diagramu je dokaj velika, kar pomeni, da ima veriga veliko energijsko sposobnost in s tem tudi žilavost.

Pri upogibnih probah preko zvara smo upoštevali upogibni faktor, ki je predpisan za visokoodporne verige. Veriga mora doseči poves "D" brez pojava razpok v zvaru. Ta poves znaša v našem primeru 13 mm in je bil dosežen v obeh stanjih verige.

Meritev trdot nam je dala vrednosti, prikazane v tabeli 3.

Če pogledamo delo in kvaliteto verige lahko rečemo, da so važnejše postavke pri tehnologiji naslednje:

Tabela 3.

Veriga, surovo stanje HV 10/10			
Hrbtina stran	Zvama stran	Notranji radius člena	Zunanji radius
HV 213–222	198–222	263–308	233–300
Veriga, gašeno stanje			
185–191	185–191	170–183	179–188

- nastavljanje in delovanje elektrod,
- oblika in kvaliteta zvarnega spoja,
- enakomernost upogibanja,
- lastnosti osnovnega materiala in tudi
- nekoliko povečana poraba orodja.

Jeklo se lepo preoblikuje, vendar so deformacijske sile večje, tako, da v praksi velikosti strojev za posamezne dimenzije po moči premaknemo navzgor za eno stopnjo.

Za samo jeklo velja, da moramo pri uporovnem varjenju upoštevati naslednje lastnosti:

- Slabo električno in toplotno prevodnost, visoko tališče, visoko trdnost pri povišanih temperaturah, velik razteznostni koeficient in veliko kontaktno upornost.
- Temperatura pri varjenju mora biti natančno kontrolirana, da preprečimo škodljivo izločanje karbidov na minimum, hkrati pa mora biti zadostna, da ob pravem tlaku dosežemo zahtevane lastnosti zvara.
- Slaba električna prevodnost povzroča hitrejšo ogrevanje. Zaradi tega pri varjenju nerjavnih jekel v primerjavi z varjenjem navadnih jekel istih dimenzij moramo uporabiti manjšo jakost toka in krajši čas.
- Zaradi slabše toplotne prevodnosti se zvar hladi počasneje kot pri navadnih jeklih.
- Tališče vpliva na potreben vnos toplote za proces taljenja (zlitja) pri varjenju. Tališče različnih austenitnih jekel je med 1370 in 1455°C; pri martenzitnih in feritnih jeklih pa med 1400 in 1535°C (navadna malo ogljična jekla imajo tališče med 1480 in 1537°C).
- Posledica visoke trdnosti pri navadni in povišanih temperaturah je, da je treba pri varjenju uporabiti večje sile, da stisnemo obe zvarni površini in ustvarimo zahtevani kontakt.
- Toplotni raztezek: Austenitna jekla se pri spreminjajoči temperaturi močneje raztezajo in krčijo (v primerjavi z navadnimi jekli), kar povzroča večje termične napetosti, ki lahko privedejo do zvijanja (toplotni razteznostni koeficient austenitnih jekel je za ca. 35% večji od raztezka navadnih jekel). Pri feritnih in martenzitnih jeklih je razteznostni koeficient manjši kot pri navadnih jeklih (za 6 do 20%).
- Kontaktna upornost nerjavnih jekel je večja kot pri C-jeklih, zato je potreben močnejši stisk elektrod.

več odstotkov kroma in pod 250 ppm ogljika in dušika. Korozijska obstojnost superferitnih jekel se povečuje z vsebnostjo kroma in dodatkom molibdena.

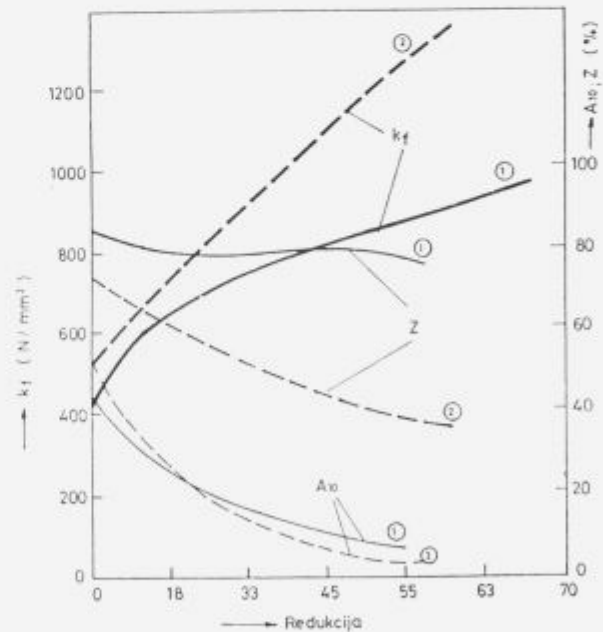
Ker superferitna jekla ne vsebujejo niklja, so cenejša od austenitnih. Tako superferitno jeklo ima zelo dobre preoblikovalne sposobnosti in podobno korozijsko odpornost kot austenitno.

Superferitno jeklo je v primerjavi z austenitnimi jekli manj odporno proti nastanku izjed (pitting) zlasti v korozijskih medijih, ki vsebujejo Cl ione, ima pa boljšo odpornost proti interkristalni koroziji, proti napetostni koroziji pa je praktično imuno.

Pri varjenju se odpornost proti interkristalni koroziji poslabša zaradi izločanja Cr karbidov ob mejah. Velika prednost je odpornost proti napetostni koroziji tako osnovnega materiala kot tudi vara in prehodne cone.

Raziskave so bile usmerjene predvsem v ugotavljanje njegovih vlečnih sposobnosti in tistih mehanskih lastnosti jekla, v katerih bi lahko sklepali na uporabnost jekla pri izdelavi vijakov in verig.

Preoblikovalne sposobnosti superferitnega jekla smo ugotavljali s preizkusi vlečenja, trgalnimi preizkusi, krivuljami tečenja, meritvami mikrotvrdot, izdelavo vijakov, verig in metalografskimi preiskavami. Ugotavljali smo tudi rekristalizacijske lastnosti jekla. Zaradi boljše predstavitve preoblikovalnih lastnosti superferitnega jekla ga nismo primerjali le z austenitnim nerjavim jeklom, ki se pri preoblikovanju bolj utrjuje, temveč tudi z jekli za masivno preoblikovanje, jekloma JMP 10 in JMP 15, ki ju preoblikujemo pri nižjih preoblikovalnih napetostih.



Slika 1. Krivulja tečenja, primerjava Acron 1 super in prokron 12.
Figure 1. Flow-curve, comparison between the mechanical properties. Acron 1 sup and Prokron 12.

Za proizvodnjo verig smo vzeli jeklo z naslednjo kemijsko sestavo:

Acron 1 — chg 111840
0.021% C; 0.59% Si; 0.56% Mn; 16.90% Cr; 0.0097% N
(C + N = 0.0307).

Žica je bila po valjanju žarjena pri temperaturi 880°C.

Superferitna nerjavna jekla spadajo med novejša jekla, ki predstavljajo zahtevnejše jeklarske izdelke. Po mehanskih in korozijskih lastnostih jih lahko primerjamo z austenitnimi nerjavimi jekli. Po kemijski sestavi se od austenitnih razlikujejo po tem, da ne vsebujejo niklja, da vsebujejo 16 in

Za pripravo naše žice za verige smo žico valjano seveda prevlekli na željeno dimenzijo.

Žico premera 6 mm smo pred vlečenjem žarili, jo zlužili ter nanjo nanесли nosilec maziva steelfor, ki ga uporabljamo za vlečenje nerjavnih jekel. Kot mazivo pri vlečenju smo uporabili stearatni prašek, ki ga prav tako uporabljamo za vlečenje nerjavnih jekel. Delne redukcije pri vlečenju so bile velike od 20 do 25%, podobne kot jih uporabljajo pri vlečenju austenitnih nerjavnih jekel; pri tanjših dimenzijah pa tudi manjše. Vlekli smo jo tudi do tistih željenih dimenzij, iz katerih lahko izdelujemo verige. Poudariti moramo, da žico med vlečenjem nismo vmesno žarili, kar dokazuje, da ima preizkušano superferitno jeklo izredne preoblikovalne sposobnosti.

Pri tem vlečenju smo dobili mehanske lastnosti, podane v tabeli 4.

Tabela 4. Mehanske lastnosti vlečene žice iz jekla Acron 1.

Premer žice v mm	R_e N/mm ²	R_m N/mm ²	A v %	Z v %	Trdota HV 4
6.0	315	476	30	84	167
5.10	582	631	6	74	220
4.6	678	710	5	71	237
4.0	714	768	4	70	255

Skupna deformacija pri vlečenju je 55%.

Verigo smo izdelali na industrijskem stroju KEH 3 iz premera vlečene žice 5.10 mm. S stališča preoblikovalnosti predstavlja veriga manj zahteven izdelek, zato smo vse preizkuse osredotočili v kvaliteto zvara. Zvare smo pregledali metalografsko in jih tudi mehansko preizkusili s trgalnimi preizkusi.

Pri mikrostrukturnem pregledu zvara smo ugotovili, da so bili zvari po celotnem preseku zapolnjeni brez poroznosti na sredini. V staljenem delu zvara smo opazili nekaj večje kristalno zmo. O kvaliteti zvarov pričajo tudi rezultati trgalnih preizkusov, pri katerih se členi verige niso trgali na zvarjenih mestih temveč na nezvarjenih.

Rezultati:

- s hitrostjo 70 členov/minuto upogibanja in varjenjem na varilnem stroju KEH 3 smo verige takoj preizkusili in kalibrirali. Mere na 11 t so bile v predpisanih tolerancah.
- rezultati trgalnih preizkusov so bili zadovoljivi.

Tabela 5.

Vzorec	Sila preloma KN	Mesto preloma
1	17.50 KN	Osnovni material
2	17.60 KN	na prehodu
3	17.70 KN	člena v
4	17.80 KN	radius pri
5	17.70 KN	vseh probah

- Pet upogibnih prob s trnom D = 4 mm, kot 180°; vsi rezultati dobri
- Zoženje prelomnega mesta na členu 5× preko 66%
- Nekaj značilnih struktur nam podajajo naslednje slike.

Po prvih izkušnjah pri proizvodnji in preizkusu verig lahko zaključimo:

- Superferitno jeklo ima zelo dobre preoblikovalne lastnosti in je za samo upogibanje potrebno cca. 35% manj energije kot pri austenitnem jeklu.
- Stroji tečejo z neznatno povečano porabo orodja, pri austenitnem jeklu pa je poraba nožev za obrez zvara 40% večja.
- Pri varjenju so pogoji isti kot pri mikrolegiranem jeklu, za austenitno jeklo je razdalja med elektrodami manjša. Sile stiskanja se morajo povečati tako, da se dimenzijska območja na strojih za jekla tipa 18/8 za eno stopnjo znižajo.
- Superferitno jeklo nima niklja, zato je tudi cca. 30% cenejše.
- Vlečenje pri pripravi žice ne predstavlja posebnih težav, če imamo pravo čiščenje in pravilna mazilna sredstva za vlečenje.
- Pomembna za nas je nevarnost interkristalne in napetostne korozije, ki pri superferitnem jeklu ne nastopa.
- Korozijska odpornost proti izjedam (pittingu) je pri austenitnem jeklu boljša, vendar se pri superferitnem (SF) jeklu z dodatkom MO tej odpornosti austenitnega približujemo.

Korozijski test v slanici: Pojavlja se pitting kar ponovno potrjuje, da SF jekla niso primerna za medije, ki vsebujejo Cl-ione.

Zaradi omenjenih prednosti pa jeklo dobiva na vrednosti in ima pri predelovalcih žice v prihodnosti pomembno mesto.

Mikrostrukture značilnih con v členu so podane na slikah 2–4.



Slika 2. Osnovni material Acron 1. Povečava 100×.
Figure 2. Basic material Acron 1. Magn. 100×.

5

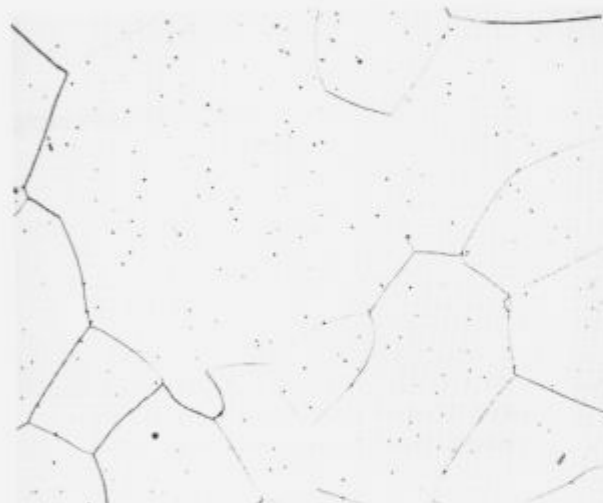
Visokotrdne verige razreda 8 spadajo v vrh izdelkov na področju verig. Vsaka tovarna verig strmi k proizvodnji kvalitetnejšega asortimana z več vložene delu in znanja, in zato tudi višjo vrednostjo. Najpomembnejše je, da so te



Slika 3. Zvar in prehodna cona po toplotni obdelavi Acron 1.

Povečava 100x.

Figure 3. Weld and heat affected zone after heat treatment, Acron 1. Magn. 100x.



Slika 4. Posamezna mesta v zvaru — brez toplotne obdelave.

Povečava 200x.

Figure 4. Some zones in the weld, without heat treatment. Magn. 200x.



Slika 5. Vzorec verige po varjenju, ϕ 6 mm. Povečava 2.5x.

Figure 5. Chain ϕ 6 mm after welding. Magn. 2.5x.

verige cenjen izvozni artikel, vendar po kvaliteti tako zahteven, da inozemski kupci zahtevajo pred uvozom posebno homologacijo. Tehnologija je že veliko napredovala v razvoju proizvodnje teh verig, vendar so še problemi, ki zahtevajo posebno pri nerjavnih jeklih sistematično delo in

zanesljivost pri proizvodnji. Gre za pravilno izbiro jekla, primerno kvaliteto žice, varilno-tehnične razmere, toplotno obdelavo in drugo.

Kako kvaliteten proizvod so te verige, kaže primer, veljaven za verigo iz žice premera 7 mm, razreda 8:

- Veriga mora zdržati najmanj 60 kN, kar pomeni, da je njena trdnost, upoštevajoč 2 preseka, okoli 850 N/mm². Ker je napetost pri natezanju verige večosna, v veliki meri strižna, je potrebno verigo poboljšati na okoli 1250 do 1300 N/mm², kolikor bi moral zdržati material verige pri enosnem nateznem preizkusu. Pri tem mora biti jeklo žilavo in seveda varivo.
- Kalibrirano verigo te vrste uporabljajo za dvigala in elevatorje, torej teče preko ozobljenih koles. Dobra prilagojenost verige in kolesa je življenjskega pomena za naprave in tiste, ki z njimi upravljajo (nemški DIN standard je bil izdelan v sodelovanju s poklicnimi združenji in centralo za preprečevanje nesreč in medicino dela). Zaradi tega so tolerance teh verig izredno stroge — za enajstčlenski del te verige je pri dolžini 231 mm (delitev 11 . t) toleranca +0.72 in -0.36 mm. Dolžino v tej toleranci moramo doseči s takim predhodnim natezanjem, da se veriga do tako imenovane preizkusne sile, ki je za to verigo 40 kN, obnaša po Hookovem zakonu — sila in raztezek (elastični) sta proporcionalni. Pri verigi brez tega predhodnega natezanja ni te proporcionalnosti zaradi vtiskovanja na stičnih točkah členov in spreminjanja širine členov.

Primer kaže, da ta proizvod zahteva pravilno izbrano in zelo kvalitetno jeklo ter zelo natančno in zanesljivo tehnologijo izdelave: varjenja, toplotne obdelave in preizkušanja. Od razvojnega programa tovarne smo se v okviru te raziskave osredotočili na izbiro pravih jekla, toplotno obdelavo, preizkušanje in oblikovne spremembe pri natezanju.

DIN 5684 List 3: Zahteva jeklo varivo in sposobno za poboljšanje, pomirjeno in drobnozrnato (okoli 0.025% Al). Vsebovati mora vsaj dva legirna elementa, od teh vsaj enega od naslednjih:

- Ni min. 0.4%
- Cr min. 0.4%
- Mo min. 0.15%

Kot drugi element je dovoljen B, ne štejeta pa Si in Mn.

Prve probe smo naredili iz jekla Acron 4, kjer smo dobili za začetek solidne vrednosti. To pomeni, da smo presegle predpisane meje za trdnost verige, vendar pa so bili doseženi rezultati še premalo konstantni. Polovica trgalnih prob je bila pod mejo in lomi so nastajali na področju zvarov. Ker to jeklo ni imelo Ni, smo zaradi zahteve DIN norm prešli na jeklo jeseniške železarne Acron 2 spec (X20 CrNi 17.2 Wnr. 1.4057).

Jeklo je imelo naslednjo analizo, podano v tabeli 6.

Tabela 6.

C%	Cr%	Mo%	Ni%
0.20	16	0.35	1.8

Mehanske lastnosti v vlečenem stanju: (vlečenje ϕ 7 na ϕ 6 mm):

- trdnost: 900–940 N/mm²
- raztezek: 8–10%



Slika 6. Osnovni material in prehodna cona. Jeklo Acron 2 spec.
Povečava 500×.
Figure 6. Basic material and heat affected zone, steel: Acron 2 spec.
Magn. 500×.



Slika 7. Zvar. Povečava 500×.
Figure 7. Weld. Magn. 500×.

Proizvodnja verig je tekla na upogibalnem stroju KER 4 in varilnem stroju KEH 4. Hitrosti smo za 30% znižali in spreminjali tudi razdalje med elektrodami. Pri samem delu smo naleteli na nekaj težav:

- Žica po žarjenju nima najboljših lastnosti za upogibanje, ker ima previsoko trdnost ($860\text{--}920\text{ N/mm}^2$) zato so rezultati boljši, če se material predhodno poboljša: to pomeni: $690\text{--}730^\circ\text{C}$ žarjenje daje slabše vrednosti za hladno upogibanje kot $1000\text{--}1030^\circ\text{C}$ in ohlajanje na zraku, nato popuščenje $650\text{--}680^\circ\text{C}$, kar nam daje $R_m\ 720\text{--}860\text{ N/mm}^2$ in $A_5\ \text{min.} - 14\%$

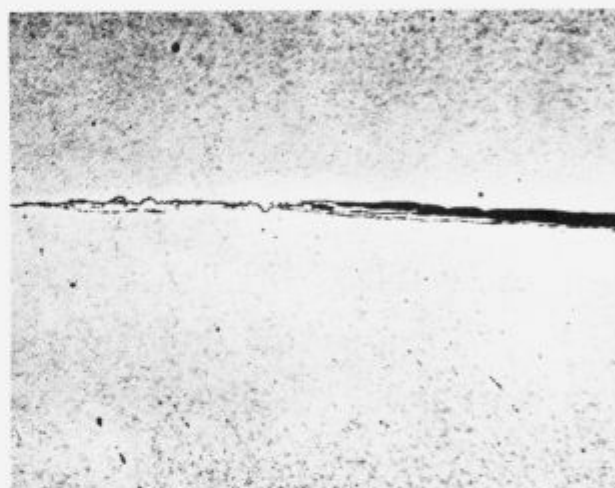
Zaradi visokih temperatur na zvaru in njegovi okolici dobimo martenzit in z njim v določenih primerih tudi razpoke.

Te razpoke so v zvaru (občasno) pa tudi pod elektrodami (rob elektrod). Napake so odvisne od hitrosti varjenja in od vnosa toplote v sam zvar.

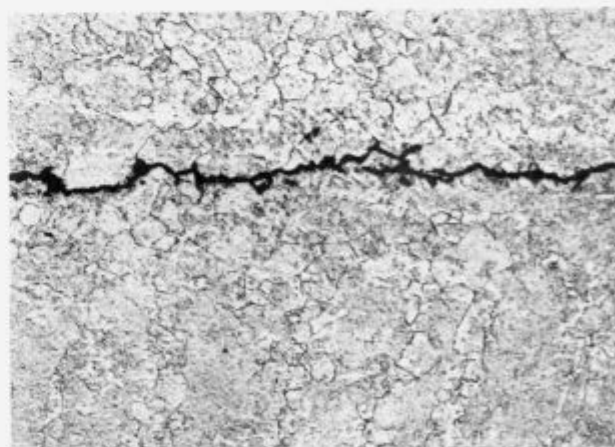
Slike 8–10 prikazujejo zvar in najpogostejše napake.



Slika 8. Obe vrsti napak: 1) v zvaru in 2) na robu toplotne cone.
Povečava 100×.
Figure 8. Two types of defects: 1) weld defect 2) edge from heat affected zone. Magn. 100×.



Slika 9. Izločki na mejni razpoki. Povečava 500×.
Figure 9. Excretions on the cracks. Magn. 100×.



Slika 10. Detajl razpoke na sredini zvara. Povečava 200×.
Figure 10. Particle of crack in the middle of the weld. Magn. 200×.

6 Zaključek

Za proizvodnjo nerjavnih verig "normalnih" trdnosti posebnih težav v praksi ni. Upoštevati moramo določene karakteristike in lastnosti posameznih jekel in tem prilagoditi

pogoje na strojih in toplotno obdelavo. Če pa vzamemo feritno martenzitno jeklo, ki nam edino lahko poleg korozijske odpornosti daje tudi zahtevane lastnosti stopnje 8, pa je slika nekoliko bolj nejasna.

Iz preiskav lahko zaključimo:

- Martenzitna jekla lahko uporovno varimo v žarjenem ali poboljšanem stanju.
- Ne glede na izhodno mikrostrukturo dobimo v zvaru vedno martenzitno cono.
- Trdota te cone je odvisna le od vsebnosti C. Z rastočo trdoto se povečuje tudi občutljivost na razpoke, istočasno pa se zmanjšuje žilavost.

- Zadovoljivo mikrostrukturo po varjenju, ki ne potrebuje dodatne toplotne obdelave dobimo le pri jeklih z maks. 0.15% C. Jekla z višjim deležem C je potrebno po varjenju toplotno obdelati.

Poseben problem predstavlja ohlajanje po varjenju. Hitrost ohlajanja je vedno prevelika, posledica je martenzit in nevarnost razpok. Pri obžigalnem načinu je segret cel člen in imamo z zadrževanjem ohlajanja možnost člen spraviti v področje, ki ni tako krhko. Pri našem sistemu varjenja okolica zvara pospešeno hladi vroče mesto. Z nadaljnimi preizkusi bomo usmerili delo v obe smeri:

- izbor jekla in možne analizne kombinacije,
- možnosti kontroliranega ohlajanja po varjenju.