

## JEKLENE VERIGE ZA RUDARSKÉ TRANSPORTERJE

### STEEL CHAINS FOR MINING CONVEYORS

**Franc Legat**

Zabreznica 36, 4274 Žirovnica, Slovenija

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

Opisani so postopek izdelave, sestava in lastnosti jekel za verige, lastnosti jekla in verig po končni toplotni obdelavi, nadzor kakovosti jekel in verig ter načini preizkušanja verig in verižnih členov.

Ključne besede: rudarske verige, sestava jekel, lastnosti jekel, toplotna obdelava, nadzor kakovosti

The elaboration of process, composition and the properties of used steel, the properties of steels and chains after final heat treatment, and the quality control and inspection procedure are presented.

Key words: mining conveyor chains, composition of steel, properties of steel, heat treatment, inspection, quality control

Visokotrdne rudarske verige spadajo v vrh izdelkov na področju verig. Vsak proizvajalec stremi k proizvodnji kvalitetnejšega asortimenta z več vložene delu in znanja in zato tudi višjo vrednostjo. Te verige so cenjen izvozni izdelek, ki je po kvaliteti zelo zahteven, zato inozemski kupci zahtevajo pred uvozom posebno homologacijo. Tehnologija je zelo dobro razvita, vendar se še razvija, tudi zaradi izboljšanja zanesljivosti izdelkov, vse od izbire najboljšega jekla, primerne kvalitete žice, varilno tehničnih razmer, toplotne obdelave in drugo.

Kako kvaliteten proizvod so te verige, naj pokažeta primera, veljavna za verigo iz žice premera 7 mm, razreda 8:

- veriga mora zdržati najmanj 60 kN, kar pomeni, da je njena trdnost, upoštevajoč dva preseka, okoli 850 N/mm<sup>2</sup>. Ker je napetost pri natezanju verige večosna, v veliki meri strižna, je dejansko treba verigo poboljšati na okoli 1230 do 1300 N/mm<sup>2</sup>, 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 ter elevatorje in teče preko ozobljenih koles. Dobra prilagojenost verige in kolesa je življenjskega pomena za naprave in tiste, ki z njimi upravljajo (DIN standard je bil izdelan s sodelovanjem med poklicnimi združenji, uradom 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 II.t) toleranca +0,73 in -0,36 mm. Dolžino v tej toleranci je treba doseči s takim predhodnim natezanjem, da se veriga do tako imenovane preizkusne sile, ki je za to verigo 40 kN, vede po Hookovem zakonu - sila in raztezek (elastični) sta proporcionalna. Pri verigi brez tega predhodnega natezanja seže proporcionalnost komaj do približno 20 kN.

Oba primera kažeta, da zahteva izdelek zelo kakovostno jeklo ter zelo natančno in zanesljivo tehnologijo izdelave: varjenje, toplotno obdelavo in preizkušanje. V tem članku se bomo osredotočili na izbiro jekla, toplotno obdelavo in preizkušanje, upoštevajoč, da se ni možno izogniti problemom predhodnega zatezanja verige in pravilni končni delitvi členov.

Osnovni material za rudarske verige je jeklo 23MnNiCrMo54, po DIN-u 17115<sup>1</sup>. Trg zahteva jekla s povečano trdnostjo pri zadostni žilavosti. To je mogoče doseči na več načinov, npr.: povečati dodatke posameznih elementov (legiranje) v jeklo, ob ohranjeni varivosti, izboljšati toplotno obdelavo, ohraniti srednje mehanske lastnosti (trdnost 1200 N/mm<sup>2</sup>, raztezek A5-10%, kontraktacija Z min. 40%) in povečati debelino člena.

Pri rudarskih verigah se v zadnjih letih poleg dimenzij spreminja tudi trdnostni razred. V praksi uporabljamo standarde: DIN 22252,<sup>2</sup> ISO 610 in RAG 342000. Standardi predpisujejo: uporabnost, kontrolo in označevanje po DIN 685, osnovni material, mehanske lastnosti in kemično sestavo, način prevzema in atestiranje. Spremembe nastajajo tudi pri dimenzijah: področje od  $\Phi$  14-26 mm se je razširilo do  $\Phi$  42 mm. Najbolj zanimiv je najvišji trdnostni razred po ISO 610 (D)<sup>3</sup>.

Zahteve:

| Mehanske lastnosti                | Kakovostna stopnja   |     |     |      |
|-----------------------------------|----------------------|-----|-----|------|
|                                   |                      | B   | C   | D    |
| R <sub>m</sub>                    | (N/mm <sup>2</sup> ) | 630 | 800 | 1000 |
| R <sub>e</sub>                    | (N/mm <sup>2</sup> ) | 500 | 640 | 800  |
| R <sub>p</sub> /R <sub>m</sub>    | (%)                  | 80  | 80  | 80   |
| A <sub>5</sub> pri R <sub>p</sub> | (%)                  | 1,4 | 1,6 | 1,6  |
| A <sub>5</sub> pri R <sub>m</sub> | (%)                  | 12  | 12  | 12   |

R<sub>p</sub> = preizkusna obremenitev verige

Ko ocenjujemo, kakšna naj bo kemična sestava jekla glede na zahteve, moramo upoštevati dvoje bolj ali manj

nasprotnih lastnosti; jekla morajo imeti predpisano visoko trdnost, ki jo mora doseči veriga po poboljšanju, ter dobro varivost, kar se z gotovostjo lahko doseže z manjšim ogljikovim ekvivalentom, ki zmanjšuje nevarnost za nastanek kalilnih razpok v toplotni coni. Če ne dosežemo zahtevanih trdnostnih lastnosti v poboljšanim stanju, moramo uporabiti pri določeni debelini bolj legirano jeklo z večjo trdnostjo. Jeklo ne sme biti nagnjeno k staranju in imeti mora zadovoljivo preoblikovalnost v hladnem stanju.

DIN 17115 in drugi standardi za verige predpisujejo za te namene jeklo 23 MnNiCrMo54. To jeklo dosega po toplotni obdelavi dobre lastnosti. V proizvodnji pa se pojavljajo razne težave. Pri trdnosti  $R_m \approx 1400 \text{ N/mm}^2$  se poslabšajo lastnosti: raztezek, žilavost in dinamična trdnost. Rešitev (izboljšanje mehanskih lastnosti) smo pričeli iskati z razvijanjem novega jekla. Izdelali smo pet variantnih analiz, tako da smo jeklu 23MnNiCrMo54 spreminjali ogljik, dodajali legirne elemente in eni sarži dodali tudi bor. V **tabeli 1** je prikazana sestava teh jekel.

**Tabela 1:** Sestava preizkusnih jekel

| Sarža | C     | Mn    | Si   | P     | S      | Cu    | Cr     |
|-------|-------|-------|------|-------|--------|-------|--------|
| 74766 | 0,241 | 1,73  | 0,22 | 0,024 | 0,013  | 0,06  | 0,57   |
| 74767 | 0,255 | 1,22  | 0,20 | 0,021 | 0,012  | 0,05  | 0,056  |
| 74768 | 0,251 | 0,87  | 0,19 | 0,019 | 0,013  | 0,05  | 0,50   |
| 74769 | 0,228 | 1,28  | 0,20 | 0,019 | 0,012  | 0,06  | 0,49   |
| 74770 | 0,219 | 1,01  | 0,37 | 0,021 | 0,012  | 0,06  | 1,22   |
| Sarža | Ni    | Al    | Mo   | Ti    | B      | Al1   | N      |
| 74766 | 1,00  | 0,025 | 0,56 | 0,003 | 0,0006 | 0,025 | 0,0098 |
| 74767 | 0,83  | 0,021 | 0,54 | 0,003 | 0,0004 | 0,013 | 0,0097 |
| 74768 | 1,40  | 0,051 | 0,34 | 0,003 | 0,0004 | 0,038 | 0,0105 |
| 74769 | 1,01  | 0,056 | 0,57 | 0,038 | 0,0053 | 0,042 | 0,0088 |
| 74770 | 1,73  | 0,036 | 0,57 | 0,048 | 0,0005 | 0,017 | 0,0156 |

Jeklo je bilo vroče izvaljano in je imelo precej površinskih napak, zato smo se odločili, da bomo material v bodoče vlekli iz  $\Phi 28$  na  $\Phi 26,5 \pm 0,1 \text{ mm}$ .

V **tabeli 2** so prikazane mehanske lastnosti jekel v valjanem stanju.

**Tabela 2:** Mehanske lastnosti preizkusnih jekel v toplo valjanem stanju

| Preizkušane | (sarža) | Re<br>N/mm <sup>2</sup> | Rm<br>N/mm <sup>2</sup> | A5 % | Z %   |
|-------------|---------|-------------------------|-------------------------|------|-------|
| 1           | 74766   | 827                     | 1103                    | 13,6 | 49,6  |
| 1           | 74766   | 832                     | 1125                    | 15,2 | 48,15 |
| 2           | 74767   | 739                     | 1041                    | 15,4 | 51,0  |
| 2           | 74767   | 752                     | 1032                    | 14,6 | 46,7  |
| 3           | 74768   | 662                     | 880                     | 17,0 | 52,4  |
| 3           | 74768   | 661                     | 876                     | 17,0 | 52,4  |
| 4           | 74769   | 859                     | 1116                    | 15,0 | 51,0  |
| 4           | 74769   | 854                     | 1111                    | 14,0 | 43,8  |
| 5           | 74770   | 1014                    | 1287                    | 14,2 | 51,0  |
| 5           | 74770   | 981                     | 1274                    | 17,0 | 51,0  |

Od vsake sarže smo vzeli palico in iz nje izdelali standardne preizkušance ter jih toplotno obdelali. Tako smo dobili:

- kaljene preizkušance (1,2,3,4,5)
- popuščane pri 350°C (1,2,3,4,5)
- popuščane pri 400°C (1,2,3,4,5)
- popuščane pri 450°C (1,2,3,4,5)
- izotermično kaljene v soli AS 140 pri 295-300°C (1,2,3,4,5)

Rezultati preizkusov so v **tabeli 3**.

**Tabela 3:** Mehanske lastnosti termično obdelanih jekel

| Preizkušane | Temp. popušč. °C | Rm N/mm <sup>2</sup> | A5 % | Z % |
|-------------|------------------|----------------------|------|-----|
| 1           | 450              | 1230                 | 9,0  | 38  |
| 2           | 450              | 1215                 | 10,6 | 53  |
| 3           | 450              | 1181                 | 12,7 | 58  |
| 4           | 450              | 1204                 | 10,0 | 40  |
| 5           | 450              | 1259                 | 12,5 | 52  |
| 1           | 400              | 1306                 | 7,5  | 36  |
| 2           | 400              | 1287                 | 10,0 | 52  |
| 3           | 400              | 1278                 | 10,0 | 52  |
| 4           | 400              | 1268                 | 10,0 | 53  |
| 5           | 400              | 1313                 | 10,0 | 52  |
| 1           | 350              | 1394                 | 11,0 | 50  |
| 2           | 350              | 1364                 | 12,0 | 55  |
| 3           | 350              | 1364                 | 10,0 | 51  |
| 4           | 350              | 1339                 | 9,0  | 51  |
| 5           | 350              | 1383                 | 10,0 | 51  |

Iz palic smo izdelali verige po DIN 22252  $\Phi 26 \times 92$  mm v kvaliteti D po ISO 610. Verižni konci so bili varjeni obžigalno na MIEBACH-ovem stroju GSKK 24. Verige so bile kaljene v vodi pri 880°C, v uri popuščene pri 430°C in gašene v vodi. Dosežene lastnosti so prikazane v **tabeli 4**.

**Tabela 4:** Mehanske lastnosti toplotno obdelanih verižnih koncev

| Preizkušane | Temp. popušč.    | Rm N/mm <sup>2</sup> | A5 % | Z % |
|-------------|------------------|----------------------|------|-----|
| 1           | Sol 295-310°C    | 1566                 | 11,5 | 36  |
| 2           | Sol 295-310°C    | 1489                 | 11,0 | 49  |
| 3           | Sol 295-310°C    | 1080                 | 12,0 | 52  |
| 4           | Sol 295-310°C    | 1448                 | 11,0 | 40  |
| 5           | Sol 295-310°C    | 1513                 | 11,5 | 47  |
| 1           | Direktno kaljeno | 1754                 | 9,0  | 36  |
| 2           | Direktno kaljeno | 1730                 | 10,5 | 36  |
| 3           | Direktno kaljeno | 1700                 | 4,0  | 7   |
| 4           | Direktno kaljeno | 1641                 | 10,0 | 34  |
| 5           | Direktno kaljeno | 1790                 | 10,2 | 37  |

Pri preizkušanju členov je prihajalo do lomov v osnovnem materialu pri obremenitvah od 98 do 108 ton, predpisana obremenitev pa je 106 ton. Pri preizkusni obremenitvi 86 ton so bili raztezki 1,6-1,8%, predpisan pa je raztezek 1,6%, kar pomeni, da so bile verige "premeheke".

Še enkrat smo delno popravili analizo, kolikor nam dovoljuje varjenje in izdelali dve novi sarži. Boljšo smo izbrali za preizkus, imela je naslednjo analizo.

## Šarža 75677

| C     | Si   | Mn   | P     | S     | Cu    | Cr   | Ni   | Al    | Mo   | N      |
|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|--------|
| 0,258 | 0,19 | 1,23 | 0,014 | 0,015 | 0,050 | 0,56 | 0,98 | 0,034 | 0,53 | 0,0092 |

Mehanske lastnosti v valjanem, kaljenem, poboljšanim stanju:

| Stanje          | Re N/mm <sup>2</sup> | Rm N/mm <sup>2</sup> | A5 %      | Z %       |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Valjano         | 730-756              | 920-950              | 15,1-15,9 | 52,4-59,1 |
| Kaljeno         | 1380-1450            | 1660-1740            | 11,2-13,0 | 46,5-49,0 |
| Popuščeno 350°C | 1200-1270            | 1320-1400            | 12,4-13,5 | 59,0-61,0 |

Posebej smo preizkusili jeklo in tudi izdelane verige po popuščanju pri 350°C. Meritve trdot po preseku kažejo na dokaj dobro prekaljivost in na zadovoljivo trdoto.

Popuščanje:

|       |      |    |      |    |      |      |    |      |      |
|-------|------|----|------|----|------|------|----|------|------|
| 300°C | 41,5 | 43 | 43   | 42 | 43,5 | 44   | 43 | 43,5 | HR c |
| 350°C | 41,0 | 42 | 42   | 42 | 43   | 43   | 43 | 42,5 | HR c |
| 400°C | 40,0 | 40 | 40,5 | 41 | 40   | 40,5 | 41 | 41   | HR c |

Verige so dosegle 110-112 ton pri zrušni trdnosti, kar pomeni, da smo dosegli zadostno rezervo trdnosti.

Na osnovi preiskav smo se z železarno v TRINEC-u dogovorili za naslednjo analizo:

| C    | Si   | Mn  | P+S         | Cu max | Cr   | Ni  | Al    | Mo   |
|------|------|-----|-------------|--------|------|-----|-------|------|
| 0,23 | 0,15 | 1,3 | 0,020 0,020 |        | 0,45 | 0,9 | 0,025 | 0,55 |
| 0,26 | 0,25 | 1,5 | <0,035      | 0,20   | 0,60 | 1,1 | 0,050 | 0,65 |

Velikost zrn po ASTM 8-9.

Za verigo  $\Phi$  26 je možno uporabiti valjane palice 26,5 mm  $\pm$  0,2 mm, brez površinskih napak. Če pa te tolerance ne bi mogli doseči, bi uporabili varianto z vlečenjem; 28 mm  $\pm$  0,5 mm valjano jeklo, vlečenje palic v hladnem na  $\Phi$  26,5 mm  $\pm$  0,1 mm.

Posebno moramo paziti, da pri vročem upogibanju ne pride do zmanjšanih presekov in do oslavitve členov.

Na osnovi preiskav smo ugotovili:

- jeklu lahko zvišamo trdnost pri temperaturi popuščanja 300-420°C z večjim dodatkom Mo
- možna je korektura kemične sestave z V in Ti
- poudariti moramo, da se s povečanjem  $C_{eq}$  z dodatnim legiranjem in z zviševanjem količine ogljika, povečuje nevarnost nastanka kalilnih razpok v toplotno vplivani coni
- temperature peči morajo biti v čim ožjih tolerancah, s hitrostjo ohlajanja moramo doseči dobro prekalitev
- povečanje dimenzij (debeline) verig pomeni, da rudarska industrija v zahodni Evropi posega po debelejših verigah z nekoliko nižjo trdnostjo in boljšo žilavostjo.

Jeklo se navadno uporablja v dveh oblikah:

- vroče valjano in luženo ali peskano mehko jeklo se lahko upogiba v hladnem
- vlečeno v kolobarjih ali palicah.

Žica ima tolerance  $\pm 0,5$  mm do  $\Phi 16$  mm, naprej pa že  $\pm 0,75$  mm. Za stroje, ki variro na obžigalni način, ta toleranca ni odločilna, če ni ovalnosti. V takem primeru pa je obraba elektrod in nožev večja. Stroji tečejo v tem primeru z velikimi zastoji in majhnim izkoristkom. Če so prisotne površinske napake, kot so: risi, vključki, luske, zažganost, razogljčenost, zavaljanost in podobno, je lahko upogibanje valjanega jekla v hladnem že problematično.

Mikrolegirana jekla imajo po ohlajanju po toplem valjanju že zakaljena mesta. To se kaže v povečani trdnosti med 700 do 900 N/mm<sup>2</sup> in v majhni sposobnosti preoblikovanja. Zaradi teh napak je vedno bolj aktualna priprava jekla v vlečenem stanju. Poudariti moramo, da je valjanje v tolerancah z minimalnimi površinskimi napakami in dobrim žarjenjem po valjanju, ki daje ugodne mehanske lastnosti za hladno upogibanje, še vedno cenejše kot vlečenje po predpisanim postopku.

Vendar pa jeklarne niso povsod dobro opremljene za zagotovitev teh osnovnih zahtev, zato se po svetu in tudi že pri nas vedno bolj uveljavlja vlečenje z ustreznim termičnim postopkom. Priprava se vnaša tudi že v standarde. Rezultat takega postopka je seveda prava trdnost, dober raztezek in kontrakcija, kar je osnovna garancija za dobro upogibanje v hladnem. V tem primeru lahko računamo na zelo enakomerne člene, simetrično upognjene, brez posebnih odtisov in dodatnih elastičnih napetosti v hrbtnem delu člena. Površina zagotavlja dobre spoje z elektrodami, kar ima za posledico optimalno varjenje in ni napak zaradi zažiganja na površini.

Variante, predpisane že v novih standardih prikazuje **tabela 5**:

**Tabela 5:** Variante trdnostnih razredov verig iz dveh jekel z visoko trdnostjo

|              | Rm N/mm <sup>2</sup>                                 | HB   |   |      |       |      |   |      |
|--------------|--|--|---|------|-------|------|---|------|
|              | trdnost  | trdota max                                       | trdn.   | trd. | trdn. | trd. | trdn.   | trd. |
| 20NiCrMo3    | 710  | 210  | 850   | 250  | 610   | 180  | 740   | 220  |
| 23MnNiCrMo54 | 790  | 235  | 930   | 275  | 710   | 210  | 850   | 250  |
|              | mehko žar. (G) ali hladno vleč. in mehko žarj. (K+G) | hladno vleč. mehko žarj. in hladno vleč. (K+G+K) | žar. na okrog. cem. (GKZ) ali hladno vleč. in žarj. na okrogli cementit (K+GKZ) |      |       |      | hladno vleč. in žarj. na okr. cementit in zopet hl. vlečeno (K+GKZ+K) |      |

Vse navedene vrednosti so mejne maksimalne vrednosti, do katerih smejo segati lastnosti v praktičnem stanju.

Najbolj poceni je upogibanje valjanega materiala v hladnem, če seveda jeklo nima napak, ki vplivajo na druge operacije pri proizvodnji verig. Posebej je v tem oziru pomembna površina zaradi napak in zaradi razogljčenja. Prav razogljčenje je dostikrat vzrok premajhnih površinskih trdot po kaljenju in tudi preniz-

kih trdnosti. Zato je treba upoštevati naslednje predpisane tolerance:

| premer v mm<br>D | D dovoljena max. globina<br>razogljíčenja<br>v mm |
|------------------|---|
| do 8             | 0,10  |
| 8-12             | 0,12  |
| 12-17            | 0,16  |
| 17-23            | 0,20  |
| 23-27            | 0,24  |
| nad 27           | (0,007 x d) + 0,05                                |

Drugi podatek, ki je zelo pomemben, je sestava jekla. Jekla imajo po standardih in po predpisu proizvajalca podane analízne meje za posamezne elemente. Kljub temu pa pri proizvajalcih jekla pride dostikrat do odmikov, ki povzročajo težave proizvajalcem verig.

Tolerance za kosovne analízne so:

| element | analízna meja %            | dovoljen odmik v % |
|---------|----------------------------|--------------------|
| C       | do 0,30                    | 0,02               |
| Si      | do 0,45                    | 0,03               |
| Mn      | do 1,0<br>od 1,0 do 1,60   | 0,04<br>0,06       |
| P       | do 0,040                   | 0,005              |
| S       | do 0,040                   | 0,005              |
| Al      | do 0,050                   | +0,010<br>-0,005   |
| Cr      | do 0,65                    | 0,05               |
| Mo      | do 0,30<br>od 0,30 do 0,60 | 0,03<br>0,04       |
| Ni      | do 1,0<br>od 1,0 do 1,10   | 0,03<br>0,04       |

Ker so ta jekla namenjena za visokoodporne in poglobljene verige, je zelo važno, kako se jeklo vede pri poglobljanju. Prav zato je pomembna kalilna proba in sploh krivulja trdot, ki je predpisana v **tabeli 6**.

Hladilno sredstvo pri kaljenju je voda ali drugo sredstvo, ki ima večjo ohlajevalno hitrost kot olje. Po novih postopkih se za poglobljanje uporablja peč za kaljenje, ki segreva izdelke z indukcijo. Popuščanje teče lahko na klasičen način v globinski napuščni peči ali pa tudi z ogrevanjem z indukcijo. Pri popuščanju z indukcijo moramo računati na razlike v trdoti med ravnim delom člena in med spojnimi deli - radiusi. Ti so pri tem popuščanju trši.

Mikrolegirana jekla se ločijo od drugih po naslednjih značilnostih:

- imajo predpisano minimalno žilavost v poglobljenem stanju

**Tabela 6:** Trdota v HRC - oddaljenost od površine

|              | 1,5 | 3  | 5  | 7  | 9  | 11 | 13 | 15 | 20 | 25 | 30 | mm  |
|--------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 20NiCrMo3    | 48  | 47 | 44 | 41 | 35 | 33 | 32 | 31 | 28 | 26 | 25 | max |
|              | 40  | 37 | 32 | 27 | 23 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | min |
| 23MnNiCrMo54 | 52  | 52 | 51 | 51 | 50 | 50 | 49 | 49 | 48 | 47 | 46 | max |
|              | 44  | 43 | 41 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 33 | 31 | 30 | min |

- podane so mejne vrednosti za trdote pri čelnem kalilnem preizkusu
- enakomernost lastnosti po toplotni obdelavi
- nizko dovoljeno vsebnost žvepla in fosforja.

Za proizvodnjo verižnih členov je zato važna lastnost preoblikovalnosti v hladnem. Zato je v tabeli posebej poudarjen tudi preizkus upogibanja za vsa jekla.

| Vrsta jekla  | Premer trna za upogib 180°, neobdelano, valjano stanje | Toplotno obdelano |
|--------------|--|-------------------|
| 20CrNiMo3    |  | GKZ 1 d           |
| 23MnNiCrMo54 |  | GKZ 1 d           |

Ta tabela velja praktično do premera materiala 26 mm tako za standardna toplotno neobdelana jekla, torej jekla preizkušena v valjanem stanju, in za mikrolegirane vrste.

Obe legirani vrsti jekla sta mehko žarjeni. Za vse preizkušance velja, da do kota 180° ne smejo nastati risi na natezni in na tlačni strani pri hladnem upogibanju. Debeleše jeklene palice se upogibajo v vročem.

Osnova za prevzem jekla je atest proizvajalca, v katerem so naslednji podatki:

- številka sarže, iz katere je jeklo izvaljano
- oznaka vrste jekla
- dimenzija valjanca
- mehanske lastnosti: meja elastičnosti  $R_e$   
natezna trdnost  $R_m$   
razteznost  $A_5$   
kontrakcija  $Z_u$   
trdota  
žilavost  $K$
- kemična analiza s podatki o vsebnosti posameznih elementov.

Če je jeklo legirano, je posebej označeno dobavno stanje in potrebna toplotna obdelava. Podatke na atestu proizvajalca je treba preveriti in za legiranje jekla napraviti tudi nove preiskave. Preveriti je treba toplotno obdelavo, varivost, utrditev površine s cementacijo. Če pri upogibu člena razpada cementirana površina, jedro pa se ne prelomi, je jeklo v redu.

Vsi ti preizkusi niso vedno vsi potrebni, se pa dostikrat pokažejo kot koristni tako za proizvodnjo kot tudi za ekonomičnost. So še drugi dejavniki, ki motijo delo in slabo vplivajo na kakovost izdelkov. Na primer za mikrolegirana jekla je znano, da pri toplem valjanju v železarni na starih progah, ki nimajo kontroliranih ohlajevalnih klopi, pride do conskih zakalitev. Te

utrditve navadno kontrola vedno ne pokaže in so za hladno upogibanje odločilne. Zato je treba ta jekla ustrezno mehko žariti, da dobijo lastnosti, ki omogočajo nadaljnjo predelavo. Za hladno upogibanje je posebno važen podatek o duktilnosti jekla. Pri nateznem preizkusu jo predstavlja kontrakcija  $Z_u$  ali pa dejanski porušni raztezek. Radiusi, polmeri krivine notranjega roba člena upogibnih deformacij, so dostikrat celo manjši, kot jih predpisuje norma za preizkus materiala na upogib. DIN 17115 predpisuje za mikrolegirana jekla radius  $r_{min} = d/2$ ;  $d$  = premer materiala. Na varilni strani člena je stranica toliko daljša, kolikor je obžiganje in stiskanje; zato se oblikuje pri upogibanju dva radiusa, od katerih je eden lahko manjši od normiranega  $d/2$ . Oba se pa po varjenju spremenita v enega, ki je normalno večji od  $d/2$ .

Večji problem kot površinske napake je ovalnost žice ali palic. Če so vroče valjane, se v stroju za upogibanje zaradi ovalnosti presekov vedejo tako, da so členi nesimetrični, zunaj osi in zato problematični za strojno varjenje. Če pa žico vlečemo skozi votlico, dobiva različne mehanske lastnosti zaradi različnih redukcij. Te pa nato ovirajo hladno preoblikovanje. V takem primeru si pomagamo z dvojnim vlečenjem, vmesnim žarjenjem, kar izravna lastnosti. Dvojno vlečenje in žarjenje podraži proizvodnjo, zato jeklo pri vhodni kontroli primerno preizkusimo in preverimo sposobnost kvalitetnega hladnega upogibanja s pomočjo gnetilne probe.

Kadar uporabljamo valjano jeklo, moramo računati na dovoljene tolerance debeline, ki so:

- $\pm 0,5$  mm do debeline premera 16 mm
- $\pm 0,75$  mm za dimenzije od 16 do 30 mm
- od 30 mm do 50 mm premera je toleranca  $\pm 1$  mm.

Neenakomernost debeline profila slabo vpliva na delovanje strojev za rezanje in upogibanje. Poleg točnosti pri dimenzijah členov povzroča še:

- večjo obrabo elektrod-stiskalcev
- več zastojev na strojih
- manjše izkoristke strojev
- večjo obrabo nožev za obrezovanje in
- velike razlike v delitvah in širinah členov.

Rezanje jekla na surovce za člene verige mora biti kvalitetno. Surovci morajo imeti popolnoma enake dolžine, da dobimo pri upogibanju tudi enake stične presledke. Dobro varjenje je močno odvisno od dobrega, enakomernega upogibanja, zato je koristno vedeti, kakšne lastnosti mora imeti jeklo, ki se hladno upogiba. Za izdelavo verig se v področju dimenzij od premera 5 mm do 20 mm (sedaj že do 26 mm) kot vložek bolj uporablja vlečena žica. V primeru izdelave verig vlečeno žico navadno žarimo pri temperaturi 650 do 700°C, posebno še, če je stopnja odvzema preseka ( $(F_0 - F_1)/(F_0 \times 100)$ ) žice pri vlečenju nad 20%. Pri vlečenju žice morajo biti odvzemi presekov pod 8% ali pa nad 18%, sicer lahko pri žarjenju nastanejo groba zrna, ki so za hladno oblikovanje neugodna. Taka, zelo krhka mikrostruktura nastane, če žico, ki je bila vlečena med 8 -

18%, varimo tako, da se člen le delno segreva. Poleg mehanskih lastnosti je pomembna tudi integriteta površine vlečene žice. Na njej ne sme biti zarez, razpok, odrgnin in umazanije. Za visokoodporne verige iz mikrolegiranih jekel je kvalitetna površina izrednega pomena. Napake na površini vlečene žice povzročajo v naslednjih fazah izdelave verig (upogibanje členov, varjenje, kalibriranje in preizkus verig) motnje, ki se lahko povečajo in povzročajo lahko tudi lome.

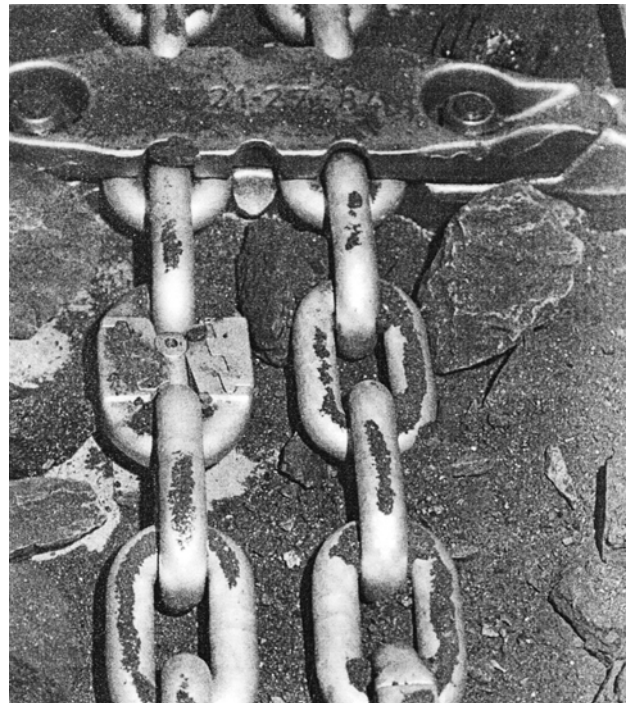
Za vsa jekla po normah DIN 17115, ki se rabijo za izdelavo verig, je predpisan tudi tehnološki upogibni preizkus. Pri tem preizkusu se določa preoblikovalna sposobnost jekla v hladnem.

Upogibni preizkus se lahko dela po standardu JUS C.A4.005 iz leta 1962, ki odgovarja zahtevam ISO. Standard predpisuje vzorec okroglega premera do 30 mm in dolžine:

$$l = 5 \cdot a + 150 \text{ mm (a = premer vzorca)}$$

Vzorec se upogiba na dveh paralelnih valjih, ki imata polmer  $R = 25$  mm, če je vzorec premera manjši od 12 mm, in  $R = 50$  mm, če je vzorec premera večji od 12 mm. Valja sta razmaknjena za  $D + 3a$ .  $D$  je premer valja, s katerim se vzorec na sredini obremenjuje. Za preizkus mikrolegiranih jekel za visokoodporne verige je  $D = a$  = premer žice in je razmak valjev  $4a$ .

Standardi predpisujejo za jekla za verige po DIN 5687 in DIN 22252 (bremenske in rudarske verige)



**Slika 1:** Poleg verig je potreben tudi spojni člen, ki nadomešča pri delu slabe člene, ki se prezgodaj obrabijo ali odtrgajo. Uporablja se običajno pri premerih nad  $\Phi 26$  mm in pri trdnostnem razredu 2 (ali D po ISO 610). Nadomestni člen je kovan, korozijsko zaščiten in ultrazvočno pregledan. Izdelan je iz Cr-Ni-Mo, legiranega jekla v poboljšani izvedbi.



**Slika 2:** Verige in členi so korozijsko zaščiteni s sistemom obdelave "KORROTHERM". Celoten preizkus je opravljen po DIN 22258

upogib okrog valja - trna s premerom  $D = a$  za upogibni kot  $180^\circ$ . Upogibni preizkus oz. upogibanje mora potekati počasi in neprekinjeno. Zaradi hladnega upogibanja jeklene žice ali palice v verižne člene se pri materialu spremenijo nekatere lastnosti. Sprememba lastnosti je neenakomerna. Odvisna je od lokacije na členu in upogibnih deformacij na tem mestu, v manjši meri pa nanje vpliva tudi hitrost upogibanja. Meritve kažejo, da se trdote na notranjih straneh člena povečajo, največ na ukrivljenih delih člena, kjer so deformacijske spremembe največje, manj pa v ravnem delu člena. Povečanje trdot v krivinah zaradi hladne obdelave in trdot, ki so rezultat staranja, je tako veliko, da presega dovoljene vrednosti.

Za izdelavo visokokvalitetnih rudarskih verig in za njihovo atestiranje so merodajni standardi JUS C.H4.200, DIN 22252 in ISO 610. Dimenzijski razpon sega od verig  $14 \times 50$  mm do  $30 \times 108$  mm v treh različnih stopnjah kakovosti: A, B in C. Sedaj se je dimenzija povečala na  $\Phi 42 \times 152$  mm.

Stopnja A, kamor spadajo verige z najnižjo trdnostjo, postaja zaradi omejenih možnosti uporabe vse manj pomembna in jo novejši standardi, izdelani po priporočilu ISO, že opuščajo. Tako razlikuje DIN 22252 le še dva kakovostna razreda B in C po JUS C.H4.200.

Poleg verig je potreben tudi spojni člen, ki nadomešča pri delu slabe člene, ki se prezgodaj obrabijo ali odtrgajo. Uporablja se navadno pri premerih nad 26 mm in pri trdnostnem razredu 2 (ali D po ISO 610). Nadomestni člen je kovan, korozijsko zaščiten in ultrazvočno pregledan. Izdelan je iz Cr-Ni-Mo legiranega jekla v poboljšani izvedbi (**slika 1**). Verige in členi so korozijsko zaščiteni s sistemom obdelave "KORROTHERM", kar prikazuje **slika 2**. Celoten preizkus je opravljen po DIN 22258.

Z razvojem rudarske opreme so se razvijale tudi verige. Zelo pomembno je, da imajo verižni deli dobro žilavost in trajno utripno trdnost. Število amplitud do zloma in zgornja in spodnja obremenitev za posamezne preseke verig so predpisani:

Razred - napetost  $N/mm^2$

| 1       |         | 2       |         |
|---------|---------|---------|---------|
| Spodnja | Zgornja | Spodnja | Zgornja |
| 50      | 330     | 50      | 400     |

Mejne obremenitve za posamezne premere verig so naslednje:

| Dimenzije (mm) | 2           |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                | Spodnja, kN | Zgornja, kN | Spodnja, kN | Zgornja, kN |
| 14 x 50        | 15          | 102         | 15          | 123         |
| 18 x 64        | 25          | 168         | 25          | 204         |
| 22 x 86        | 38          | 251         | 38          | 304         |
| 24 x 86        | 45          | 299         | 45          | 362         |
| 26 x 92        | 53          | 350         | 53          | 496         |
| 30 x 108       | 71          | 467         | 71          | 566         |

Število amplitud na minuto ne sme biti manjše kot 200 in ne večje kot 1000.

Korozija je v rudnikih precej močna. Dolga leta so bile verige barvane z različnimi premazi, katerih barva je pomenila tudi kakovostni razred. V preteklosti so se uporabljale tri kvalitetne stopnje: zelena, rumena in rdeča. Leta 1983 pa je DIN 22252 predpisal samo še dve, in sicer DIN 22252-I in DIN 22252-II.

Barva na verigi pa je kar hitro izgubila zaradi drgnjenja ob koritu in ob transportirano snov. Veriga je bila ponavadi že po 6 mesecih polna raznih odtisov, risov in rjastih lis na površini. Obraba je bila večja, delitve členov so se podaljšale in pri prehodu preko transportne zvezde je prišlo do preskokov in lomov. Drugačna je površina člena, če je ustrezno zaščiten. Zelo dobra zaščita je vroči cink, vendar je drag in tudi z obdelavo dviguje temperaturno mejo za popuščanje, zato so razvili vrsto novih postopkov pod imenom "KOROTERM 90". Ta prevleka vsebuje tudi Zn in je pasivirana v Cr-raztopini ter nato segreti na  $300^\circ C$ . Postopek je podoben znani tehnologiji DACROMET, ki daje zelo obstojne prevleke in ne povzroča vodikove krhkosti, ki je zelo škodljiva. Obrabna odpornost verige je odvisna od trdote.

Posebno močno obrabo povzroča trenje med verižnimi členi, spojnimi deli, vijaki, prečkami in med transportnim koritom, v katerega pada premog ali ruda. Obraba pa je velika tudi na transportnih kolesih in zvezdah, preko katerih teče celoten transporter. Vsi ti elementi so seveda izdelani v dokaj ozkih tolerancah in so poboljšani.

## LITERATURA

- DIN 17115-1987: Stähle für geschweißte Rundstahlketten:: Technische Lieferbedingungen
- DIN 22252 - 1993: Rundstahlkette für Förderer und Gewinnungsanlagen im Bergbau lehrenhaltig. geprüft
- ISO 610 - 1990: High-tensile steel chains (round link) for chain conveyors and coal ploughs