

Rudarske verige v uporabi - preizkus novih jekel

Testing of New Steels for Coal Mine Chains

Legat F.¹, Veriga Lesce
A. Lagoja, ACRONI Jesenice

Na osnovi podatkov in rezultatov pri visokoodpornih rudarskih verigah za transport in posnemačice smo preizkušali novo jeklo, ki naj bi dalo ugodnejše rezultate pri uporabi. V rudniku smo zasledovali mehanske in tehnološke lastnosti, ki jih predpisuje ISO 610 D. Nove zlitine z različnimi preizkusnimi kemičnimi sestavami bodo izdelane v Železarni TRINEC, verige in ostala testiranja pa v razvojnem oddelku Tovarna verig - ČEŠKA VES, VERIGA LESCE in v Raziskovalnem oddelku ACRONI JESENICE.

Ključne besede: jeklo, toplotna obdelava, mehanske lastnosti, visoko trdne rudarske verige

A new high tensile steel for production of coal mine chains (conveyors and coal ploughs) was tested. The aim of testing was to achieve mechanical and technological properties of chains according to international standard ISO 610 D. Some heats of steels with different chemical composition were made by Steel work TRINEC. Some of the chains were made in the Development Department of Chain Factory ČEŠKA VES and VERIGA LESCE. The testing of material and chains was done by the both factories mentioned above and by Research and Development Department of ACRONI Jesenice.

Key words: steel, heat treatment, mechanical properties, high strength chains for coal mines

Uvod

Rudarske verige se v zadnjih letih spreminjajo tako trdnostno kot dimenzijsko. Iz rudnikov smo dobili precej podatkov, na osnovi katerih je bilo v Železarni TRINEC izdelanih pet novih jekel. Osnovno jeklo je bilo znano 23 MnNiCrMo 54, DIN 17115. Trg zahteva jekla s povečano trdnostjo pri ne preveč zmanjšani žilavosti. Iz vseh petih sarž smo izdelali preizkusne komade in gotove verige. Preizkusi so potekali paralelno na Češkem in v Sloveniji.

Možnih je več rešitev: povečati dodatke posameznih elementov (legiranje) v jeklo, pri čemer se varivost ne sme poslabšati, izboljšati toplotno obdelavo, ohraniti srednje mehanske lastnosti (trdnost 1200 N/mm², raztezek A5 - 10%, kontrakcija Z min. 40%) in povečati debelino člena.

1. Pri rudarskih verigah se v zadnjih letih poleg dimenzij spreminja tudi trdnostni razred. V praksi uporabljamo standarde: DIN 22252, 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 na dimenzijskem področju: področje od Ø14 do Ø26 mm se je razširilo do Ø42 mm. Najbolj

zanimiv je najvišji trdnostni razred, ki ga obravnava ISO 610 (D). Zahteve so naslednje:

Mehanske lastnosti	Kakovostna stopnja		
	B	C	D
R _m (N/mm ²)	630	800	1000
R _e (N/mm ²)	500	640	800
R _p /R _m (%)	80	80	80
A ₅ pri R _p (%)	1,4	1,6	1,6
A ₅ pri R _m (%)	12	12	12

R_p = 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. Takrat je nevarnost za nastanek kalilnih razpok v toplotno vplivani coni manjša. Zahteve za dobro varivost pomenijo torej omejitve ogljikovega ekvivalenta. Če ne dosežemo zahtevanih trdnostnih lastnosti v poboljšanim stanju, moramo uporabiti pri določeni debelini bolj legirano jeklo, pri katerem lahko dosežemo povišanje trdnostnih lastnosti. Jeklo ne sme biti nagnjeno k staranju in imeti mora zadovoljivo preoblikovalnost v hladnem stanju.

¹ Franc LEGAT, dipl. inž. met.,
Zabreznica 36,
64274 Žirovnica

2. DIN 17115 in drugi poznani standardi za verige predpisujejo v te namene jeklo 23 MnNiCrMo 54. To jeklo dosega po toplotni obdelavi dobre lastnosti. V proizvodnji se pojavljajo razne težave. Pri trdnosti $R_m = 1400 \text{ N/mm}^2$ 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 23 MnNiCrMo 54 spreminjali ogljik, dodajali legirne elemente in eni sarži dodali tudi bor.

Sarža	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	Mo	Ti	B	Al	N
74766	0,241	1,73	0,22	0,024	0,013	0,06	0,57	1,00	0,025	0,56	0,003	0,0006	0,025	0,0098
74767	0,255	1,22	0,20	0,021	0,012	0,05	0,56	0,85	0,021	0,54	0,003	0,0004	0,013	0,0097
74768	0,251	0,87	0,19	0,019	0,013	0,05	0,50	1,40	0,051	0,34	0,003	0,0004	0,038	0,0105
74769	0,228	1,28	0,20	0,019	0,012	0,06	0,49	1,01	0,056	0,57	0,058	0,0053	0,042	0,0088
74770	0,219	1,01	0,37	0,021	0,012	0,06	1,22	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 $\varnothing 28$ na $\varnothing 26,5 \pm 0,1 \text{ mm}$.

Mehanske lastnosti:

Preizkušanci v toplo valjanem stanju brez toplotne obdelave: (rezultati-TRINEC)

Preizkušalec (sarža)	Re N/mm ²	Rm N/mm ²	A ₁ %	Z %
1 74766	827	1103	13,6	49,6
1 74766	832	1125	15,2	48,15
2 74767	739	1041	15,4	51
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 295-310°C (1, 2, 3, 4, 5)

Rezultate kaže tabela:

Preizkušalec	Temper. popušč.	Rm N/mm ²	A ₁ %	Z %
1	450°C	1230	9,0	38
2	450°C	1215	10,6	53
3	450°C	1181	12,7	58
4	450°C	1204	10,0	40
5	450°C	1259	12,5	52
1	400°C	1306	7,5	36
2	400°C	1287	10,0	52
3	400°C	1278	10,0	52
4	400°C	1268	10,0	53
5	400°C	1313	10,0	52

Preizkušalec	Temper. popušč.	Rm N/mm ²	A ₁ %	Z %
1	350°C	1394	11,0	50
2	350°C	1364	12,0	55
3	350°C	1364	10,0	51
4	350°C	1339	9,0	51
5	350°C	1383	10,0	51
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

Iz palic smo izdelali verige po DIN 222252 $\varnothing 26 \times 92 \text{ mm}$ v kvaliteti D po ISO 610. Verižni konci so bili varjeni običajno 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.

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 verige "premeheke".

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

Sarža 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 ²	Rm N/mm ²	A ₁ %	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 gotove 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 HRc
350°C	41,0; 42;	42,0;	42;	43;	43;	43;	42,5 HRc
400°C	40;	40;	40,5;	41;	40;	40,5;	41 HRc

Gotove verige so dosegle 110-112 ton pri zrušilni trdnosti, kar pomeni, da smo dosegli določeno rezervo.

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

Zrno po ASTM 8-9.

Za verigo $\varnothing 26$ je možno uporabiti valjane palice:

- $\varnothing 26,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$, brez površinskih napak, že pa te tolerance ni mogoče doseči, uporabimo varianto z vlečenjem,
- $\varnothing 28 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ valjano jeklo, vlečenje palic v hladnem na $\varnothing 26,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

Posebno moramo paziti na upogibanje, ki je izvedeno v vročem stanju, da ne pride do zmanjšanih presekov in do oslabilve členov.

Zaključek

Na osnovi preiskav smo ugotovili:

– jeklu lahko zvišamo trdnost pri temperaturi popuščenja 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.