

TEHNIČNE NOVICE

Jekla za verige

F. Legat¹⁾

UVOD

V proizvodnji verig poznamo dva najbolj pogosto uporabljena sistema varjenja:

— varjenje jekel klasično električno uporabno, kjer se jeklo na spoju zaradi povečanja upornosti pri prehodu toka segreje in nato s stiskanjem spoji. Nastali greben — grad se obreže s posebnimi noži;

— drugi način je sistem varjenja, kjer po kratkem stiku obeh spojenih delov dobimo tokovni lok. Ta lok segreva material na tako visoko temperaturo, da ogljik začne zgorevati. Gorenje je burno in tako leti ogljik z ostalimi kapljicami jekla iz spojnega dela. Ko je določena količina ali dolžina materiala odgorela, pritisk spoji oba dela. Nastali grad prav tako obrežemo s posebnimi noži.

Na prvi način lahko varimo navadna nizkoogljiva in nepomirjena jekla. Pri procesu varjenja v varu nastajajo oksidi, ki se pri stiskanju iztisnejo iz vara, vendar ne v celoti. Zato ima var še vedno razne vključke in izceje ter ga štejemo kot 90 % var. Napake v varu se pri popoljšanju ali samem kaljenju še povečujejo, zato na ta način izdelujemo samo navadne verige.

To so verige, ki so po varjenju le normalizirane zaradi izenačitve litih in pregretih kristalnih struktur preko vara.

JEKLA:

V ta namen uporabljamo danes jekla, ki jih obdeluje DIN 17115, danes najbolj popolna norma:

	C	Si	Mn
Č 1102 N USt 35.2	0.06—0.14	sledovi	0.40—0.60
Č 1102 P RSt 35.2	0.06—0.12	do 0.25	0.40—0.60
Č 1102 St 35.3	0.06—0.12	do 0.28	0.50—0.70

	P	S	Al
Č 1102 N USt 35.2	max. 0.040	max. 0.040	—
Č 1102 P RSt 35.2	max. 0.040	max. 0.040	—
Č 1102 St 35.3	max. 0.040	max. 0.040	0.020—0.050

Jeklo se uporablja običajno nežarjeno v valjanem stanju, luženo ali peskano. Za nižje dimenzije pa vlečeno s primerno deformacijo in brez vmesnega žarjenja.

Jekla za te verige imajo naslednje mehanske lastnosti:

	Re meja elast. N/mm ²	Rm trdnost N/mm ²	A ₅ raztezek %
URSt 35.2	215	345—440	30
RSt 35.2	215	345—440	30
St 35.3	215	345—440	30

Temperature normalizacije: 900—920 °C za vse tri kvalitete.

Na drugi način pa lahko varimo vsa jekla, ki se praktično uporabljajo za verige. Nekaj težav povzročajo le visokolegirana Cr-Si jekla, Al jekla ter siva litina. Ker pa ta ne pridejo v poštev pri proizvodnji verig, jih tu ne obravnavamo.

V to področje jekel spadajo vse kvalitete, ki jih navaja DIN 17115, kjer obravnava jekla za proizvodnjo verig. To so:

nelegirana jekla	C	Si	Mn	P max.	S max.
15Mn3Al	0.12—0.18	do 0.20	0.7—0.9	0.040	0.040
21Mn4Al	0.16—0.24	do 0.25	0.8—1.1	0.040	0.040
21MnSi5	0.18—0.24	0.25—0.45	1.1—1.6	0.040	0.040
27MnSi5	0.24—0.30	0.25—0.45	1.1—1.6	0.040	0.040
St 52 V	0.21—0.26	0.25—0.45	1.1—1.6	0.040	0.040

	Al	Cr	Ni	V
15Mn3Al	0.020—0.050	—	—	—
21Mn4Al	0.020—0.050	—	—	—
21MnSi5	0.020—0.050	—	—	—
27MnSi5	0.020—0.050	—	—	—
St 52 V	0.020—0.050	0.25—0.35	0.20—0.30	0.08—0.11

V tej grupi najdemo predvsem jekla za rudarske verige, DIN 22252-I, in jekla za sidrne verige kvalitetnih stopenj II. in III. Pri nas imamo sicer za te verige razvito drugo jeklo, St 52 V ali Č 8330 po naši JUS oznaki.

Ta nelegirana jekla imajo naslednje mehanske lastnosti:

	Re meja elastič. N/mm ²	Rm trdnost A ₅ %	Raztezek Z %	Kontraktacija
15Mn 3Al	245	440—540	25	—
21Mn 4Al	295	490—635	22	—
21MnSi5	785	980	8	40
27Mn Si5	785	980	8	40
St 52 V	480	700	17	55
St 52	860	1060	17	55

Predvidena toplotna obdelava:

	Mehko žarj. °C	Normaliz. °C	Kalj. °C	Popušč. °C
15MnAl3	—	890—910	—	—
21MnAl4	—	890—910	—	—
21MnSi5	650—720	880—910	880	400
27MnSi5	650—720	880—910	880	400
St52V	680—720	870—910	870	420

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

Naslednja bolj zahtevna skupina pa so posebna mikrolegirana jekla. Ta vsebujejo poleg osnovnih elementov, ki spremljajo jeklo, še Cr, Mo, Ni in včasih tudi Nb.

Dostikrat proizvajalci jekel Mo zamenjajo s Ti ali V, vendar ta zamenjava ni čisto enakovredna, ker ima drugačne vezave z železom, ogljikom in jeklom v celoti.

Ta mikrolegirana jekla pa se uporabljajo za vse visokoodporne elevatorske, rudarske in druge verige, ki pridejo toplotno obdelane — poboljšane ali kako drugače utrjene.

Ta jekla so:

	C	Si	Mn	S _{max.}	P _{max.}
DIN 20NiCrMo2	0.17—0.23	max. 0.25	0.6—0.9	0.020	0.020
DIN 20NiCrMo3	0.17—0.23	max. 0.25	0.6—0.9	0.020	0.020
DIN 23MnNiCrMo52	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020
DIN 23MnNiCrMo53	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020
JUS Č 7435	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020
DIN 23MnNiCrMo54	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020

	Al	Cr
DIN 20NiCrMo2	0.020—0.050	0.35—0.65
DIN 20NiCrMo3	0.020—0.050	0.35—0.65
DIN 23MnNiCrMo52	0.020—0.050	0.4—0.6
DIN 23MnNiCrMo53	0.020—0.050	0.4—0.6
JUS Č 7435	0.020—0.050	0.4—0.6
DIN 23MnNiCrMo54	0.020—0.050	0.4—0.6

	Mo	Ni
DIN 20NiCrMo2	0.15—0.25	0.4—0.7
DIN 20NiCrMo3	0.15—0.25	0.7—0.9
DIN 23MnNiCrMo52	0.2—0.3	0.4—0.7
DIN 23MnNiCrMo53	0.2—0.3	0.7—0.9
JUS Č 7435	0.2—0.3	0.9—1.1
DIN 23MnNiCrMo54	0.2—0.3	0.9—1.1

S in P skupaj maksimalno 0.035 %, kar je zelo pomembna omejitev.

Mehanske lastnosti v poboljšanem stanju:

	Re meja elastič. N/mm ²	RM trdnost N/mm ²	Raztezek A ₅ %	Kontrakt. Z %	Žilavost (ISO-V) J
20NiCrMo2	980	1180	10	50	40
20NiCrMo3	980	1180	10	50	40
23MnNiCrMo52	980	1180	10	50	40
23MnNiCrMo53	980	1180	10	50	40
23MnNiCrMo54	980	1180	10	50	40

Vse te vrednosti so bile ugotovljene po naslednjem termičnem postopku:

kaljenje 880 °C/voda,

popuščanje minimalno 400 °C

Sicer so postopki in temperatura za posamezna jekla naslednji:

	Normaliz. °C	Mehko žarj. °C	Kaljenje °C	Popušč. °C
20NiCrMo2	870—900	650—720	870—890	min. 400
20NiCrMo3	870—900	650—720	870—890	min. 400
23MnNiCrMo52	860—890	650—720	860—880	min. 400
23MnNiCrMo53	860—890	650—720	860—880	min. 400
23MnNiCrMo54	860—890	650—720	860—880	min. 400

Ker ta jekla spadajo že v grupo trših legiranih kakovosti, ki delno zakalijo že na zraku, moramo upoštevati tudi trdnost v valjanem stanju. Če upogibamo verigo v toplem, so zahteve drugačne, kot če je upogibanje izvedeno v hladnem. V obeh primerih pa je važno rezanje bodisi na škarjah ali na posebnem stroju ali pa rezanje na žagah.

Prav zato navajamo tudi tabelo mejnih vrednosti mehanskih lastnosti za teh pet jekel in še na zadnji dve jekli iz prejšnje grupe.

To so maksimalne vrednosti, ki jih mora proizvajalec zagotoviti za uspešno rezanje pri pripravi surovcev.

Predpisane maksimalne vrednosti so:

	R _m trdnost N/mm ²	Trdota HB (30)	HV (10)
21MnSi5	860	255	268
27MnSi5	860	255	268
20NiCrMo2	860	255	268
20NiCrMo3	860	255	268
23MnNiCrMo52	860	255	268
23MnNiCrMo53	860	255	268
23MnNiCrMo54	860	255	268

S temi mejnimi vrednostmi se jeklo lepo enakomerno reže, žaga, pa tudi upogibalni stroji, ki upogibajo verige v hladnem direktno iz kolobarjev, tečejo dosti bolj mirno in brez pretirane obrabe orodja.

Jeklo pa se običajno pripravlja v dveh oblikah:

a) valjano v vročem,

— v tem stanju luženo ali peskano, nato se lahko upogiba v hladnem, kar pa pride v poštev le za navadna mehka jekla;

b) vlečeno jeklo v kolobarjih ali palicah.

Za upogibanje v toplem je priprava običajno samo rezanje in čiščenje, kar naredimo s peskanjem, včasih pa tudi z luženjem.

Naša jekla imajo tolerance ±0.5 mm do Ø16 mm, naprej pa že ±0.75 mm. Za stroje, ki varijo na obžigalni način, ta toleranca ni odločilna, če ni posredi še ovalnost. V takem primeru pa je obraba elektrod večja, obraba nožev prav tako; na splošno stroji tečejo z velikimi zastoji in majhnim izkoristkom. Če so posredi še površinske napake, kot:

risi, vključki, luske, zažganost, razogličnost, zaviljanost in podobno, pa je upogibanje samo valjanega jekla v hladnem že problematično.

Mikrolegirana jekla imajo zaradi ohlajevalne hitrosti pri valjanju že zakaljena mesta, kar se kaže v povečani trdnosti, ki se nahaja v področju 700 do 900 N/mm² in v majhni sposobnosti preoblikovanja.

Prav zaradi teh napak pa je vedno bolj aktualna priprava jekla v vlečenem stanju.

Poudariti moramo, da je pravilno 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 predpisanem postopku.

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

Kakšne variante so možne in celo predpisane že v novih normah, nam kaže naslednja tabela:

	Rm N/mm ² Trdnost	HB trdota max.	Trdnost	Trdota	Trdnost	Trdota	Trdnost	Trdota
21MnSi5	680	200	810	240	—	—	—	—
27MnSi5	710	210	850	250	—	—	—	—
20NiCrMo2	710	210	850	250	610	180	740	220
20NiCrMo3	710	210	850	250	610	180	740	220
23MnNiCrMo52	790	235	930	275	710	210	850	250
23MnNiCrMo53	790	235	930	275	710	210	850	250
23MnNiCrMo54	790	235	930	275	710	210	850	250

Mehko žarj. (G) ali hladno vleč. in mehko žarj. (K + G) Hladno vleč. mehko žarj. in hladno vleč. (K + G + K) Žarj. 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.

Kot je bilo že rečeno, je še vedno cenejše upogibanje v hladnem iz valjanega materiala, če to jeklo nima drugih napak, ki občutno vplivajo na naslednje operacije pri proizvodnji verig.

Posebej je pa treba gledati na samo površino, ne samo zaradi napak na površini, pač na tudi na razogljičenje. Prav razogljičenje je dostikrat vzrok premajhnih površinskih trdot po kaljenju in tudi prenizkih trdnosti. Zato je treba resno upoštevati naslednje predpisane tolerance:

Premer v mm D	Dovoljena maks. globina razogljčenja v mm
do 8	0.10
8—12	0.12
12—17	0.16
17—23	0.20

Premer v mm D	Dovoljena maks. globina razogljčenja v mm
23—27	0.24
nad 27	(0.007 · d) + 0.05

Druga vrednost, ki je zelo pomembna, pa je sama sestava jekla. Jekla imajo po normah in po predpisu proizvajalca dane analize meje za posamezne elemente. Kljub temu pa pri proizvajalcih jekla pride dostikrat do odstopanj, ki povzročajo težave proizvajalcem verig.

Tolerance za kosovne analize so naslednje:

Element	Analizna meja %	Dovoljeno odstopanje v %
C	do 0.30	0.02
Si	do 0.45	0.03
Mn	do 1.0	0.04
	od 1.0 do 1.60	0.06
P	do 0.040	0.005
S	do 0.040	0.005
Al	do 0.050	+ 0.010
		- 0.005
Cr	do 0.65	0.05
Mo	do 0.30	0.03
	od 0.30 do 0.60	0.04
Ni	do 1.0	0.03
	od 1.0 do 1.10	0.04

Ker so ta jekla namenjena visokoodpornim in poboljšanim verigam, je zelo važno, kako se kakšno jeklo pri poboljšanju obnaša. Prav zato je pomemben kalilni preizkus in sploh krivulja trdot glede na oddaljenost od površine. Bolj natančne rezultate nam kaže tabela:

		Trdota v HRC — oddaljenost od površine											
		1.5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	mm
20NiCrMo2	max	48	47	44	41	35	32	30	29	26	24	23	
	min	40	37	32	27	23	—	—	—	—	—	—	
20NiCrMo3	max	48	47	44	41	35	33	32	31	28	26	25	
	min	40	37	32	27	23	—	—	—	—	—	—	
23MnNiCrMo52	max	52	51	50	48	46	45	44	44	43	42	40	
	min	40	40	38	35	33	31	29	27	26	25	—	
23MnNiCrMo53	max	52	51	50	48	47	46	46	46	45	44	42	
	min	40	40	38	35	33	32	31	29	28	27	25	
23MnNiCrMo54	max	52	52	51	51	50	50	49	49	48	47	46	
	min	44	43	41	39	38	37	36	35	33	31	30	

Kot hladilno sredstvo pri kaljenju se običajno uporablja voda ali hladilno sredstvo, ki ima boljše ohlajevalno hitrost kot olje.

Po novih postopkih se za poboljšanje uporablja za kaljenje peč, ki segreva izdelke z indukcijo.

Popuščanje teče lahko na klasičen način v globinski napuščni peči ali pa tudi s pomočjo indukcije.

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. Če še enkrat pogledamo jekla za verige in njihovo delitev po vrstah, lahko ugotovimo, da se mikrolegirana jekla ločijo od navadnih po naslednjih tehnoloških zahtevah:

— predpisano imajo minimalno žilavost v poboljšanim stanju,

— dane so mejne vrednosti za trdote pri čelnem kalilnem preizkusu,

- enakomernost lastnosti po toplotni obdelavi,
- dokaj nizek dovoljen procent žvepla in fosforja.

Ta dva elementa pa danes z novo vakuumsko napravo v jeklarnah ne predstavljata nobenih težav več.

Za proizvodnjo verižnih členov je dokaj važna lastnost preoblikovanje 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
URSt 35.2	0.5 d	
RSt 35.2	0.5 d	
St 35.3	0.5 d	
15Mn3Al	1 d	
21Mn4Al	1 d	
21MnSi5	1 d	
27MnSi5	—	G 1 d
St 52 V	1 d	
20CrNiMo2		GKZ 1 d
20CrNiMo3		GKZ 1 d
23MnNiCrMo52		GKZ 1 d
23MnNiCrMo53		GKZ 1 d
23MnNiCrMo54		GKZ 1 d

Ta tabela velja do premera \varnothing 26 mm tako za navadna jekla, ki so toplotno neobdelana, kar pomeni preizkušena direktno v valjanem stanju, in tudi za mikrolegirane vrste.

Jeklo 27MnSi5 je normalno mehko žarjeno (G), ostale legirane kvalitete pa so posebej mehko žarjene, tako da dobimo sferoidizirano obliko zrna. Seveda za vse preizkušance velja, da do kota 180° ne smemo dobiti nobenih risov v natezni in na tlačni strani pri hladnem upogibanju.

Kadar hočemo upogibati večje premere, pa pride v poštev samo upogibanje v vročem.

Seveda pa v naši razpredelnici manjkajo še jekla za nerjavne verige, ki se vedno bolj pogosto pojavljajo.

Poznamo tri vrste verig:

— Verige iz feritnega jekla, ki se kot obročkaste verige uporabljajo v pečeh za proizvodnjo klinkerja in cementa kot zavese in mešalci.

— Verige iz čistega avstenitnega jekla, ki imajo posebno dobro kislinško in protikorozijsko odpornost.

— Tretji razred pa dosegajo verige, ki s svojimi nosilnostmi spadajo že v področje visokoodpornih verig. Seveda, če hočemo te verige poboljšati in dobiti ustrezno trdnost, ne zadoščajo več do sedaj omenjena jekla, ampak je potrebno avstenitno — martenzitno jeklo.

Jekla, ki jih uporabljamo za te vrste verig:

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al %
Č 4972							
— X 10 CrAl 12	0.12	1.0	1.0	13			1
Č 4573							
— X 5 CrNiMo 18 10	0.8	1.0	2.0	17.5	12.0	2.0	
Č 4571							
— X 12 CrNi 18 8	0.10	1.0	2.0	18	9		

Toplotna obdelava verig je lahko:

- žarjenje,
- gašenje ali tudi delno
- poboljšanje

Te toplotne obdelave so predvsem potrebne zaradi varov in korozijske odpornosti.

ZAKLJUČEK

Za verige uporabljamo danes glede na potrebe v industriji in glede na zahteve samih postopkov celo vrsto jekel:

- nelegiranih
- mikrolegiranih in
- nerjavnih

Ta jekla, posebno druge skupine, zahtevajo precizno predpripravo, če je operacija upogibanja izvedena pri sobni temperaturi. Pregled daje točne tolerance, ki jih zahteva tehnologija proizvodnje, in tudi končne prevzemne norme. Trend razvoja jekel za verige in verižno opremo teče v svetu nezadržno navzgor, kar se tiče nosilnih trdnosti in tudi drugih tehnoloških lastnosti. Danes je razmerje med navadnimi in poboljšanimi verigami že 10:1. Seveda se na določenih mestih še vedno uporablja jeklo USt 35.2, vendar le za področja nizkih temperatur, kjer se predpisuje žilavost pri -40°C .

Temu trendu sledi tudi naša industrija z določenim zamikom.