

Razvoj jekel za ladijske verige

Legat Franc, Veriga Lesce

Uvod

Ladijske sidrne verige morajo v praksi zagotavljati zanesljivo varnost ljudi in premoženja, zato je njihova izdelava posebno skrbno kontrolirana. Proizvodnja sidrnih verig teče po predpisih zavarovalnih ladijskih registrov, njihov prevzem pa po strogih kriterijih.

Večina kupcev zahteva, da dosegajo ladijske sidrne verige naslednje mehanske lastnosti:

- trdnost $R_m \geq 690 \text{ N/mm}^2$
- raztezek $A \geq 17 \%$
- žilavost $KV \geq 59 \text{ J}$, pri temperaturi $T=0^\circ\text{C}$

Po svetu izdelujejo težke sidrne verige v širokem dimenzijemskem asortimanu:

- od debeline členov 34 mm do 180 mm

Večina verig je izdelana iz jekla Č 8330 (St 52 V), legirane ga z vanadijem, občasno tudi z niobijem.

Pri prevzemih sidrnih verig so proizvajalci občasno ugotavljali, da nekatere mehanske lastnosti, predvsem žilavost preko zvarnega spoja, niso dosegale zahtevanih vrednosti, ki jih predpisujejo zavarovalni ladijski registri. V predhodnih nalogah smo zato preverjali nekatere dejavnike, ki bi lahko vplivali na takšna odstopanja.

Začeli smo razmišljati o drugih vrstah jekel za ladijske sidrne verige, s katerimi bi bolj zanesljivo dosegali zahtevane lastnosti in žilavost v normaliziranem stanju:

- opravili smo preizkus jekla 27MnSiVS6
- ugotavljali možnost izboljšanja jekla Č 8330
- iskali novo jeklo za verige s stopnjo U4.

Ekperimentalne taline niso imele željene sestave, odstopala je predvsem količina mangana v jeklu, zato nismo uspeli doseči trdnostnih lastnosti, zahtevanih za sidrne verige stopnje 3. Vedno pa smo dosegali boljše rezultate pri talinah, z dolegiranim vanadijem.

Žilavost je bila pri vseh talinah pri navadni temperaturi zelo dobra, pri temperaturah med -35°C in -50°C pa je padla pod 50 J.

Bistvene razlike med talinami so se pokazale v poboljšanim stanju. Vse taline z dodanim vanadijem so imele dosti višje trdnostne lastnosti kot taline brez vanadija pri enakih vsebnostih mangana. Vanadij torej bistveno vpliva na kaljivost in trdnostne lastnosti v poboljšanim stanju.

Pri normalizaciji so bile razlike v trdnosti med talinami brez in z vanadijem največ 120 N/mm^2 , po poboljšanju pa skoraj 200 N/mm^2 .

Zaradi zelo dobre žilavosti dosežene v poboljšanim stanju, bi bilo takšno jeklo, z vsebnostjo mangana med 1,1–1,3 %, povsem primerno tudi za izdelavo sidrnih verig kakovostnega razreda 4.

Preizkusi izdelave verig kakovosti U4

V zadnjem času verige kakovosti U3 vedno bolj nadomeščajo z verigami kakovosti U4. Skupaj z Univerzo UPSALLA, ki pomaga pri razvoju jekel za verige U4 za švedske tovarne (Ljusna), smo izdelali nekaj študij, na osnovi katerih so bila razvita nova jekla za obe kakovosti verig.

Oznake jekel in zahtevane lastnosti so navedene v tabeli.

Mehanske lastnosti jekel za verige:

Mehanske lastnosti	NVK 3 RIG (U3)	NVK 4 RIG (U4)
Napetost tečenja R_e	-	min. 580
Trdnost R_m	min. 690	min. 860
Raztezek A5%	min. 17	min. 12
Kontraktacija Z%	min. 50	min. 50
Razmerje R_e/R_m	max. 0,92	max. 0,92
Žilavost (povprečno) J	min. 40	min. 40
Posamezne vrednosti J	min. 30	min. 30
Temp. preizkušanja $^\circ\text{C}$	-15	-20

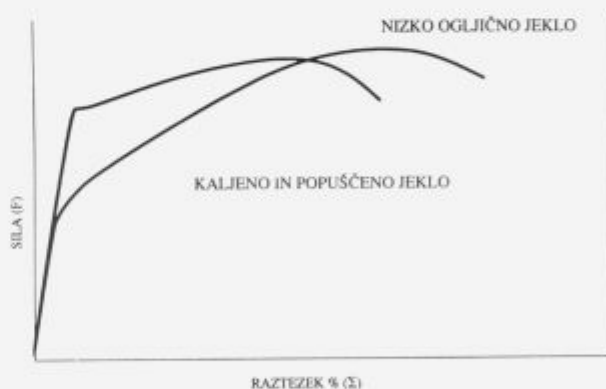
Z naraščanjem trdnosti se žilavost, raztezek in kontraktacija slabšajo. Pri tem pa ima pomembno vlogo tudi velikost kristalnega zrna. Pri drobnozrnatih jeklih dosegamo dobro žilavost tudi pri višjih trdnostih.

Predpisano razmerje R_e/R_m dosežemo le s poboljšanjem verig.

Razlika v lastnostih maloogljiknega jekla in jekla v poboljšanim stanju je lepo razvidna iz Hookovega diagrama na sliki 1.

Pri maloogljiknem jeklu ne moremo doseči visokega razmerja R_e/R_m . Da bi dosegli višje razmerje R_e/R_m , mora jeklo vsebovati večji delež ogljika, ki najbolj povečuje trdnost in trdoto po poboljšanju in dodatek legiranih elementov, ki izboljšujejo prekaljivost.

Za verige razreda U4 moramo za doseg zahtevanih lastnosti uporabiti legirano jeklo v poboljšanim stanju.



Slika 1: Hookov diagram za maloogljikna jekla in poboljšano jeklo

Za preizkuse smo izbrali tri tipe jekel, ki so bili izdelani v švedski jeklarni za univerzo v UPSALLI. Celoten projekt je tekkel v verigami LJUSNA in s sodelovanjem firme ESAB, ki je opravljala varjenje členov.

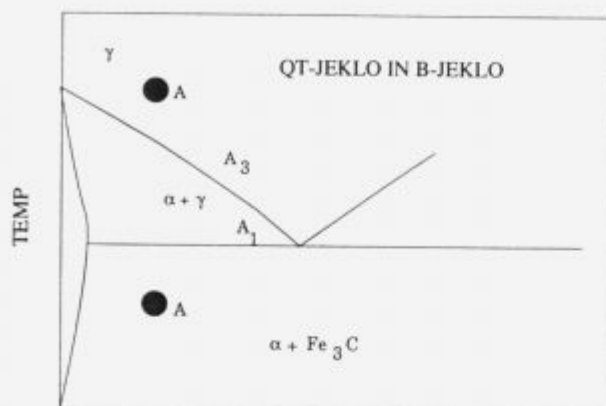
Jekla so imela naslednje sestave (v %):

	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	B
QC-jeklo	0,30	0,65	0,25	0,5	1,0	0,20	-
LC-jeklo	0,04	2,3	0,25	1,2	1,5	0,25	-
B-jeklo	0,30	1,3	0,25		0,6	0,2	0,0025

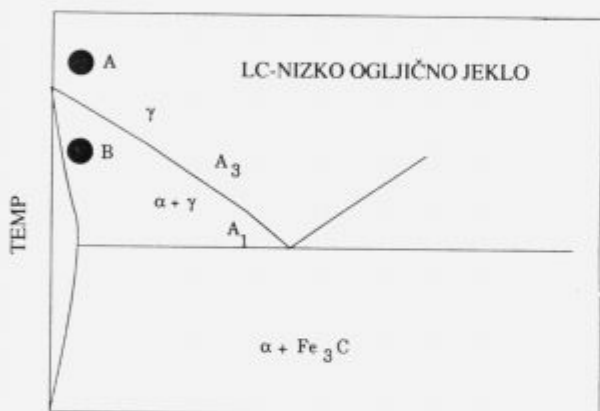
QC-jeklo za poboljšanje; LC-maloogljikno jeklo;

B-jeklo legirano z borom

Toplotna obdelava jekel QT in B je vrisana v diagramu na sliki 2, toplotna obdelava maloogljičnega jekla pa v diagramu na sliki 3.



Slika 2: Temperatura kaljenja in popuščenja za jekli QT in B



Slika 3: Temperatura prvega (A) in drugega (B) kaljenja maloogljičnega jekla

Mehanske lastnosti v odvisnosti od temperature popuščenja so razvidne s slik 4, 5 in 6.

Izvedba preizkusov

Iz vsake vrste jekla smo izdelali 20 preizkusnih palic in preizkus ponovili dvakrat. V tovarni verig LJUSNA na Švedskem smo opravili še preizkus verižnih členov. Rezultati so vrisani na diagramih 4, 5 in 6.

1. Jeklo QC

Preizkušanci so bili kaljeni s temperaturo 900°C in nato popuščeni. Dosežene mehanske lastnosti v odvisnosti od temperature popuščenja so razvidne s slike 4.

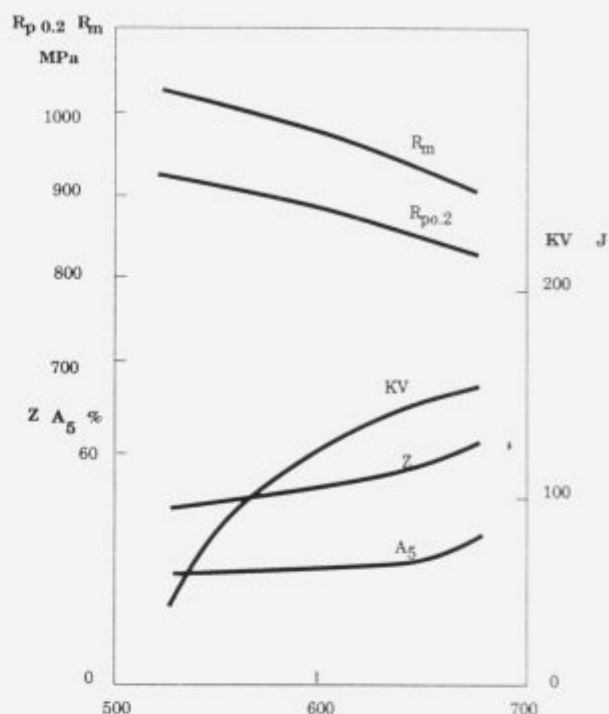
2. Jeklo LC

Prvo kaljenje v vodi z 900°C in drugo s temp. 800°C (točka B v diagramu Fe-Fe₃C) iz področja α+γ. Mehanske lastnosti v odvisnosti od druge temperature kaljenja s točke B so razvidni s slike 5.

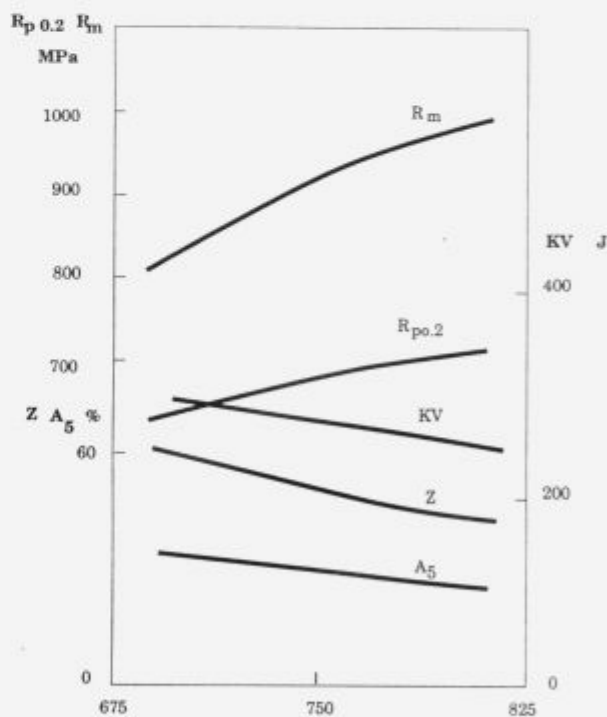
3. Jeklo B

Kaljenje s temperature 890°C in popuščano. To jeklo je najcenejše, vendar dokaj občutljivo na točno temperaturo popuščenja, ker krivulje precej strmo padajo.

Toplotne obdelave so potekale v kontinuirnih pečeh, tako da je kaljenju takoj sledilo popuščanje. Ohlajanje v vodi po popuščanju je dalo boljše rezultate, kot ohlajanje na zraku.



Slika 4: Mehanske lastnosti za QC-jeklo: 0,30 % C, 0,65% Mn, 0,5 % Ni, 1 % Cr, 0,20 % Mo

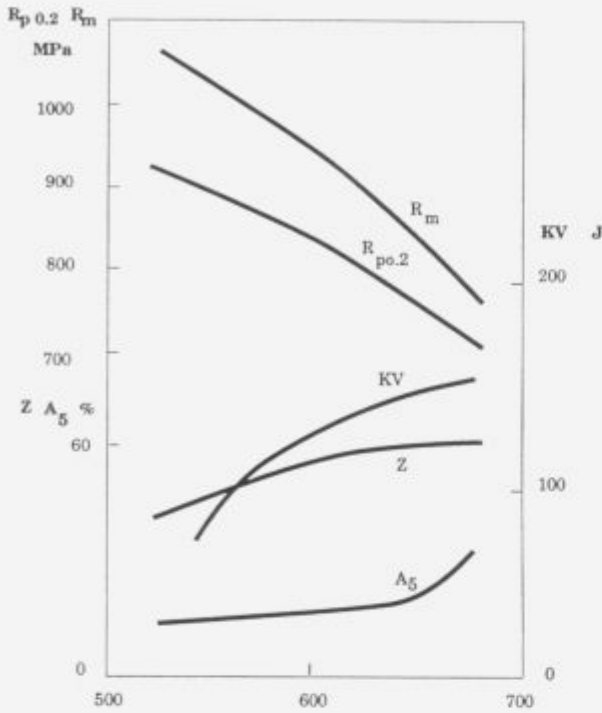


Slika 5: Mehanske lastnosti za LC-jeklo: 0,04 % C, 2,3% Mn, 0,25 % Si, 1,2 % Ni, 1,5 % Cr, 0,25 % Mo

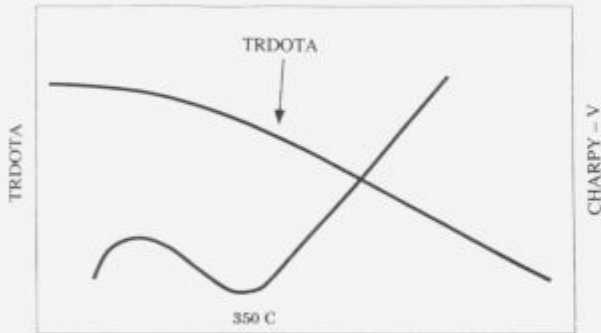
Pri določenih temperaturah popuščenja, doseže žilavost svoj minimum, ki je za navadna in legirana jekla razviden s slik 7 in 8.

Rezultati preiskav

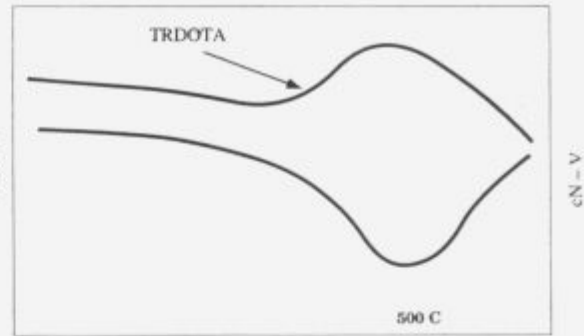
Če hočemo doseči dobre žilavosti verig razreda U4, je nujno verige poboljšati.



Slika 6: Mehanske lastnosti za B-jeklo: 0,30 % C, 1,3 % Mn, 0,25 % Si, 0,6 % Cr, 0,2 % Mo, 0,0025 % B



Slika 7: Krivulja trdote in žilavosti za navadna in malolegirana jekla



Slika 8: Krivulja trdote in žilavosti za navadna in legirana jekla

Toplotno obdelavo je priporočljivo izvajati v kontinuirni peči navpične ali horizontalne izvedbe, da kaljenju takoj sledi tudi popuščanje.

Ohlajanje po popuščanju naj bo v vodi.

Najcenejše je jeklo tipa B, ki je precej podobno našemu St 52 V, vendar ima višjo vsebnost ogljika ter dolegiran bor in molibden.

Bor naj ne presega meje 0,003 %.

Vsa ta jekla so predvidena za obžigalno varjenje, zato dodatki legirnih elementov ne predstavljajo ovire za tehnologijo varjenja.

Ta jekla se dokaj dobro obnašajo tudi pri trajnih nizkih temperaturah v severnem morju.

Literatura

- ¹ S. J. Engineer, H. Gulden, H. W. Klein, V. Schuller:
- ² Entwicklung von mikrolegierten perlitischen Edelbaustählen mit verbesserten Zähigkeitseigenschaften, *Stahl und Eisen*, 108, 1989, 19
- ³ M. Ueki, S. Horie, T. Nakamura: High Temperature Deformation and Thermomechanical Treatment of Low Carbon Steel and Vanadium-Niobium Microalloyed Steel, *Transactions ISIJ*, 27, 1987
- ⁴ F. Legat: Jeklo za sidrne verige višjih kvalitet, *Železarski zbornik*, 23, 1989, 3
- ⁵ F. Legat, J. Žvokelj: Normalizacijsko žarjenje verig, *Železarski zbornik*, 23, 1989, 4