

Vpliv staranja mikrolegiranih jekel na njihovo uporabnost pri nizkih temperaturah

The Influence of Aging of Micro Alloyed Steels on their Low Temperature Application

J. Vojvodič-Gvardjančič, Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana

B. Ule, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana

S. Ažman, Železarna Jesenice, Jesenice

Raziskave mikrolegiranih jekel so pokazale, da staranje takšnih jekel premakne temperaturo prehoda Charpyjeve žilavosti k višjim vrednostim, da pa se temperatura ničelne duktilnosti zniža. Zdi se, da je vzrok za to potrebno iskati pri vplivih vnosa toplote na osnovni material pri navarjanju preizkušancev za padni preskus. V teku so merjenja nizkotemperaturne lomne žilavosti, ki naj bi pojasnile to vprašanje.

Ključne besede: mikrolegirana jekla, nizkotemperaturna žilavost, mehanika loma

The tests on low-alloyed steels have shown that the aging of these steels shifts the Charpy-V transition temperature towards higher values, while the nil ductility temperature is reduced. It seems that this behaviour is caused by the influence of heat input to the base material while building-up Drop Weight specimens. The testing of the low-temperature fracture toughness which should elucidate these problems are in progress.

Key words: micro-alloyed steels, low temperature toughness, fracture mechanics

1 Uvod

Drobnozrnata mikrolegirana jekla z dobro žilavostjo pri nizkih temperaturah uporabljamo za izdelavo zahtevnih varjenih jeklenih konstrukcij. Nove vrste teh jekel, ki so praviloma poboljšana (npr. jeklo NIOMOL) imajo nižje vsebnosti ogljika in jih je mogoče hladno preoblikovati še pri debelinah nad 50 mm. Ta jekla so legirana z Nb, V, Mo in Ti posamezno ali v kombinaciji ter vsebujejo minimalno 0,020% Al. Načeloma so torej ta jekla odporna proti staranju, vsaj proti tistemu delu staranja, ki ga povzroča dušik v jeklu. Kljub temu za tovrstna jekla standardno določamo temperaturno odvisnost žilavosti za starano stanje. Preizkus staranja se izvede na 10% deformiranih vzorcih žarjenih 1/2 ure pri temperaturi 250°C. Žilavost v staranem stanju se meri skladno z veljavnim standardom na DVM preizkušancih, v raziskovalne namene pa tudi na preizkušancih drugačne geometrije.

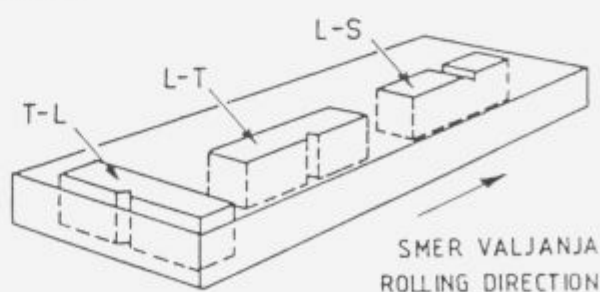
2 Eksperimentalni del

Za raziskave smo uporabili različne vrste drobnozrnatih mikrolegiranih jekel Železarne Jesenice. Tem jeklom smo za primerjavo dodali še jekli vrste Č.1204 oziroma Č.0562. Kemijske analize jekel so zbrane v tabeli 1, kjer so navedene tudi debeline preiskanih jekel.

Metalografska preiskava je pokazala, da imamo opraviti z jekli, katerih mikrostruktura je sestavljena pretežno iz ferita z manjšimi deleži perlita. Mikrostruktura teh jekel je običajno izrazito trakasta (Č.1204, Č.0562 in NIOVAL 47). Predstavnik jekel s feritno-bainitno mikrostrukturo je jeklo NIOMOL 490 K, medtem, ko imata jekli

NIONICRAL 70 oziroma NIONICRAL 96 mikrostrukturo bainitno-martenzitnega tipa.

Jekla smo obravnavali v dobavnem in staranem stanju. Iz naštetih jekel smo izdelali večje število Charpyjevih preizkušancev z V zarezo za merjenje udarne žilavosti, nadalje ploščate upogibne preizkušance tipa P3, dimenzij 15,9 × 51 × 127 mm s trdim navarkom na površini, za merjenje temperature ničelne duktilnosti (T_{NDT}) s padnim preskusom ter cilindrične natezne preizkušance premera 10 mm.



Slika 1. Orientacija Charpy-V žilavostnih preizkušancev.

Figure 1. Orientation of the Charpy-V toughness specimens.

Vse preizkušance smo orientirali v prečni smeri, torej tako, da je bila vzdolžna os preizkušancev pravokotna na smer valjanja. Charpyjevim preizkušancem je ustrezala orientacija T-L na sliki 1, ki daje, kot je znano¹, najkonzervativnejše vrednosti žilavosti. Zareze na drop-weight preizkušancih pa iz razumljivih razlogov niso mogle biti

Tabela 1. Kemijska sestava jekel v uf.-%

Vrsta jekla	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	V
NIOVAL 47 (20 mm)	0.19	0.42	1.49	0.013	0.005		0.13	0.10	0.04	0.01	0.050	0.07
NIOVAL 47 (65 mm)	0.14	0.33	1.53	0.014	0.005		0.16	0.15	0.01	0.01	0.042	0.07
NIONICRAL 70 (20 mm)	0.11	0.28	0.27	0.009	0.007	0.20	1.07	2.80	0.26	0.01		0.06
NIONICRAL 70 (50 mm)	0.11	0.37	0.34	0.009	0.003	0.17	1.03	2.63	0.27	0.01		0.08
NIONICRAL 96 (50 mm)	0.14	0.29	0.51	0.017	0.009	0.21	1.64	2.76	0.42	0.01		0.01
NIOMOL 490 K (60 mm)	0.05	0.35	0.42	0.011	0.004	0.40	0.75	0.29	0.33	0.01	0.058	
Č.0562 (25 mm)	0.17	0.32	1.28	0.020	0.009	0.35	0.21	0.23	0.05	0.01	0.003	
Č.0562 (80 mm)	0.18	0.46	1.29	0.036	0.004	0.22	0.30	0.15	0.03	0.01	0.001	
Č.1204 (30 mm)	0.21	0.25	0.51	0.011	0.025	0.09	0.02	0.04	0.01	0.01	0.050	

orientirane od stranskih ploskev pločevine navznoter, torej z boka pločevine tako, kot pri žilavostnih preizkušancih, pač pa le z zgornje oziroma spodnje površine pločevine, torej z glavnih površin ploščatih preizkušancev proti notranjosti. Charpyjevo udarno žilavost smo merili v temperaturnem območju od 80°C do -196°C, razen v primerih, ko tako širok temperaturni interval ni bil potreben. Prehodna temperatura je bila določena po kriteriju arbitrarne vrednosti žilavosti T_{27J} . Temperaturo ničelne duktilnosti smo izmerili s padnim preskusom po ASTM E 208.

Določanje mehanskih lastnosti jekel s cilindričnimi nateznimi preizkušanci premera 10 mm je prikazano na sliki 2.

3 Rezultati

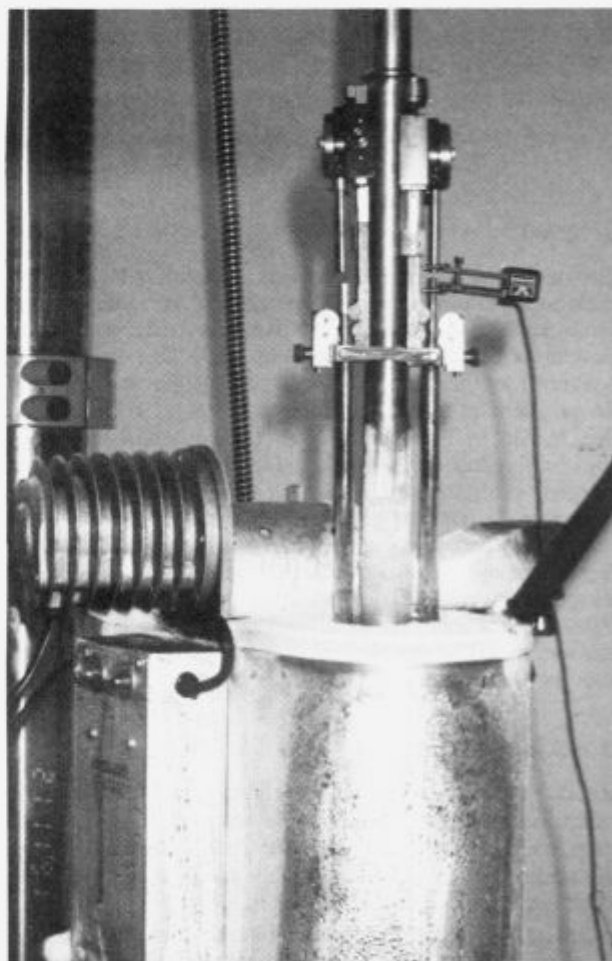
Rezultati preiskav jekel v dobavnem in staranem stanju so razvidni iz tabel 2 in 3, diagramsko pa na slikah 3 in 4, kjer so prikazane Charpyjeve žilavosti v odvisnosti od temperatur testiranja, vrtane pa so tudi temperature ničelne duktilnosti.

Napetosti tečenja zbrane v tabelah 2 in 3 so bile izmerjene pri sobni temperaturi, mehanske lastnosti pa smo merili v širokem temperaturnem intervalu, v katerem smo merili tudi Charpyjevo udarno žilavost. Takšno merjenje mehanskih lastnosti pri nizkih temperaturah je prikazano na sliki 2.

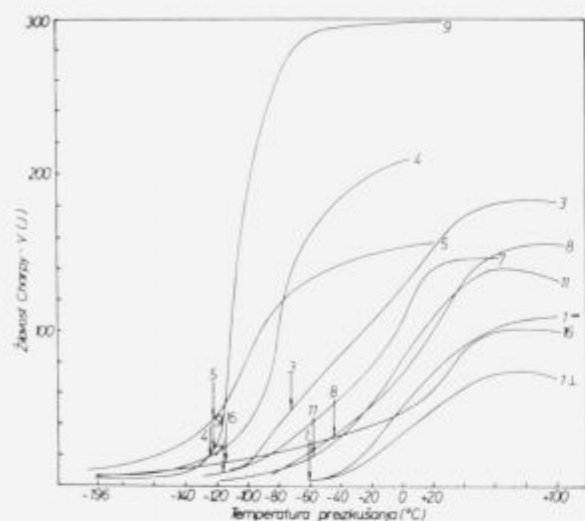
4 Diskusija rezultatov, zaključki

Medsebojna primerjava diagramov s slik 3 in 4, pa tudi vrednosti navedene v tabelah 2 in 3 kažejo, da se zaradi staranja Charpyjeve temperature prehoda premaknejo k višjim vrednostim. Ta pomik je pri različnih jeklih različen in znaša približno 30° – 50°, razen pri jeklu NIONICRAL 70 debeline 20 mm, kjer je ta premik znašal le 10°.

V nasprotju s tem pa se temperature ničelne duktilnosti zaradi staranja jekla pomaknejo k nižjim vrednostim, kar je v nasprotju s pričakovanji. Napetost tečenja se zaradi staranja jekla tudi nekoliko poveča.



Slika 2. Natezni preizkus jekla pri nizkih temperaturah.
Figure 2. Tensile testing of steel at low temperatures.



Dobavno stanje

Oznaka	Jeklo	t (mm)
1	Č.1204	30
3	NIOVAL 47	20
4	NIONICRAL 70	50
5	NIONICRAL 70	20
7	Č.0562	25
8	Č.0562	80
9	NIOMOL 490 K	60
11	NIOVAL 47	65
16	NIONICRAL 96	50

Slika 3. Odvisnost Charpy-V žilavosti od temperatur testiranja - dobavno stanje. S puščicami so označene temperature ničelne duktilnosti.

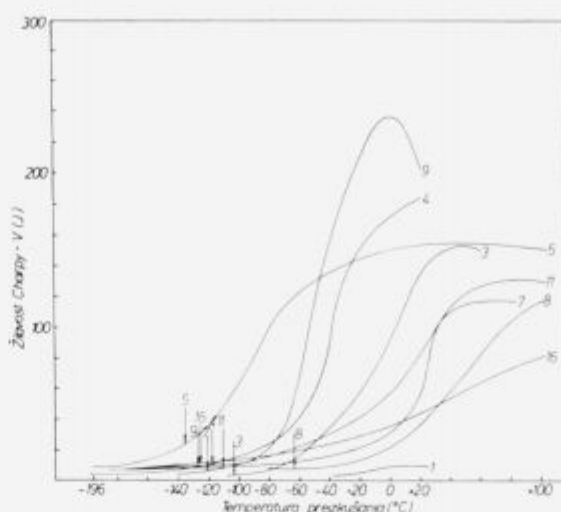
Figure 3. Relation between the Charpy-V toughness and testing temperature - as purchased. Arrows are marking the nil-ductility temperature.

Domnevamo lahko, da navarjanje trdega navara na Drop Weight preizkušance povzroči rekristalizacijo tankega sloja pod navarom ter na ta način izboljša temperature prehoda v krhko stanje. Takšno izboljšanje je seveda le navidezno in v takšnem primeru so uporabnejši rezultati Charpy-jevega merjenja žilavosti.

Nadaljne raziskave usmerjamo v merjenja nizkotemperaturne lomne žilavosti, odgovorile pa naj bi na vprašanje, kateri test je relevantnejši.

Tabela 2. Rezultati preiskav jekel v dobavnem stanju

Vrsta jekla	Debelina (mm)	σ_y (MPa)	T_{NDT} (°C)	T_{27J} (°C)
NIOVAL 47	20	442	-72	-88
NIOVAL 47	65	417	-57	-46
NIONICRAL 70	20	373	-123	-140
NIONICRAL 70	50	726	-124	-110
NIONICRAL 96	50	1003	-115	-57
NIOMOL 490 K	60	414	-122	-120
Č.0562	25	366	-115	-74
Č.0562	80	355	-45	-50
Č.1204	30	265	-60	-7



Starano stanje

Oznaka	Jeklo	t (mm)
1	Č.1204	30
3	NIOVAL 47	20
4	NIONICRAL 70	50
5	NIONICRAL 70	20
7	Č.0562	25
8	Č.0562	80
9	NIOMOL 490 K	60
11	NIOVAL 47	65
16	NIONICRAL 96	50

Slika 4. Odvisnost Charpy-V žilavosti od temperatur testiranja za starano stanje (10% deformacija v hladnem, 30'/250°C). S puščicami so označene temperature ničelne duktilnosti.

Figure 4. Relation between the Charpy-V toughness and the testing temperature, as aged (10% cold deformation, 30 mins, 250°C).

Tabela 3. Rezultati preiskav jekel v staranem stanju (10% hladna deformacija, 30'/250°)

Vrsta jekla	Debelina (mm)	σ_y (MPa)	T_{NDT} (°C)	T_{27J} (°C)
NIOVAL 47	20	647	-104	-48
NIOVAL 47	65	678	-110	-8
NIONICRAL 70	20	883	-135	-130
NIONICRAL 70	50	896	-117	-74
NIONICRAL 96	50	1149	-125	-26
NIOMOL 490 K	60	579	-126	-74
Č.0562	25	586	-120	-48
Č.0562	80	631	-63	8
Č.1204	30	484	-101	*

* Vrednosti Charpy-v energije so pod 27 J!

5 Literatura

- Metals handbook, Properties and Selection of Metals, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 8 Edition, Vol. 1, 229.
- Tyson, W.R.: Canadian Metallurgical Quarterly, 22 (1983), No. 2, 219-224.
- Okamoto S., Toyama M., Inoue T.: Transactions ISIS, 27, (1987), 474-477.

- ⁴ Mekkawy M.F., El-Fawakhry K.A., Mishreky M.L., Eissa M.M.: *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 19, (1990), 246–256.
- ⁵ Hall E.O., *Proc. Pays. Soc. Series B*, 64, (1951), 747.
- ⁶ Petch N.J.: *J Iron Steel Inst.*, 174, (1953), 25.
- ⁷ Okumura N.: *Metal Science*, Vol. 17, (1983), 581–589.
- ⁸ Curry D.A., KNOT J.F.: *Metal Science*, (1978), 511–514.
- ⁹ Dahl W., Hengstenberg H., Behrens H.: *Stahl u. Eisen*, 88, (1968), No. 11, 578–596.
- ¹⁰ Dahl W., Hengstenberg H., Behrens H.: *Stahl u. Eisen*, 87, (1967), 1030–1047.
- ¹¹ Woodhead J.H.: *Review of principles of microalloyed bar and forging steels*, University of Sheffield, (1984).
- ¹² Morrison W.B.: *Controlled Processing of High Strength Low Alloy Steels*, (1976), B.S.C. Conference, University of Leeds, Paper No. 1.
- ¹³ Meyer L., Buehler H.E., Heisterkamp F.: *Tyssenforschung*, 3, (1971), 1-2, 8–43.
- ¹⁴ Meyer L., Heisterkamp F.: *Tyssenforschung*, 3, (1971), 1-2, 44–65.
- ¹⁵ Roos E., Demler T., Eisele U., Gillot R.: *Steel Research*, 61, (1990), 4, 172–180.
- ¹⁶ Tyson W., Harbec J.: *International Journal of Fracture*, 25, (1984), 133–141.
- ¹⁷ Gvardjančič Vojvodič J.: *Lomne značilnosti drobnozrnatega mikrolegiranega jekla NIOMOL 490* (magistrska naloga, 1990).