

TEHNIČNE NOVICE

Nikljeva konstrukcijska jekla za nizke temperature

S. Ažman¹⁾

V svetu so znana posebna konstrukcijska jekla na bazi 3,5, 5 ali 9 % niklja. Njihova glavna posebnost je v tem, da obdržijo dobro žilavost v temperaturnem območju med -100 in -196°C . Uporabljajo se predvsem za transport in shranjevanje tekočih plinov.

Tudi v železarni Jesenice smo razvili domača jekla tega tipa.

V našem dosedanjem raziskovalnem delu smo prišli do zaključkov, da nekateri legirni elementi v jeklu ugodno ali neugodno vplivajo na žilavost pri nizkih temperaturah, ki je najpomembnejša lastnost teh jekel.

V raziskovalni nalogi smo skušali odgovoriti na naslednja vprašanja:

1. kakšen je medsebojni vpliv učinkovanja elementov Ni, Mo, V, C na žilavost pri nizkih temperaturah,

2. kakšen je vpliv toplotne obdelave na lastnosti različnih variant jekla,

3. kakšne so lomne lastnosti pri nizkih temperaturah,

4. kakšen je medsebojni vpliv preje omenjenih dejavnikov.

Za praktično delo smo si izbrali tri osnovna jekla s 3,5, 5 in 9 % niklja, ki smo jih izdelali z nizkim (0,05 %) in visokim (0,25 %) ogljikom.

Tako dobljenim osnovnim jeklom smo dodali:

— dve vrednosti molibdena,

— eno vrednost V,

— kombinirano Mo in V.

Ostale elemente smo skušali obdržati konstantne, kar je bilo najbolj mogoče. Vseh 30 variant jekla smo toplotno obdelali na šest različnih načinov. (Oznake toplotnih obdelav od 1 do 6 po **sliki 1**).

Eksperimentalno delo nas je privedlo do naslednjih ugotovitev:

1. Izredno močan negativen učinek na žilavost ima visok ogljik. Jekla z visokim ogljikom (0,25 %) imajo bistveno slabše vrednosti žilavosti kot jekla z nizkim ogljikom (0,05 %), čeprav je njihova mikrostruktura izjemno fino zrnata (ocena 13–14 po ASTM velikosti zrna ca. $1,5\ \mu\text{m}$).

To velja za vse tri temperature preizkušanja (-60°C , -100°C , -196°C). **Slike 1, 2 in 3** — variante 2, 4, 6, 14, 16, 18, 20, 22, 24.

2. Nikelj je osnovni legirni element, ki na žilavost vpliva v pozitivni smeri in pri dodatku 9 % močno ublaži negativen učinek visokega ogljika.

Opazili smo, da imajo jekla s 3,5 in 5 % dodanega niklja pri -60°C boljšo žilavost od jekel z 9 %. Pri -100°C se jeklu s 3,5 % Ni žilavost približuje meji za krhki lom, medtem ko žilavost jekla s 5 ali 9 % Ni še ne pade.

Pri -196°C sta jekli s 3,5 in 5 % Ni popolnoma krhki, medtem ko jeklo z 9 % ostane žilavo. Torej ima jeklo z

9 % Ni nižjo izhodno žilavost, ki pa se le malo zmanjša pri -196°C .

3. Vpliv V in Mo ter kombinacija obeh elementov v optimalnih dodatkih le rahlo ugodno vpliva na žilavost s tem, da imamo manjše sipanje rezultatov. Učinek omenjenih dodatkov je manjši, kot smo pričakovali, vendar vseeno lahko opazimo tudi nekaj višje žilavostne vrednosti pri -196°C . Zaradi velikega števila preizkusov in velikega števila vplivnih dejavnikov se vpliv legirnih dodatkov Mo, V in kombinacije pokaže šele z računalniško obdelavo. **Sliki 2 in 3** variante 13, 15, 17, 19, 21, 23.

4. Zelo zanimiv je vpliv toplotne obdelave. Izkaže se, da je poboljšanje ugodnejše od normalizacije. Pri tem nam je uspelo najti toplotno obdelavo, ki močno odstopa od ostalih. To je toplotna obdelava št. 4, ki vsebuje homogenizacijo in poboljšanje. Jeklo (z nizkim C), ki je bilo obdelano po tej toplotni obdelavi, kaže pri -196°C praktično enako žilavost kot pri -60°C .

Presenetljivo je, da je tako toplotno obdelano jeklo s 3,5 % in 5 % Ni pri -196°C bolj žilavo od jekla z 9 % Ni. (**Slike 1, 2 in 3** variante 1, 3, 13, 15, 19, 21). Rezultate smo potrdili s ponovnimi poizkusi.

Če enako jeklo izdelamo z visokim ogljikom (0,25 %), vse dobre lastnosti izginejo. **Slike 1, 2 in 3** — variante 2, 4, 14, 16, 20, 22.

Tabela 1: Toplotne obdelave

Št. topl. obdel.	Toplotna obdelava
1.	normalizacija + popuščanje
2.	homogenizacija (1 ura) + normalizacija + popuščanje
3.	homogenizacija (6 ur) + normalizacija + popuščanje
4.	homogenizacija (1 ura) + poboljšanje
5.	homogenizacija (6 ur) + poboljšanje
6.	poboljšanje

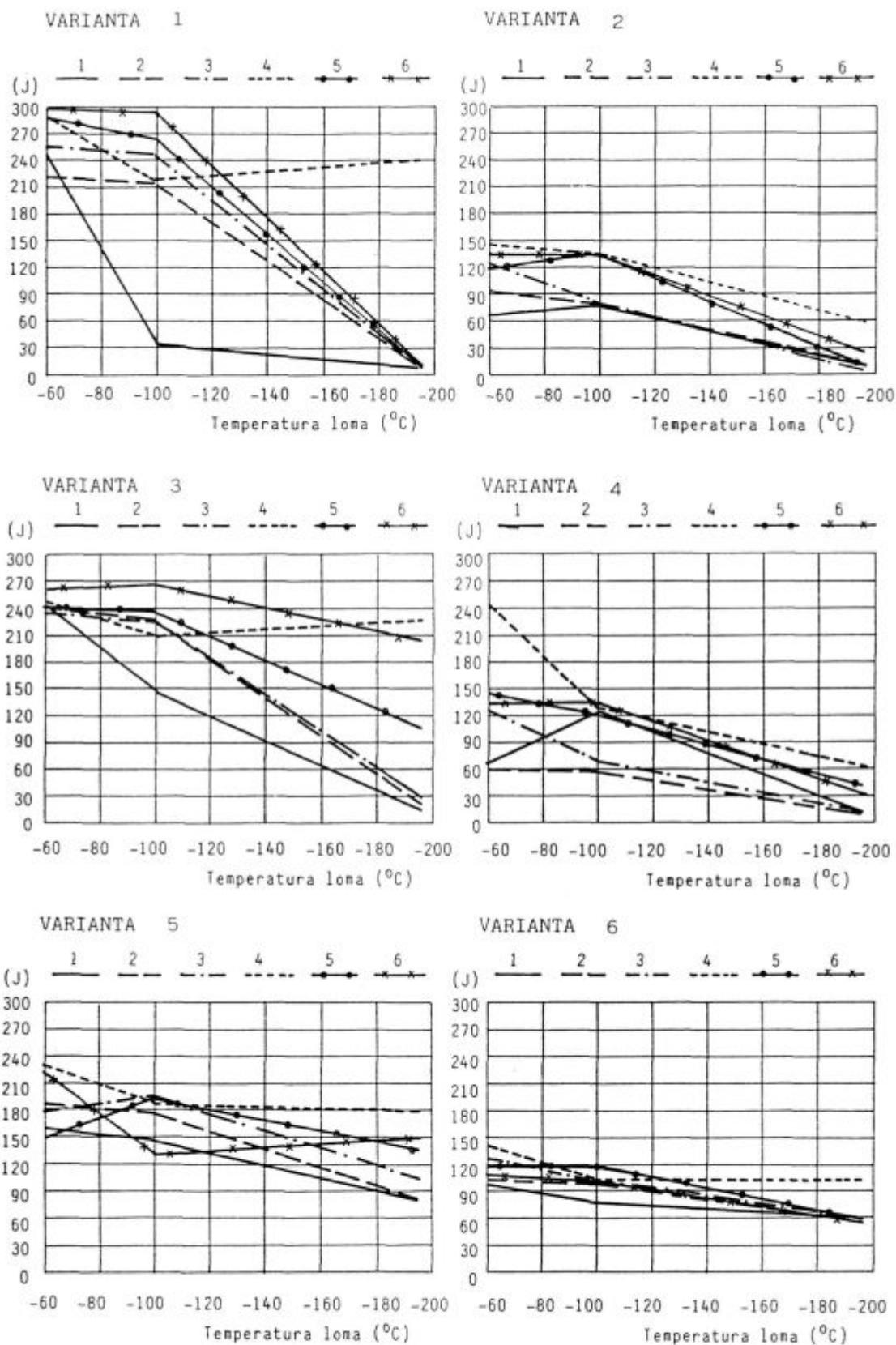
Oglejmo si lome in mikrostrukture za jekla s 3,5, 5 in 9 % Ni, ki so bila toplotno obdelana po režimu 2 in 4. Lomi so prikazani na **sliki 4**, mikrostrukture pa na **sliki 5**. Ugotovimo lahko, da imamo pri vzorcih, obdelanih po režimu 4, izrazito žilav, jamičast lom, medtem ko kažejo enaki vzorci, toplotno obdelani po režimu 2, krhek interkristalen lom. Le pri jeklu z 9 % Ni je lom pretežno žilav.

Pri sobni temperaturi v mikrostrukturi vzorcev, obdelanih po režimu 4 in 2, ni mogoče opaziti kakšnih posebnih razlik, čeprav so razlike v žilavosti in mehanizmu loma pri enakih vzorcih ogromne. Na vzorcih jekla s 3,5 in 5 % Ni opazimo ferit in Ni martenzit, medtem ko imajo vzorci z 9 % Ni še zaostali avstenit.

Za zaključek lahko rečem, da smo v obširni raziskovalni nalogi ugotovili glavne vplivne dejavnike na lastnosti Ni konstrukcijskega jekla.

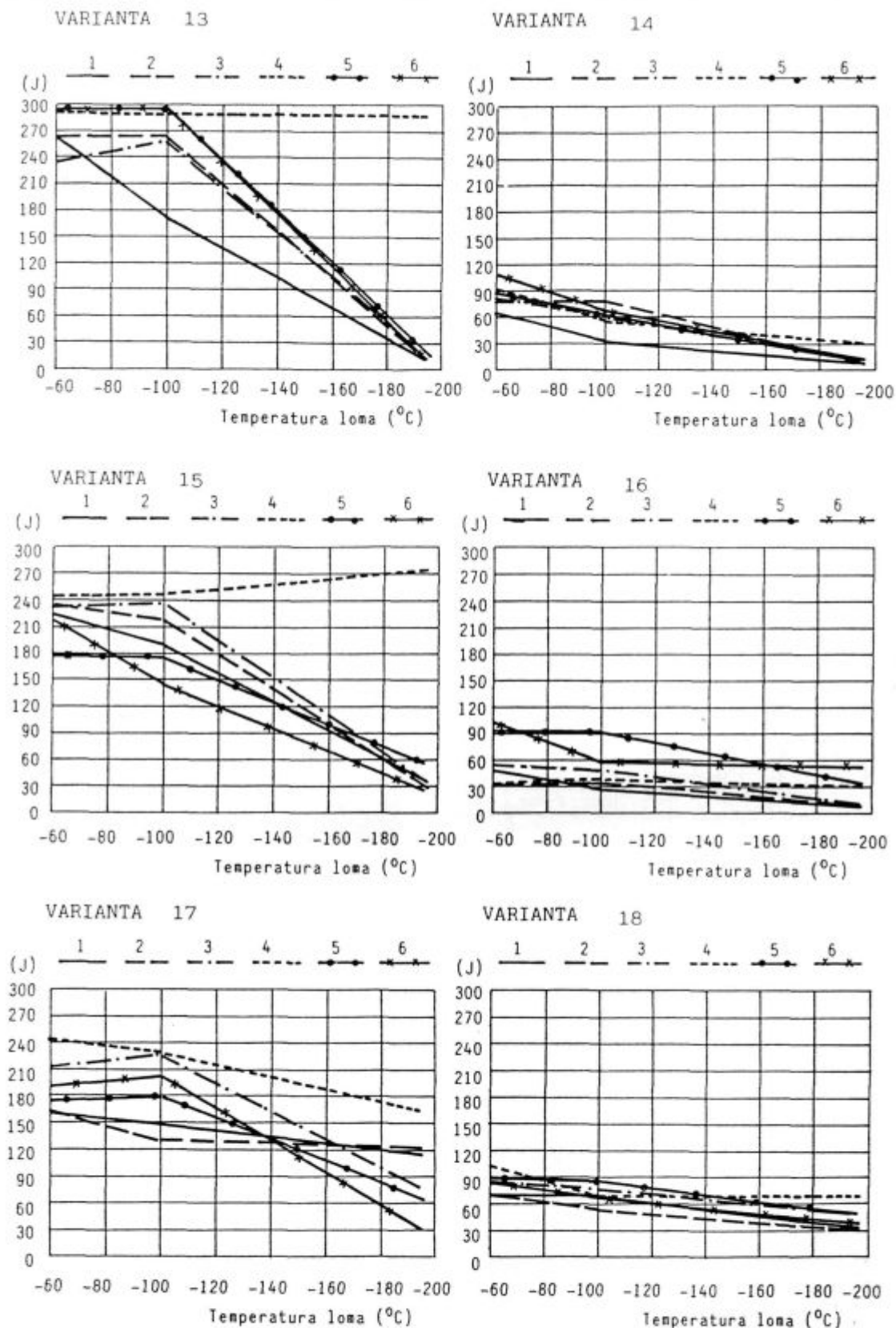
S primerno toplotno obdelavo in izbiro legirnih dodatkov nam je uspelo izdelati jeklo, ki bo vsebovalo samo 3,5 % Ni namesto 9. To pomeni bistven prihranek pri legurah in znižanje cene jekla.

¹⁾ Slavko Ažman, dipl. ing. met., SŽ — Železarna Jesenice



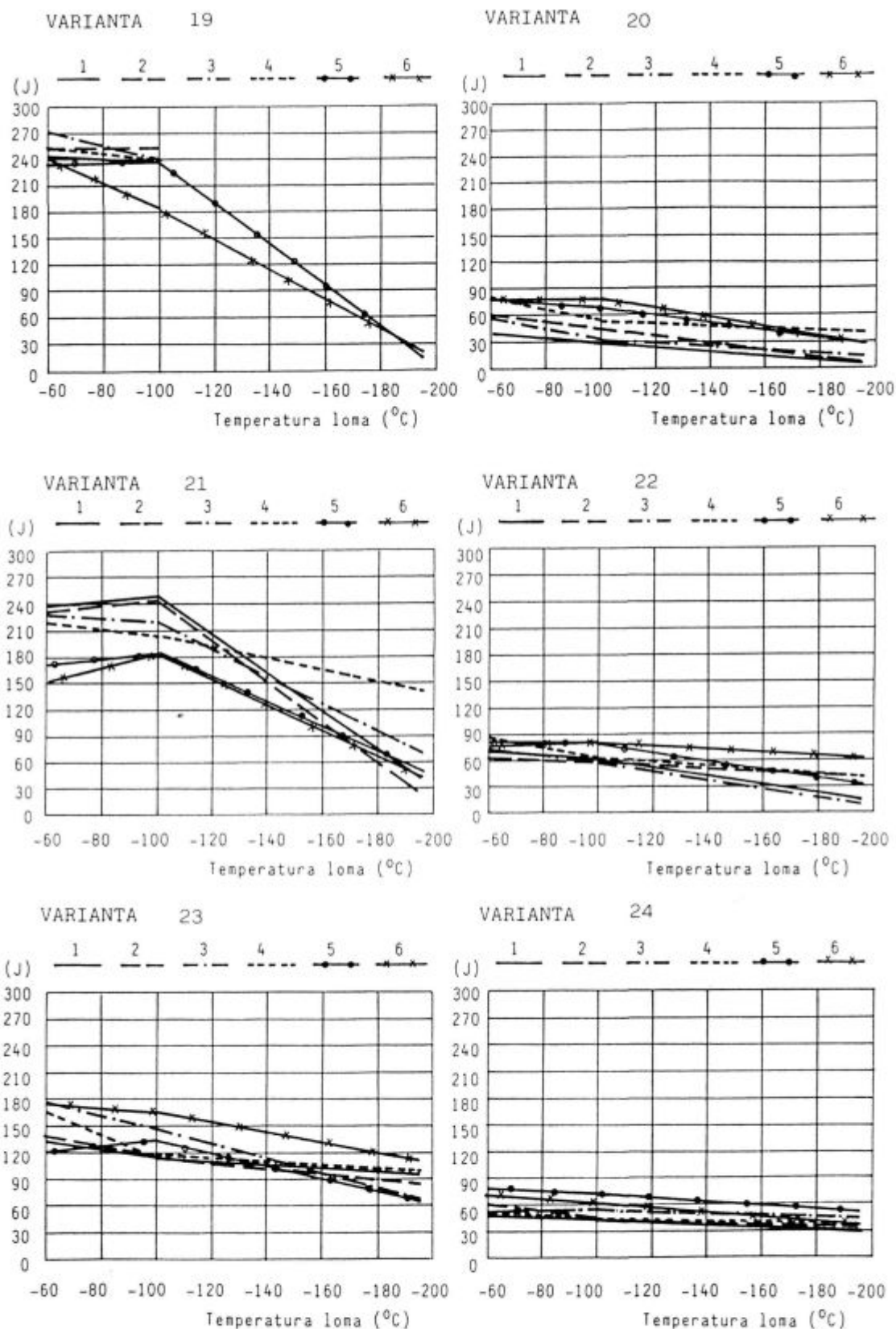
Slika 1

Žilavost osnovnih jekel:
 s 3,5 % Ni — varianti 1, 2
 s 5,0 % Ni — varianti 3, 4
 z 9,0 % Ni — varianti 5, 6



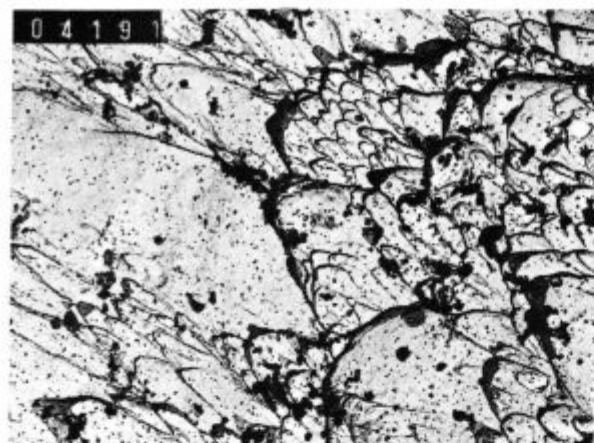
Slika 2

Žilavost jekel z dodatkom V:
 3,5 % Ni — varianti 13, 14
 5,0 % Ni — varianti 15, 16
 9,0 % Ni — varianti 17, 18



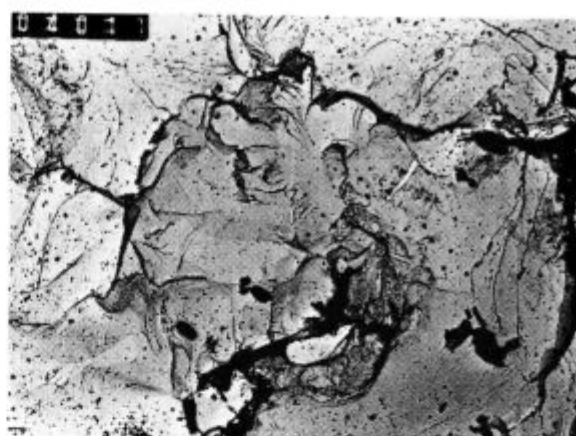
Slika 3
 Žilavost jekla z dodatkom V in Mo
 3,5 % Ni — varianti 19, 20
 5,0 % Ni — varianti 21, 22
 9,0 % Ni — varianti 23, 24

Toplotna obdelava št. 4

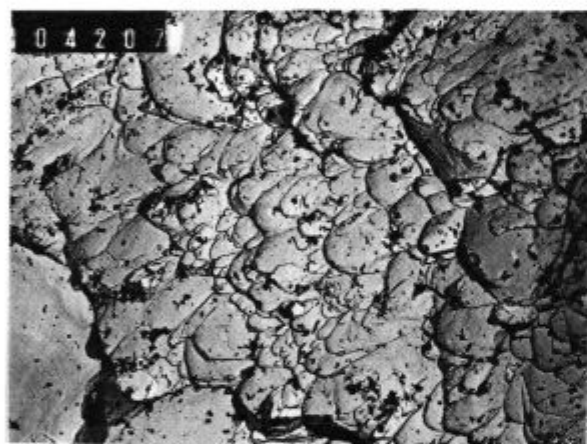


3.5 % Ni - pov. 5900 X

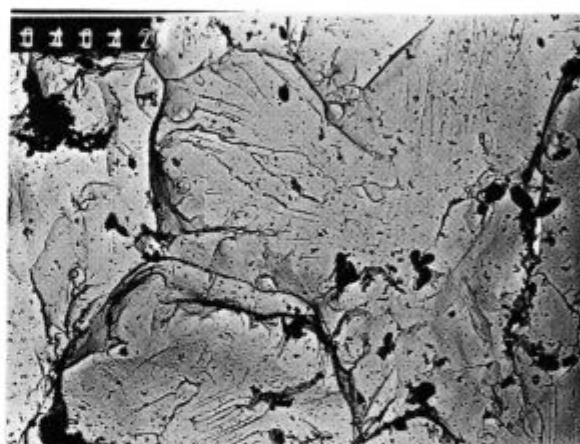
Toplotna obdelava št. 2



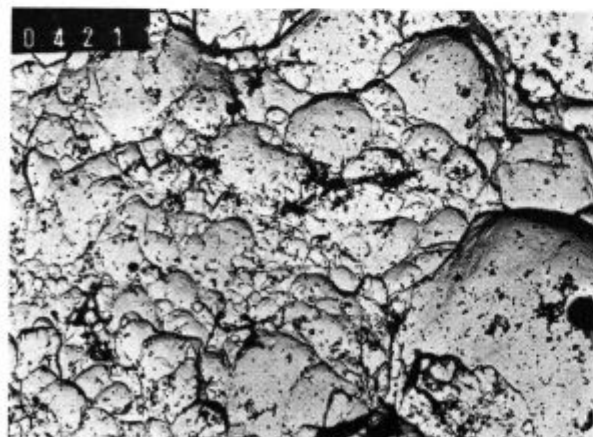
3.5 % Ni - pov. 5900 X



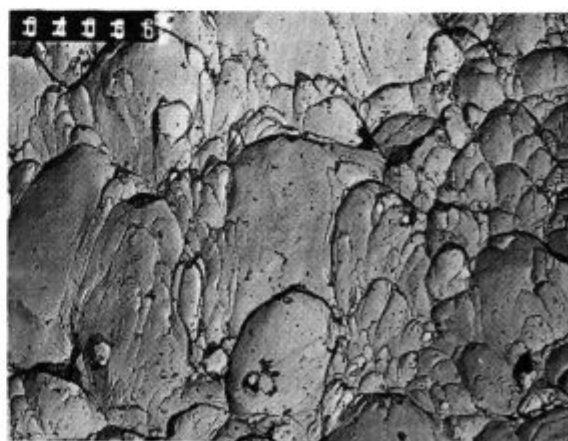
5 % Ni - pov. 5900 X



5 % Ni - pov. 5900 X



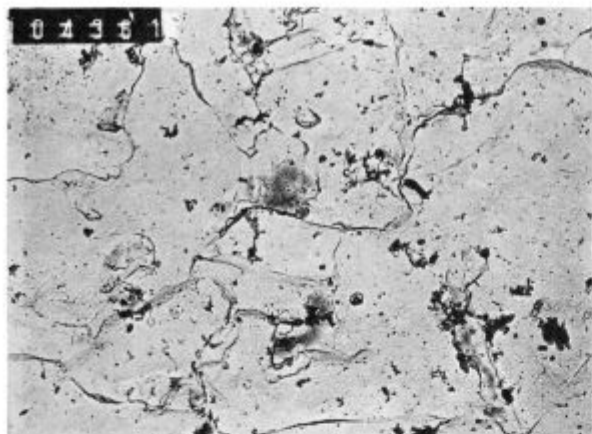
9 % Ni - pov. 5900 X



9 % Ni - pov. 5900 X

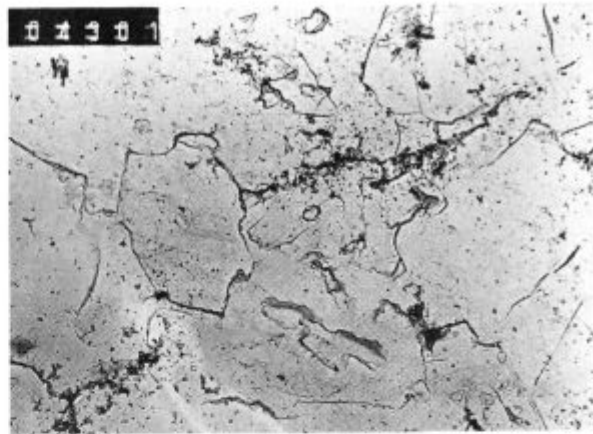
Slika 4
Lomi pri -196°C

Toplotna obdelava št. 4

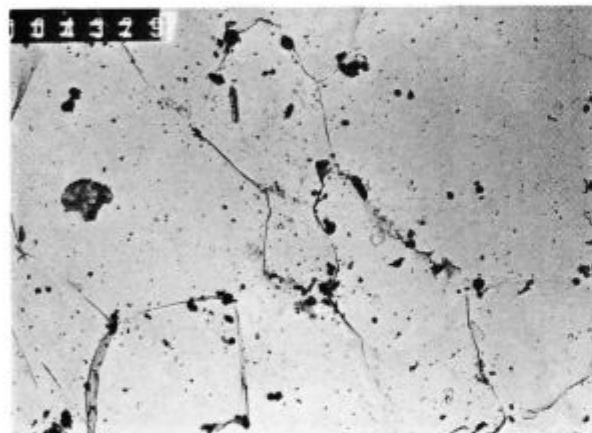


3.5 % Ni - pov. 7500 X

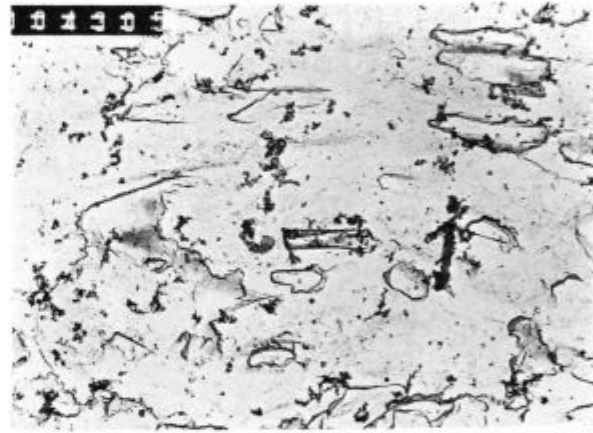
Toplotna obdelava št. 2



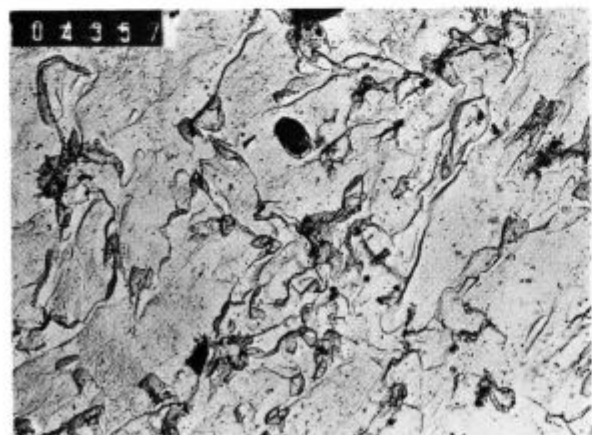
3.5 % Ni - pov. 7500 X



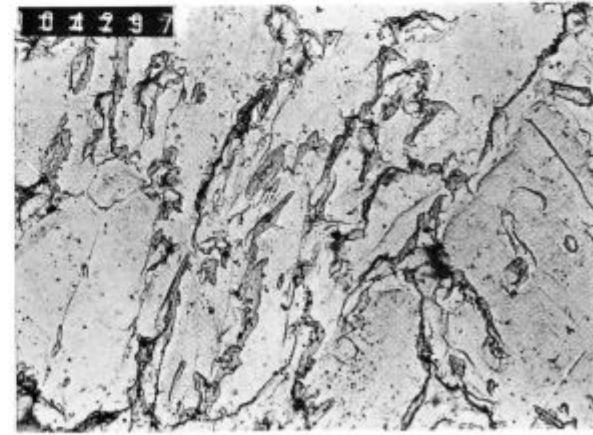
5 % Ni - pov. 7500 X



5 % Ni - pov. 7500 X



9 % Ni - pov. 7500 X



9 % Ni - pov. 7500 X

Slika 5
Mikrostrukture

POVZETEK

Pri razvoju domačega jekla z 9 % Ni smo prišli do določenih izkušenj, kako ob niklju na jeklo vplivajo različni dodatki ostalih legirnih elementov kot C, Mo in V.

Ekperimentalno delo nas je privedlo do naslednjih ugotovitev:

- Visok ogljik ima negativen vpliv na žilavost
- Nikelj vpliva pozitivno na žilavost
- Vpliv Mo in V je pozitiven vendar dokaj neznamenit
- Bistveno je važna toplotna obdelava.

Močno izstopa toplotna obdelava, ki vsebuje poboljšanje.

S primerno toplotno obdelavo in izbiro legirnih dodatkov smo uspeli izdelati jeklo, ki bo vsebovalo samo 3,5 % Ni namesto 9 %, kar pomeni znižanje cene jekla.

LITERATURA:

1. Petr Pahuta, Zdeňek Janik, Ludmila Hyspecka, Karel Maranec: Structure of 9 Ni and 9 NiMo Steels for Cryogenic Applications Transactions ISIJ, 26, 1986, 7, 649—654
2. J. Žvokelj: Malociklično utrujanje kovin, Metalurški inštitut, Ljubljana, 1982 (nal. 82—039)
3. J. R. Strife, D. E. Passoja: The Effect of Heat Treatment on Microstructure and Cryogenic Fracture, Properties of 5 Ni and 9 Ni Steel, Metall. Trans. A, 11 A, 1980, 1341—1359 A
4. Fu-Tian Zang, Yun Yi Guo: On the Structure of Ni 9 Steel and its Tensile Fracture Behavior, Steel Research, 60, 1989
5. Robert H. van der Jagt, Jenő Beyer: Thermal and Thermo-mechanical Treatment of 9 % Ni Steel, Arch. Eisenhüttenwes. 50, 1979, 389—393
6. Y. Nakamo, S. Suzuki, A. Kamada, K. Hirose: Crack Initiation and Arrest Characteristics of 9 % Ni Steels with Various Charpy V-notch Energy Values, Plenum Press, New York, 1982
7. J. Žvokelj: Jeklo za nizke temperature I: Prispevek k problemu popustne krhkosti 9 % Ni jekla, Metalurški inštitut, Ljubljana, 1966 (nal. 524/a)
8. J. Žvokelj: Jeklo za nizke temperature II: Možnost zamenjave niklja z manganom v 9 % Ni jeklu za nizke temperature, Metalurški inštitut, Ljubljana, 1967 (nal. 524/c)
9. J. Žvokelj: Popustna krhkost 9 % nikljevega jekla, Metalurški inštitut, Ljubljana