

VPLIV STOPNJE PLASTIČNE DEFORMACIJE V HLADNEM NA LASTNOSTI JEKLA 19MNCR18

THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF COLD PLASTIC DEFORMATION ON THE PROPERTIES OF 19MNCR18 STEEL

Ferdinand Grešovnik, Marija Magdalena Grešovnik

SŽ – Metal Ravne, d. o. o., Koroška cesta 14, 2390 Ravne na Koroškem, Slovenija
ferdinand.gresovnik@sz-metal.si

Prejem rokopisa – received: 2003-09-23; sprejem za objavo – accepted for publication: 2003-12-22

Jeklo 19MNCR18 ima pri sobni temperaturi stabilno avstenitno strukturo. Pogosto se zaradi povišanja meje plastičnosti ne uporablja samo v gašenem stanju, ampak v dodatno hladno utrjenem stanju. Znano je, da se pri nekaterih drugih avstenitnih jeklih (PK11, PK12 in podobna) pri tem del faze γ pretvori v fazo α , kar ima za posledico, da postane jeklo delno feromagnetno – permeabilnost se zelo poveča. Preverili smo, kako se glede tega vede jeklo 19MNCR18. Merili smo, kako se s stopnjo hladne deformacije spreminjajo:

- mehanske lastnosti, ki jih določimo z nateznim preizkusom
- žilavost
- fazna sestava
- permeabilnost
- popačenje kristalne mreže

Za izhodišče smo vzeli vroče valjani profil ϕ 26 mm v gašenem stanju in ugotovili njegove lastnosti. Izdelali smo velike natezne preizkušance in jih natezno obremenjevali z različnimi silami in izmerili plastično deformacijo. Iz oslavljenih delov teh preizkušancev smo izdelali manjše natezne preizkušance, žilavostne preizkušance in preizkušance za merjenje permeabilnosti. Pri ostankih žilavostnih preizkušancev smo izvedli rentgensko strukturno analizo.

Ključne besede: avstenitna jekla, hladna utrditve, mehanske lastnosti, permeabilnost, rentgenska strukturna analiza

19MNCR18 steel has a stable austenitic structure at room temperature. Because of the need to raise the yield point, this steel is frequently used not only in the quenched condition but also after additional cold strengthening. It is known that in some other austenitic steels (such as AISI 304, 316 and similar) this operation produces some transformation of γ -phase into α -phase and the consequence is that the steel becomes partially ferromagnetic – the permeability is significantly increased. We have proved the behavior of 19MNCR18 steel in this respect. We have measured how the degree of cold plastic deformation changes:

- mechanical properties as determined by tension test
- impact toughness
- phase composition
- permeability
- distortion of the crystal lattice

As a starting point, the hot-rolled profile dia. 26 mm in the quenched condition was used, and the properties were determined. Big tensile-test pieces were machined and loaded up to different forces and the plastic strain was measured. From deformed parts of the test pieces smaller tensile test pieces, impact test pieces and test pieces for the measurement of permeability were machined. For X-ray diffraction analysis, halves of the broken impact test pieces were used.

Key words: austenitic steels, cold-work hardening, mechanical properties, permeability, X-ray diffraction

1 UVOD

Za dušik je znano, da znatno vpliva na lastnosti avstenitnih jekel, zlasti povečuje njihovo trdnost in korozijsko odpornost, hkrati pa zadržuje visoko žilavost¹. Posebej pomembno je povečanje termodinamične stabilnosti avstenita zaradi prisotnega dušika, kar omogoča znižanje vsebnosti dragega niklja in celo izdelavo avstenitnih jekel brez niklja. Taka so mangan-krom-dušikova jekla, ki se uporabljajo za pridrževalne obroče velikih električnih generatorjev.

Trdnost pridrževalnih obročev je omejevalni dejavnik za kapaciteto generatorja. Z uporabo stabilnih avstenitnih nemagnetnih jekel ter s kombinacijo trdnoraztopinskega in hladnega utrjevanja lahko dosežemo mejo plastičnosti preko 1000 N/mm², ne da bi se tvorila kakšna feromagnetna faza. Pri obeh mehanizmih utrje-

vanja se je dušik pokazal bolj učinkovit kot ogljik. Poleg tega imajo Mn-Cr-N jekla boljšo odpornost proti napetostni koroziji. To je še posebej pomembno zaradi dejstva, da so se v zadnjem obdobju zaradi izboljšanih izolacijskih materialov povečale dopustne temperature generatorjev od 90 °C na 130 °C.

Cilj te študije je ugotoviti vpliv stopnje hladne plastične deformacije jekla 19MNCR18 na mehanske lastnosti, strukturno stabilnost in permeabilnost.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Za izvedbo poskusov smo ostanek 10-tonskega ingota iz jekla 19MNCR18, ki pripada šarži 77854, prekovali v gredico kv. 90 mm, le-to pa smo potem prevaljali v profil ϕ 26 mm. Kemijska sestava šarže 77854

Tabela 1: Kemijska sestava šarže 77854 v masnih deležih, w/%

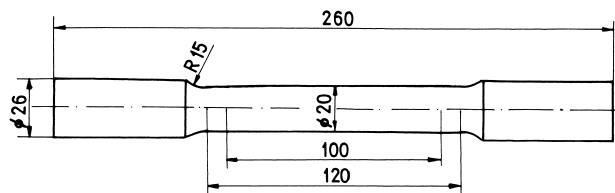
Table 1: Chemical composition of heat 77854 in mass fractions, w/%

C	N	Mn	Cr	Si	Mo	Ni	V	P	S
0,11	0,41	19,0	18,0	0,43	0,03	0,09	0,03	0,015	0,008

Tabela 2: Mehanske lastnosti jekla 19MNCr18 pred gašenjem in po njem

Table 2: Mechanical properties of 19MNCr18 steel before and after quenching

Stanje	$R_{p0,2}/(N/mm^2)$	$R_m/(N/mm^2)$	$A5/\%$	$Z/\%$	KV/J
surovo	480	817	48	70	281, 283, 270
gašeno	490	831	48	68	282, 286, 270



Slika 1: Veliki natezni preizkušalec (dimenzije so v milimetrih)

Figure 1: Big tensile test specimen (dimensions are in millimeters)

je podana v **tabeli 1**. Z ločilko narezane palice so bile ohlajene na zraku. V surovem stanju smo našagali 260 mm dolge kose in vse gasili s temperature 1050 °C (30 min) v vodi. Na sredini kosov so bile postružene oslabitve in s tem smo dobili velike natezne preizkušance (**slika 1**). Prvi tak preizkušalec smo obremenjevali do pretrganja in s tem dobili podatke o območju natezних sil, ki še omogočajo kontrolirano deformacijo mernega dela preizkušalca. Poleg tega smo iz gašenega kosa izdelali navadni natezni preizkušalec tipa Z z mernim delom ϕ 10 mm \times 50 mm, tri žilavostne preizkušance z zarezi ISO-V in preizkušalec za merjenje permeabilnosti paramagnetnih materialov po standardu ASTM. S tem smo dobili podatke o lastnostih pri izhodnem gašenem stanju. Ostanke žilavostnih preizkušancev smo uporabili za strukturne preiskave na rentgenskem difraktometru Kristalloflex IV z goniometrom θ - 2θ in rentgensko elektroniko s Co K_{α} -sevanjem.

Po tri velike natezne preizkušance smo z enako hitrostjo obremenili do enake sile in jih nato razbremenili. Izmerili smo plastično deformacijo

$$e = (l - l_0)/l_0 \quad (1)$$

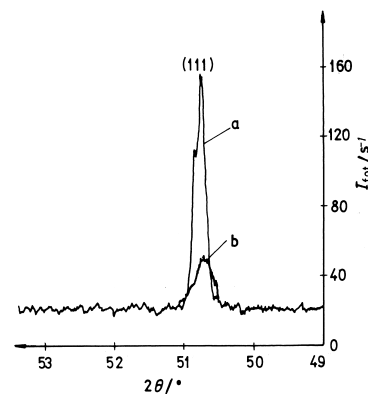
na merilnem delu, kjer je l dolžina tega dela preizkušalca po razbremenitvi, l_0 pa pred obremenjevanjem. Izmerili smo še relativno spremembo prečnega prereza na obeh koncih in na sredini merilnega dela. Nato smo iz enega izmed treh enako obremenjenih preizkušancev izdelali natezni preizkušalec tipa Z, dva žilavostna preizkušalca z zarezi ISO-V in preizkušalec za merjenje permeabilnosti paramagnetnih materialov po metodi 2 standarda ASTM A 342². Pri vsakokratnih ostankih žilavostnih preizkušancev smo posneli rentgenogram za identifikacijo prisotnih faz ter za določitev popačenj kristalne mreže. Da bi odstranili vpliv brušenja žilavostnih preizkušancev na izmerjena mrežna

popačenja, smo pred snemanjem rentgenograma elektrolitsko odtopili od brušenja prizadeto površinsko plast, katere debelina je bila približno enaka globini, do katere je prodrla rentgenska svetloba (okrog 10 μ m). Iz višin posameznih uklonskih črt pri določeni fazi smo tudi sklepali na njeno teksturiranost.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Po gašenju ima jeklo 19MNCr18 popolnoma avstinitno strukturo. Rentgenske uklonske črte pri fazi γ so tako ozke, da je opazna razcepitev zaradi fine strukture sevanja Co- K_{α} ($K_{\alpha 1}$ in $K_{\alpha 2}$) – (**slika 2**, krivulja *a*). Mrežna popačenja, to je varianca mrežnega parametra, so torej v tem stanju zelo majhna. V **tabeli 2** so podane mehanske lastnosti v gašenem stanju in za primerjavo še v surovem. Razlika med obema stanjema je majhna, kar pa ne velja za velike kovane profile. Večja razlika med surovim in gašenim stanjem se kaže pri relativnem permeabilnostnem koeficientu; le-ta je za surovo stanje 1,0082, za gašeno stanje pa 1,0070.

Podatki o hladni deformaciji gašenih velikih natezних preizkušancev so v **tabeli 3**. Meritve deformacij pri treh paralelnih preizkušancih so se med seboj ujemale na 3 % natančno. V tabeli so srednje vrednosti. Deformacija vzdolž merilne dolžine je v vseh primerih dokaj homogena, kar je razvidno iz kontrakcije na levem

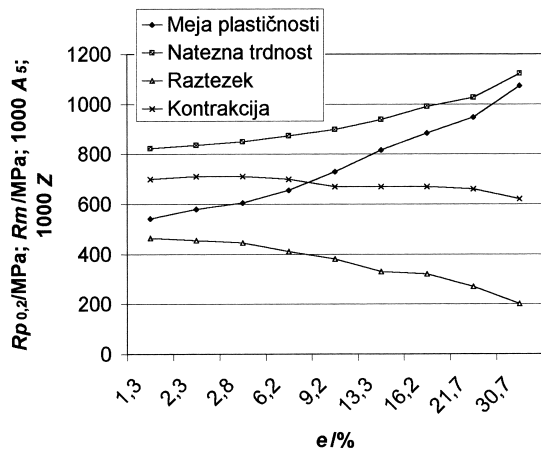


Slika 2: Rentgenogram jekla 19MNCr18 v gašenem stanju (krivulja *a*) in po 21,7-odstotni hladni deformaciji (krivulja *b*)

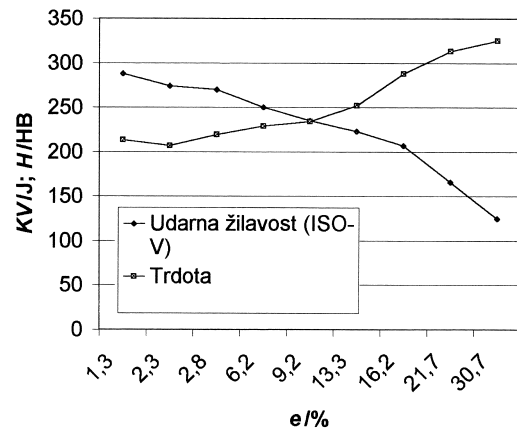
Figure 2: X-ray diffraction pattern of 19MNCr18 steel after solution treatment (curve *a*) and after 21.7 % cold deformation (curve *b*)

Tabela 3: Podatki o hladni deformaciji velikih nateznih preizkušancev
Table 3: Data about the cold deformation of big tensile-test pieces

Maksimalna inženirska napetost N/mm ²	Deformacija e/%	Kontrakcija preseka Z _L /%	Kontrakcija preseka Z _S /%	Kontrakcija preseka Z _D /%
547	1,3	0,9	0,9	0,8
572	2,3	1,9	2,0	1,8
605	2,8	2,6	2,7	2,7
637	6,2	5,9	6,0	5,8
668	9,2	9,0	9,0	8,9
700	13,3	13,0	13,0	13,0
732	16,2	15,0	15,2	15,0
764	21,7	18,3	18,5	18,5
796	30,7	23,8	24,0	23,9



Slika 3: Vpliv predhodne hladne deformacije na mejo plastičnosti, natezno trdnost, raztezek in kontrakcijo
Figure 3: The influence of previous cold deformation on yield stress, tensile strength, elongation and contraction

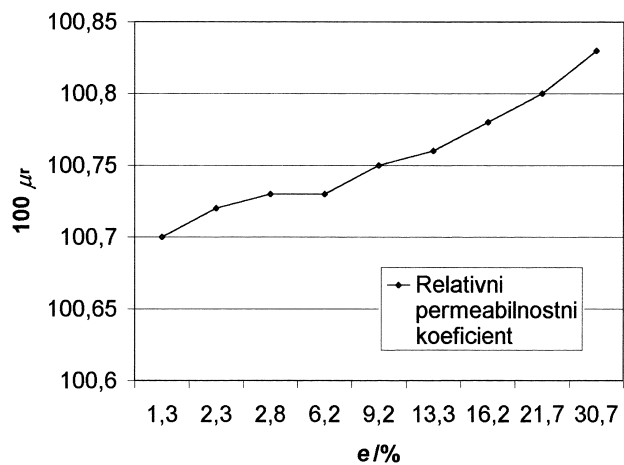


Slika 4: Vpliv predhodne hladne deformacije na trdoto in udarno žilavost
Figure 4: The influence of previous cold deformation on hardness and impact toughness

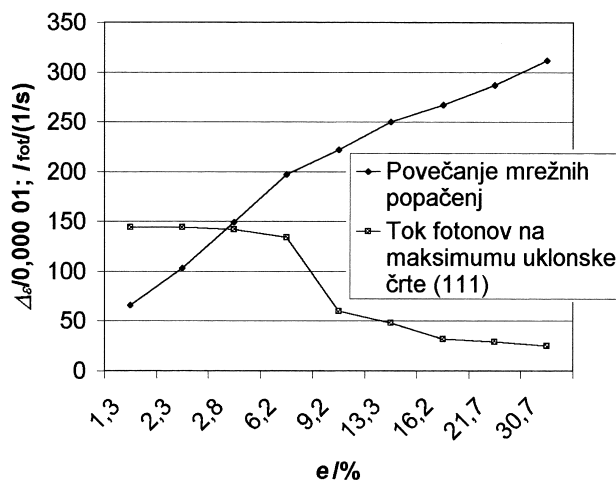
koncu (Z_L), na sredini (Z_S) in na desnem koncu (Z_D) merilne dolžine. S tem je zagotovljeno, da so vsi preizkušanci, ki smo jih izdelali iz enako deformiranih velikih nateznih preizkušancev, na pomembnih mestih enako hladno deformirani.

Spreminjanje mehanskih lastnosti jekla 19MNCr18 v odvisnosti od predhodne hladne plastične deformacije prikazujeta **slika 3 in 4**. Po pričakovanju se meja plastičnosti vedno bolj približuje natezni trdnosti, ko se poveča predhodna plastična deformacija. Raste pa tudi natezna trdnost in inženirska krivulja napetost-deformacija ni preprosto nadaljevanje tiste pri prvem hladnem utrjevanju. Kontrakcija preizkušancev iz hladno deformiranega materiala se le malo zmanjša glede na tisto pri preizkušancih iz gašenega materiala. Raztezek občutno pade in velja skoraj aditivnost: raztezek gašenega materiala je vsota prve hladne deformacije in raztezka hladno deformiranega materiala. Trdota narašča s hladno deformacijo in zveza med trdoto in natezno trdnostjo vedno bolj ustreza tisti pri feritnih in martenzitnih materialih. Udarna žilavost sicer občutno pade s povečano hladno deformacijo, vendar precej manj kot pri drugih jeklih, ki imajo za osnovo fazo α.

Spreminjanje relativnega permeabilnostnega koeficienta v osni smeri hladno deformiranih nateznih preizkušancev prikazuje **slika 5**. Permeabilnost se le rahlo povečuje in pri deformaciji 30,7 % doseže tisto pri



Slika 5: Vpliv predhodne hladne deformacije na permeabilnost
Figure 5: The influence of previous cold deformation on magnetic permeability



Slika 6: Povečevanje mrežnih popačenj in spreminjanje višine uklonske črte (111) s stopnjo hladne deformacije

Figure 6: The increase of lattice distortion and variation of the intensity of the (111) reflection with the degree of cold deformation

surovem materialu. Kljub temu pa je še tako nizka, da jeklo ne more vsebovati feromagnetnih faz v zaznavnih količinah.

Rentgenogrami vzorcev hladno deformiranega materiala prikazujejo le uklonske črte faze γ . S stopnjo hladne deformacije pa se povečuje širine uklonskih črt, kar kaže na povečana mrežna popačenja, in spreminjajo se višine uklonskih črt, kar kaže na spreminjanje orientacijske porazdelitve kristalnih zrn. Kot primer je na **sliki 2**, krivulja *b*, prikazan del rentgenograma vzorca po 21,7-odstotni hladni deformaciji.

Na **sliki 6** je prikazano povečevanje mrežnih popačenj v odvisnosti od stopnje hladne deformacije. Kot osnova je vzeto gašeno stanje.

Na **sliki 6** je podano tudi spreminjanje višine uklonske črte (111) s stopnjo hladne deformacije. Razvidno je,

da pri deformaciji okrog 8 % zelo pade število kristalnih zrn, ki imajo mrežne ravnine (111) vzporedne s simetrijsko osjo velikega nateznega preizkušanca.

Ker permeabilnost ne kaže tako občutne spremembe pri omenjeni deformaciji, lahko sklepamo, da na permeabilnost bolj vplivajo spremembe mrežnih popačenj kot pa teksturiranosti. Na mrežna popačenja vplivajo dislokacije in koherentni izločki novih faz. Taki izločki so navadno zelo drobni, in sicer reda velikosti nekaj nanometrov, zato je možno, da jih z rentgensko strukturno analizo ne detektiramo. V članku³ so rezultati presevalne elektronske mikroskopije podobnega materiala, pri čemer je bila po hladni plastični deformaciji ugotovljena prisotnost martenzita ϵ , ki je paramagneten. Fazna sestava hladno deformiranega materiala se lahko spremeni še po preteku določenega časa, ki traja tudi več let. Zato smo vzorce shranili za nadaljnje raziskave.

4 SKLEPI

Pri jeklu 19MNCr18 je mogoče s hladno utrditvijo znatno povečati mejo plastičnosti in natezno trdnost, pri tem pa žilavost še vedno ostaja visoka.

S hladnim deformiranjem se permeabilnost le malo poveča, kar pomeni, da se ne izloči kakšna feromagnetna faza.

Pri določeni hladni deformaciji se znatno spremeni orientacijska porazdelitev kristalnih zrn, vendar to ne vpliva na permeabilnost.

5 LITERATURA

- ¹ A. J. Sedriks: Corrosion of stainless steels, J.Wiley & Sons, New York 1979
- ² ASTM A 342 – 95: Standard test methods for permeability of feebly magnetic materials
- ³ V. G. Gavriljuk, G. Stein, H. Berns: Steel Research 74 (2003) 7, 444–452