

Tehnične novice

Lastnosti jekla Č.4574 / Prokron 12 sp. / in jeklene litine ČL.4574 / Prokron 12 sp. L / *

Železarna Ravne

Ferdo Grešovnik

UVOD

Za izdelavo korozijsko najbolj odpornih jeklenih armatur se uporabljata jeklo Č. 4574 (Prokron 12 sp.) in jeklena litina ČL. 4574 (Prokron 12 sp. L). Kemični sestavi teh dveh materialov sta zelo podobni; glavna razlika je v dodanem legirnem elementu za stabilizacijo karbidov (pri Č. 4574 je to Ti, pri ČL. 4574 pa Nb), v predpisani vsebnosti Si (pri Č. 4574 okrog 0,6 %, pri ČL. 4574 pa 1,3 %), pri jeklu Č. 4574 je dovoljena za 0,02 % večja vsebnost ogljika (do 0,10 %) kot pri jekleni litini ČL. 4574. Mnoge lastnosti so zato podobne. Občutne razlike so samo pri tistih lastnostih, ki so odvisne od zrnatosti in razporeditve faz; to dvojje je pri plastično predelanem jeklu mnogo ugodnejše kot pri litini. V tem sestavku bodo opisane tiste lastnosti prej omenjenih materialov, ki so pomembne pri konstruiranju, izdelavi, preizkušanju in uporabi armatur.

Smerni kemični sestavi:

Č. 4574 PROKRON 12 special: max. 0,1 % C — 0,6 % Si — 1,4 % Mn — 17,5 % Cr — 12 % Ni — 2,3 % Mo — dod. Ti
ČL. 4574 PROKRON 12 special L: max. 0,08 % C — 1,3 % Si — 1,4 % Mn — 18 % Cr — 12 % Ni — 2,3 % Mo — dod. Nb.

1. INTERVAL STRJEVANJA

Izmerili smo ga z enostavno termično analizo pri jekleni litini ČL. 4574, ker je to lastnost, ki jo je pri določitvi tehnologije litja nujno treba upoštevati. Začetek strjevanja je pri 1435 °C, konec pa pri 1400 °C.

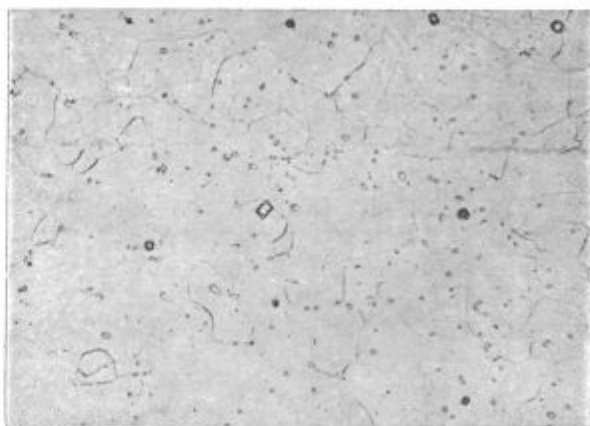
2. STRUKTURA

Fazno sestavo določamo z rentgensko strukturno analizo. Tako pri jeklu Č. 4574 kot pri jekleni litini ČL. 4574 zavzema glavni delež (vsaj 90 %) faza γ , ki je neferomagnetna. Do 10 % je v strukturi feromagnetne faze α . Vseh ostalih faz je pod 1 % in jih določimo tako, da jih z elektrolitskim

raztopom osnovne mase jekla izoliramo in nato izolat analiziramo z rentgensko strukturno analizo. Jeklena litina ČL. 4574 vsebuje okrog 0,5 % karbidov vrste NbC in okrog 0,05 % faze σ , če je gašena s temperature 1050 °C. V surovem stanju je karbidov nekoliko manj, faze σ pa več. Če povečamo temperaturo gašenja, faza σ povsem izgine. Temperature gašenja nad 1100 °C niso priporočljive, ker začne oksidirati krom — v izolatu dobimo Cr_2O_3 . Na rentgenogramu izolata je mogoče identificirati še reflekse sulfidnih vključkov.

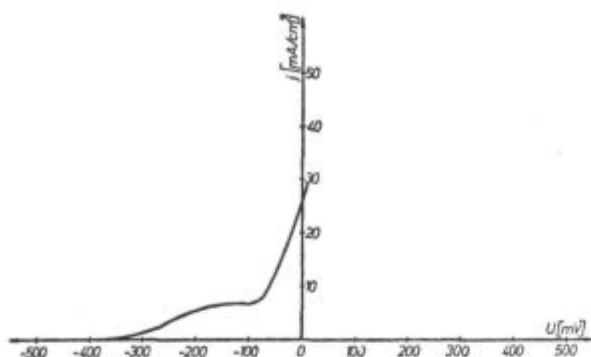


Slika 1
Posnetek vzdolžnega obrusa iz gredice 150 mm × 150 mm;
jeklo Č. 4574 (pov. 100 ×)



Slika 2
Posnetek prečnega obrusa iz gredice 150 mm × 150 mm;
jeklo Č. 4574 (pov. 100 ×)

* To je povzetek referata, ki ga je avtor imel na posvetovanju o razvoju in plasmanu armatur (27. in 28. maja 1982 na Ravnah)



Slika 3
Polarizacijska krivulja za litino ČL. 4574 (talina 59104) v surovem stanju

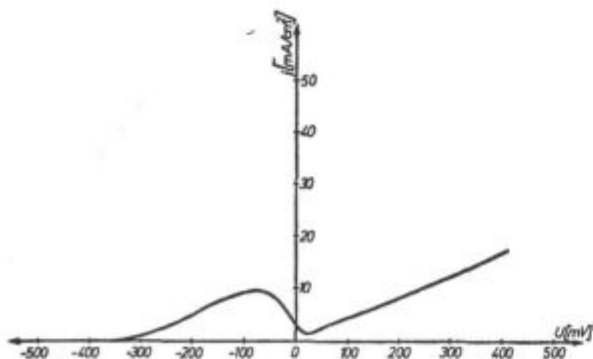
Jeklo Č. 4574 vsebuje v gašenem stanju okrog 0,3 % titanovega karbonitrida Ti C, N. Faze σ tu skoraj nikoli ne najdemo.

Razporeditev in velikost kristalnih zrn določamo z mikroskopiranjem metalografskih obrusov. Primer vidimo na sl. 1 in 2. Slika 1 kaže posnetek vzdolžnega obrusa, sl. 2 pa prečnega obrusa iz gredice $\varnothing$ 150 mm.

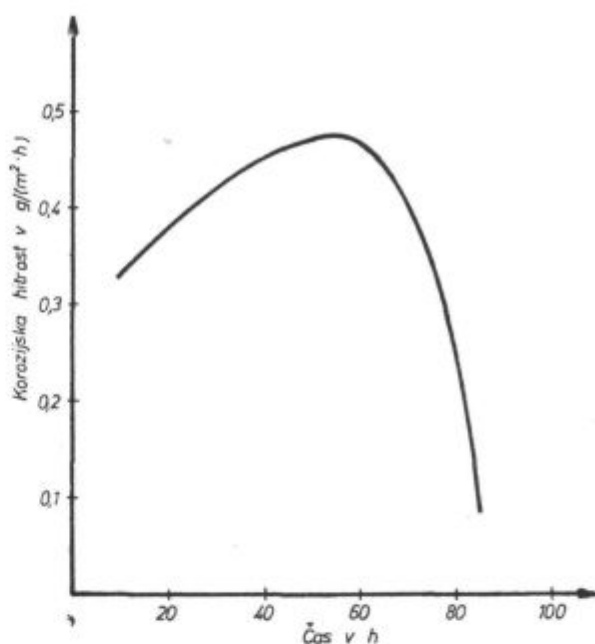
3. KOROZIJSKA ODPORNOST

To je ena izmed najvažnejših lastnosti materiala za nerjavne ventile. Preizkušamo jo na tri načine:

a) S snemanjem krivulj gostote toka — potencial (polarizacijskih krivulj) v različnih elektrolitih s pomočjo potenciostata. Na sl. 3 vidimo polarizacijsko krivuljo za ČL. 4574 v surovem stanju, na sl. 4 pa polarizacijsko krivuljo za isto jeklo po gašenju s temperature 1050 °C. Gostota toka je premo sorazmerna s hitrostjo elektrolitskega odtapljanja materiala. V gašenem stanju gostota toka v bližini potenciala 0 mV celo pada, ko potencial povečujemo. To je tipičen znak pasivacije, ki je bistvenega pomena za korozijsko odpornost. Sestava raztopine: 10 % KCl, 2,5 % Na-cit., 10 % HCl, ostalo H₂O.



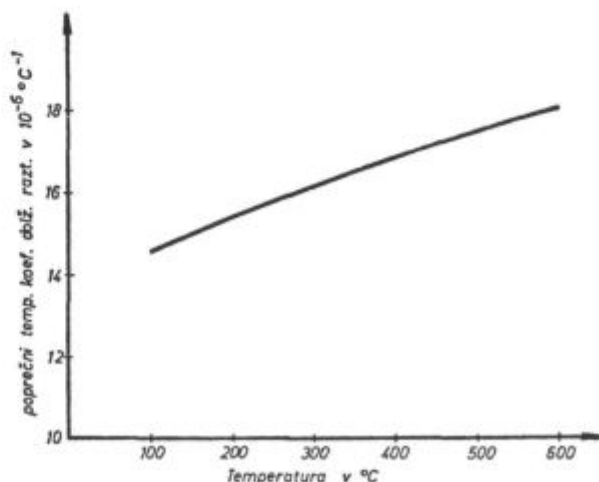
Slika 4
Polarizacijska krivulja za litino ČL. 4574 (talina 59104) po gašenju s temperature 1050 °C



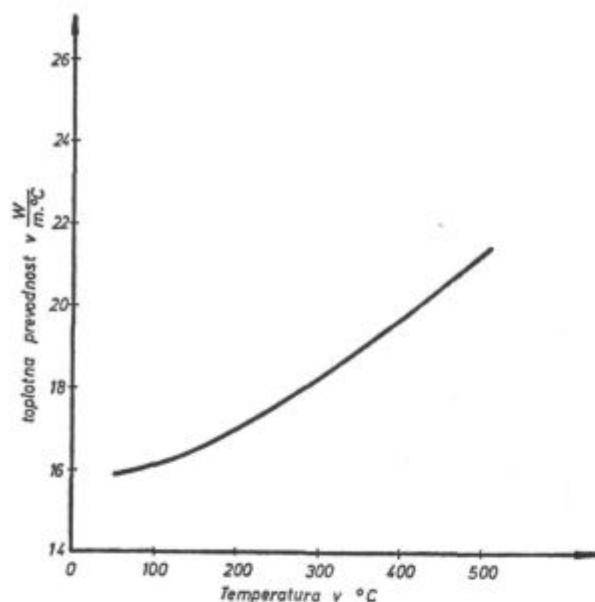
Slika 4 a
Časovni potek korozijske hitrosti pri preizkušanju jekla Č. 4574 (talina 18500) v gašenem stanju v vreli raztopini oksalne kisline v vodi

b) Z ugotavljanjem odpornosti proti interkristalni koroziji. Preizkušane položimo na bakrene ostružke in vse skupaj preplavimo z raztopino 160 g bakrovega sulfata in 100 ml koncentrirane žveplene kisline v 1000 ml vode. Preizkus traja 24 ur, raztopina mora vreti. Na koncu preizkušane prepognemo za 90° in z lupo opazujemo, če so opazne interkristalne razpoke.

c) S klasičnim korozijskim preizkusom, to je z merjenjem korozijske hitrosti v g/(m²·h) v različnih raztopinah. Če je korozijska hitrost pod 1 g/(m²·h) v obdobju 96 ur, menimo, da je material zadovoljivo korozijsko odporen. Na sl. 4a vidimo časovni potek korozijske hitrosti pri pre-



Slika 5
Spreminjanje poprečnega temperaturnega koeficienta dolžinskega raztezka jekla Č. 4574 s temperaturo



Slika 6

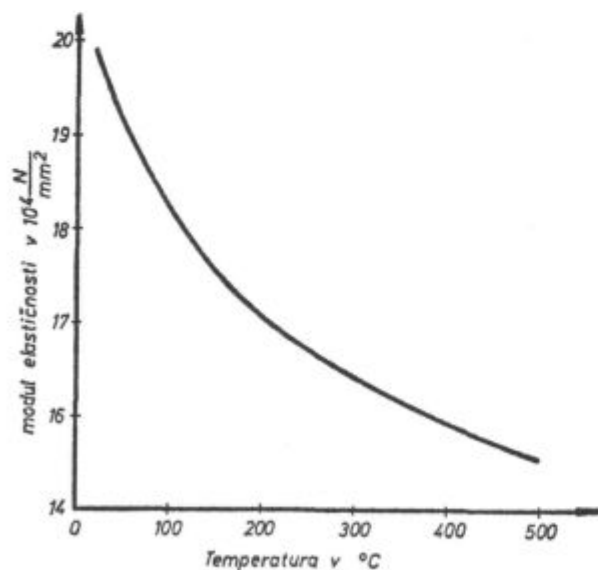
Spreminjanje toplotne prevodnosti jekla Č.4574 s temperaturo

izkušanju jekla Č.4574 v gašenem stanju v raztopini 30 g oksalne kisline v litru vode pri temperaturi vrelišča raztopine.

V splošnem je korozijska odpornost gašene litine ČL.4574 podobna kot pri gašenem jeklu Č.4574, le odpornost proti interkristalni koroziji je pri plastično predelanem materialu nekoliko boljša.

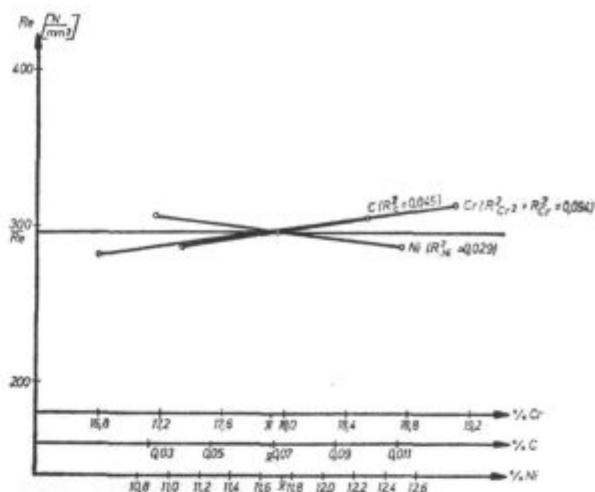
4. FIZIKALNE LASTNOSTI

a) Temperaturni koeficient dolžinskega raztezka izmerimo z dilatometrom in je praktično enak pri jeklu Č.4574 in pri jekleni litini ČL.4574.



Slika 7

Spreminjanje modula elastičnosti jekla Č.4574 s temperaturo



Slika 8

Peč 5

Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980

Obdelava 503305, enačba št. 1, korak 4

N = 551 P. EN. > 99,9 % R² = 0,168 R = 0,41

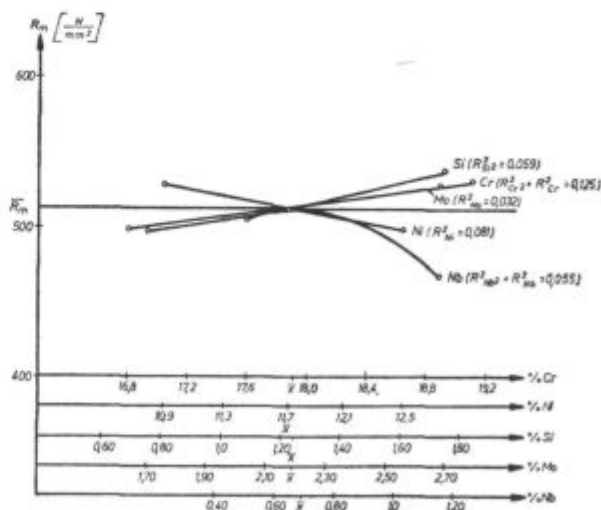
1,96 Sxy = 27,2 N/mm²

Tudi po različnih načinih toplotne obdelave se bistveno ne spremeni. Navadno damo povprečno vrednost temperaturnega koeficienta dolžinskega raztezka med sobno in določeno temperaturo T, to je α_T , ki je definiran takole:

$$\alpha_T = \frac{1}{l_{20}} \frac{l_T - l_{20}}{T - 20^\circ\text{C}} \quad (1)$$

Odvisnost tega koeficienta od temperature je prikazana na sl. 5.

b) Toplotno prevodnost izmerimo tako, da v vljastem preizkušancu vzpostavimo osno simetrično stacionarno temperaturno polje in izmerimo razliko med temperaturama v dveh točkah, ki sta za r_1



Slika 9

Peč 5

Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980

Obdelava 503305, enačba št. 2, korak 7

N = 551 P. EN. > 99,9 % R² = 0,352 R = 0,59

1,96 Sxy = 21,1 N/mm²

Tabela 1

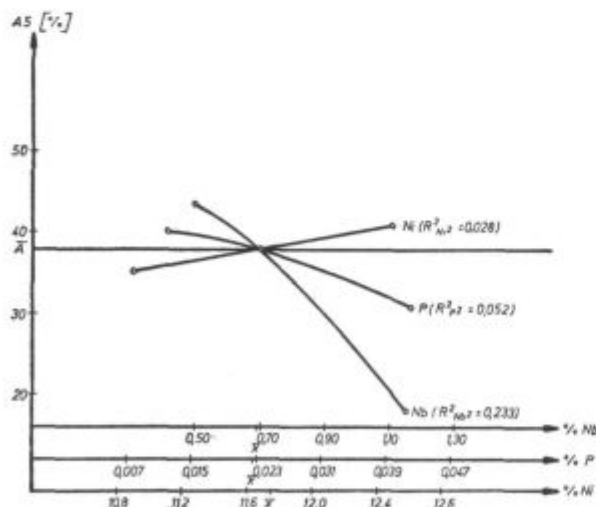
lastnost	Č 4574		ČL 4574	
	aritmetična srednja vrednost	standardni odklon	aritmetična srednja vrednost	standardni odklon
R_e v $\frac{N}{mm^2}$	295	28	296	15
R_m v $\frac{N}{mm^2}$	580	21	512	13
A 5 v %	50,7	3,5	37,8	5,2
Z v %	70,5	2,2	34,7	6,0
W v J	173	29	47,6	14,3
HB	155	7	159	5

in r_2 oddaljeni od simetrijske osi, ter moč P, ki je potrebna za vzdrževanje temperaturnega polja. Toplotno prevodnost potem določimo po obrazcu

$$\lambda = \frac{P}{2\pi l} \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{T_1 - T_2} \quad (2)$$

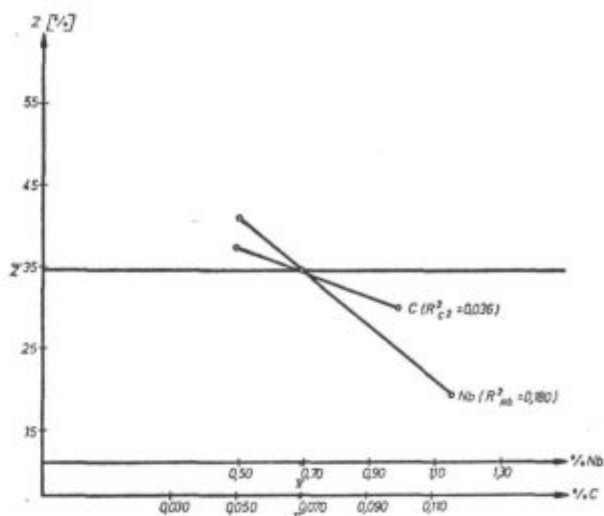
Odvisnost toplotne prevodnosti od temperature je prikazana na sl. 6 in je skoraj enaka za Č. 4574 in ČL. 4574.

c) Modul elastičnosti E je enak odvodu funkcije $\sigma = f(\epsilon)$ v koordinatnem izhodišču. σ je napetost, ϵ pa deformacija. Krivuljo $\sigma = f(\epsilon)$ posnamemo z elektronsko registracijo pri enoosnem na-



Slika 10
Peč 5

Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980
Obdelava 503305, enačba št. 3, korak 3
N = 551 P. EN. > 99,9 % $R^2 = 0,313$ R = 0,56
1,96 Sxy = 8,5 %



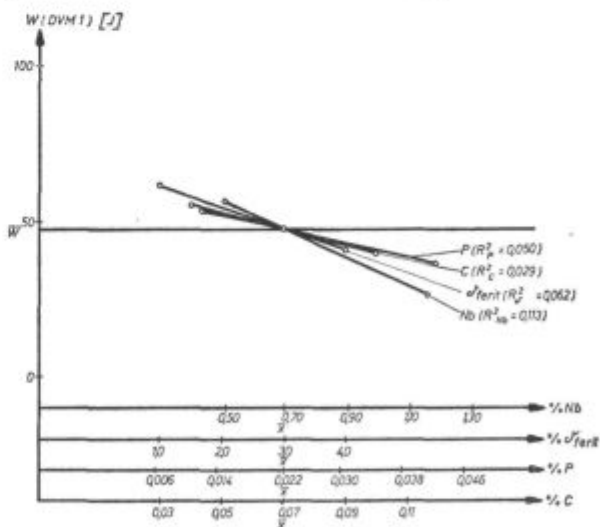
Slika 11
Peč 5

Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980
Obdelava 503305, enačba št. 4, korak 2
N = 551 P. EN. > 99,9 % $R^2 = 0,216$ R = 0,46
1,96 Sxy = 10,4 %

teznem preizkusu. Modul elastičnosti je skoraj enak za Č. 4574 in ČL. 4574 in se tudi s toplotno obdelavo teh dveh materialov bistveno ne spreminja. Njegova temperaturna odvisnost je prikazana na sl. 7.

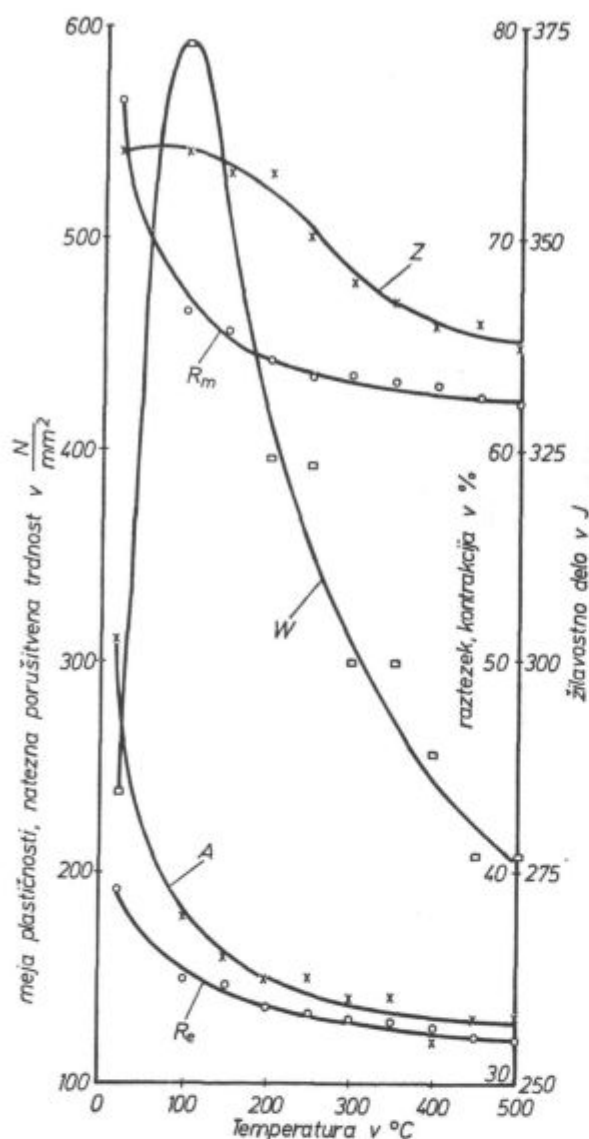
5. MEHANSKE LASTNOSTI

a) Meritve osnovnih mehanskih lastnosti (meje plastičnosti R_e , natezne porušitvene trdnosti R_m , raztezka A 5, kontrakcije Z, žilavostnega dela W na preizkušancu DVM 1 in trdote HB) jekla Č. 4574 in



Slika 12
Peč 5

Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980
Obdelava 503305, enačba št. 5, korak 4
N = 551 P. EN. > 99,9 % $R^2 = 0,254$ R = 0,50
1,96 Sxy = 24,2 J



Slika 13

Spreminjanje mehanskih lastnosti jekla Č. 4574 s temperaturo

jeklene litine ČL. 4574 v gašenem stanju so del tekoče kontrole vseh talin. V tabeli 1 so zbrani osnovni statistični podatki o zgoraj naštetih lastnostih za enoletno obdobje — leto 1980.

Največja razlika med litino in jeklom je v živnosti, precejšnja je tudi v kontrakciji, zaznavna pa v raztezu. Z regresijsko analizo podatkov je mogoče ugotoviti tudi parcialne vplive legirnih elementov na posamezne mehanske lastnosti. Primeri so prikazani na slikah 8, 9, 10, 11 in 12. Na osnovi tega lahko v okviru predpisanih analiznih mej najugodnejše prilagajajo konkretno kemično sestavo taline.

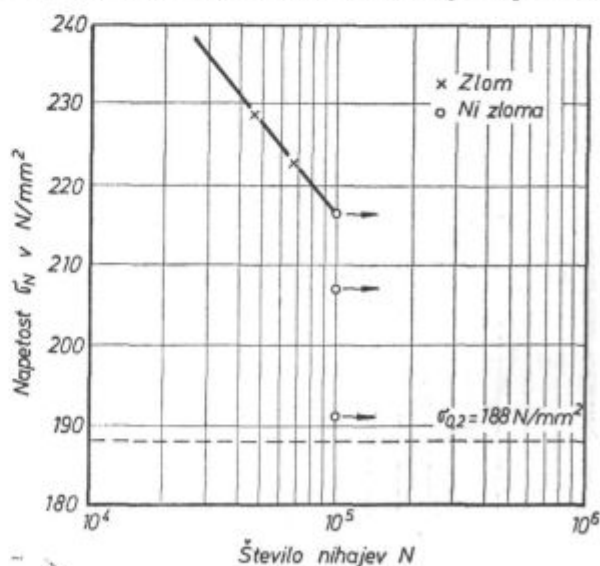
b) Rezultati meritev mehanskih lastnosti jekla Č. 4574 (talina 18500 z 0,04 % C) pri povišanih temperaturah so prikazani na sl. 13. Trajni statični preizkus istega jekla pri temperaturi 450 °C je pokazal, da se raztezek med 1000-urno obremenitvijo

z napetostjo 200 N/mm², to je v plastičnem področju, skoraj nič ne spreminja — lezenja praktično ni.

c) Za materiale, ki so med uporabo izpostavljeni nihajočim obremenitvam, je potrebno izvesti še preizkus utrujanja. Med take materiale gotovo spadajo jekla za armature, ki morajo ostati nepoškodovane tudi pri nihanju tlaka pretakajočega se medija in pri potresnih sunkih. Še posebej skrbno je treba ugotoviti obnašanje materiala pri napetostih, ki nihajo z amplitudami, za katere je znano, da lahko povzročijo zlom po končnem številu nihajev. Taka preizkušanja imenujemo malociklično utrujanje in se izvaja pri nizkih frekvencah obremenjevanja — manj kot 1 nihaj v sekundi. Za potrebe naše železarne izvajajo tovrstne preizkuse na Metalurškem inštitutu v Ljubljani, in sicer s servohidravličnim strojem INSTRON 1255. Ta omogoča preizkušanje s krmiljenjem sile (napetosti) ali raztezkov. Krmiljena veličina ima sinusni časovni potek, možne pa so še druge periodične odvisnosti od časa. Pri nizkih frekvencah je mogoče s koordinatnim pisalom registrirati odvisnost napetosti od deformacije. Dolej je bilo preizkušeno jeklo Č. 4574 (talina 18500).

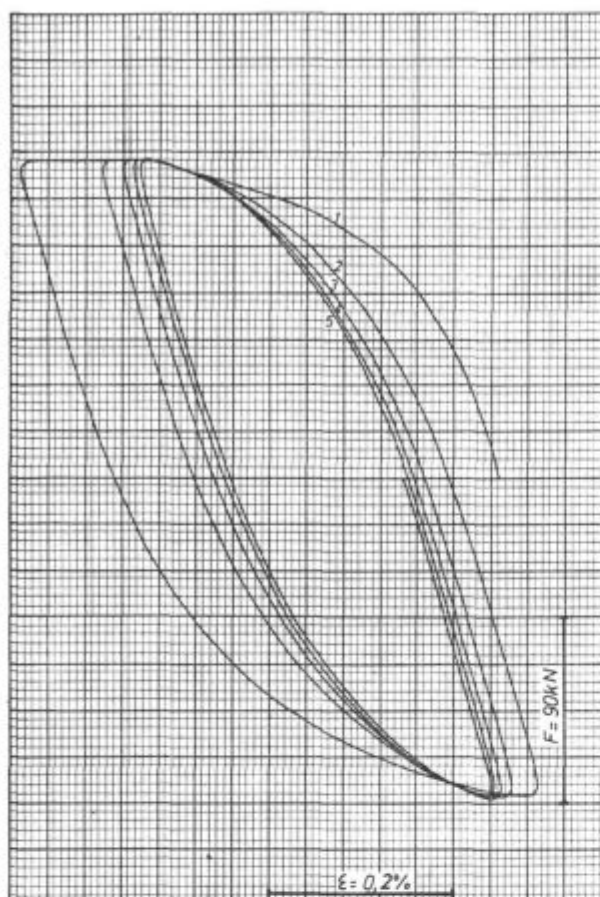
Na sl. 14 je prikazana odvisnost števila zdržanih nihajev od amplitude napetosti pri čistem izmeničnem nihanju. Znak x pomeni, da se je preizkušane zlomil, znak o → pa, da je preizkušane vzdržal 10⁵ nihajev. Vidimo, da je časovna dinamična trdnost za 10⁵ nihajev 216 N/mm², kar je za okrog 15 % več od meje plastičnosti preizkusnega jekla.

Na sl. 15 je prikazan zapis odvisnosti med napetostjo in deformacijo za prvih pet nihajev pri preizkušanju z amplitudo napetosti 216 N/mm². Zaradi plastičnega obnašanja materiala dobimo histerezne zanke, ki se ožijo. To pomeni, da se material med dinamičnim obremenjevanjem utr-



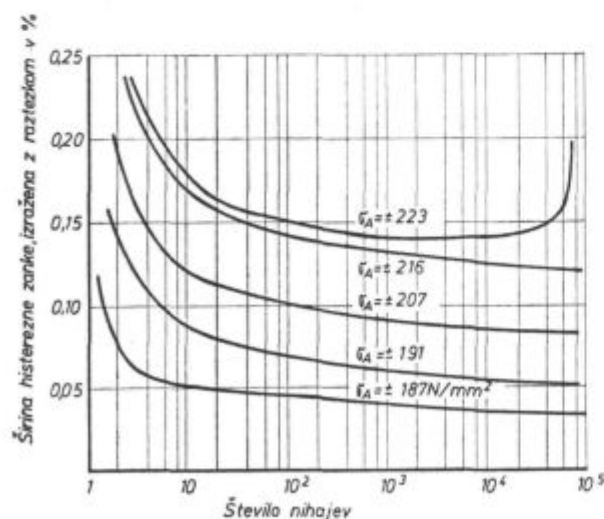
Slika 14

Grafični prikaz časovne dinamične trdnosti za jeklo Prokron 12 sp. do 10⁶ nihajev za čisto izmenično nihanje

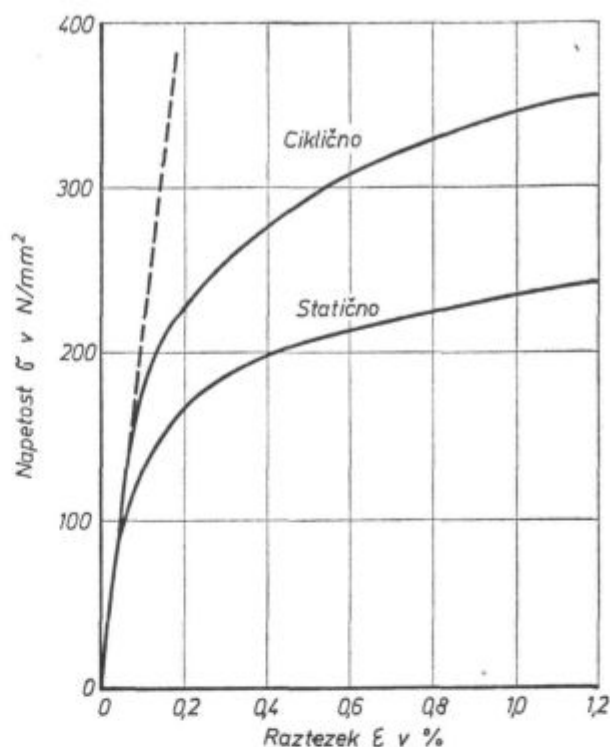


Slika 15
Zapis prvih petih nihajev pri amplitudi napetosti
216 N/mm²

juje. Na sliki 16 vidimo, kako se histerezna zanka oži med dinamičnim obremenjevanjem pri raznih amplitudah napetosti. Ko ta amplituda preseže časovno dinamično trdnost za 10⁵ nihajev, se začne histerezna zanka širiti malo pred zlomom.

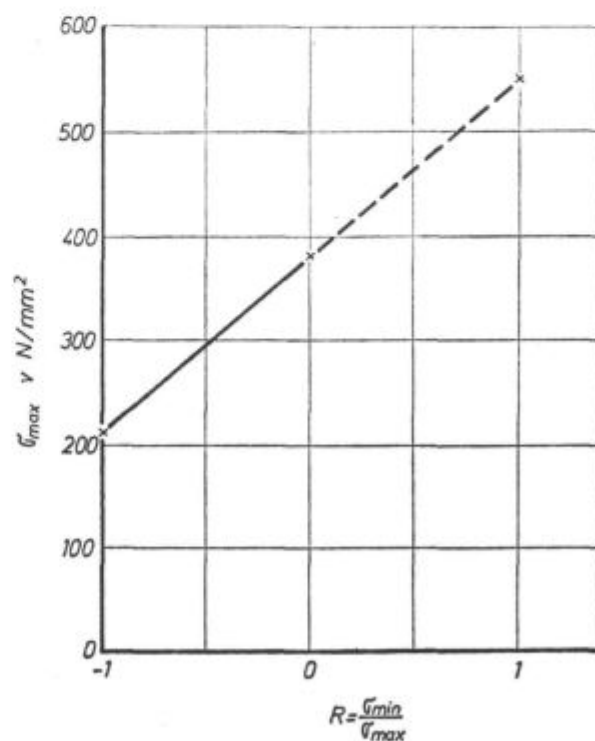


Slika 16
Širina histerezne zanke v odvisnosti od amplitude napetosti in števila nihajev



Slika 17
Ciklična in statična σ - ϵ krivulja za jeklo Prokron 12 sp.

Zelo nazorno kaže pojav utrjevanja jekla Č. 4574 med dinamičnim obremenjevanjem slika 17, ki kaže zvezo med napetostjo in deformacijo pri statičnem nateznem preizkusu ter zvezo med



Slika 18
Diagram utrujanja po Mooru, Kommeru in Jasperju za jeklo Prokron 12 sp.

amplitudo napetosti in po petih nihajih vzpostavljeno amplitudo deformacije pri čistem izmeničnem obremenjevanju. Statična krivulja kaže, da jeklo nima izrazitega prehoda iz elastičnega v plastično področje, zato je treba mejo plastičnosti oceniti kot napetost, pri kateri dobimo trajni raztezek 0,2 %.

Casovno dinamično trdnost za 10^5 nihajev za razna razmerja R med minimalno in maksimalno napetostjo pri dinamičnem obremenjevanju kaže slika 18. Tam, kjer je graf potegnjen črtkano, meritve še niso bile opravljene.

Jeklo Č. 4574 izdelujemo v 10-tonski obločni električni peči. Ulivamo 2-tonske valjarske ingote V-20, ki jih zvaljamo v gredice, srednje in lahke profile. Nekaj tega jekla tudi zvlečemo v hladnem stanju, luščimo in brusimo. Letna proizvodnja jekla Č. 4574 je okrog 500 t.

Jekleno litino ČL. 4574 in tej podobne nerjavne litine izdelujemo v 1500-kilogramski in 500-kilogramski indukcijski peči, le izjemno v 5-tonski obločni električni peči. V preteklem letu je znašala proizvodnja litine ČL. 4574 okrog 1500 t, večina je bila porabljena za armature.