

Vpliv titana na plastičnost ognjeodpornega feritnega jekla Z 22-24% Cr

DK: 669.018.45
ASM/SLA: SS, Q23p

Bogdan Stocca

V članku so opisane preiskave, ki smo jih izvedli z namenom, da bi izboljšali plastičnost ognjeodpornega jekla z 22—24% Cr. Jeklu smo dodajali titan v različnih količinah.

Vplive tega elementa na sposobnost preoblikovanja v vročem smo ugotavljali s pomočjo torzijskih preiskav in trgalnih preizkusov. Prikazani so doseženi rezultati vpliva titana na dendritsko strukturo.

KARAKTERISTIKE OGNJEODPORNEGA FERITNEGA JEKLA

Uporabniki imajo danes na razpolago večje število ognjeodpornih jekel feritnega tipa. Glavni legirni element, ki daje tem jeklom karakteristično odpornost proti oksidaciji, je krom.

Poleg kroma vsebujejo ta jekla še druge elemente, ki jih dodajamo z namenom, da bi se izboljšale nekatere karakteristike. Tako tem jeklom dodajamo večje količine silicija, oziroma aluminija, da bi se izboljšala njihova ognjeodpornost, ali večje količine titana, oziroma dušika, da bi preprečili nastanek grobega zrna pri vlivanju in da bi se zmanjšala hitrost naraščanja zrna pri dolgotrajnem ogrevanju na visokih temperaturah. Nekatera jekla vsebujejo še nikelj. Ta zadnji element izboljšuje nekatere lastnosti, kot so varivost, žilavost pri sobni temperaturi itd. Vse ostale elemente razen mangana in ogljika, ki se nahajajo v jeklih, smatramo kot nezaželene primese. Ognjeodporno jeklo z oznako Č 4970 izdelujemo tudi v Železarni Jesenice v obliki vseh vrst pločevine nad 3 mm in paličastega železa nad 8 mm.

Jekla Č 4970 z 22—24% Cr je ognjeodporno vse do 1000°C, in to tudi v atmosferah, ki vsebujejo žveplove komponente. Uporablja se zelo uspešno za izdelavo delov peči, za dele rekuperatorjev in regeneracij, za gorilce itd. Jeklo pa ni prikladno za izdelavo nosilnih elementov zaradi njegove nizke mehanske odpornosti pri visokih temperaturah. Posebno nizke so njegove vrednosti trajnega raztezka ($\sigma_{1/1000}$). Slika 1.

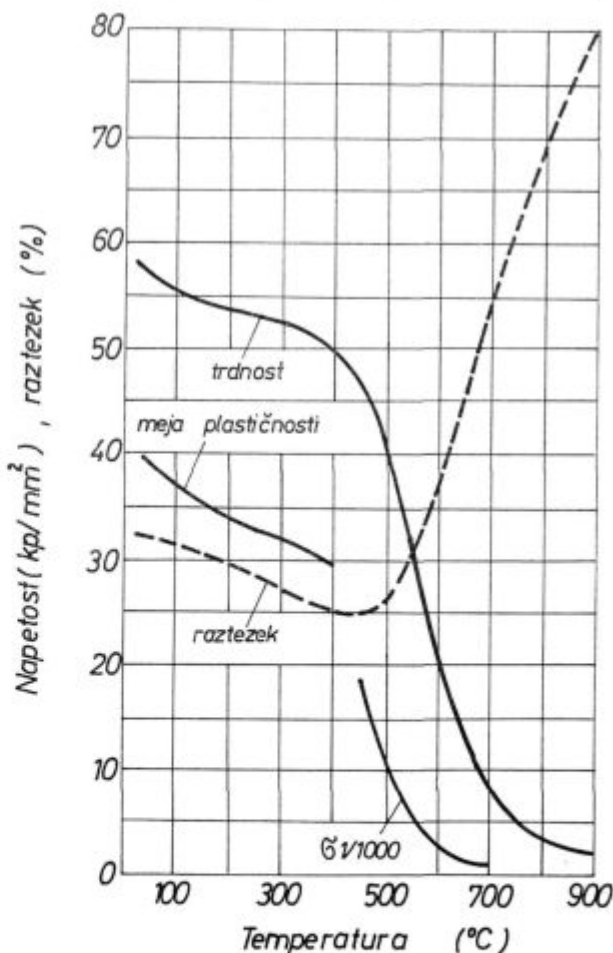
To ognjeodporno feritno jeklo se lahko vari, vendar so potrebni pri varjenju posebni ukrepi. Pregreto in preko 475°C počasi ohlajeno jeklo postane zelo krhko. Če je pravilno toplotno obde-

lano, se da prav lepo upogibati za 180°, vendar ima istočasno izredno nizko zarezno udarno žilavost.

Izdelava in predelava

Jeklo Č 4970, ki smo ga prej vlivali v 600 do 1000 kg bloke se je dalo z lahkoto preoblikovati v vročem. S prehodom na večje bloke pa so se začele težave, ki so se kazale v slabi plastičnosti valjancev pri valjanju, kar je bila posledica neugodne lite strukture.

Jeklo smo tedaj izdelovali v 60-tonski elektroobložni peči in vlivali sifonsko v 8-tonske bloke. Te smo po preteku 3—4 ur založili v komore globinskih peči, ki so bile kurjene z mazutom. Po kratki homogenizaciji na temperaturi zakladanja



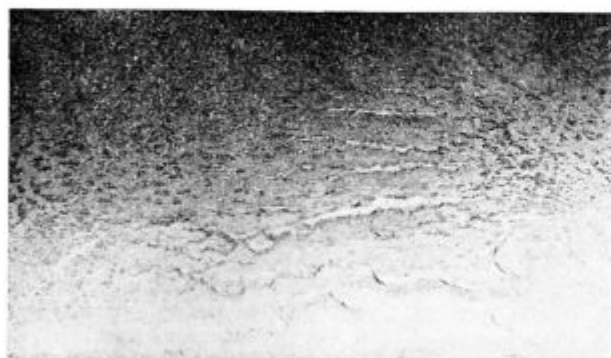
Slika 1

Mehanske lastnosti v temperaturnem območju 20—900°C

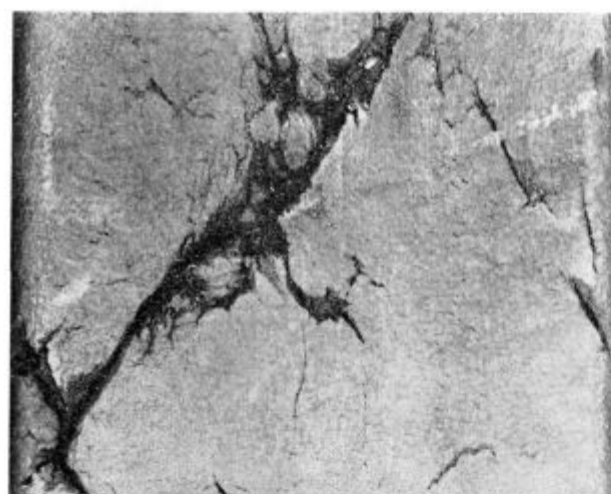
Bogdan Stocca je diplomirani inženir metalurgije in višji strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

smo bloke segreli na 1180° C, jih držali cca tri ure na tej temperaturi in pričeli nato z valjanjem.

Pri valjanju smo ugotavljali že pri prvih odvzemih več ali manj globoke prečne nazobčane razpoke (slika 2 in slika 3), ki so med valjanjem postajale vedno bolj izrazite in večje, tako da smo morali veliko število slabov prekvalificirati v odpadno železo.



Slika 2
Raztrganine na površini slabov.



Slika 3
Raztrganine na stranskih robovih slabov.

Da bi ugotovili vzroke za nastale razpoke, oziroma vzroke za slabo plastičnost jekla, smo na mestih raztrganin izdelali številne metalografske analize. Ugotovili smo (slika 4) zelo grobo feritno strukturo z izločenimi kromovimi karbidi po kristalnih mejah v obliki grobe nepretrgane mreže.

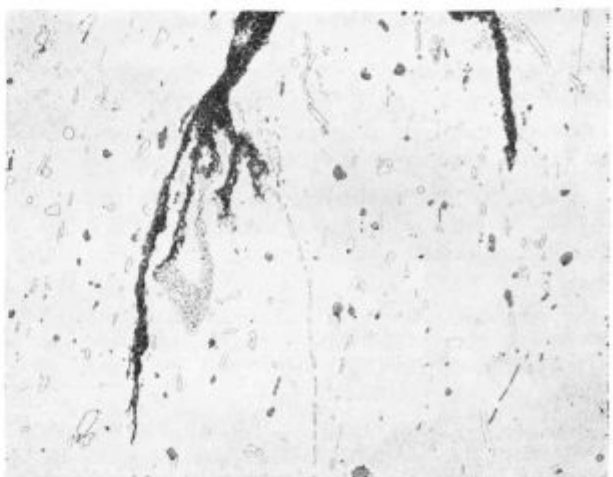
Slika 5 nam prikazuje strukturo kot zgoraj navedeno, v kateri je lepo viden interkristalni potek razpok.

Faktorji, ki vplivajo na plastičnost jekla

Iz literarnih podatkov je znano, da je ognjeodporno jeklo z 22—24 % Cr in 0,1 % C čisto feritno le pod temperaturo 1050° C. Nad to temperaturo vrednostjo pa naletimo na dvofazno struk-



Slika 4
Ferit in kromovi karbidi — 100 x



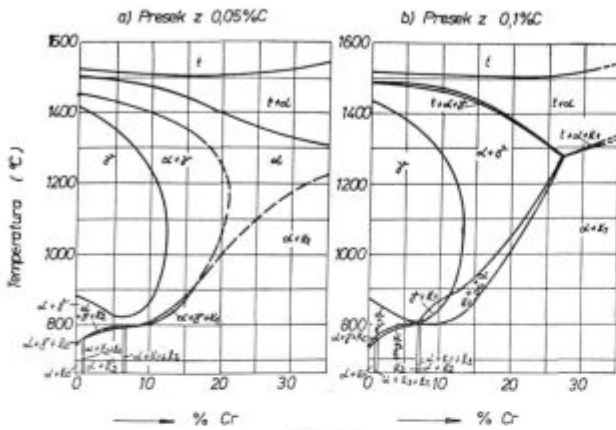
Slika 5
Ferit in kromovi karbidi. Potek razpok. — 100 x

turo ferita in avstenita. Avstenit se izloči po kristalnih mejah ferita, kar seveda zelo negativno vpliva na plastičnost jekla v tem temperaturnem območju.

Prisotnost avstenitne faze nam potrjujejo spodaj navedeni diagrami vertikalnih presekov sistema Fe-Cr-C, slika 6. Pri jeklu z 0,1 % C in 22 % Cr naletimo na avstenit, pri 1050° C, jeklo z 0,05 % C pa je v celem temperaturnem območju feritno.

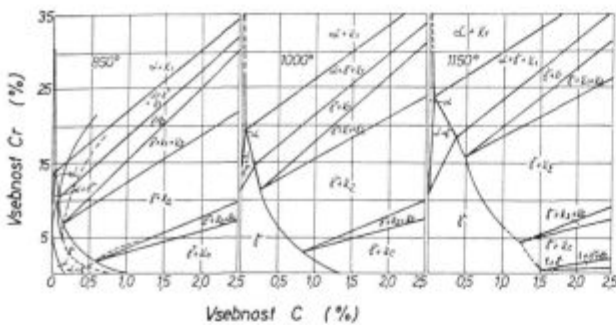
Prisotnost alfa in gama območja nam potrjujejo tudi diagrami izotermskih presekov pri 850—950° C in 1150° C, iz katerih je razvidno, da se gama območje pri teh jeklih širi z naraščajočo temperaturo k višjim vrednostim Cr (slika 7).

Tudi Burgardt (2) in drugi so prišli pri svojih preiskavah do zaključka, da se morajo vzroki za nastalo krhkost v temperaturnem območju nad 1050° C iskati v avstenitni fazi. Preiskave, ki so jih v ta namen izdelali, so pokazale, da so razpoke,



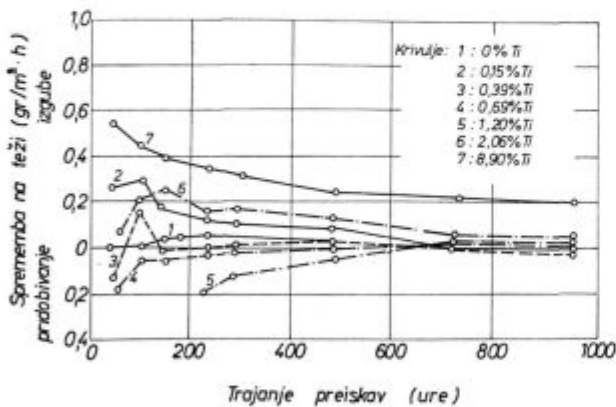
Slika 6
Preski sistemov Fe-Cr-C pri 0,05% in 0,1% C

ki so nastale na primer pri 1150^o C, potekale točno po mejah osnovnih feritnih zrn, to je na mestih izločenega avstenita, iz katerega so se pri ohlajevanju izločili kromovi karbidi v obliki mreže. Pri preizkušancih, ki so jih deformirali v temperaturnem območju pod 1050^o C, pa teh razpok niso več zasledili.



Slika 7
Izotermni preseki pri 850-950-1150^o C sistemov Fe-Cr-C

Poleg navedenega ima na plastičnost ognjeodpornih jekel izreden vpliv tudi velikost kristalnih zrn lite strukture. Omeniti moramo, da so ta jekla po naravi grobozrnata. Na nastanek grobega zrna močno vplivajo tehnologija vlivanja, način strjevanja jekla in razni dodatki v jeklu.

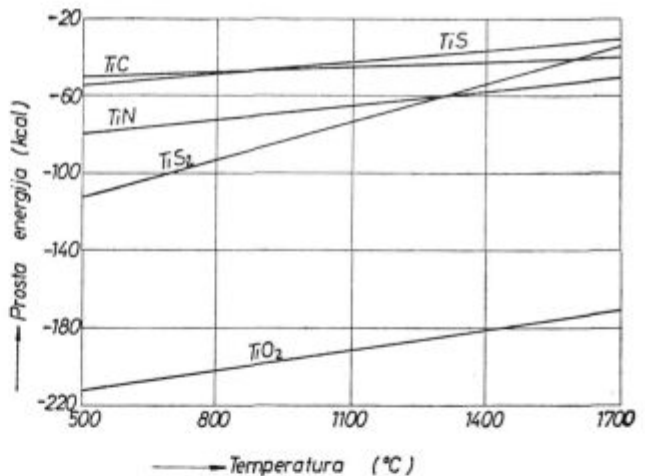


Slika 8
Vpliv titana na ognjeodpornost Fe-Cr-Al zlitine

Da bi odstranili slabo plastičnost jekla, smo, izhajajoč iz predpostavke, da je bila tehnologija vlivanja pravilna, vse naše preiskave usmerili k iskanju primernih dodatkov, ki bi odpravili ali vsaj močno skrčili pri temperaturah valjanja gama območje in bi obenem delovali tudi kot kali za nastanek finejšega zrna. Rešitev smo našli v titanu. Za ta element smo se odločili tudi zaradi tega, ker ne poslabša ognjeodpornih lastnosti teh jekel, kar je bilo seveda za to kvaliteto prvenstvenega značaja. Po Kornilovu (6) titan do 1% nima nobenega vpliva na ognjeodpornost jekla pri temperaturi 1080^o C. Slika 8.

Vpliv titana na velikost kristalnih zrn

Titan dodajamo jeklu v fino zdrobljeni obliki. Pri izdelavi jekla se titan veže zelo energično s kisikom, dušikom, ogljikom in žveplom. Da bi se preprečilo vezanje titana na kisik je potrebno talino pred dodatkom tega elementa temeljito dezoksidirati, titan se zato veže na ogljik in dušik in tvori karbide in nitride, oziroma karbonitride. Nastanek teh spojin, oziroma njihove proste energije v odvisnosti od temperatur prikazuje slika 9.



Slika 9
Prosta energija nastanka titanovih oksidov, sulfidov in nitridov.

Ker se nastali karbonitridi zelo težko raztopijo v talini, delujejo kot kali, kar ima za posledico nastanek večjega števila zrn, to je nastanek finejše dendritske strukture. Za določevanje vpliva titana na velikost kristalnega zrna smo v laboratorijski visokofrekvenčni peči izdelali več šarž, legiranih z različno vsebnostjo tega elementa, katerih sestava je razvidna v tabeli I.

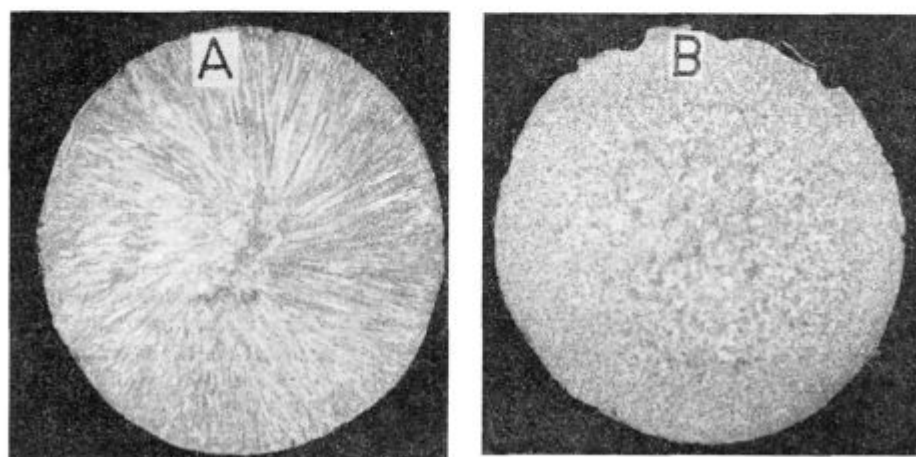
Tako izdelane šarže, oziroma bloke smo prerezali na 1/2 višine. Na tem preseku smo izdelali makrografsko analizo in ugotovili izredne razlike v velikosti zrn, in to glede na vsebnost titana v jeklu. Slika 10 prikazuje lito strukturo jekla A in B, slika 11 pa strukturo jekel C in D.

Tabela 1

Jeklo	Kemična analiza v %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
A	0,09	0,40	0,58	0,028	0,017	22,20	0
B	0,10	0,50	0,60	0,029	0,011	22,60	0,18
C	0,11	0,50	0,61	0,024	0,008	22,90	0,45
D	0,10	0,55	0,60	0,022	0,010	22,30	1,03

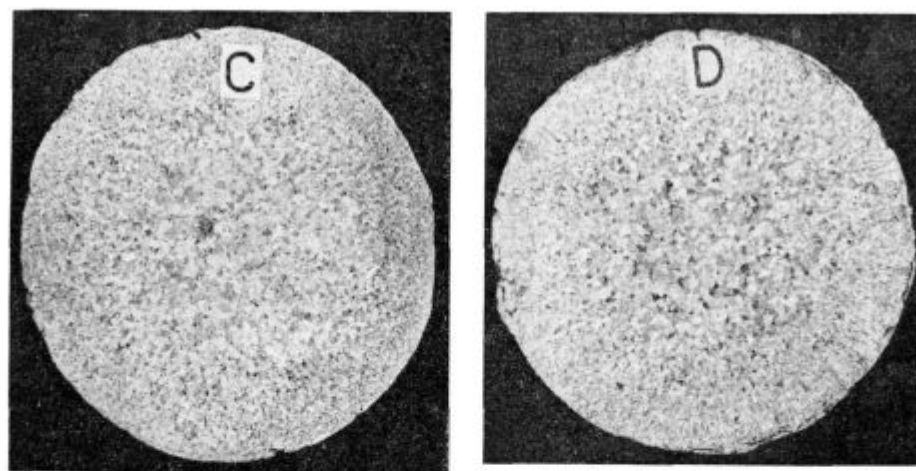
točili, smo preizkušance, katerih makrostruktura je podana na slikah 10 in 11, žarili 10 ur na temperaturi 1100°C. Te pogoje smo si izbrali zato, ker so zelo podobni tehnologiji ogrevanja blokov C 4970. Pri primerjavi rezultatov pred žarjenjem in po žarjenju smo ugotovili, da se kljub sorazmerno visoki temperaturi in dolgem času velikost zrn ni bistveno spremenila, zato teh makro posnetkov ne navajamo.

Poleg navedenega smo skušali ugotoviti vpliv predelave in vsebnosti titana na velikost kristalnih



Slika 10

Velikost kristalnih zrn lite strukture jekel A in B.



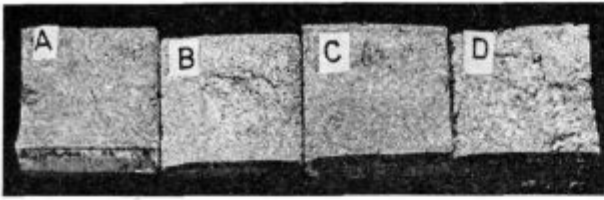
Slika 11

Velikost kristalnih zrn lite strukture jekel C in D.

Iz navedenih posnetkov je jasno razviden vpliv titana na kristalizacijo lite strukture. Za doseganje finejšega zrna je zadosten že majhen dodatek titana. Vsaka prekomerna količina tega elementa nima, gledano s stališča doseganja finejšega zrna, nobenega vpliva na strukturo.

Predvidevali smo, da bo sorazmerno dolgotrajno ogrevanje, oziroma zadrževanje blokov na visokih temperaturah imelo za posledico naraščanje velikosti litega kristalnega zrna. Da bi to ugo-

zrn. V ta namen smo bloke v temperaturnem območju 1100—800°C prekovali v palice preseka 20 × 20 mm in jih ohlajevali na zraku. Slika 12 nam prikazuje prelomne površine kovanih in ne toplotno obdelanih palic jekel A, B, C in D (tabela I). Iz posnetkov je razvidno, da je nastalo po predelavi sorazmerno fino zrno, ne glede na vsebnost titana. Nastanek finega zrna si tolmačimo s tehnologijo kovanja in z naknadno rekristalizacijo.



Slika 12
Premolna površina kovanih palic.

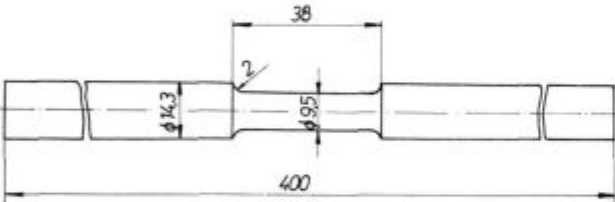
Na predelanih palicah smo izdelali še metalografsko analizo in ugotovili, da so imele šarže, legirane s titanom, rahlo povečana zrna, medtem ko tega nismo zasledili pri šarži brez titana.

Vpliv titana na plastičnost jekla

Da bi potrdili vpliv titana, oziroma vpliv velikosti kristalnega zrna na plastičnost jekla pri temperaturah vroče predelave, smo pristopili k preiskavam torzije in mehanskih lastnosti. Za izdelavo teh preiskav smo glede na že ugotovljen vpliv titana na velikost kristalnega zrna v litem stanju vzeli v obzir jeklo A (brez Ti) in jekli C in D z 0,45 %, oziroma 1,03 % Ti. Analiza teh jekel je razvidna na tabeli I.

Torzija:

Preiskave torzije smo opravljali v temperaturnem območju 1200–800 °C, in to v intervalu od 50 °C. Dimenzija preizkušanca je razvidna na sliki 13. Preizkušanci so bili izdelani iz kovanih palic.



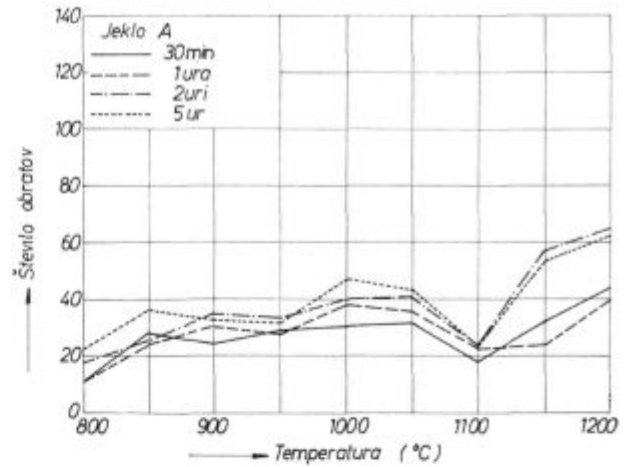
Slika 13
Oblika preizkušanca za preiskave torzije.

Vse preizkušance smo, ne glede na temperaturo preizkusa porušili pri 50 obr./min. Poleg ugotavljanja vpliva titana smo pri torziji želeli ugotoviti tudi morebitni vpliv dolgotrajnega ogrevanja v prej omenjenem temperaturnem območju na plastičnost jekel. Rezultate, ki smo jih pri tem dosegli, prikazujejo slike 14, 15 in 16.

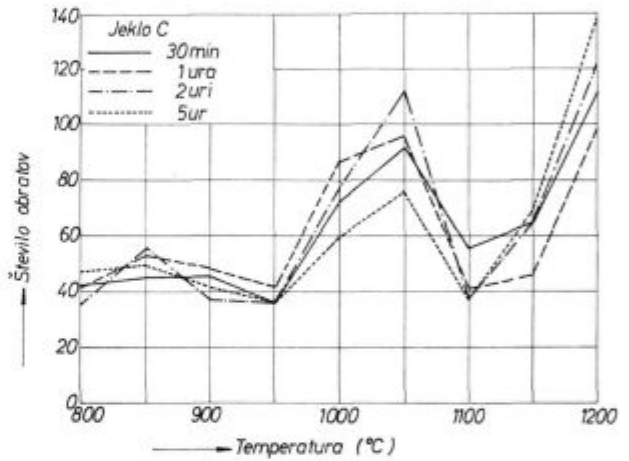
Diagram na sliki 17 pa nam prikazuje iz drugega zornega kota maksimalne dosežene obrate do porušitve v odvisnosti od vsebnosti titana in temperature.

Iz zadnjih štirih diagramov lahko zaključimo naslednje:

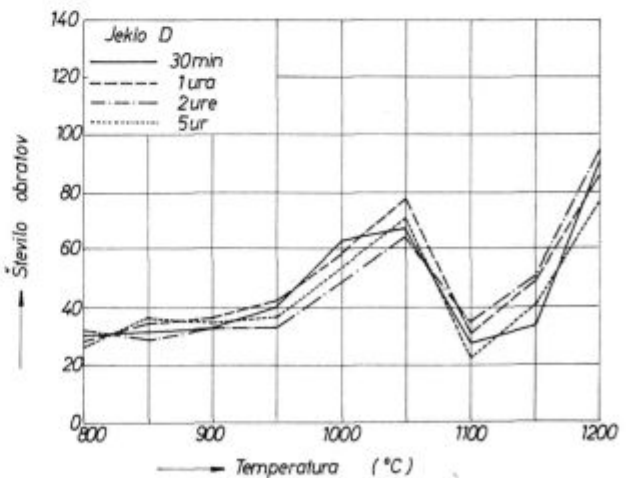
— Jeklo brez titana je imelo najnižje število obratov do porušitve.



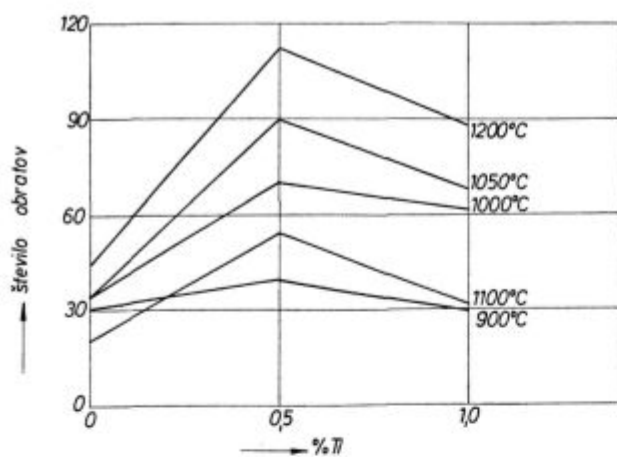
Slika 14
Torzija jekla A. Vpliv temperature in časa ogrevanja.



Slika 15
Torzija jekla C. Vpliv temperature in časa ogrevanja.



Slika 16
Torzija jekla D. Vpliv temperature in časa ogrevanja.



Slika 17

Vpliv titana na število obratov pri določenih temperaturah.

— Jeklo, pri katerem je znašalo razmerje Ti : C = 5 : 1 (Ti = 0,45 %), je imelo najvišje število obratov do porušitve.

— Jeklo, ki je vsebovalo večje količine titana, kot je znašalo razmerje 5:1, je imelo manjše število obratov do porušitve od jekla z navedenim razmerjem.

— Pri vseh treh jeklih ni imel čas ogrevanja (od 30 min do 5 ur) nobenega vpliva na doseženo število obratov.

— Potek krivulj vseh treh jekel kaže, da število obratov z naraščanjem temperature počasi narašča vse do 1050° C, ko se dosežejo najvišje vrednosti. Po tej temperaturi beležimo do 1100° C močan padec števila obratov, posebno pri jeklu, legiranem s titanom. Nad to temperaturo pa število obratov začne hitro naraščati. Iz navedenega sledi, da imajo jekla, ne glede na vsebnost titana, najboljšo plastičnost pri 1050° C.

Pripomniti moramo, da se rezultati, ki smo jih pri naših raziskavah torzije dosegli, precej razlikujejo od rezultatov, ki so jih na jeklih z enako ali zelo podobno vsebnostjo elementov dosegli Elfmark (1), Zuev (5) in drugi.

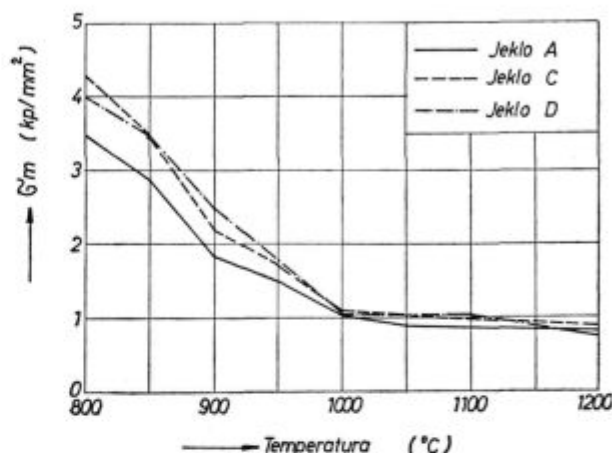
Rezultati se razhajajo predvsem v številu obratov pri določenih temperaturah in v temperaturi maksimalne plastičnosti.

Mehanske lastnosti:

Mehanske lastnosti smo ugotavljali na kovanih in mehansko obdelanih palicah, premera 10 mm. Preiskave smo izvedli v temperaturnem območju 1200—800° C. Palice smo ogrevali v vertikalni elektro uporovni pečici, ki je bila vgrajena na ogrodju trgalnega aparata. Ogrevali smo brez zaščitne atmosfere. Da bi bili pogoji ogrevanja čim bolj enakomerni, smo preizkušance, ki so bili izpostavljeni višjim temperaturam, držali ustrezno krajši čas v peči. Po preteku predpisanega časa

smo preizkušance trgali. Hitrost naraščanja obremenitve je znašala 0,5 kp/mm² sek. Preiskave mehanskih lastnosti smo izvedli tako kot pri torzijskih preiskavah na jeklih A, C in D. Rezultati, ki smo jih pri tem dosegli, so podani v spodaj navedenih diagramih.

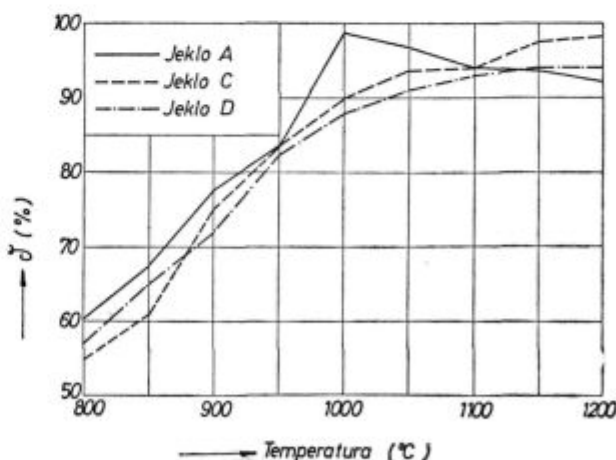
Kakor je iz slike 18 razvidno, trdnost konstantno pada s padajočo temperaturo in doseže nad 1000° C izredno nizke vrednosti.



Slika 18

Vrednost trdnosti v odvisnosti od temperature preiskav.

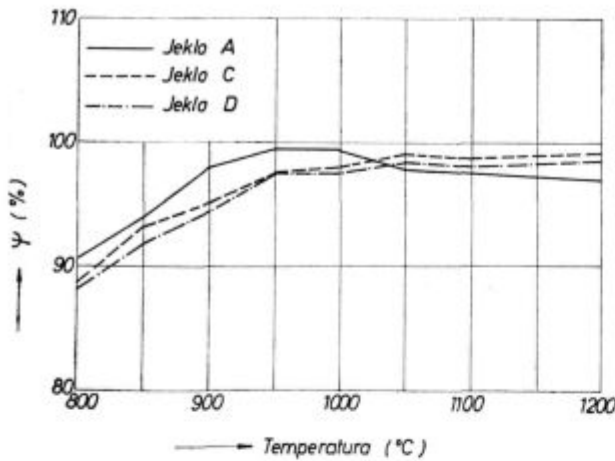
Slika 19 prikazuje vrednost raztezkov v odvisnosti od temperatur. Čeprav ni bilo bistvenih razlik v doseženih vrednostih med posameznimi jekli, moramo omeniti konstantno naraščanje vrednosti raztezkov jekel, legiranih s titanom, obenem pa padanje vrednosti raztezkov nad 1000° C pri jeklu, ki ni vsebovalo titana. To padanje vrednosti raztezkov se ujema s prisotnostjo gama faze.



Slika 19

Vrednosti raztezkov v odvisnosti od temperatur preiskav.

Potek kontrakcije v odvisnosti od temperatur preiskav nam prikazujejo krivulje na sliki 20. Tudi pri teh preiskavah nismo ugotovili bistvenih razlik



Slika 20

Vrednost kontrakcije v odvisnosti od temperatur preiskav.

v vrednosti kontrakcije med posameznimi kvaliteta. Pri jeklu, ki ni legirano s titanom, pa smo zaznamovali rahlo padanje kontrakcije pri temperaturah nad 1000° C.

ZAKLJUČEK

Izdelali smo preiskave torzije in mehanskih lastnosti v temperaturnem območju 1200—800° C ter preiskave vpliva titana na velikost zrn lite strukture z namenom, da bi ugotovili temperaturno območje največje plastičnosti jekla. Rezultati, ki smo jih dosegli, so bili naslednji:

ZUSAMMENFASSUNG

Das Walzen der Blöcke des ferritischen Hitzebeständigen Stahles mit 22 bis 24 % Cr war immer mit grossen Schwierigkeiten verbunden, hauptsächlich als Folge der schlechten plastischen Eigenschaften, weshalb beim Warmwalzen an Walzblöcken mehr oder weniger tiefe Risse entstanden.

Wegen diesen Schwierigkeiten war der Abfall zu gross. Nach der Form der Risse und auf Grund der metallographischen Untersuchungen konnte der Schluss gefasst werden, dass die Ursache für diese Schwierigkeiten das ungünstige Gefüge sein kann. Wir versuchten dieses Gefüge mit Titanzusatz von 0 bis 1 % zu beseitigen. Wir haben

1. Z vezanjem dušika in ogljika v titanov karbonitrid smo odpravili avstenitno območje pri temperaturah nad 1050° C.

2. Karbonitridi delujejo v talini kot kali, zaradi katerih nastane pri strjevanju finejšo zrno.

3. Jekla brez titana so v litem stanju zelo grobo zrnata.

4. Drobnost zrnata struktura se doseže že pri dodatku cca 0,2 % Ti. Večje vsebnosti titana nimajo na zrnatost bistvenega vpliva.

5. Ne glede na kvaliteto jekla smo pri torzijskih preiskavah dosegli največje število obratov do porušitve pri 1050° C, najnižje pa pri 1100° C.

6. Mehanske vrednosti trdnosti se pri vseh jeklih, ne glede na temperature preiskav bistveno ne razlikujejo med seboj.

8. Vrednosti kontrakcije in posebno vrednost raztezkov imajo pri jeklih brez titana tendenco padati pri temperaturah nad 1000° C.

Literatura

1. J. Elfmark: Vpliv prisadu titanu na zlepšeni tvaritnosti oceli s 24 % Cr. *Hutničke listy* 1964, št. 1, str. 22.
2. K. Bungardt: Untersuchungen über den Aufbau des Systems Eisen-Chrom-Kohlenstoff. *Archiv für da Eisenhüttenwesen*, 1958, št. 3, str. 195.
3. E. Mohir: Sulfidi titana v neržavejuščeji titan sadržaščeji stali. *Stal*, 1964, št. 8, str. 736
4. Van Horn: Aluminium in Iron and Steel. *Chepman and Hall — Ltd, London*, str. 309.
5. M. Zuev: Plastičnost čelika na visokim temperaturama. *Udruženje Jugosl. železara — prevod iz ruščine, Beograd* 1973.
6. I. Kornilov — Alloys of Iron — Chromium — Aluminium Polihrafnika — Moskva 1945.

festgestellt, dass ein feinkörniges Gefüge schon bei 0.2 % Ti auftritt. Der Einfluss von Ti auf das Gefüge konnte mit Warmtorsions und ZerreiBproben im Temperaturbereich von 800 bis 1200° C, dass heisst im Bereich des Warmwalzens bestätigt werden. Die gesamten Untersuchungen sind an geschmiedeten Proben aus 5 kg Blöcken ausgeführt worden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Plastizität des ferritischen hitzbeständigen Stahles schon mit geringen Titanzusätzen verbessert werden kann. Dabei haben wir die beste Plastizität, unabhängig von der Titankonzentration im Stahl, bei 1050° C und die schlechteste bei 1100° C erreicht.

SUMMARY

Rolling of ingots of ferritic refractory steel with 22 to 24 % Cr caused always difficulties due to bad plasticity of the steel. More or less deep cracks in rollings appeared during the hot rolling. Thus too high cobble was obtained. The crack shape and the metallographic analysis indicated that the troubles could be caused by the cast structure. The structure was modified by adding up to 1 % titanium. The fine grained structure was obtained

already with 0.2 % Ti. Influence of this element on the grain size and thus on the plasticity of the steel was confirmed by torsion and tensile tests between 800 and 1200° C, i. e. in the range of hot rolling. All the tests were made with forged test pieces which were made of 5 kg laboratory ingots. The obtained results show that plasticity can be improved with small additions of titanium. Regardless to the amount of this element in steel the best plasticity was obtained at 1050° C, and the lowest at 1100° C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прокат слитков огнестойкой ферритной стали с содержанием 22—24 % Cr был всегда связан с большими затруднениями, которые проявлялись в плохой пластичности стали. Вследствии этого на прокатном изделии при горячем прокате появлялись более или менее глубокие трещины. Изза упомянутых затруднений в цехе имели чрезмерное количество брака. По форме трещин и на основании металлографического анализа заключили, что причины затруднений недостаточно мелкая структура слитков. Эту неблагоприятную структуру устранили при помощи элемента титана, добавка которого колебалась между 0—1 %. Установили, что мелкозернистая структура получена уже при

0.2 % Ti. Влияние этого элемента на величину зёрен, а с этим и на пластичность стали доказали исследованием торзии и испытанием на разрыв в темп-ом интервале 800—1200°, что соответствует темп-ной области горячего проката. Эти исследования выполнены на пробных образцах приготовленных из 5 кг-их лабораторных слитков. Полученные результаты показали, что пластичность стали можно получить уже с небольшой добавкой титана. Несмотря на содержание этого элемента в стали, самую лучшую пластичность получали при темп-ре 1.050°, а самую плохую при 1.100° Ц.