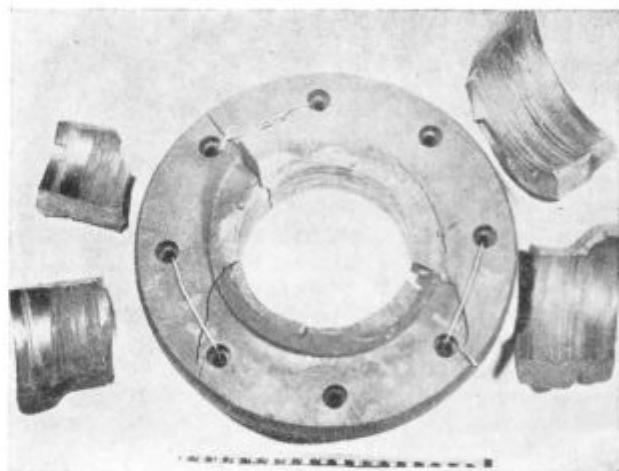


Primeri iz dela metalografskega laboratorija

V članku opisujemo metalografsko analizo materiala porušene prirobnice iz visoko legirane jeklene litine. Na osnovi strukturnih značilnosti ocenjujemo delovne pogoje kakršnim je bila podvržena prirobnica v določenem časovnem intervalu pred poružitvijo. S povezavo rezultatov optične metalografije ter informacij, dobljenih z elektronskim mikroanalizatorjem smo kvalitativno opisali verjetni mehanizem poružitve.

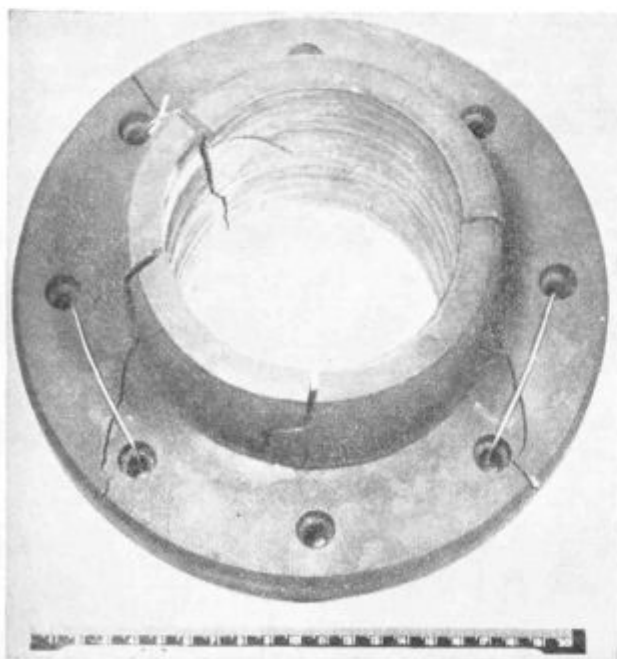
Prirobnica z nastavkom, v katere notranji odprtini je rotirala pogonska gred črpalke, se je po približno dveletnem delu nenadoma porušila. Skozi visokotlačno črpalko se je pretakala čista voda s temperaturo 210° C in tlakom 165 atm. Zračnost med gredjo in notranjo steno prirobnice je bila okoli 0,1 mm. Voda, ki se je pretakala skozi to režo, je bila mazalno sredstvo. Iz delovnega dnevnika ni bilo razvidno, če so nastale kakšne motnje med obratovanjem. Dopusčena pa je bila možnost, da je med pogonom padel tlak do take mere, da se je voda uparila. V tem primeru je izostal njen mazalni učinek in pogonska gred je prišla v neposreden kontakt z notranjo steno prirobnice.

Pri poružitvi je prirobnica razpadla na več kosov (slika 1 in 2). Na posameznih kosih pa smo opazili velike, različno dolge in zvečina radialno potekajoče razpoke, ki so začele na notranji strani prirobnice (slika 2). Prelomne površine so bile pokrite s tanko plastjo magnetitne škaje, s podobno tanko plastjo je bila prevlečena tudi vsa zunanja in notranja površina prirobnice.



Slika 2

Delci, v katere je razpadla prirobnica

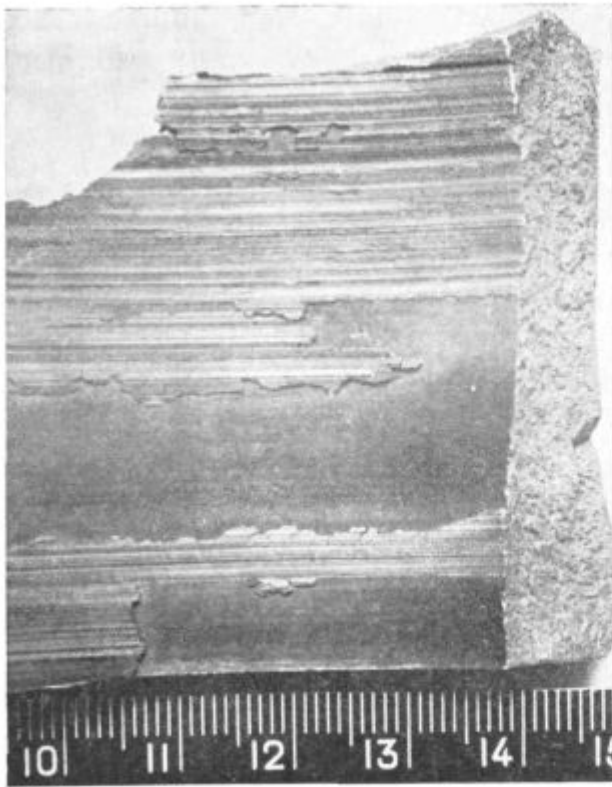


Slika 1

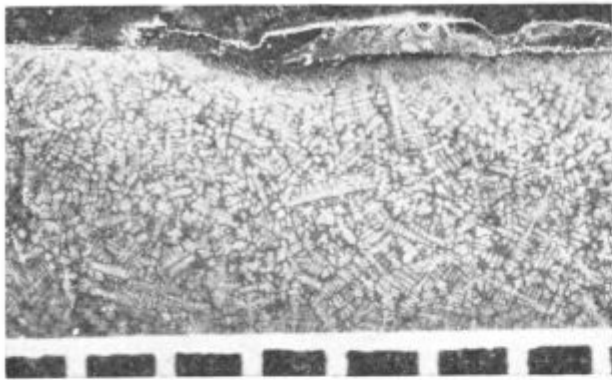
Prirobnica. Posamezni kosi so sestavljeni v prvotno obliko prirobnice

Na notranji površini prirobnice so dobro vidni različno široki in celo blizu 1 mm debeli pasovi zaribane tuje kovine (slika 3). Podobne informacije smo zbrali tudi na makroskopskih posnetkih s prečnega (slika 5) in vzdolžnega (slika 4) preseka prirobnice. Na sliki 4 se vidi del zaribane kovine na prirobnici. V zaribani kovini so drobna zrna oksidne škaje. Makroskopsko jedkanje odkrije tudi več drobnih razpok, ki jih s prostim očesom ni moč videti (slika 5). Na tej sliki se vidi tudi približno 1,5 cm široka cona, v kateri je prišlo zaradi povišane temperature do večjih ali manjših strukturnih sprememb.

Kemična sestava materiala (1,54 % C, 18,20 % Cr, 0,88 % Si, 0,51 % Mn, 0,36 % Ni, 0,11 % Mo, 0,026 % S in 0,025 % P) je normalna za visokolegirano kromovo ledeburitno litino, ki je korozijsko, toplotno in obrabno obstojna. Po podatkih iz literature imajo litine te vrste, med katere spada tudi analizirana, naslednje mehanske lastnosti: trdoto HB 290 do 450 kp/mm², natezno trdnost σ_m 27 do 63 kp/mm², tlačno trdnost 70 kp/mm² ter žilavost 2,8 do 4,8 kpm/cm².

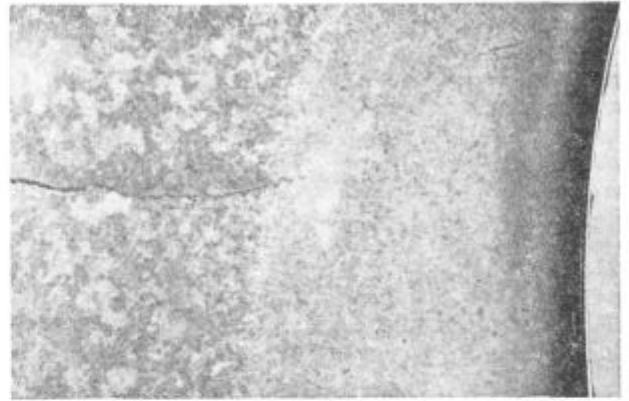


Slika 3
Notranja stran kosa razletele prirobnice. Vidijo se pasovi zaribane druge kovine



Slika 4
Makroskopski posnetek dela prečnega preseka prirobnice. Na notranji strani je zaribana kovina. Jedkano ($\text{CuSO}_4 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$); pov. 15 \times

Mikrostrukturna analiza je pokazala, da je litina razmeroma čista in da so vsi vključki oksidnega tipa (praktično sam kromov oksid). Mikrostruktura nespremenjene litine daleč od notranjega roba (izven območja toplotnega vpliva) sestoji iz kristalnih zrn ferita in iz v feritu dispergiranih drobnih karbidov. Ta feritna kristalna zrna obkroža ledeburitni eutektik. Taka mikrostrukturna sestava, ki je glede na fazni diagram sicer neravnotežna, je povsem normalna za lito stanje. Razpoke v delu prirobnice, kjer je še prvotno lita

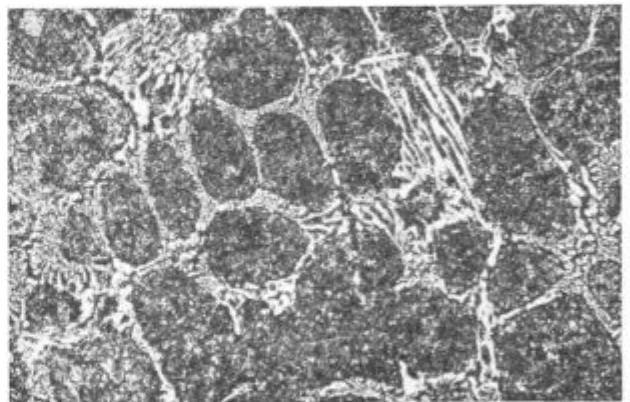


Slika 5
Makroskopski posnetek preseka ob notranji strani prirobnice. Razpoke in široka cona toplotnega učinka. Jedkano ($\text{FeCl}_3 + \text{HCl} + \text{ethyl. alk.}$); pov. 2,6 \times

struktura brez naknadnega toplotnega vpliva, potekajo predvsem čez ledeburitni eutektik t. j. čez krhko strukturno komponento litine (slika 6). Mikrotrdote feritnih zrn z drobnimi precipitiranimi karbidi so 350–370 kp/mm² (HV), ledeburitnega eutektika pa okoli 530 kp/mm² (HV).



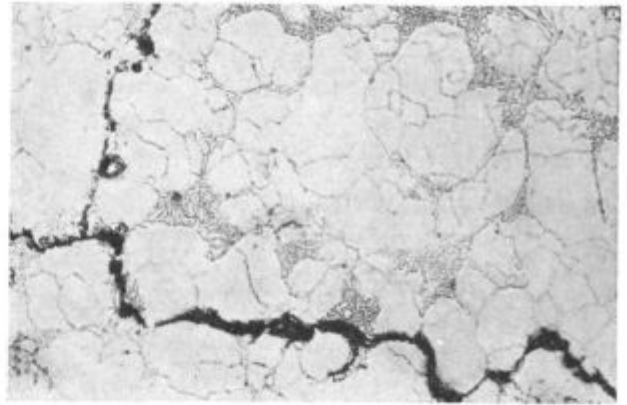
Slika 6
Potek razpoke v delu prirobnice z nespremenjeno strukturo. Jedkano ($\text{CuSO}_4 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$); pov. 200 \times



Slika 7
Martenzit z nespremenjeno primarno ledeburitno mrežo. Jedkano ($\text{FeCl}_3 + \text{HCl} + \text{ethyl. alk.}$); pov. 100 \times

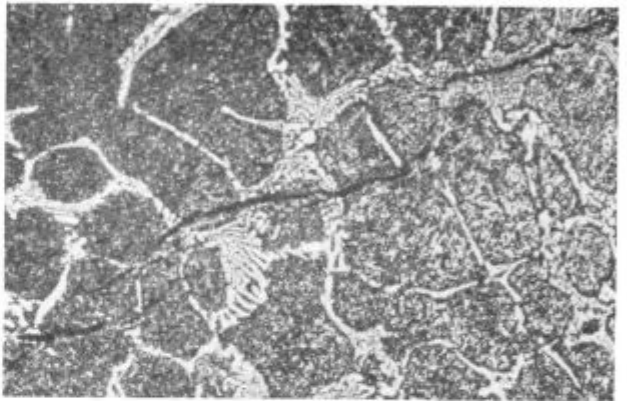
Mikrostruktura se skozi približno 1,5 cm široko cono toplotnega učinka zvezno spreminja. V določenem pasu so nastale kalilne strukture, katerih trdota je med 620 in 690 kp/mm² (HV) (slika 7). Le-te strukture so posledica visoke temperature in primernih ohlajevalnih hitrosti, katerim je bil podvržen material. V tem področju se prvotna ledeburitna mreža ni spremenila.

V smeri proti notranjemu robu je prišlo še do naslednjih zvezno si sledečih sprememb: prekristalizacije primarne strukture in nastanka večjega števila kristalnih zrn, katerih trdota je 480 do 550 kp/mm² (sliki 8 in 9) ter raztapljanja in ponovnega izločanja karbidov po mejah austenitnih



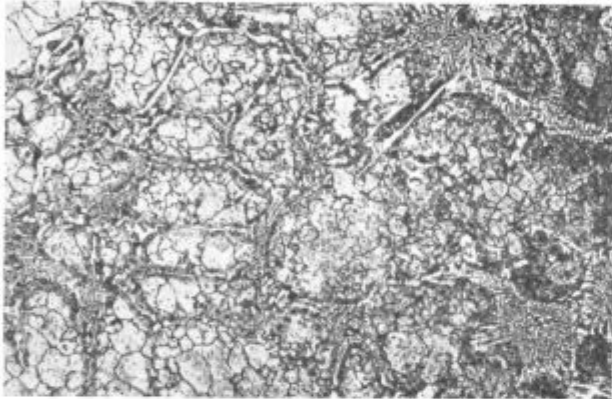
Slika 10

Potek razpoke ob notranji površini prirobnice v coni toplotnega vpliva. Austenit in karbidne kolonije. Jedkano (FeCl₃ + HCl + ethyl. alk.); pov. 100 ×



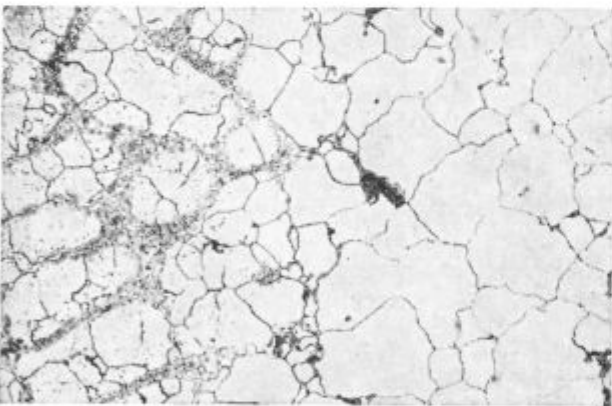
Slika 11

Potek razpoke v coni toplotnega učinka. Razpoka poteka delno čez ledeburitni eutektik, delno pa čez kristalna zrna martenzita. Jedkano (FeCl₃ + HCl + ethyl. alk.); pov. 100 ×



Slika 8

Mikrostruktura v coni toplotnega učinka. Levo martenziti (črn) z ledeburitnim eutektikom, desno prekristalizirana struktura. Jedkano (FeCl₃ + HCl + ethyl. alk.); pov. 100 ×



Slika 9

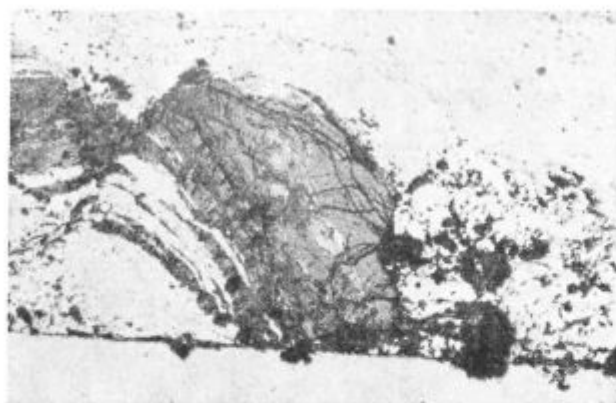
Mikrostruktura ob notranji strani prirobnice v coni toplotnega učinka. Prekristalizirano; austenit (desno) in austenit z delno razpadlo ledeburitno mrežo (levo). Jedkano (FeCl₃ + HCl + ethyl. alk.); pov. 100 ×

kristalnih zrn, katerih trdota je približno 300 do 360 kp/mm² (HV) (sliki 9 in 10). Razpoke v coni toplotnega učinka ne potekajo več samo po ledeburitni mreži, temveč tudi čez kristalna zrna in po kristalnih mejah, na katerih ni karbidov ali karbidnega eutektika (sliki 10 in 11).

Mikrostruktura v coni ob notranji površini prirobnice kaže, da je bila temperatura v tem delu

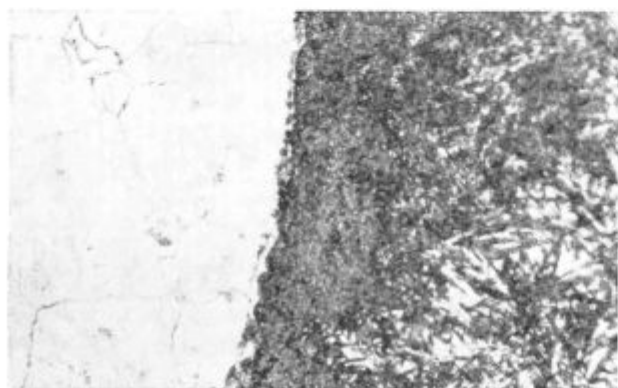
precej nad 1200° C. Obstaja celo možnost, da je prišlo do lokalnega nataljevanja. Grobo oceno temperature, na katero je bila segreti kovina ob notranjem robu, smo skušali dobiti s pomočjo žarjenj pri različnih temperaturah. Žarjenje pri maksimalni temperaturi 1230° C je pokazalo, da se eutektski karbidi zelo počasi raztapljajo. Še po 1,5-urnem žarjenju na tej temperaturi je ostal večji del teh karbidov neraztopljen. Iz tega lahko sklepamo, da je bila temperatura v robni coni še višja ali pa da je trajal tak temperaturni režim mnogo dalj časa.

V pomoč pri ugotavljanju temperaturnega režima nam je bila tudi zaribana kovina na notranji strani prirobnice. Zaribana kovina je na mnogih mestih povsem zvarjena z materialom prirobnice (slika 13). Drugje je ta zveza prekinjena zaradi oksidne škaže ipd. (slika 12). Za doseg tako tesnega kontakta sta potrebna visoka temperatura in tlak (v primeru, če je nastal spoj med trdnima partnerjema) ali pa je moral biti eden od partnerjev v testnem oziroma tekočem stanju.



Slika 12

Mesto, kjer se je na notranjo površino prirobnice zaribala druga kovina. Siva polja so polja škaje. Polirano; pov. 500 ×



Slika 13

Mikrostruktura spoja med prirobnico in zaribano kovino. Levo austenit (prirobnica), desno martenzit in zaostali austenit (zaribana kovina); jedkano ($\text{FeCl}_2 + \text{HCl} + \text{ethyl. alk.}$); pov. 500 ×

Mikrostruktura zaribane kovine sestoji iz martenzita in zadržanega austenita (sliki 13 in 14). Zaribana kovina pa je prišla lahko le z gredi. Materiali, iz katerih so zgrajene take gredi, pa so ali

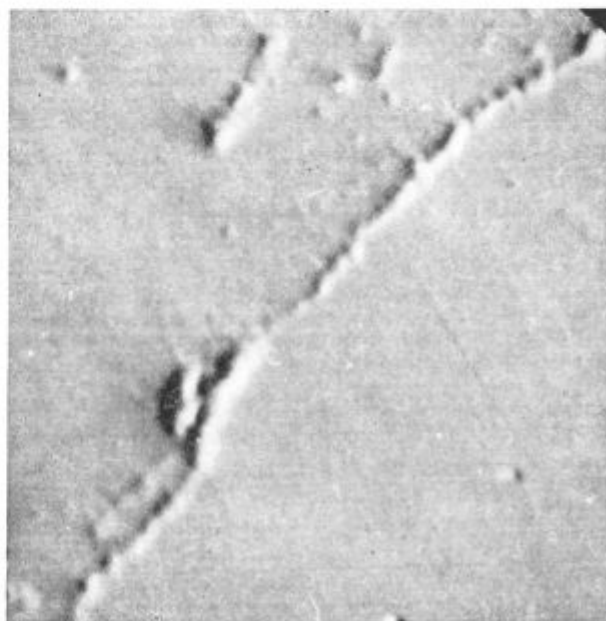


Slika 14

Mikrostruktura na prirobnici zaribane kovine: martenzit in zaostali austenit. Sivo so veliki vključki oksidne škaje. Jedkano ($\text{FeCl}_2 + \text{HCl} + \text{ethyl. alk.}$); pov. 500 ×

ogljikova jekla ali pa jekla za popljšanje. Ta jekla pa niso kaljiva na zraku. Deli razrušene prirobnice so se lahko ohladili le na zraku. Nekateri deli pa so se verjetno ohlajali še počasneje, ker so bili še v kontaktu s paro.

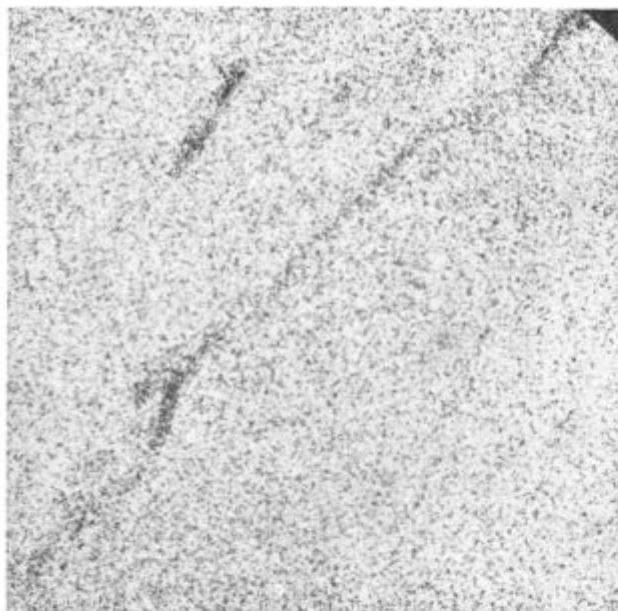
Če so se torej kosi ohladili na zraku, v ogljikovem konstrukcijskem jeklu ali pa v jeklu za popljšanje take strukture ne bi mogli dobiti. Lahko pa bi taka mikrostruktura nastala v jeklu, ki bi imelo povečano koncentracijo elementa, ki znižuje kritično ohlajevalno hitrost. Zato smo skleпали, da nima zaribana kovina več enostavne sestave t. j. sestave enega od obeh konstrukcijskih



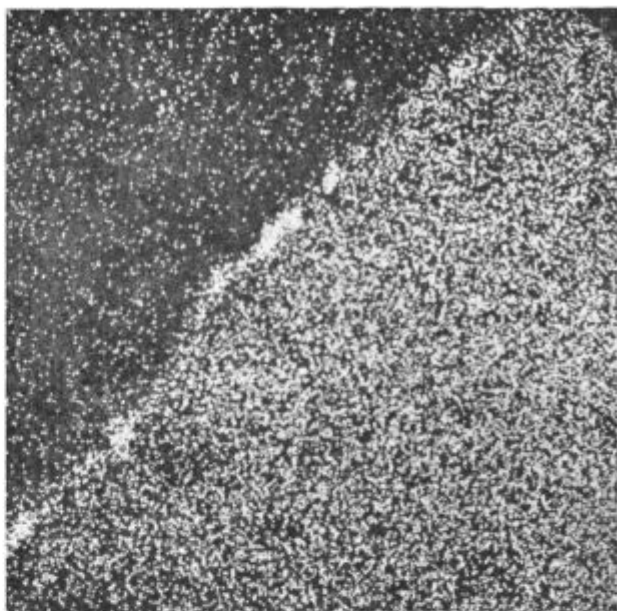
a) Topografska slika



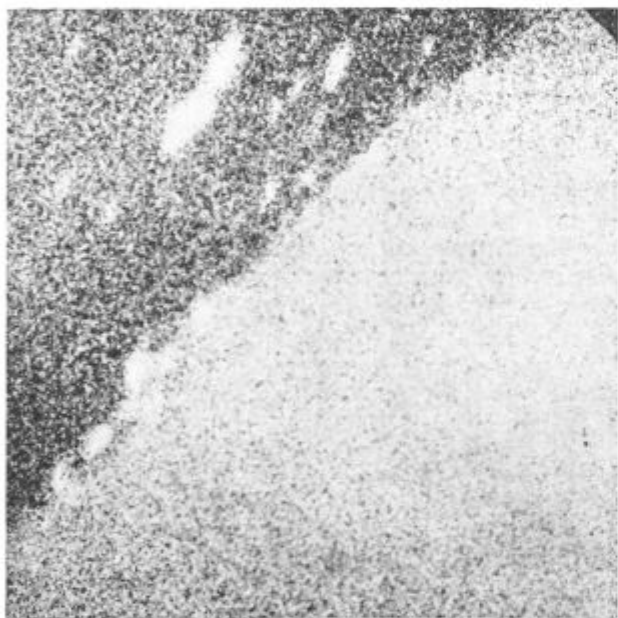
b) Slika sestave



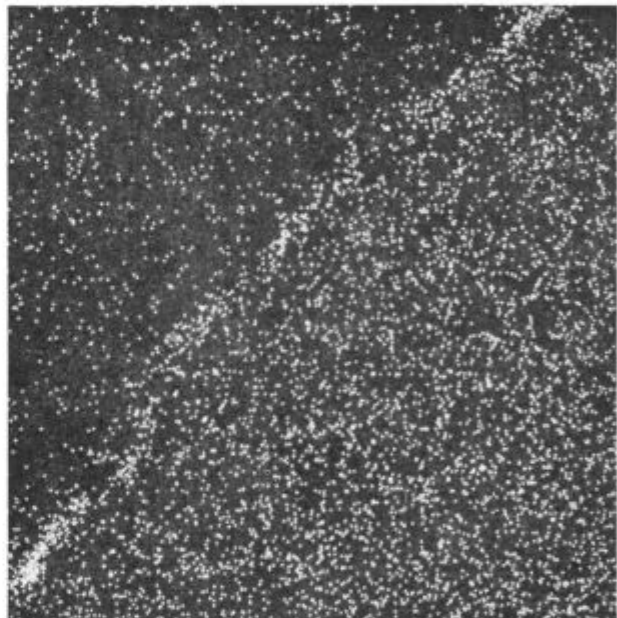
c) Železo



e) Silicij



d) Krom



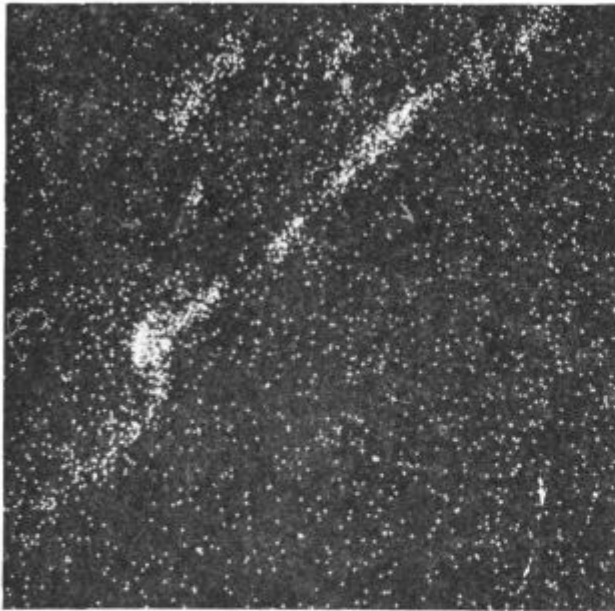
f) Mangan

elementov, ki sta bila lahko v mehanskem kontaktu, temveč sestavo, ki je posledica metalurške reakcije med obema deloma. Mikrotrdota zaribane kovine je 670 do 690 kp/mm², vključkov žindre pa okoli 950 kp/mm².

Na elektronski mikrosondi smo analizirali sestavo na obeh straneh zvara (stika med prirobnico in zaribano kovino). Opazili smo, da se koncentracija kroma v zaribani kovini na različnih mestih spreminja približno od 3 do 6 %. Ta koncentracija je tako velika, pa tudi na taki razdalji od začetne meje (do cca 1 mm), da ni verjetno, da bi se povečala zaradi difuzije v trdnem preko stične površine

med prirobnico in gredjo. Scanning slike kažejo razporeditev analiziranih elementov (Cr, Mn, Si, Al, Fe, O₂) na obeh straneh zvarjene meje (sl. 15). Vidijo se relativne razlike v koncentraciji. Na analiziranem mestu so le zelo kratki odseki čistega kovinskega stika, večina stične površine pa je oksidirana. Ti oksidi in oni znotraj zaribane kovine so nastali verjetno z oksidacijo kovine z vodno paro ali zrakom pri visoki temperaturi.

Do takega velikega porasta koncentracije kroma v zaribani kovini kot ga kažejo kvalitativno scanning slike, kvantitativno pa črtna analiza, je prišlo verjetno zaradi delnega nataljevanja mate-



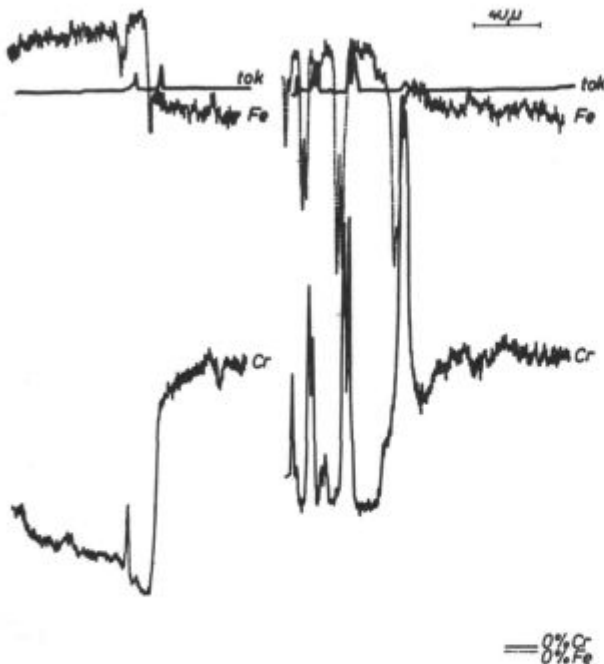
h) Aluminj

Slika 15

Rastrske slike, posnete na stiku med materialom prirobnice in zaribane kovine; levo zgoraj zaribana kovina; pov. $840 \times$

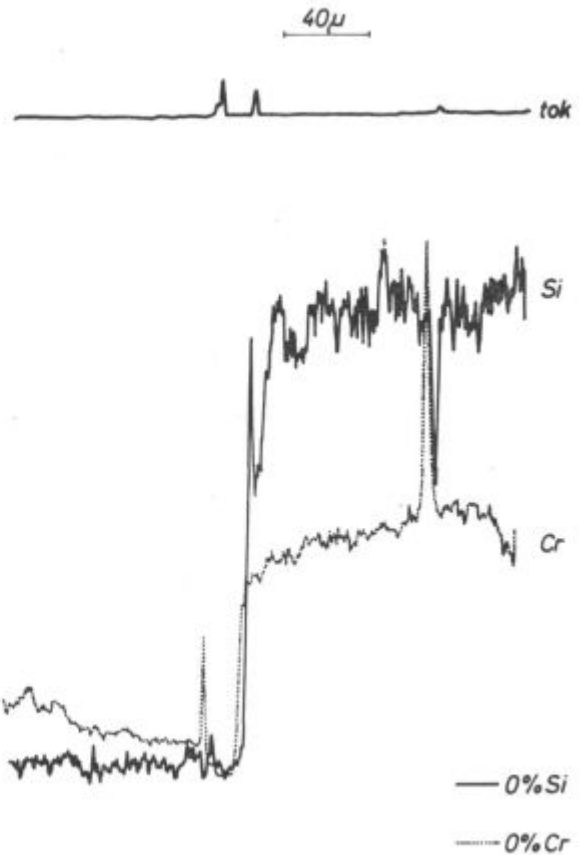
riala prirobnice na stiku z gredjo. Zlitina, iz katere je ulita prirobnica, ima sigurno nižje tališče od jekla, iz katerega je bila izdelana gred.

Zanimiv je tudi potek koncentracije kroma na obeh straneh stične meje. Koncentracija kroma v zaribani kovini je na analiziranih mestih celo naraščala z oddaljenostjo od zvarjene meje. Pri siliciju in manganu podobnega pojava nismo opazili (slike 16, 17 in 18).



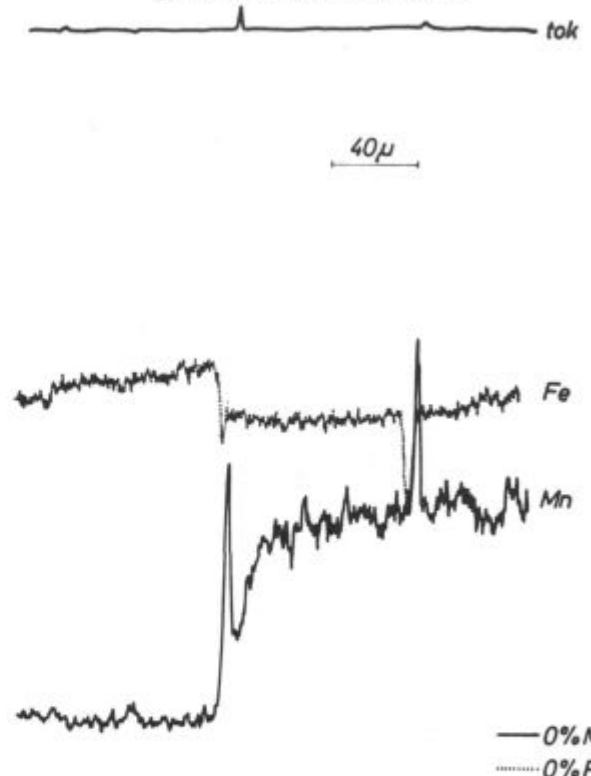
Slika 16

Koncentracijski profil železa in kroma na dveh stikih kovine prirobnice in zaribane kovine



Slika 17

Koncentracijski profil silicija in kroma na stiku kovine prirobnice in zaribane kovine



Slika 18

Koncentracijski profil mangana in železa na stiku kovine prirobnice in zaribane kovine

Taka svojstvena porazdelitev kroma kaže na gnetenje in mehansko »mešanje« zaribanega materiala. Na isti pojav lahko sklepamo iz porazdelitve in poteka vključkov oksidne škaje. Vključki oksidne škaje na meji med prirobnico in zaribano površino so sestavljeni iz kroma, aluminija, silicija, mangana in železa, dočim smo v vključkih v zaribani kovini odkrili krom, aluminij in železo.

Na osnovi zgoraj opisanih sprememb v materialu prirobnice in po strukturnih značilnostih ter kemični sestavi zaribane kovine poiščemo verjeten vzrok porušitve prirobnice po naslednjem predarku: Iz nepoznanega vzroka je prišlo do neposrednega kontakta med vrtečo se gredjo in notranjo steno prirobnice. Posledica mehanskega trenja med obema deloma je bil postopen porast temperature na obeh straneh stične površine. Medsebojni kontakt je trajal toliko časa, da je temperatura v coni ob stični površini dosegla vrednost

nad 1200° C. Najverjetneje pa je zrasla na tako vrednost, da je prišlo do delnega nataljevanja materiala prirobnice (verjetno samo evtektika).

Razmeroma nizka toplotna prevodnost zlitine z visokim procentom kroma je tudi vplivala na to, da je bil porast temperature omejen na relativno ozek pas ob notranji površini prirobnice. Posledica tega je bil tudi zelo velik gradient v porazdelitvi temperature po prirobnici od notranjega roba navzven.

Neposreden vzrok porušitve je najverjetneje iskati v kombinaciji termičnih napetosti, nastalih kot posledica specifične porazdelitve temperature ter dinamičnih sil zaradi zaribanja med gredjo in prirobnico. Tak način porušitve pa potrjuje že v uvodu izraženo domnevo, da je prišlo do neposrednega kontakta med gredjo in prirobnico zato, ker je padel tlak in se je voda uparila.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel sind die Ergebnisse metallographischer Untersuchung eines Flansches aus hochlegiertem Stahlguss beschrieben. Die Gefügeeigenheiten, die chemische Zusammensetzung des eingegebenen Metalles auf der Innenfläche des Flansches halfen uns bei der Einschätzung thermi-

scher Beanspruchungen welchen der Flansch eine gewisse Zeit vor dem Bruch ausgesetzt war.

Auf Grund dieser Untersuchungen konnten wir ein wahrscheinlich qualitatives Schema der Zerstörung des Flansches feststellen.

SUMMARY

The results of the metallographic investigation of the material of a ruptured flange made from high-alloyed cast steel are presented. Based on the structural characteristics of the inner face of the flange it was possible to determine

the service and thermal conditions the flange was subjected for a given time before the failure. A qualitative description of a probable mechanism of the failure is described.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны результаты металлографического анализа излома фланца из высоколегированного стального отливка.

тепловой режим под которым находился фланец определенное время перед самым изломом.

Структурные характеристики и состав заеданого металла на внутренней части фланца дали возможность оценить рабочий т.е.

На основании этого подана возможная качественная схема излома фланца.