

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Vodopivec Franc — Metalurški inštitut NEKATERI PRIMERI PREISKAV Z ELEK- TRONSKIM MIKROANALIZATORJEM NA METALURSKEM INSTITUTU V LJUBLJANI	153
Kveder Aleksander — Metalurški inštitut PREIZKUSANJE PREDELAVNOSTI JEKLA V VROCEM	167
Kosec H., F. Vodopivec, R. Brifah — Metalurški inštitut PRIMERI IZ DELA METALOGRAFSKEGA LABORATORIJA	179
Sipek Mitja — Zelezarna Ravne MAGNETOGRAFIJA V METALURSKI PRAKSI	189
Segel Antonija — Zelezarna Ravne KOROZIJA JEKEL	201
Perman J., E. Perman — Zelezarna Ravne Verhovnik S. — Zavod za zdravstveno varstvo Maribor ONECISCENJE ATMOSFERE V MEŽISKI DOLINI	209
Muster Jože — Metalurški inštitut UPORABA KEMICNO VEZANIH MAS ZA ZLEBOVE JEKLARSKIH PEČI	219

1970 · LETO IV **3**

VSEBINA

- Dr. Vodopivec Franc, dipl. inž., Metalurški inštitut Stran
- Nekateri primeri preiskav z elektronskim mikroanalizatorjem na metalurškem inštitutu v Ljubljani** 153
- DK: 620.18
ASM/SLA: 621 e
- Kveder Aleksander, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Preizkušanje predelavnosti jekla v vročem** 167
- DK: 669.14.018.2 : 620.16
ASM/SLA: F 23, 1-66
- Mag. Kosec Z., dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Primeri iz dela metalografskega laboratorija** 179
- DK: 620.181
ASM/SLA: 621 c, Q 27 a
- Šipek Mitja, dipl. inž., Železarna Ravne
- Magnetografija v metalurški praksi** 189
- DK: 620.191 : 620.179.1
ASM/SLA: S 13 h
- Segel Antonija, Železarna Ravne
- Korozija jekel** 201
- DK: 669.15-194.3 : 620.193
ASM/SLA: SSb, R1, R3, R11
- Perman J., dipl. inž., E. Perman, dipl. inž. Železarna Ravne,
Mag. S. Verhovnik, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor
- Onečiščenje atmosfere v Mežiški dolini** 209
- DK: 614.71
ASM/SLA: A 8 a
- Dr. Muster Jože, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Uporaba kemično vezanih mas za žlebove jeklarskih peči** 219
- DK: 666.767
ASM/SLA: RMh 38

INHALT

- Dr. Vodopivec Franc, dipl. inž., Metalurški inštitut Seite
- Einige Beispiele der Untersuchungen mit der Elektronenmikrosonde am Hütteninstitut in Ljubljana** 153
- DK: 620.18
ASM/SLA: M 211
- Kveder Aleksander, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Die Untersuchung der Warmverformbarkeit der Stähle** 167
- DK: 669.14.018.2 : 620.16
ASM/SLA: F 23, 1-66
- Mag. Kosec Z., dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Einige Beispiele aus dem metalographischen Laboratorium** 179
- DK: 620.181
ASM/SLA: Q 27 a
- Sipek Mitja, dipl. inž., Zelezarna Ravne
- Magnetographie in der Hüttenpraxis** 189
- DK: 620:191 : 620.179.1
ASM/SLA: S 13 h
- Segel Antonija, Zelezarna Ravne
- Die Stahlkorrosion** 201
- DK: 669.15-194.3 : 620.193
ASM/SLA: SSb, R1, R3, R11
- Perman J., dipl. inž., E. Perman, dipl. inž. Zelezarna Ravne,
- Die Verurreinigung der Luft im Tal der Mežica** 209
- DK: 614.71
ASM/SLA: A 8 a
- Dr. Muster Jože, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Chemisch gebundene Massen für die Ausmauerung der Abstichrinnen beim SM und Elektroöfen** 219
- DK: 666.767
ASM/SLA: RMh 38

CONTENTS

Dr. Vodopivec Franc, dipl. inž., Metalurški inštitut	Page
Some investigations with electron probe x-ray microanalyzer at the metallurgical institute in Ljubljana	153
DK: 620.18	
ASM/SLA: M 211	
Kveder Aleksander, dipl. inž., Metalurški inštitut	
Testing of the hot workability of steel . . .	167
DK: 669.14.018.2 : 620.16	
ASM/SLA: F 23, 1-66	
Mag. Kosec Z., dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., Metalurški inštitut	
From the work of a metallographic lab . . .	179
DK: 620.181	
ASM/SLA: Q 27 a	
Šipek Mitja, dipl. inž., Železarna Ravne	
Magnetography in metallurgy	189
DK: 620 : 191 : 620.179.1	
ASM/SLA: S 13 h	
Šegel Antonija, Železarna Ravne	
Corrosion of steel	201
DK: 669.15-194.3 : 620.193	
ASM/SLA: SSb, R1, R3, R11	
Perman J., dipl. inž., E. Perman, dipl. inž. Železarna Ravne,	
Pollution of the atmosphere in Mežica valley	209
DK: 614.71	
ASM/SLA: A 8 a	
Dr. Muster Jože, dipl. inž., Metalurški inštitut	
Use of chemically bonded mixtures for spouts of steel-making furnaces	219
DK: 666.767	
ASM/SLA: RMh 38	

СОДЕРЖАНИЕ

- Dr. Vodopivec Franc, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Некоторые примеры исследований при помощи электронного микроанализатора на Металлургическом Институте в Любляне** 153
- DK: 620.18
ASM/SLA: M 211
- Kveder Aleksander, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Испытание деформируемости стали в горячем состоянии** 167
- DK: 669.14.018.2 : 620.16
ASM/SLA: F 23, 1-66
- Mag. Koscec Z., dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Некоторые примеры из работ металлографического лаборатория** 179
- DK: 620.181
ASM/SLA: Q 27 a
- Sipek Mitja, dipl. inž., Železarna Ravne
- Магнетография в металлургической практики** 189
- DK: 620 : 191 : 620.179.1
ASM/SLA: S 13 h
- Segel Antonija, Železarna Ravne
- Коррозия стали** 201
- DK: 669.15-194.3 : 620.193
ASM/SLA: SSb, R1, R3, R11
- Perman J., dipl. inž., E. Perman, dipl. inž. Železarna Ravne,
- Загрязнение атмосферы в долине Межицы** 209
- DK: 614.71
ASM/SLA: A 8 a
- Dr. Muster Jože, dipl. inž., Metalurški inštitut
- Употребление химически связанных масс для жёлоба сталеплавильной печи** 219
- DK: 666.767
ASM/SLA: RMh 38

Dr. Franc Vodopivec, dipl. inž.
Metalurški inštitut

DK: 620.18
ASM/SLA: M21e

Nekateri primeri preiskav z elektronskim mikroanalizatorjem na metalurškem inštitutu v Ljubljani

V članku so v močno poenostavljeni obliki opisani zgradba elektronskega mikroanalizatorja in princip njegovega delovanja. V nadaljevanju so opisani sledeči primeri analiz: analiza silikatnih in aluminatnih vključkov ter izcej kroma v jeklih, analiza razdelitve izločkov bogatih s titanom, sestava sulfidnih vključkov pred in po žarjenju jekla za avtomate, analiza korozijskih produktov, analiza nehomogenosti v litem duralu in analiza razdelitve elementov v kontaktnem sloju.

1. ZGRADBA IN DELO ELEKTRONSKEGA MIKROANALIZATORJA

Elektronski mikroanalizator je v rabi okoli 15 let. Na osnovi sedanjih izkušenj in rezultatov dela z njim ni pretirano, če trdimo, da ima podoben pomen za obogatitev našega znanja o kovinskih gradivih, kot elektronski mikroskop in strukturni rentgen. Geometrična ločljivost elektronskega mikroanalizatorja je približno 1 mikron, masna občutljivost pa 10^{-14} g, zato je z njim mogoče določiti kvalitativno in kvantitativno elementno sestavo vseh mikrostrukturnih sestavin, katere še jasno vidimo v optičnem mikroskopu in od katerih so v največji meri odvisne lastnosti tehnično najbolj pomembnih kovinskih gradiv. Z njim je torej mogoče analizirati razne nekovinske vključke, karbide, nitride, intermetalne spojine, izceje, mikroskopske faze v mineralih, rudah, ognjevarnih gradivih in drugo.

Elektronski mikroanalizator ne more nadomestiti elektronskega mikroskopa in z dopolnili le deloma lahko opravi delo strukturnega rentgena. Je instrument, katerega so posebno metalografi želeli že več kot tri četrt stoletja, da bi analize s pomočjo metalografskega mikroskopa, s katero so dosegli fazno in morfološko sestavo vzorca,

dopolnili s kvantitativnimi meritvami in tako dobili popolno sliko o mikrostrukturni zgradbi kovin. Izkušnje metalografov in različne tehnike jedkanja površine kovinskih gradiv so omogočale, da se je določilo kvalitativno sestavo mikrostrukturnih sestavin s pomočjo optičnega mikroskopa, ni pa bilo mogoče na situ določiti njihove elementne sestave. Tudi najzahtevnejši postopki, na primer autoradiografska ali mikroradiografska preiskava, so dajali le kvalitativne ali v najboljšem primeru semikvantitativne podatke.

Oče elektronskega mikroanalizatorja je francoski inženir Castaing, ki je do leta 1951 razvil teorijo, leta 1954 pa izdelal prvi uporabni aparat. Elektronski mikroanalizator so razvili v glavnem za potrebe metalurgije, svojo vsesplošno uporabnost pa je dokazal s tem, da so ga hitro prevzele razne naravoslovne veje na primer fizika trdnih snovi, mineralogija, organska in neorganska kemija in celo biologija in medicina. Danes je v uporabi nekaj 100 mikroanalizatorjev. Najdemo jih po raziskovalnih, razvojnih in proizvodnih ustanovah v vseh tehnično naprednih državah.

V elektronskem mikroanalizatorju obsevamo površino preizkušanca s snopom elektronov z visoko energijo in z ustreznimi aparaturnimi ugotavljammo karakteristike interakcije med temi elektroni in atomi v preizkušancu. Elektroni izhajajo iz elektronske puške, ki jim da energijo, ki je potrebna, da z interakcijo z atomi v obsevani snovi nastajajo X žarki (rentgenski žarki). Elektronske leče zberejo elektrone v ozek snop, ki ima premer približno 1 mikron. Valovna dolžina X-žarkov, katere emitira obsevana tarča, je odvisna od zgradbe elektronske lupine, to je od vrste atomov, in je specifična za vsak element. Žarki, ki izhajajo iz obsevane tarče padajo na kristal, tu se po Braggovem kriteriju za uklon X žarkov od kristalnih ravnin, ločijo po valovni dolžini in usmerijo v šte-

no pripravo, v kateri ugotovimo njihovo intenziteto. Kvalitativno sestavo analizirane snovi določimo s tem, da ugotovimo valovno dolžino žarkov, kvantitativno pa s tem, da izmerimo njihovo intenziteto in jo primerjamo intenziteti, ki jo oddaja primerjalni etalon z znano koncentracijo iskanega elementa. Intenziteto žarkov določamo navadno s proporcionalnim števcem. Napravo, ki jo sestavljajo kristal, števec, in naprave za registracijo števila impulzov imenujemo kristalni spektrometer. Večina mikrosond ima dva neodvisna spektrometra, mogoče torej analizirati istočasno dva elementa. Z njimi pa je mogoče kvali in kvantitativno analizirati vse elemente od berilija do urana, izjemi sta torej le vodik in helij.

Intenziteto X žarkov registriramo s proporcionalnim števcem. Okno tega števca zavzema le majhen del prostorskega kota 4π , pod katerim rentgenski žarki izhajajo iz točke na katero padajo elektroni. Zato je izkoristek števne priprave reda velikosti 10^{-5} , kar pomeni, da registriramo le približno stotisoči del ustvarjenih X žarkov. Da bi zmanjšali absorpcijske izgube žarkov z veliko valovno dolžino, katere oddajajo nekateri metalurško zelo važni elementi, na primer ogljik, kisik, dušik in bor, so vzorec, kristal in proporcionalni števec pod vakuumom reda velikosti 10^{-5} torra.

Primer elektronskega snopa s katerim obsevamo analizirano snov je mogoče zmanjšati tudi pod 1 mikron, vendar s tem ni mogoče uspešno povečati geometrične ločljivosti analize, kajti v tem primeru postane ločljivost odvisna od penetracije elektronov v analizirano snov. Ta pa je pri normalni energiji elektronov približno 20 KV, v večini tehničnih kovin med 1 in 2 mikrona.

Če bi zmanjšali energijo incidenčnih elektronov, bi se zmanjšala tudi globina penetracije v snov in bi se teoretično lahko povečala ločljivost. Nedostatek tega ukrepa pa je, da se pri majhni energiji incidenčnih elektronov močno poveča intenziteta kontinuirnega spektra X žarkov, ki nastaja s preskoki elektronov med nivoji z manjšo razliko v energiji in temu ustrezno se močno zmanjša relativna intenziteta valovnih dolžin, ki so značilne za posamezne elemente in s tem natančnost dela spektrometrov in seveda točnost analize.

Iz tarče pa ne izhajajo samo X žarki, od njega se tudi elastično odbijajo incidenčni elektroni in iz nje se izbijajo sekundarni elektroni. Intenziteta sekundarnih, ki imajo energijo do 100 eV, je v zvezi z reljefom površine vzorca, intenziteta odbitih elektronov pa s fizikalno kemično naravo vzorca. Čim večja je atomska teža analizirane snovi, tem več elektronov se odbija.

Kvantitativna analiza na mikrosondi je točkovna, če pa vzorec avtomatsko premikamo pod mirujočim elektronskim snopom s hitrostjo nekaj 10 mikronov na minuto, dobimo linijsko analizo. Grafični zapis te analize kaže semikvantitativno razdelitev elementa na določeni črti. S primerjavo

takih zapisov za več elementov lahko večjo relativno napako ugotovimo s kvantitativno sestavo analizirane faze.

Elektronski mikroanalizator ima še napravo s katero spreminja razlike v intenziteti katerekoli od izmerjenih količin, na primer razlike v intenziteti X-žarkov ali elektronov, v črno bele točke na ekranu katodne cevi. Če stoji vzorec na mestu, na njem pa se premika elektronski snop po zaporednih črtah na določeni površini, podobno kot v televizijski kameri, dobimo na spominskem ekranu katodne cevi črno belo sliko intenzitete merjene količine na opazovani površini, na primer razdelitve elementa. Analizirana površina navadno ni večja od $500 \times 500 \mu$. Tak način analize je poznan pod angleškim imenom scanning ali francoskim nazivom balayage.

Slika, ki jo dobimo na osnovi sekundarnih elektronov je odvisna od reljefa in ima precejšnjo globinsko ostrino, zato ima lahko elektronski mikroanalizator posebno pripravo, ki je namenjena za neposredno opazovanje reljefnih površin, na primer prelomov, površina različnih vlaken in žic itd. Elektronska slika, ki jo dobimo z odbitimi elektroni pa kaže kakšna je razdelitev povprečnih atomskih tež na analizirani površini in nam tako odkrije njeno fazno sestavo. Elektronske mikrosonde imajo še različne dopolnilne naprave, ki razširjajo njihovo delovno področje, npr. kamere za rentgenostrukturo analizo, napravo za segrevanje vzorcev in drugo.

Elektronski mikroanalizator, ki ga izdeluje francoska tovarna CAMECA, ima še posebno pripravo, ki je namenjena za opazovanje zelo majhnih delcev na ekstrakcijskih replikah elektronskega mikroskopa ali pa na preizkušancih, ki so presevani za elektrone. V tej napravi se izkoriščajo presevani elektroni za oblikovanje slike, podobno kot v elektronskem mikroskopu in je mogoče opazovati pri povečavah do 10000 krat. Ta naprava je namenjena za specializirane študije.

Proizvajalci elektronskih mikroanalizatorjev proizvajajo ali razvijajo tudi posebne priprave za avtomatsko fazno analizo. S tako napravo je mogoče določiti kolikšen je kvantitativni površinski delež določene faze, npr. nekovinskih vključkov ali karbidnih zrn, ki se po kemični sestavi razlikujejo od osnove. Naprava deluje na osnovi istočasne analize dveh merjenih količin, na primer intenzitete X žarkov. Pri analizi avtomatsko planimetrira le površino faze, ki daje signal obeh merjenih količin, npr. X žarke mangana in žvepla v vključkih manganovega sulfida.

V elektronskem mikroanalizatorju je mogoče opazovati tudi katodno luminiscenco, to je svetlobo značilne barve, katero oddaja snov, ki jo obsevamo z elektroni. Za analizo na mikroanalizatorju je potrebno vzorce pripraviti na isti način kot za preiskavo na optičnem mikroskopu, če pa nas zanima le kvalitativna sestava lahko neposredno opazujemo tudi nepolirane površine, na primer korodirane površine.

Na sliki 1 so prikazane shematično vse eksperimentalne možnosti elektronskih mikroanalizatorjev.



Slika 1

Shematični prikaz analitskih možnosti elektronskega mikroanalizatorja

2. NEKATERI PRIMERI PREISKAV Z ELEKTRONSKO MIKROSONDO

2.1. Silikatni in aluminatni nekovinski vključki v nizkoogljicnem jeklu¹

V jeklu smo našli vključke manganovega sulfida, v katerih je bilo 8 do 12 % Fe in silikatne vključke. Silikatni vključki so bili temno sive barve in nekoliko prosojni. Nekateri so bili bolj ali manj plastično razpotegnjeni v smeri valjanja, drugi pa so imeli lečasto obliko in so bili pogosto zraščeni s sulfidom. Analiza je v vseh silikatih pokazala silicij, aluminij, mangan in železo, ki so bili seveda vezani v okside.

Trikoten (označen z 1 na posnetku na prilogi A), deloma plastičen vključek je imel 27 do 33 % Mn, 28 % Al_2O_3 in okoli 8 % FeO, v zelo plastičnem vključku, označenem z 2 je bilo 33 do 37 % MnO, 20 % Al_2O_3 in okoli 12 % FeO. Povečana plastičnost je bila v tem primeru posledica večje množine manganovega in železovega oksida in zmanjšane vsebnosti aluminijevega oksida ob praktično nezmanjšani vsebnosti silicijevega oksida. S sulfidom zraščeni lečasti vključki na elektronskem posnetku na prilogi B imajo naslednjo sestavo:

Vključek 3: 12 % MnO, 8 do 12 % FeO in 18 do 28 % Al_2O_3 , Vključek 4: 13 % MnO, 8 % FeO in 18 % Al_2O_3 in vključek 5: 7 % MnO, 12 % FeO in 25 % Al_2O_3 . V lečastih vključkih je torej precej več silicijevega oksida kot v razpotegnjenih in v tem je tudi vzrok za njihovo manjšo plastičnost. Na osnovi elementne sestave ni mogoče opredeliti v vključkih definiranih spojin silikatne in aluminatne tipe. Verjetno so vključki zmesi zrn manganželezovih in aluminijevih silikatov, mogoče tudi aluminatov železa in mangana, ki so blizu eutektničnim sestavam v ustreznih faznih sistemih oksidov.

V drugem jeklu s podobno sestavo smo našli sulfidne in oksidne vključke z normalnim videzom

in velikostjo ter skupine zrnatih oksidnih vključkov, ki so bile pogosto zraščeni v večje bolj ali manj podolgovate vključke z razcefranimi konturami. Vključke vidimo na posnetkih na prilogi C. Nekatera zrna so bila v mikroskopu siva in so imela svetel notranji odsev, ki je značilen za aluminijev oksid, druga zrna so imela podobno obliko in barvo, bila pa so neprosojna in brez odseva. Zveza med zrnji je bil cement, ki je imel v zelo velikih vključkih videz razpokane gline. Pri obsevanju z elektroni so nekateri vključki pokazali katodno luminescenco rdeče barve, drugi modre barve in tretji luminescenco zelene barve. Analiza je pokazala, da so vključki z rdečo luminescenco Al_2O_3 , modro katodno luminescenco pa dajejo zrna aluminata s 64 do 65 % Al_2O_3 , kar ustreza aluminatu $CaO \cdot Al_2O_3$. V veznem cementu je analiza pokazala med 58 in 62 % Al_2O_3 . Iz tega sklepamo, da je cement verjetno eutektnična zmes dveh aluminatov, ki imata razmeroma nizko tališče. V drugem vključku istega tipa smo v cementu našli tudi sledove cinka.

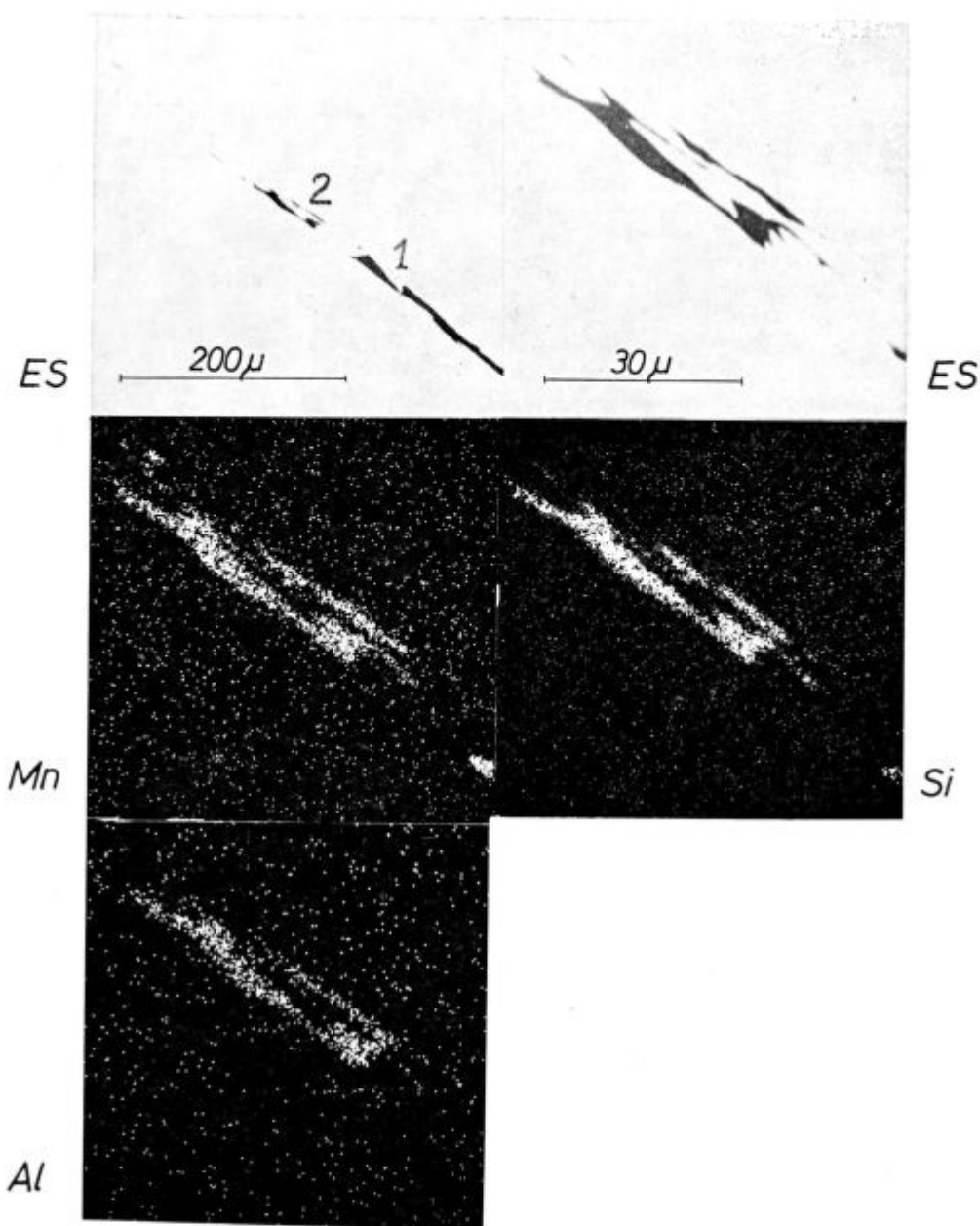
2.2. Vsebnost železa v vključkih manganovega sulfida v jeklu za avtomate

Na našem inštitutu smo se ukvarjali s ponašanjem sulfidnih vključkov pri elektrolitski izolaciji² in v okviru tega dela določili vsebnost železa v sulfidnih vključkih v jeklu za avtomate v valjanem stanju in po 48 urnem žarjenju pri 800° C. Namen žarjenja je bil razogljčenje jekla. Rezultate teh preizkusov prikazujemo v tabeli 1.

Tabela 1 — Vsebnost železa v sulfidnih vključkih v jeklu za avtomate v %

Zap. št.	Valjano stanje	Zarjeno stanje
1	15	0,70
2	14,5	4,0
3	9,1	3,0
4	17,5	15,2
5	15	8,9
6	14,9	2,9
7	4,8	5,7
8	3,9	3,2
9	17,9	5,6
10	12	15,6
11	17,3	8,7
12	14,9	4,7
13	18	5,9
14	13,5	5,4
15		4,5
Poprečje:		6,2

V valjanem stanju je bilo v vključkih poprečno 13,5 % Fe, v posameznih vključkih pa med 3,9 in 18 % Fe. Vključki z malo železa so bili redki. Po žarjenju se je poprečna vsebnost železa zmanjšala za več kot dvakrat na 6,1 %, kljub temu pa smo



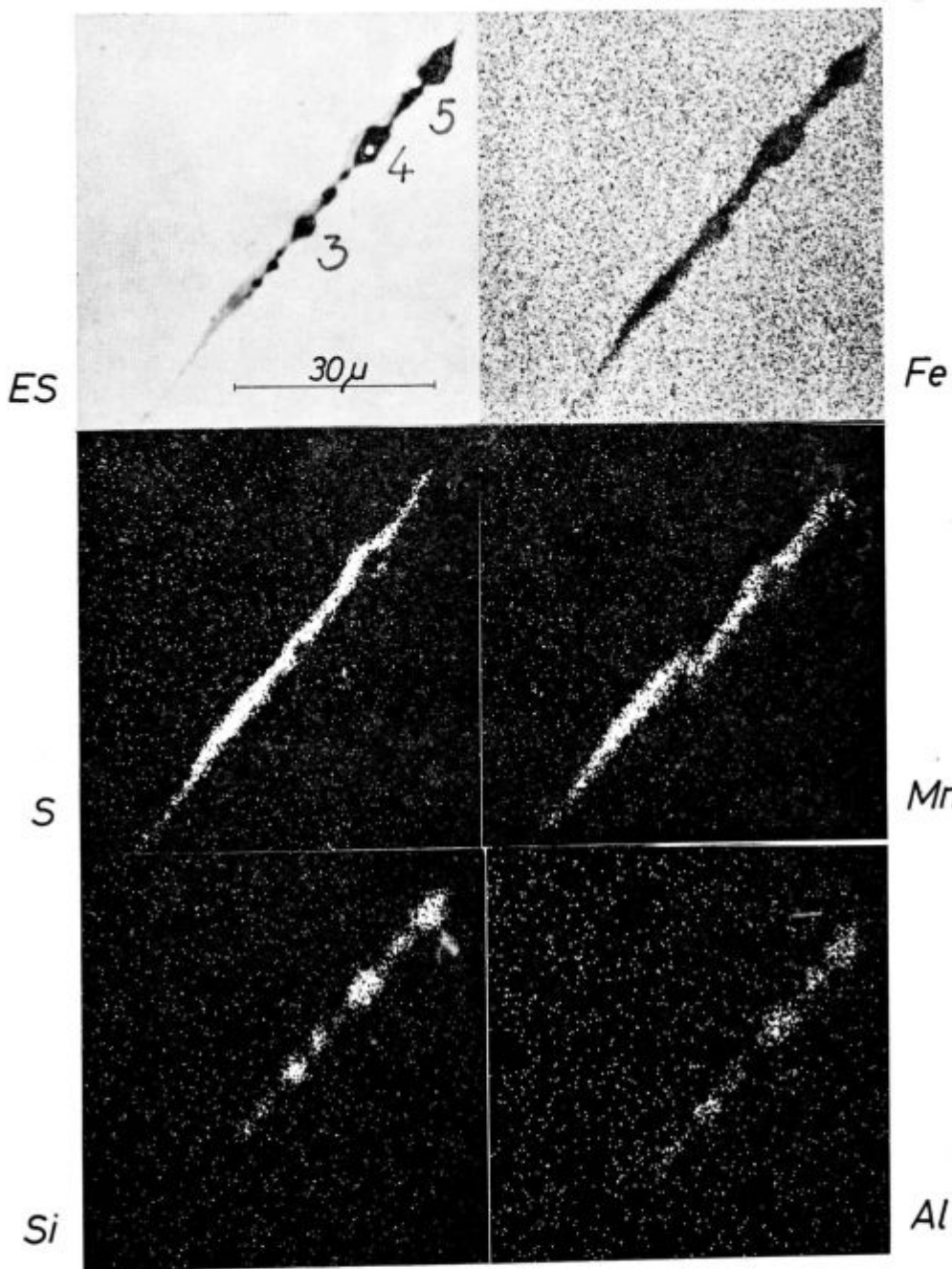
A Elektronski posnetek sestave (ES) ter specifične X slike za plastične silikatne vključke

v redkih primerih našli vključke s podobno vsebnostjo železa kot pred žarjenjem. Lahko torej trdimo, da se železo, ki je prišlo v sulfidne vključke pri strjenju jekla, nadomešča med žarjenjem z manganom, ki prihaja iz raztopine v feritu ali avstenitu.

2.3. Sestava karbidnih izcej in sulfidnih vključkov v jeklu za kroglične ležaje⁵

V jeklu za kroglične ležaje smo našli karbidne izceje in nekovinske vključke sulfidnega in oksidnega tipa ter karbidne izceje⁵. Mikrosonda je pokazala mangan praktično le v vključkih sulfida in močne izceje kroma. Elektronska in X slika ter

linijska porazdelitev pokažejo (priloga D), da s kromom bogato področje precej zvezno prehaja v jeklo z normalno množino kroma, zato na osnovi videza elektronske slike in X slike ni mogoče natančno opredeliti oblike karbidne segregacije, ki leži v srednjem delu s kromom bogatega področja. Kvantitativna analiza je pokazala, da je v karbidnih zrnih, ki oblikujejo segregacijo 19,1 do 19,5 % kroma in okoli 75 % železa. Vsebnosti ogljika v karbidih ni bilo mogoče določiti, zato smo vrsto karbida identificirali indirektno. Po bibliografskih podatkih³ topi cementit do 18 % kroma, karbid vrste $M_{23}C_6$ pa do 35 % železa. Primerjava izmerjenih in teh podatkov kaže, da je



B Elektronski posnetek sestave (ES) ter specifične X slike za lečaste silikatne vključke

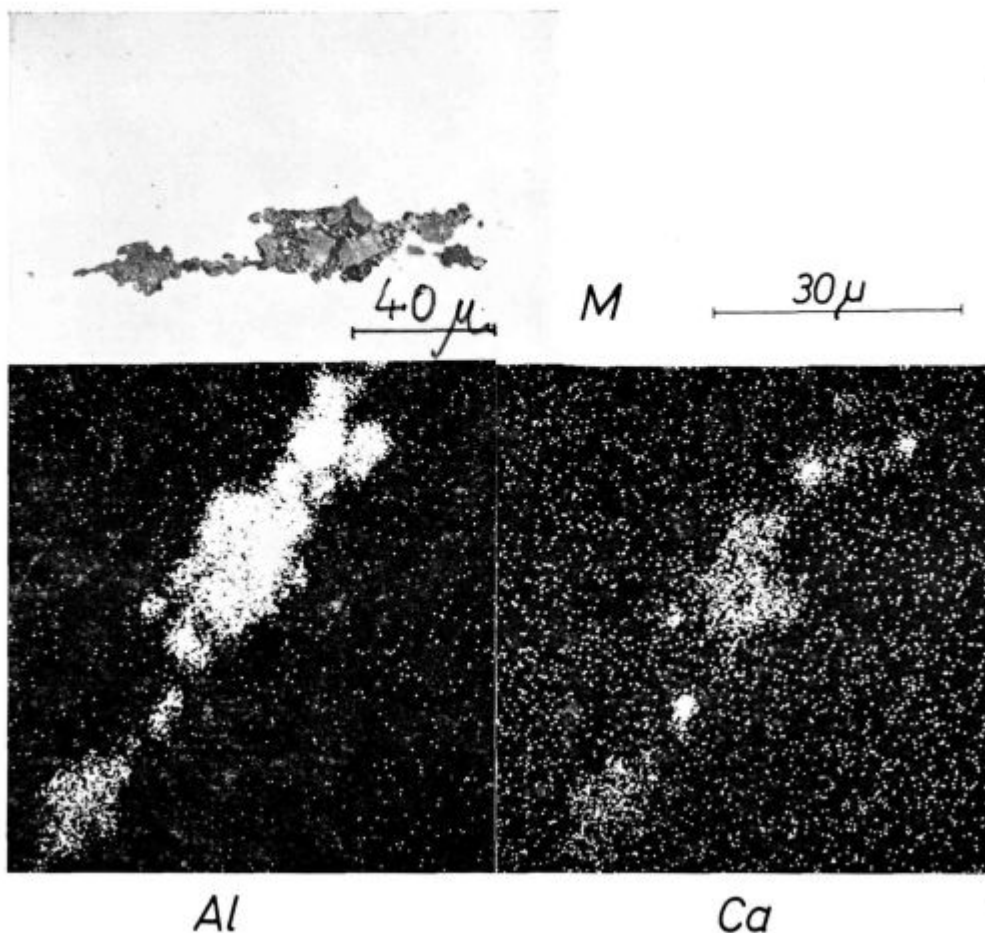
karbid cementitne vrste. V njem pa je raztopljeno precej kroma. Zanimivo je, da smo našli v sulfidnih vključkih, ki praviloma ležijo v kromovih izcejah poleg 2,5 do 9% železa, še 0,3 do 1% kroma.

2.4. Razdelitev izločkov titanovega nitrída ali karbonitrída in heterogenost v velikosti kristalnih zrn v nerjavem avstenitnem jeklu vrste 18/10⁵

Metalografska preiskava je pokazala, da se kristalna zrna v jeklu zelo razlikujejo (priloga E) in

da jeklo vsebuje skupine precej velikih izločkov titanovega nitrída ali karbonitrída.

Na osnovi videza specifične X slike za titan je bilo mogoče sklepati, da so v poljih drobnih kristalnih zrn zelo fini izločki bogati s titanom, katere v optičnem mikroskopu praktično komaj vidimo. Linijska analiza (sl. 2) je pokazala, da sta titan in aluminij enakomerno razdeljena v polju grobih kristalnih zrn, v drobnozrnatih poljih pa so številne točke bogate s titanom, ni pa nobenih sprememb v koncentraciji aluminija.

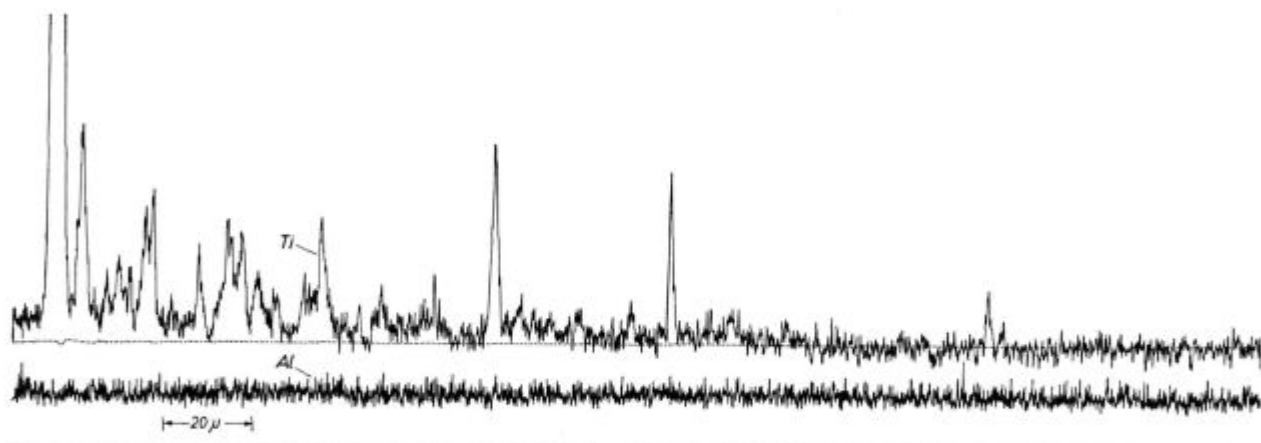


C Mikrografija (M) in specifični X sliki za vključek kalcijevega aluminata

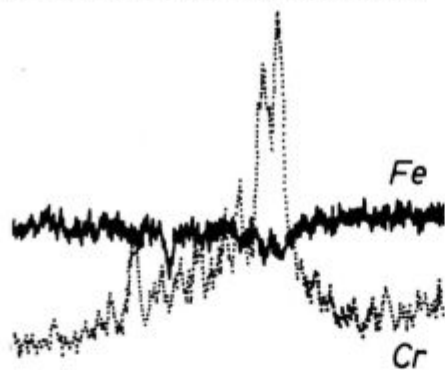
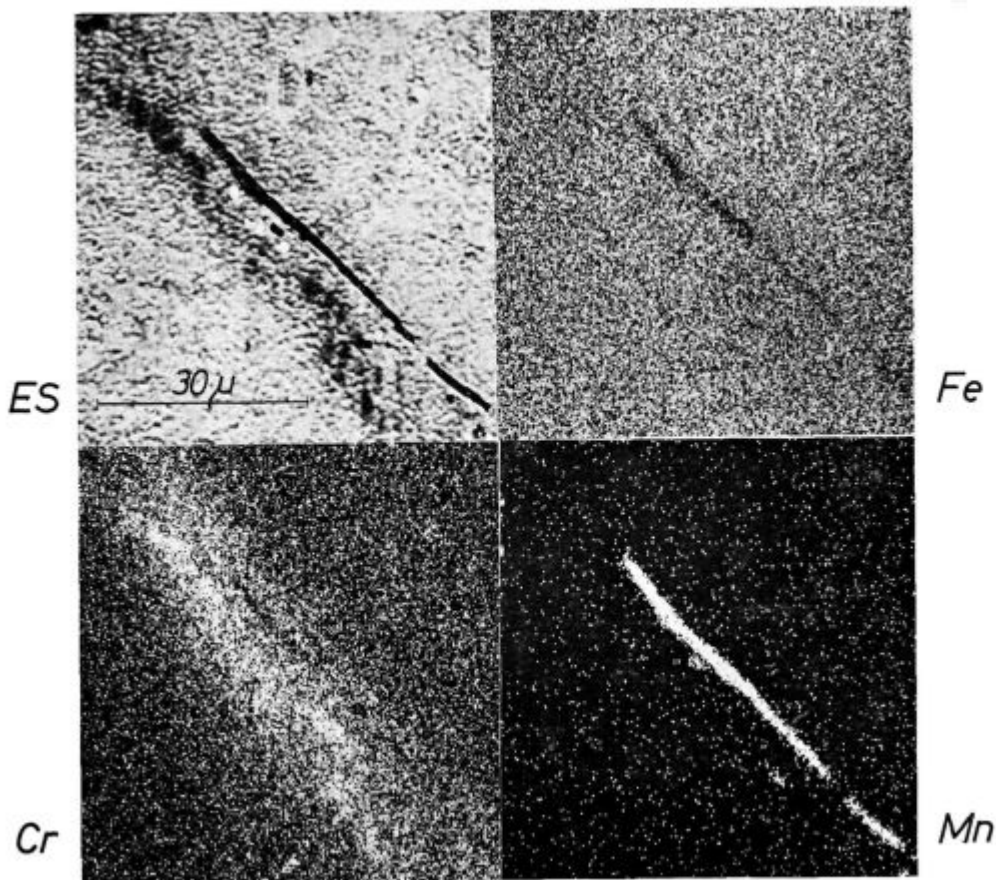
Na osnovi teh ugotovitev je bilo mogoče razložiti heterogenost v velikosti kristalnih zrn na naslednji način. V poljih drobnih zrn so oblaki drobnih izločkov titanovega nitrida ali karbonitrida, ki zavirajo migracijo kristalnih mej in rast kristalnih zrn med in po vroči predelavi.

2.5. Izceje in homogenizacije zlitine aluminija s 4,8 % Cu in 1,35 % Mg⁴

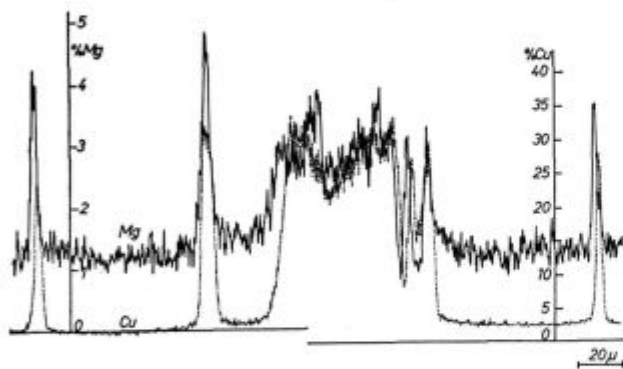
Metalografska preiskava je pokazala v hitro ohlajenem vzorcu mnogo manjša kristalna zrna kot v počasi ohlajenem vzorcu. Analiza na mikrosondi je pokazala, da sta ob mejah izcejana oba



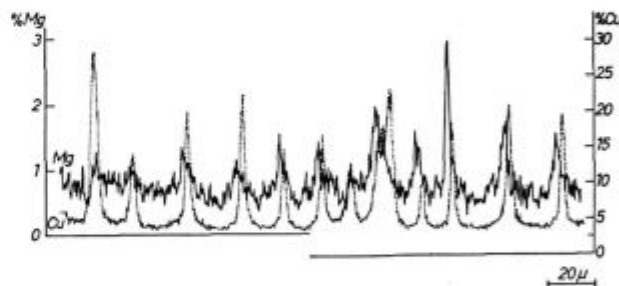
Slika 2 Profil koncentracije Ti in Al pri prehodu skozi grobozrnatoin fino-zrnatno področje na elektronskem posnetku na prilogi E



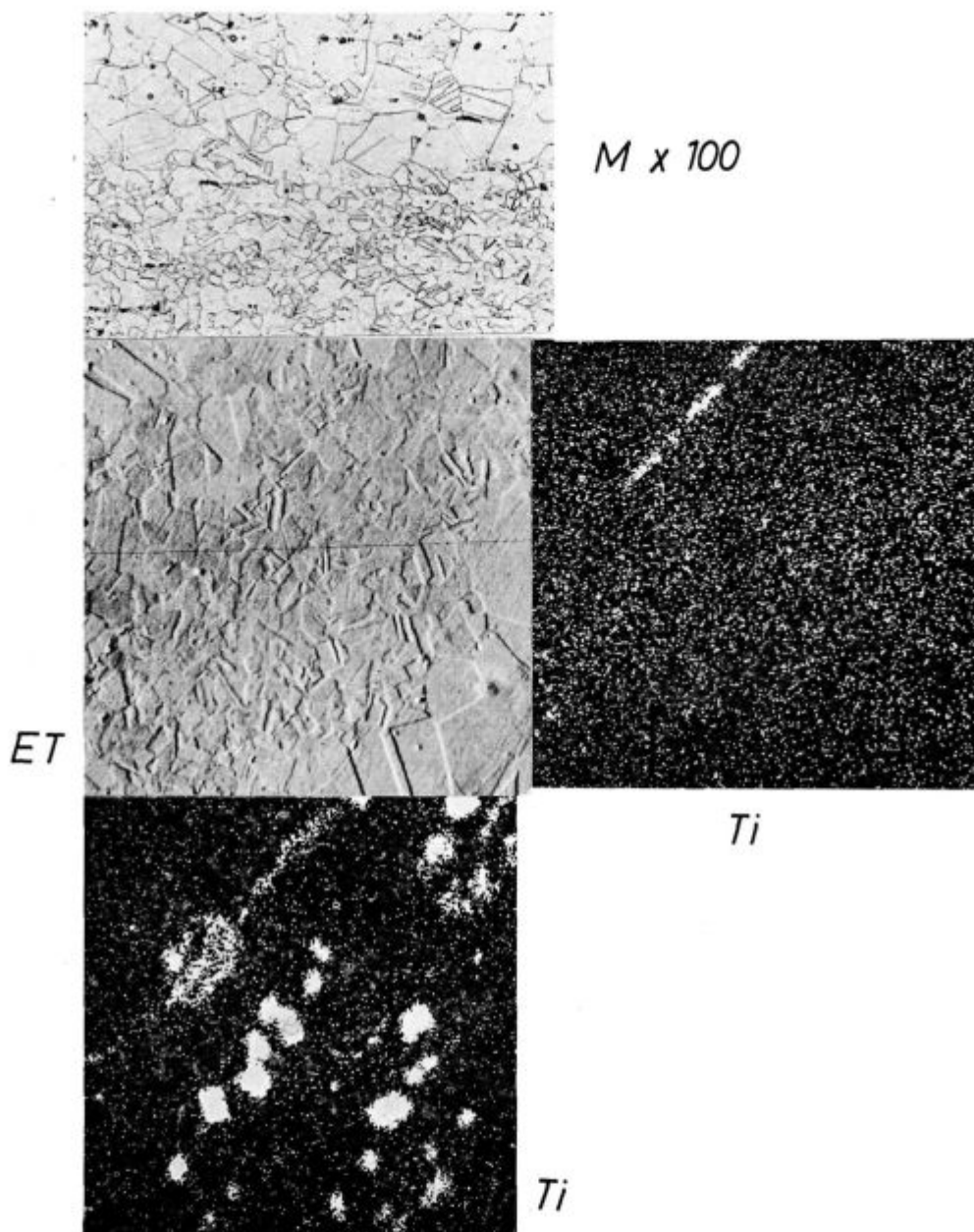
D Elektronski posnetek sestave, specifične X slike in vodoravni profil koncentracije Cr in Fe čez sredino ES slike



Slika 3 a
Profil koncentracije Mg in Cu pri prehodu skozi grobe dendrite v počasi ohlajeni zlitini



Slika 3 b
skozi drobne dendrite v hitro ohlajeni zlitini



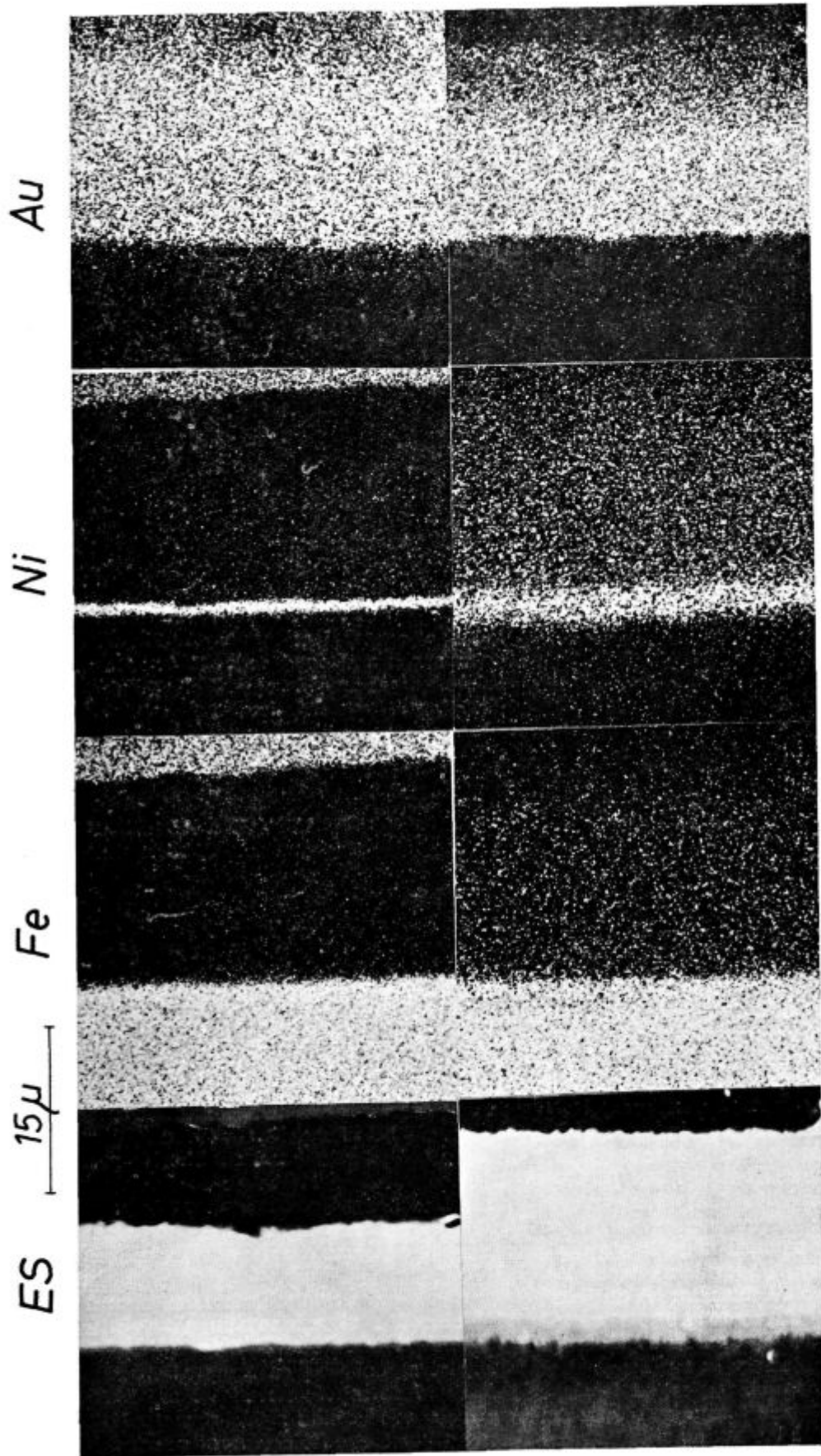
E Mikrografija (M), elektronski posnetek topografije (ET) ter specifična X slika za titan na istem mestu ter ista slika na mestu grobih vključkov, bogatih s titanom

legirana elementa in železo. Baker je skupaj z magnezijem ali železom, nikoli pa nista skupaj železo in magnezij. V notranjosti dendritnih zrn je malo legirnih elementov, vendar več v notranjosti drobnih zrn hitro ohlajene zlitine. Vsebnost legirnih elementov začne rasti šele v bližini mej primarnih zrn (slika 3). Tu je gradient posebno velik v hitro strjeni zlitini z drobnimi dendriti. Že po 4 urah homogenizacije pri 504° C, se je koncentracijska razlika bakra in magnezija precej zmanjšala, po 16 urah homogenizacije pa že ni bilo nobenih izmerljivih izcej (slika 5). Tudi po tej homo-

genizaciji pa je ostala praktično nespremenjena ob mejah dendritnih zrn intermetalna spojina, sestavljena iz aluminija, bakra in železa.

2.6. Razdelitev elementov v kontaktnem sloju

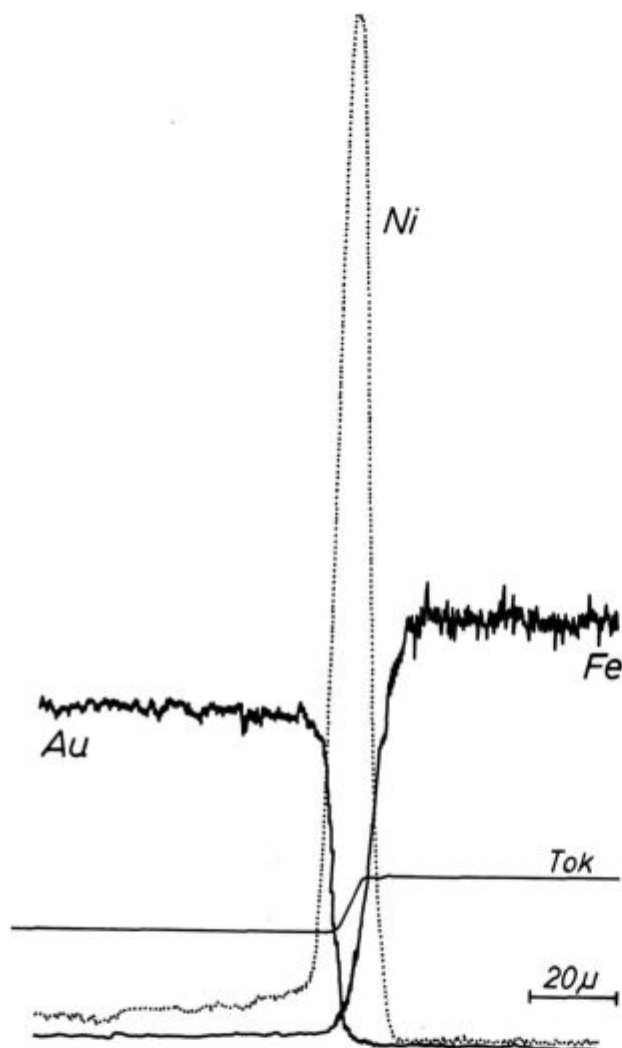
Za Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani smo določili razdelitev elementov v galvansko nanešenih kontaktnem in veznem sloju kontaktov. Kontaktni sloj je bil zlat, vezni sloj bakren ali nikljast, nosilno pero pa iz jekla OC 80. Na osnovi razdelitve elementov oziroma oblike njihovega koncentracijskega profila, je mogoče oceniti



F

Elektronska posnetka sestave ter specifične X slike za mikrokontaktni sloj po kratkem (zgornja vrsta) in po daljšem žarjenju (spodnja vrsta)

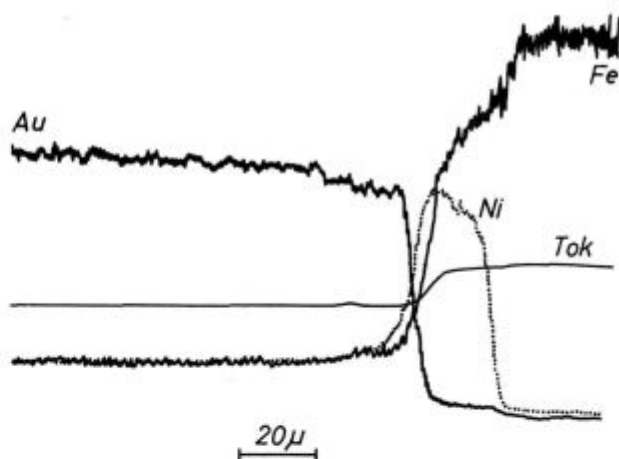
kakšna naj bo termična obdelava po galvanskem nanosu slojev, da bo prišlo do takega mešanja med bakrom in zlatom oziroma med nikljem in zlatom, da bo metalurška zveza med njimi dobra ter da bo v zlati kontaktni sloj prišlo toliko bakra ali niklja, da bo sloj utrjen in njegova obrabna obstojnost večja, da pa ne bo teh elementov preveč, da se ne bi pokvarile njegove električne lastnosti.



Slika 4 a

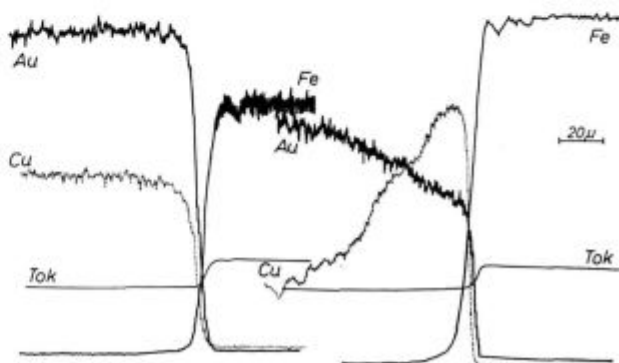
Profil koncentracije za železo, nikelj in zlato ter absorpcijski tok pri prehodu od desne na levo v posnetkih v zgornji vrsti v prilogi A

V prilogi F kaže zgornja vrsta elektronsko sliko ter specifične X slike za zlato, nikelj in železo po kratki termični obdelavi pri sorazmerno nizki temperaturi, spodnja vrsta posnetkov pa iste stvari po daljši termični obdelavi. Slika 4a in b prikazujeta profilne koncentracije za oba vzorca, slika 5 pa profilne koncentracije po podobnih obdelavah za sistem zlato-baker-železo. Na osnovi profila po kratkem žarjenju ni mogoče presoditi smeri difu-



Slika 4 b

Isto za posnetke v spodnji vrsti



Slika 5

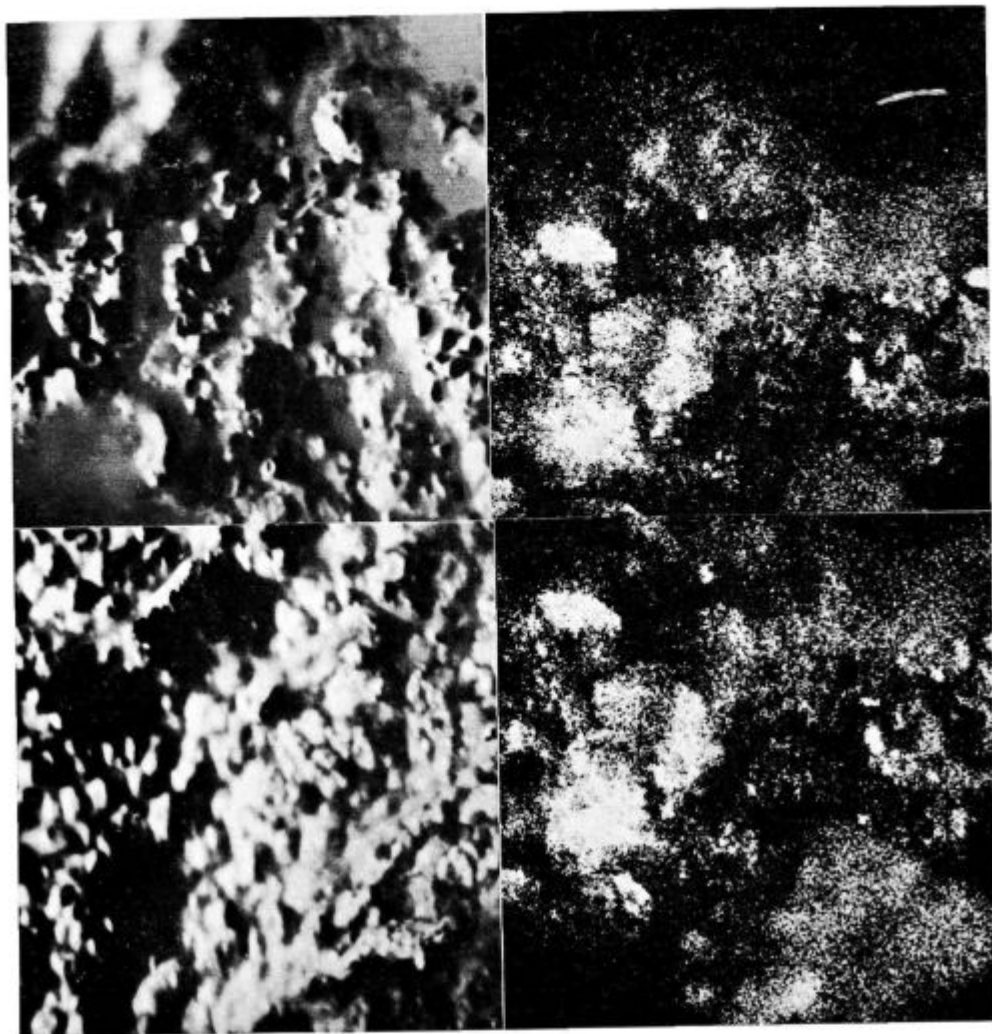
Profil koncentracije za železo, baker in zlato po krajšem b) in po daljšem a) žarjenju

zijskega mešanja med nikljem, železom in zlatom, po daljšem žarjenju pa se pokaže, da sta se z difuzijo med seboj zmešala nikelj in železo, katero najdemo tudi v zlatem sloju, praktično pa ni zlata v jeklu in v nikelj-železovem sloju.

Difuzija bakra v zlati sloj je mnogo bolj intenzivna kot difuzija v jeklo, saj celo po tem, ko je koncentracija bakra v zlatem sloju praktično izenačena, v jeklu praktično ni bakra. To je lep dokaz, da je razdelitev elementov pri difuziji odvisna od njihove aktivnosti v različnih fazah ne pa od njihove koncentracije, zaradi česar je bilo lahko pri izbrani temperaturi žarjenja v ravnotežju zlato z več procenti Cu z jeklom, ki ima le okoli 0,1 % Cu.

2.7. Preiskava korodirane površine litoželezne cevi in vijaka iz nerjavnega feritnega jekla⁷

Na dveh zgradbah so se nepričakovano pojavile korozijske poškodbe na odtočnih ceveh iz sive litine in na fasadnih vijakih. Na osnovi videza korodirane površine je dipl. ing. Exlova z Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij v Ljubljani



G

Elektronska posnetka topografije in specifična X posnetka za baker na korodirani površini

domnevala, da je vzrok korozije notranje površine odtočne cevi nepravilna izvedba, zaradi katere je prišlo do električno prevodne zveze med cevmi in bakreno streho. Preiskavo smo napravili na drobnih luskinah, katere smo odluščili od močno razžrte notranje površine. Našli smo zelo številna mesta z veliko bakra (priloga G). Vsebnost tega elementa je dosegala tudi 60 %, kar je potrdilo domnevo naročnika preiskave o vzrokih korozije.

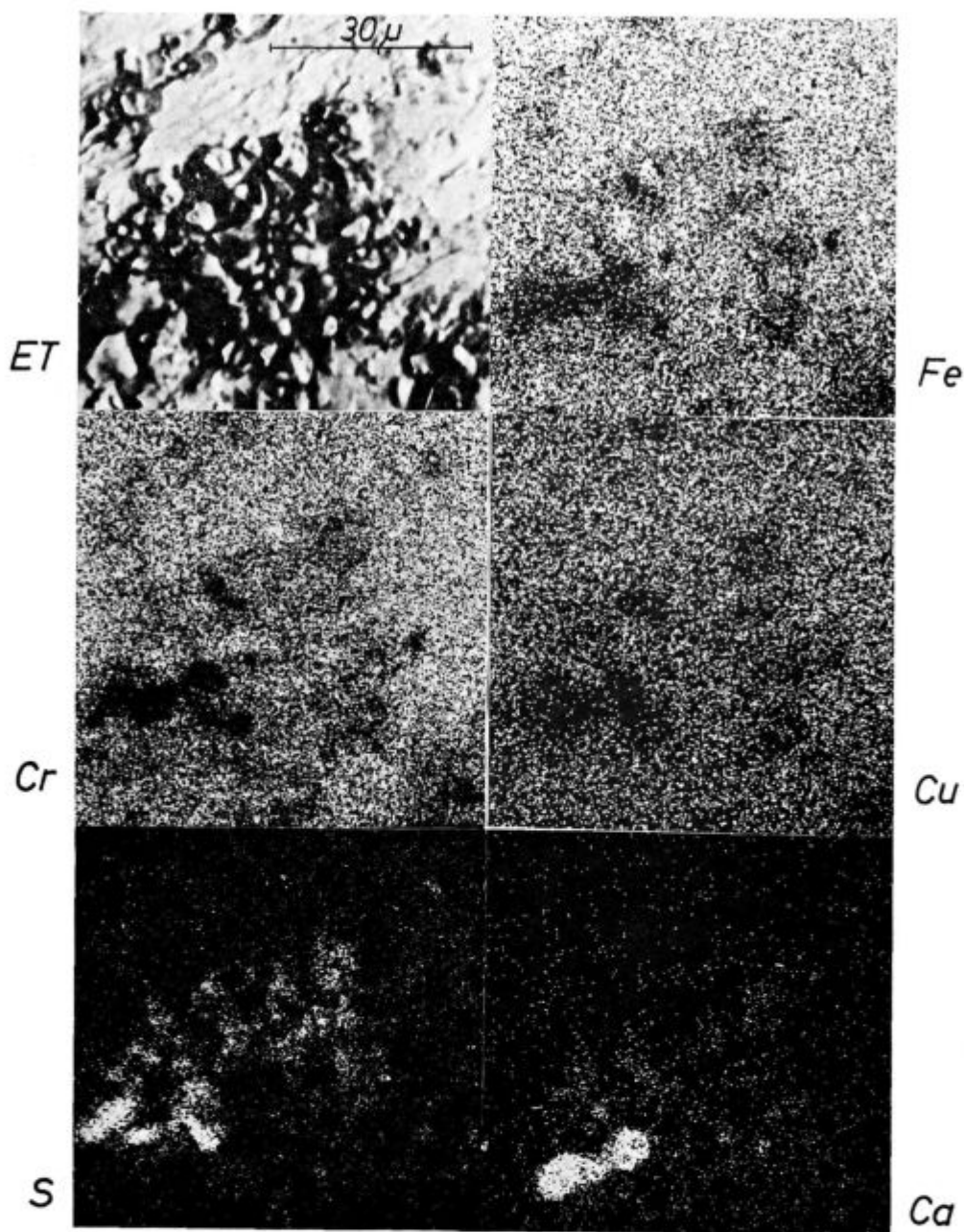
Na korodirani površini vijaka so bile številne mikroskopske in semimikroskopske kraste in zajede. Predpostavljalo se je, da so poškodbe posledica endogenih ali eksogenih heterogenosti, to je izcej kroma ali pri izdelavi vijakov v površino vtisnjenih korozijskih manj odpornih zrn orodja. S preiskavo na elektronskem mikroanalizatorju nismo našli takih endogenih ali eksogenih koro-

zijsko, manj odpornih siromašenj na kromu, pač pa smo v korozijskih poškodbah ali ob njih našli zelo številne lise bogate z žveplom ali kalcijem (priloga H). Bogata področja obeh elementov so se v nekaterih primerih prekrivala, v drugih ne.

Opisana primera sta dokaz, da je mogoče z mikrosondo uspešno preiskati tudi neobdelane korodirane površine in tako dobiti podatke, potrebne za presojo vzrokov korozije.

Literatura

1. F. Vodopivec, B. Ralič: »Študij geneze vključkov s pomočjo elektronske mikrosonde«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, september 1969
2. T. Lavrič in F. Vodopivec: »Študij izolacije sulfidnih vključkov iz nelegiranega in nizkolegiranega jekla«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, september 1969



H Elektronski posnetek topografije in specifični X posnetki korodirane površine vijaka

3. F. Vodopivec, J. Sinkovec, T. Lavrič in A. Urbanc: »O sestavi karbidov v nekaterih legiranih jeklih«, *Železarski zbornik* 3, 1969, št. 1, 15–31
4. L. Kosec in B. Ralič: »Analiza nehomogenosti v aluminijevih zlitinah«, Predavanje na Jugoslovanskem simpoziju o aluminiju, Ljubljana, september 1969.
- 5., 6. Strokovna poročila Metalurškega inštituta Železarnam Ravne in Jesenice ter Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani, 1969
7. N. Exel: »Primeri korozije v gradbeništvu«, Predavanje na XIII. Kongresu Saveza Jugoslovanskih laboratorija za ispitivanje i istraživanje materiala, Bled, november 1969.

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil dieses Artikels sind auf eine vereinfachte Art die Konstruktion der Elektronenmikrosonde, das Prinzip der Arbeitsweise, die analytischen Methoden und die analytischen Möglichkeiten, beschrieben.

Im zweiten Teil sind einige am Hütteninstitut in Ljubljana ausgeführten Untersuchungen beschrieben. Es wurde festgestellt, dass eine grössere Plastizität der Silikatschlüsse eine Folge des grösseren Anteils von FeO und MnO

statt Al_2O_3 und SiO_2 sein könnte. Die Analyse hat gezeigt, dass bei einem nichtrostenden Stahl die Tendenz zu einem lokalen Kornwachstum der nichthomogenen Verteilung der feinen Titanausscheidungen zugeschrieben werden kann. Im Kugellagerstahl segregiert Chrom sehr stark. Die Konzentration von Cr wächst von der Grundmasse mit rund 1,5 % Cr in die Karbidsegregierte Zone des Zementittypes mit rund 15 % Cr praktisch kontinuierlich. Beim Glühen hat sich der Inhalt an Fe im Automatenstahl von 13,5 % auf durchschnittlich 6,1 % herabgesetzt, ein Beweis dafür, dass beim Glühen das Eisen durch Mangan ersetzt wird.

Im Innern der Dendriten welche beim schnellen abkühlen der Dural Aluminiumlegierung entstehen, gibt es weniger Kupfer als in den grossen Dendriten, welche beim langsamen Abkühlen entstanden sind. In beiden Fällen segregiert Kupfer zusammen mit Eisen. Nie aber finden wird eine parallele Segregation von Magnesium und Eisen. Es sind auch einige Beispiele der Verteilung von Nickel Gold und Eisen bzw. Kupfer Gold und Eisen in den galvanisierten Kontakten nach verschiedenen Glühungen erläutert. Am letzten Beispiel ist eine Analyse von zwei korrodierten Elementen aus Gusseisen und Stahl gezeigt.

SUMMARY

In the first part of the paper construction of the electron probe X-ray microanalyzer, principles of its operation, methods of analysis, and analytical possibilities are described in a simplified form. In the second part the author describes some analyses made at the Metallurgical Institute in Ljubljana. It was found that increased plasticity of silicate inclusions can be caused by the increased amount of FeO and MnO on the expense of Al_2O_3 or SiO_2 . The analysis showed that tendency of local growth of crystal grains in rustless steel can be caused by nonhomogenous distribution of fine precipitates rich in titanium. In ball bearing steels chromium segregates a great deal and its concentration practically continuously changes from about 1,5 % Cr in matrix to about 18 % Cr in the carbide segre-

gation of the cementite type. In annealing the iron content in machine-steel was reduced from an average of 13,5 % to an average of 6,1 %, i. e. the proof that iron is substituted by manganese during the annealing. Inside the dendrites formed during fast cooling of aluminium alloy duralumin copper content is lower than in big dendrites formed at slow cooling. In both cases copper segregates together with iron and magnesium, but never parallel segregations of magnesium and iron were found. Some examples of nickel, gold and iron, and copper, gold and iron distribution respectively in layers of galvanized contacts are shown after different annealings. The last example describes analysis of the surface of two corroded metal parts.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи в весьма однообразной форме дано описание микроанализатора, принцип его действия, методы анализа и аналитические возможности.

В другой части статьи автор описывает некоторые примеры анализа которые были выполнены на Металлургическом заводе в Любляне (Югославия). Утверждено, что увеличение пластичности силикатных включений возможно вследствие увеличения количества FeO и MnO на счёт Al_2O_3 а также и SiO_2 . Анализ показал, что склонность к локальному увеличению кристаллических зёрен в нержавеющей стали можно приписать негетомогенном распределению мелких осадков богатых на Ti. В стали для шарикоподшипников Cr из основной массы в концентрации 1,5 % переходит

в сегрегационную форму вида в которой прибл. 18 % Cr. При нагреву содержание Fe в автоматкой стали уменьшилось в среднем с 13,5 % на 6,1 %; это доказывает, что при этом процессе Fe заменен с Mn. Внутренности дендритов которые получаются при быстром охлаждении Al-сплава Dural меньше Cu чем в больших дендритов полученных при медленном охлаждении. Сегрегацию в обеих случаях представляют Cu вместе с Fe и Mg; ни в одном случае не обнаружена сегрегация этих элементов параллельно. Приведены некоторые примеры распределения Ni, Au и Fe а также Cu, Au и Fe в контактных слоях (гальванизованные контакты Au, Cu. В последнем примере описан анализ поверхности двух корродированных металлических изделий.

Po osvoboditvi že sedem milijonov ton jekla

Jeseniški železarji so v soboto 22. avgusta praznovali 20-letnico delavskega samoupravljanja. Na slavnostni seji delavskega sveta je spregovoril tudi generalni direktor združenega podjetja Slovenske železarne Gregor Klančnik in med drugim dejal:

»Železarna Jesenice ima veliko zgodovino, veliko preteklost in tudi veliko socialistično sedanjost. Že Iliri so v teh krajih pridobivali železo v stari Avstroogrski so Jesenice že bile pomembna železarna v bivši Jugoslaviji odraz proizvodne moči in ponos gospodarstva. V 25 letih po osvoboditvi so Jesenice dale prek 7 milijonov ton jekla, ki je vgrajeno v tovarniške naprave, komunikacijske objekte, transportna sredstva, stroje in aparate. To pa ni edini delež. Jesenice so bile poleg proizvodnje jekla tudi kovačnica kadra. Strokovni delavci so kot iz osrednjega žarišča bili širokogrudno in nesentimentalno poslani v razne kraje države, da bi prispevali svoj delež pri izgradnji jugoslovanske črne metalurgije.

Občutna je bila pomoč Jesenic pri gradnji Zenice, razvoju Raven in Siska, vidna pa je v vseh starih in novih jugoslovanskih železarnah. S kadri je bilo posredovano znanje in tudi izkušnje. Ob tem, ko se je razdajala z delavci in industrijsko svojino pa je železarna sama zaostajala...

Gregor Klančnik
generalni direktor ZPSŽ
na slavnostni seji DS
železarne Jesenice



Motiv iz elektrojeklarne — dodajanje primesi v ASEA peč

Preizkušnje predelavnosti jekla v vročem

V uvodu je naveden kratek pregled dosedanjih raziskav predelavnosti jekel. Slede rezultati preizkušanja štirih jekel s torzijskim preizkusom v vročem. Določeni so optimalni intervali temperatur za vročo predelavo, faktorji predelavnosti, maksimalni momenti in predelovalne trdnosti. Prikazan je vpliv kristalizacije v bloku na predelavnost jekla.

UVOD

S predelavnostjo jekla v vročem označujemo mehansko obnašanje kovin in zlitin, če nanje vplivata temperatura in deformacija. Vroča predelava v praksi vršimo z valjanjem in kovanjem, pa tudi s stiskanjem in vlečenjem.

Na boljšo ali slabšo predelavnost vpliva mnogo faktorjev — naj jih naštejemo le nekaj: kemična sestava jekla, homogenost, struktura, oblika in velikost kosa, temperatura, stopnja deformacije, trenje, hitrost deformiranja itd. Seveda se z razvojem predelavnih agregatov in postopkov pojavlja vedno znova vrsta tehnoloških problemov: racionalizira in intenzificira se tehnološke postopke, nova in modificirana jekla prinašajo nove predelavne probleme, predelavni agregati so vedno močnejši z večjimi stopnjami deformacije in deformacijskimi hitrostmi itd. Zato je razumljiva težnja najti način preizkušanja s katerim bi lahko določali čim več količin, važnih za vročo predelavo in kateri bi bil dovolj selektiven za razne faktorje, ki vplivajo na slabšo ali boljšo predelavnost.

Prva sistematična preizkušanja preoblikovalnosti izvirajo še pred drugo svetovno vojno. Preiskovali so več načinov: običajni kovaški preizkus, upogibni preizkus v vročem, udarni upogibni preizkus v vročem, natezni preizkus v vročem in način z vtiskanjem. Prve bolj sistematične preizkuse s torziranjem v vročem sta objavila C. L. Clark in J. Russ (Metals Technology, 1945), vendar sta delala še s preizkušanci, ki niso imeli stanjšanege dela v sredini. Preizkušanje na tak način kot je danes v veljavi je najbrž prvi uporabil D. E. R. Hughes (1). Preiskoval je vpliv temperature, preizkuševalne hitrosti, premera preizkušanca in naraščanje temperature preizkušanca med preizkusom. Sledila je vrsta raziskav na IRSID-u (C. Rossard, P. Blain, Ph. Portevin, F. E. White), na Montanistični visoki šoli v Leobnu (H. Trenkler, J. Langerweger), na Japonskem in v vzhodnih državah, tako

da je to danes skoraj že edini priznani preizkus predelavnosti jekla v vročem.

Kljub temu bomo na kratko opisali tudi druge preizkuse, ki imajo tudi svoje prednosti, največkrat pa slabosti.

NAČINI DOLOČEVANJA PREDELAVNOSTI JEKLA V VROČEM

1. **Direktni načini.** S temi so mišljeni preizkusi direktno na predelovalnih agregatih ali na način, ki dobro simulira predelovalni postopek. Kar se tiče določanja plasticitetnih lastnosti jekel ti načini ne pridejo v poštev, ker predstavljajo prav to, čemur se želimo izogniti — da bi namreč znanje in izkušnje nabirali s preizkušanjem v sami proizvodnji. Glede trdnostnih predelovalnih lastnosti jekla pa bi bile direktne meritve seveda idealne, toda ta veda je še mlada in je vprašanje, če se bo razširila v vsakodnevno prakso.

2. **Enostavni kovaški preizkus.** Največkrat se konec palice lopatasto razširi in glede na razpokanost robov sklepa na sposobnost jekla za predelavo. To je tudi klasičen način določevanja vpliva žvepla, odnosno nagnjenosti jekla k lomu v belem in rdečem žaru. Ta preizkus je zelo subjektiven, obenem pa mnogo premalo selektiven in prav nič ne pove o trdnostnih lastnostih jekla.

3. **Preizkus vtiskanja.** V ravno površino segretega jekla naj bi vtiskali okroglo ali stožčasto telo (podobno merjenju trdote). Ker je to statičen preizkus, ne more dati merila za trdnostne karakteristike jekla pri izredno velikih deformacijskih hitrostih, ki so običajne pri predelavah.

4. **Upogibni preizkus v vročem.** Predvsem je napetostno stanje (nategtlak) pri tem preizkusu popolnoma drugačno kot pri valjanju ali kovanju in jih zato ni mogoče spraviti v medsebojno odvisnost. Glede plasticitetnih lastnosti jekla je merilo pri tem preizkusu kot do pojava prve razpoke ali kaj podobnega. V splošnem pa ima ta preizkus zelo omejeno področje uporabnosti, npr. za določanje vpliva Cu na površinsko razpokanost (preizkus po Bornu).

5. **Udarni upogibni preizkus v vročem.** Kriterija preoblikovalnosti jekla sta udarno delo in upogibni kot. A. Niedentahl je pred mnogimi leti (1929) dosegel s tem preizkusom kar lepe rezultate, vendar zahteve takrat še niso bile tako velike in je bil glavni problem predelavnosti nagnjenost jekla k lomu v rdečem in belem žaru. Preizkus ni

občutljiv za vrsto drugih faktorjev, ki vplivajo na predelavnost, razen tega pa je nihanje rezultatov zelo veliko.

6. **Udarni tlačni preizkus v vročem.** S tem preizkusom se da zelo dobro določati preoblikovalno trdnost. W. Lueg in H. G. Müller (2) sta z jeklom C 45 ugotovila, da je preoblikovalna trdnost v eksponencialni zvezi s preoblikovalno hitrostjo. Ugotovila sta tudi, da preizkus nad 1100° C ni več uporaben, ker ni mogoče več zasledovati trenja med vzorcem in tlačnim pestom.

7. **Natezni preizkus v vročem.** Kriterija plastičnih lastnosti jekla sta raztezek in kontrakcija. A. Portevin s sodelavci (Revue de Métallurgie, 1936) je s tem preizkusom in prav tako s torzijskim in upogibnim ugotovil zelo jasno izraženo zmanjšanje plastičnosti k rdečemu lomu nagnjenega jekla med 900 in 1100° C. Tudi danes se še smatra, da je natezni preizkus v vročem zelo dober preizkus za določanje plastičnih lastnosti jekla. Zelo je selektiven za razlike v kemični sestavi, stopnji homogenosti jekla in kristalni strukturi. Ph. Portevin sodi, da je za določanje vpliva drobnih strukturnih faz, kot so nitridi, celo boljši kot torzijski preizkus v vročem. Nasprotno pa je z uporabnostjo tega preizkusa za določanje trdnostnih lastnosti jekla pri preoblikovanju. Problem je že v stroju, ki mora omogočati zelo velike deformacijske hitrosti. Niso še popolnoma raziskana nape-

lostna stanja v bližini preloma, čeprav je znano, da so triosna. Po ruskih podatkih (Paškov) so deformacijske hitrosti na mestu kontrakcije tudi do 16-krat večje kot jih registrira stroj. To povečanje hitrosti deformacije na mestu kontrakcije pa je zelo odvisno od temperature, vrste jekla in oblike preizkušanca. Korelacija z napetostmi pri vroči predelavi je skorajda nemogoča.

V tabeli 1 so pregledno navedene zaznavnosti posameznih metod preizkušanja predelavnosti jekla (3). Vidimo torej, da je torziranje v vročem edini preizkus, ki v vseh pogledih zadovoljuje. Je dovolj občutljiv za vrsto in stanje jekla, daje dokaj velike preoblikovalne hitrosti, objektivno oceni plastičnost jekla in daje dovolj realne podatke o preoblikovalnih trdnostih jekla. V naslednjem poglavju sledi zato nekaj podrobnejših podatkov o tem preizkusu in pregled najvažnejših raziskav.

TORZIJSKI PREIZKUS V VROČEM

1. **Količine, ki označujejo predelavnost.** Za račun sile, potrebne za določeno vrsto predelave in dimenzioniranje predelavnih naprav je pomembna količina **predelovalna odpornost** k_w :

$$k_w = k_f + k_n + k_t \text{ (kp/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

Koeficienta k_n in k_t upoštevata notranje trenje materiala in trenje med materialom in orodjem

Tabela 1

Količine	Preizkus v vročem							
	Kovaški	Vtiskanje	Upogibanje	Udarni upogibni	Natezni	Udarni tlačni	Torzijski	Razne formule
Kemična sestava	—	—	+	—	+	+	+	—(0)
Stopnja homogenosti	—	—	—	—	+	—	+	0
Kristalna zgradba	—	0	—	—	+	—	+	0
Temperatura	—	—	×	—	×	×	+	×
Preoblikovalna hitrost	0	0	—	0	×	+	+	0
Stopnja preoblikovanja	—	0	0	0	—	+	+	0
Posledice preoblikovanja	—	0	0	0	0	—	+	0
Preoblikovalna trdnost	0	0	0	0	—	+	+	—
Plastičnost subjektivno	—	—	+	+	+	0	+	0
Plastičnost objektivno	0	0	0	0	—	0	+	0
Uporabnost za prakso	—	—	+	—	±	+	+	0

Razlaga znakov: zaznavnost (občutljivost, selektivnost, uporabnost) je:
+ dobra, — srednja, 0 slaba, × le v določenem področju.

(valjem, kladivom) in sta torej odvisna od postopka predelave. **Predelovalna trdnost** k_f pa je čista lastnost materiala in predstavlja odpornost materiala proti plastični deformaciji pri enoosnem napetostnem stanju. Lueg in Müller (2) sta s tlačnimi preizkusi ugotovila, da je predelovalna trdnost v eksponencialni zvezi s predelovalno hitrostjo:

$$k_f = k_{f0} \cdot \varphi^x \quad (T = \text{konst.}) \quad (2)$$

k_{f0} = predelovalna trdnost pri $\varphi = 1 \text{ s}^{-1}$,
 φ = predelovalna hitrost v s^{-1} ,
 T = temperatura v $^{\circ}\text{C}$.
 x = eksponent, ki zavisi od predelovalne hitrosti,

Ista odvisnost velja tudi za natezni in torzijski preizkus. **Deformacija pri torziji** je odvisna od oblike preizkušanca in torzijskega (vzvojnega) kota:

$$\gamma = \frac{r}{l} \cdot N \quad (3)$$

γ = deformacija pri torziji (strižni kot),
 r = polmer preizkušanca,
 l = dolžina preizkušanca
 N = torzijski kot

Predelovalno hitrost lahko nato izrazimo kot spremembo deformacije s časom t :

$$\Psi = \frac{d\gamma}{dt} (s^{-1}) \quad (4)$$

Silo, odnosno napetost pri torzijskem preizkusu izračunamo iz momenta — tega namreč med preizkusom merimo. Enačba (2) izražena z momenti se glasi:

$$M = M_0 \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^x \quad (T = \text{konst.}) \quad (5)$$

M = vrtilni moment v kpcm ali kpmm
 M_0 = moment pri predelovalni hitrosti $\varphi = 1 \text{ s}^{-1}$
 T = temperatura v $^{\circ}\text{C}$

Momenta sta proporcionalna strižnima napetostima τ in τ_0 , zato lahko pišemo tudi:

$$\tau = \tau_0 \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^x \quad (\text{kp/mm}^2) \quad (6)$$

Rossard in Blain (4) sta izračunala strižno napetost iz momenta po enačbi:

$$\tau = \frac{(x+3) \cdot M}{2 \pi r^3} \quad (\text{kp/mm}^2) \quad (7)$$

Po kriteriju Tresca

$$k_f = 2 \tau \quad (8)$$

sledi končna enačba za predelovalno trdnost:

$$k_f = \frac{(x+3) M}{\pi r^3} \quad (\text{kp/mm}^2) \quad (9)$$

Faktor x izračunamo iz enačbe (5).

V enačbi (4) je izražena predelovalna hitrost s spremembo torzijske deformacije s časom. Ker gre pri predelavi predvsem za natezno enoosno napetostno stanje, je treba najti zvezo med strižno in natezno deformacijo. Rossard in Blain sta jo izračunala po kriteriju Von Mises-a (drsenje po oktaederski ploskvi). Po tem kriteriju je deformacija:

$$\text{— za torzijo } \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \gamma$$

$$\text{— za nateg } \sqrt{2} \cdot \epsilon$$

$$\sqrt{2} \cdot \epsilon = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \gamma$$

$$\epsilon = \frac{\gamma}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

$$\epsilon = \frac{r \cdot 2 \pi}{1 \cdot \sqrt{3}}$$

Hitrost deformacije (predelovalna hitrost) je potem:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = h = \frac{r \cdot 2 \pi}{1 \cdot \sqrt{3}} \cdot n \quad \text{za } n = \frac{\text{obrati na}}{\text{sekundo}} \text{ in}$$

$$h = \frac{r \cdot 2 \pi}{1 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{n}{60} \quad \text{za } n = \frac{\text{obrati na}}{\text{minuto}}$$

Za zelo razširjeni torzijski preizkušavec, premera 6 mm in dolžine 50 mm (IRSIDov preizkušavec) izračunamo predelovalno hitrost kratko iz enačbe:

$$h = 0,0036 \cdot n \quad (s^{-1}) \quad n = \frac{\text{obr.}}{\text{min.}}$$

Za predelovalno hitrost izraženo z odstotkom deformacije na sekundo pa velja:

$$h = 0,36 \cdot n \quad (\% \cdot s^{-1}) \quad n = \frac{\text{obr.}}{\text{min.}}$$

Za preizkušavec leobenske šole (premer 10 mm, dolžina 50 mm) pa velja

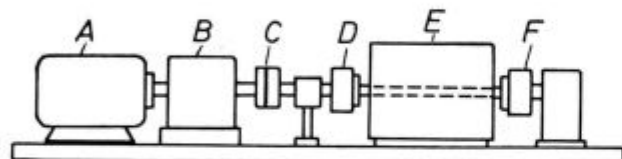
$$h = 0,60 \cdot n \quad (\% \cdot s^{-1}) \quad n = \frac{\text{obr.}}{\text{min.}}$$

Te predelovalne hitrosti veljajo le za površino vzorca.

Langerweger in Trenkler (5) sta izmerila tudi aksialne napetosti med torziranjem. Opazne aksialne napetosti se pojavijo šele za maksimalnim momentom, to je po nekaj obratih. Maksimalni moment, ki ga rabimo za račun preoblikovalne trdnosti, nastane torej v enoosnem napetostnem stanju. V gama področju so natezne napetosti med 0,4 do 0,85 kp/mm^2 , v dvofaznem so napetosti tlačne do največ 0,3 kp/mm^2 , v alfa območju pa zopet majhne tlačne napetosti. Na A_1 in A_3 temperaturi ni aksialnih napetosti.

Kriterij preoblikovalne sposobnosti jekla (plastičnosti) je število obratov do preloma preizkušanca. Razen od vrste jekla zavisi to število še od več drugih faktorjev: oblike vzorca, temperature, vrtilne hitrosti itd. To je zelo objektivni in zanesljiv kriterij, ki ga je lahko uporabiti v praksi. Smatra se, da jeklo ni več sposobno za predelavo (valjanje, kovanje), če vzdrži manj kot 4 do 5 obratov do loma (preizkušavec premera 10 mm in dolžine 50 mm). To velja, če je bil preizkušavec narejen iz predelanega materiala, za lite preizkušance pa bi bil analogen kriterij 1 do 2 obrata do loma.

2. Izvedbe naprav in preizkušanci. V bistvu so si naprave, katerih skice najdemo v strokovni literaturi, zelo podobne (slika 1). Motor A z reduktorjem B vrtita preko sklopke C glavo D, v katero je vpet en konec preizkušanca. Najboljše izvedbe imajo možnost kontinuirnega spreminjanja obratov od 0 do 1000 obr./min. Ker so predelovalne hitrosti v praksi še večje kot jih daje ta preizkus pri 1000 obr./min so v SSSR izdelali stroj, ki mu lahko spreminjajo obrate od 18 do 3000 obr./min.



A - Motor
B - Reduktor
C - Sklopka
D - Vrteča glava
E - Peč
F - Trdna glava

D-69-021

Slika 1

Naprava za torzijski preizkus v vročem

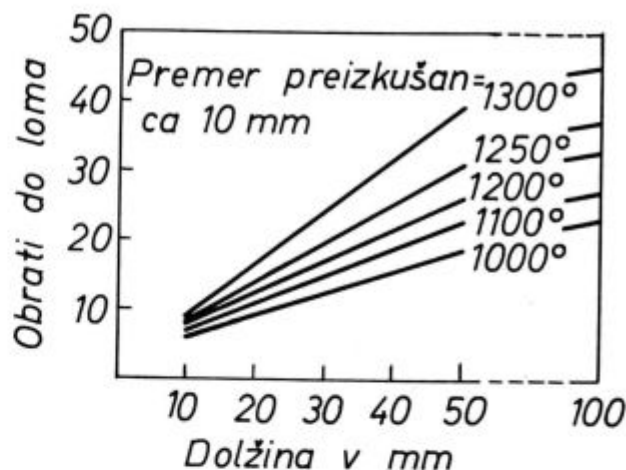
Preizkušavec je v peči E, ki naj zmore temperature do 1350° C. Navadno imajo peči z navitjem iz platinske žice. Drugi konec preizkušanca je vpet v trdno glavo F, ki pa mora biti v vzdolžni osi preizkušanca gibljiva zaradi dilatacij pri segrevanju.

Registrirati je treba naslednje količine: vrtilne momente, obrate do preloma in čas. Spremembe teh količin se lahko prenašajo na registrirni instrument z zelo hitrim pomikom papirja, ali pa se spremembe prenašajo na mehanske ure in te snemajo s filmsko kamero.

3. Vplivi pri preizkušanju. Rezultat preizkusa lahko zelo zavisi od razmer preizkušanja. Pri tem je več faktorjev zelo vplivnih — opisali bomo najvažnejše.

a) Vpliv oblike preizkušanca. Danes uporabljajo za natančne meritve izključno preizkušance s posebno merilno dolžino v obliki stanjšanelega dela v sredini. Žal pa ni enotnih mer za preizkušance in je s tem zelo otežkočena primerjava rezultatov raznih avtorjev. Langerweger in Trenkler (5)

navajata, da obstoja okoli 20 različnih preizkušancev s premeri od 3 do 18 mm in merilnimi dolžinami med 2,8 do 190 mm. Ista avtorja predlagata standardni meri: premer 10 mm in dolžino 50 mm. V Franciji, od koder izvira mnogo raziskav predelovalnosti jekla pa imajo tele mere: premer 6 mm in dolžino 50 mm.

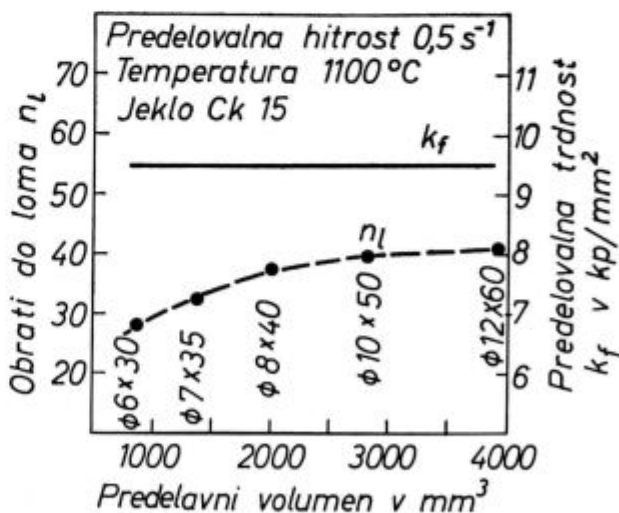


D-69-021

Slika 2

Odvisnost števila obratov do preloma od merilne dolžine

Langerweger in Trenkler (5) sta obširno raziskovala vpliv oblike preizkušanca. Za različne premere med 6 in 12 mm nista našla zakonitih razlik, dočim so očitne razlike pri različnih dolžinah (odnosno volumnih). Slika 2 kaže število obratov do preloma v odvisnosti od merilne dolžine (pri enakem premeru 10 mm). Z dolžino torej zelo narašča število obratov do preloma. Slika 3 pa kaže naraščanje obratov z večanjem preoblikovalnega volumna. Ni pa od volumna odvisna preoblikovalna trdnost.

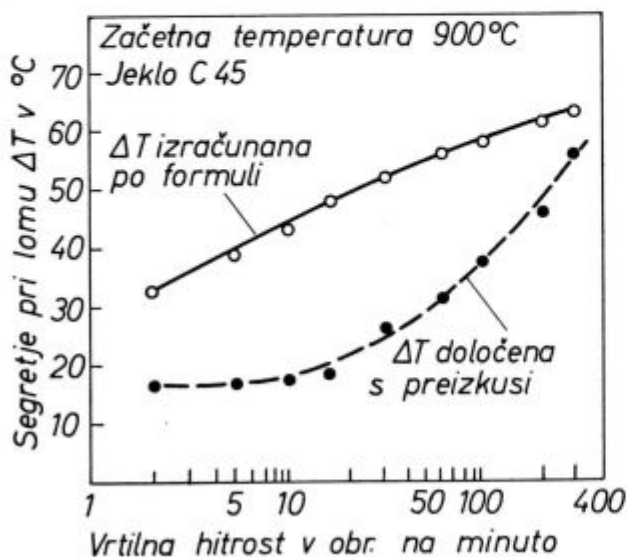


D-69-021

Slika 3

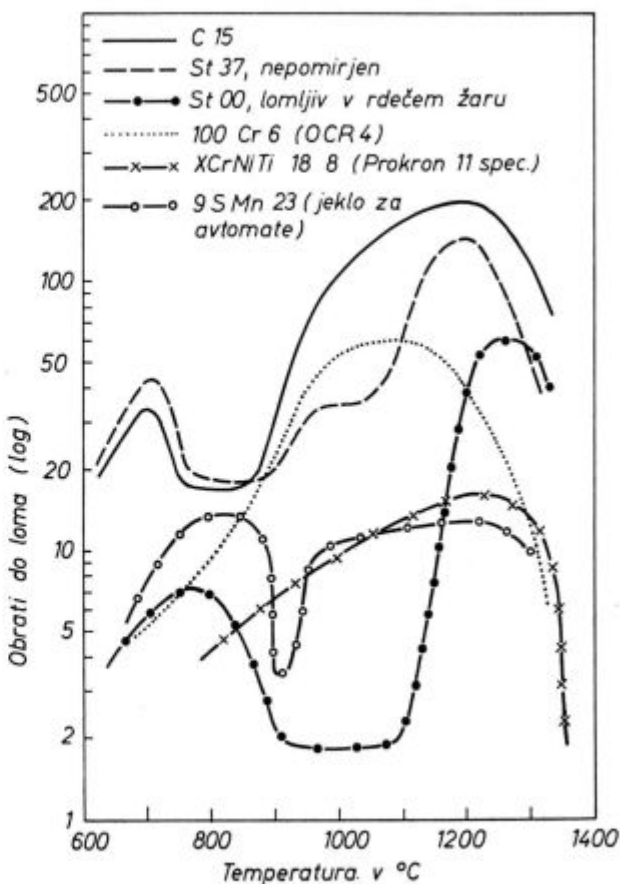
Število obratov do loma v odvisnosti od predelavnega volumna

b) Povečanje temperature preizkušanca med preizkusom. Pred pričetkom preizkusa je preizkušanec sicer segret na določeno temperaturo peči, vendar se med torziranjem lahko dodatno segreje. Za koliko se segreje, zavisi od temperature preizkušanja in od vrtilne hitrosti. Na maksimalni moment, ki ga dosežemo že po nekaj obratih to nima bistvenega vpliva. Pri natančnih preiskavah pa je naraščanje temperature treba upoštevati. Primer dodatnega segretja jekla C 45 kaže diagram na sliki 4.



D-69-02f

Slika 4
Segrevanje jekla med preizkusom



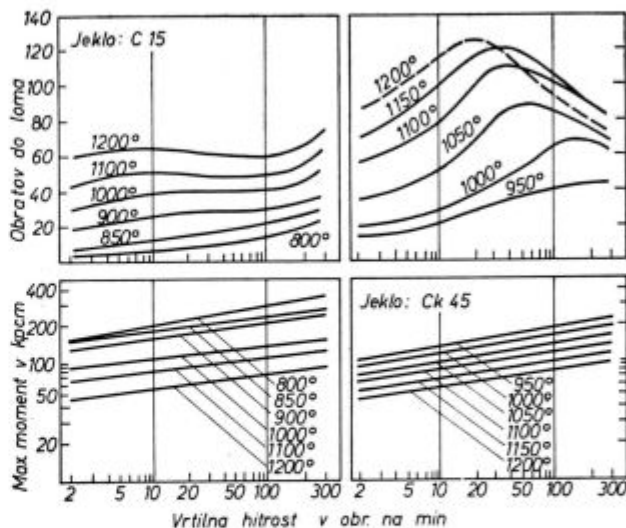
Slika 5
Plastičnost nekaterih vrst jekel

c) Vpliv temperature preizkušanja. Diagram na sliki 5 prikazuje plastične lastnosti nekaj vrst jekel v odvisnosti od temperature preizkušanja (3). Različna jekla imajo zelo različne tipe krivulj, vendar se lahko tudi različne taline istega jekla zelo razlikujejo med seboj, posebno v številnih obratih do loma. V splošnem lahko rečemo, da v gama področju obrati do loma rastejo do neke optimalne predelovalne temperature, nato pa padajo. V dvofaznem področju (alfa + gama) je predelovalnost običajno slabša, pod A_1 točko pa lahko zopet malo naraste. Pri jeklu St 00, ki je nagnjeno k lomu v rdečem žaru, je predelovalnost v območju 900 do 1100°C izrazito nizka.

razlagajo s tem, da začne deformacijska hitrost presežati rekristalizacijsko. Pri jeklu C 15 pa je naraščanje obratov do loma — razen pri nižjih temperaturah — manj očitno.

e) Vpliv sestave jekla. Legirni elementi ne vplivajo na preoblikovalnost jekla vedno le dobro ali

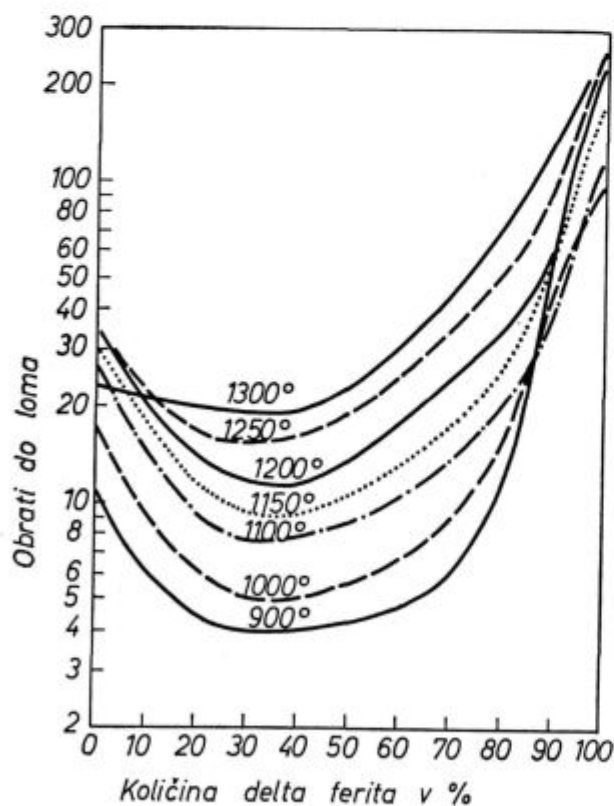
d) Vpliv hitrosti preizkušanja. Slika 6 prikazuje odvisnost števila obratov do loma od vrtilne hitrosti (obr./min logaritemsko) in v dveh logaritemskih koordinatah odvisnost maksimalnega momenta od vrtilne hitrosti (5). Leva diagrama veljata za jeklo C 15, desna pa za Ck 45. Dočim maksimalni moment pri obeh jeklih linearno narašča z logaritmom vrtilne hitrosti je odvisnost obratov do loma manj enostavna. Pri jeklu Ck 45 z večjo vrtilno hitrostjo narašča število obratov do loma do maksimuma, nato pa pada. To padanje



Slika 6
Število obratov do loma in maksimalni moment v odvisnosti od vrtilne hitrosti

slabo. Nekateri od njih vplivajo včasih slabo, v določenih količinah ali zvezah pa celo dobro. Aluminij: če je vezan v nitride vpliva slabo, v avtomatskih jeklih z S pa vpliva dobro.

Antimon, arzen, svinec, bor, baker, molibden, niob, kisik, selen, silicij, dušik, bizmut, volfram, in kositer poslabšajo predelavnost jekla. Znan in zelo raziskan je tudi škodljiv vpliv žvepla (lom v rdečem in belem žaru). Predelavnost avtomatskih jekel z žveplom izboljšamo s povišano količino Mn, katerega sulfidi se pri strjevanju jekla ne razporejajo v kristalnih mejah. Cer in druge redke zemlje pri nekaterih legiranih jeklih izboljšajo predelavnost. Krom do 12 % poslabšuje predelavnost, nad to količino pa jo izredno izboljša. Prav pri feritnih jeklih so dosegli do sedaj največ obratov do loma (več kot 2000). Ogljik: na osnovi starejših raziskav je razširjeno mišljenje, da imajo najboljšo predelavnost jekla z 0,15 % C. Novejše raziskave tega niso mogle potrditi, niti niso mogle odkriti druge jasne odvisnosti. V nerjavcih avstenitnih jeklih pa ogljik zelo znižuje predelavnost. Vpliv kobalta ni raziskan. Mangan in nikelj izboljšata predelavnost. Fosfor nima očitnega vpliva. Vanadij ugodno vpliva do 1,6 %, nad to količino nima vpliva. Vodik je brez vpliva. Cirkon izboljša predelavnost, posebno pri legiranih jeklih.

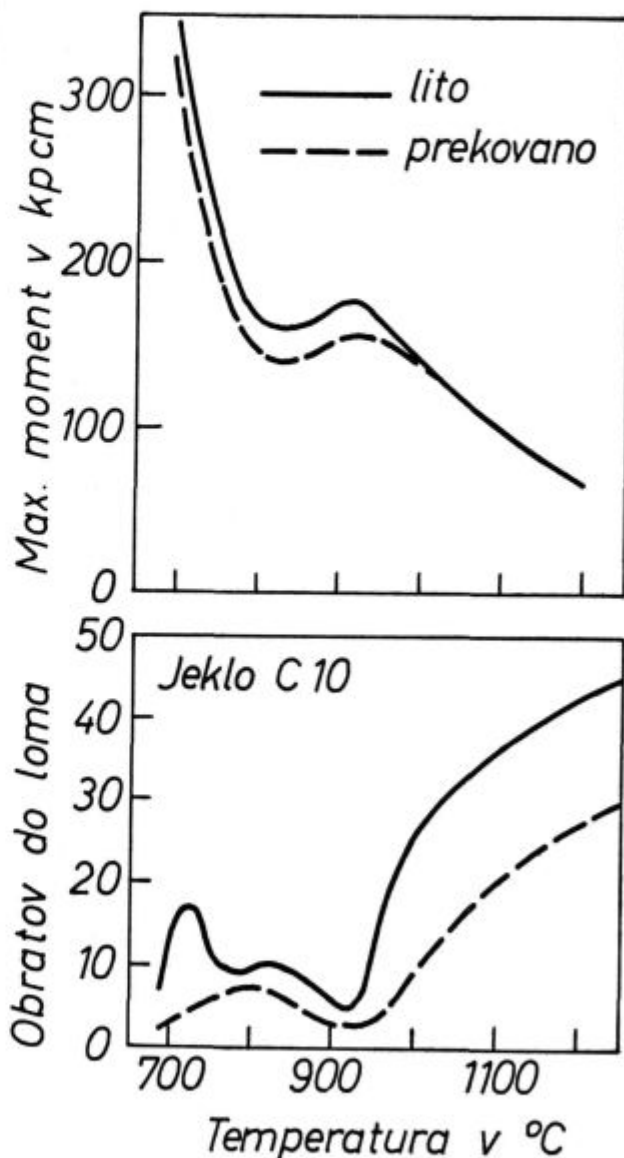


Slika 7

Predelavnost jekel z različnimi količinami delta ferita

f) Vpliv strukturnih nehomogenosti: Večje količine vključkov odnosno kisika povzročajo težave pri valjanju. Nad 400 ppm kisika skoraj že onemogoča predelavo pod 1100° C. Zanimiv je vpliv odnosa alfa in gama faze na predelavnost. Če pri nelegiranih jeklih je predelavnost v dvofaznem območju zelo slaba. Bolj važen pa je vpliv dvofazne strukture v CrNi jeklih. To področje je raziskovalo že več avtorjev, kajti že desetletja obstoja problem predelave teh jekel zaradi vpliva dvofaznosti. Diagram na sliki 7 (po Elfmarku) kaže odvisnost predelavnosti (obratov do loma) od količine delta ferita v jeklu. Preizkušana jekla so vsebovala 24 % Cr in razne količine Ni.

Pri avstenitnih jeklih pada predelavnost z večjo količino delta ferita do minimuma pri okoli 30 % delta ferita. Čista feritna jekla pa imajo zelo dobro predelavnost.



Slika 8

Predelavnost litga in kovanega jekla

g) *Vpliv litega ali predelanega stanja.* Na sliki 8 je prikazan primer odvisnosti predelavnosti od temperature za dve stanji: lito (kontinuirni liv) in kovano za jeklo C 10 (5). V litem stanju je praviloma predelavnost slabša, vendar je v osnovi potek krivulj »predelavnost-temperatura« isti. Le pod A₁ točko lito jeklo ne kaže maksimuma, ki je značilen za predelano jeklo. Jeklo predelujemo sicer v obeh stanjih — prva predelava gre v litem stanju, naslednja pa že v delno predelanem. Največkrat je tudi res, da če jeklo vzdrži prvo predelavo, vzdrži tudi naslednje. To bi pomenilo, da je v nekaterih primerih neobhodno potrebno preizkušati jeklo v litem stanju, posebno če gre za kritične primere preoblikovalnosti nekega jekla. Po drugi strani pa opazimo, da večina raziskovalnih del temelji na preizkušanju predelanega jekla. Celo predlog za standardno preizkušanje jekla pred valjanjem predvideva ulitje probe in nato skovanje v utopu na pravilno obliko. Izgleda torej, da lahko določimo kriterij preoblikovalnosti tudi če so vzorci iz predelanega jekla.

REZULTATI PREIZKUSANJA PREDELAVNOSTI

Stroj za torzijske preizkuse na Metalurškem inštitutu. Za izdelavo tega stroja smo uporabili staro stružnico za izdelavo vijakov (TRUVOX), ki smo jo dobili v Železarni Ravne. Pogonski del smo spremenili tako, da omogoča spremembe vrtilnih hitrosti od 0,5 do 600 obratov na minuto v več stopnjah.

Med obema vpenjalnima glavama je silitna peč za temperature do 1350° C. Preizkušane je zaščiten pred neposrednim sevanjem silitov s cevjo iz ognja varnega jekla. Zaradi tega je tudi nihanje temperature preizkušanca minimalno ($\pm 2^{\circ}$ C).

Merjenje obratov. Jeziček na sklopki sproži ob polnem obratu rele, ki posreduje signal elektromagnetnemu števcu. Števec je na tabli, ki jo snema filmska kamera.

Merjenje momentov: Glava, ki se med preizkusom ne vrti je pritrjena s 100 mm dolgo in 5 mm debelo vzmetjo, ki s svojo elastičnostjo služi tudi za merjenje momentov. Moment, odnosno pot vzmeti se prenaša na mehanično uro na tabli za snemanje. Vzmet je izmenljiva.

Za preje omenjeno vzmet smo izmerili odvisnost odklona na mehanični uri od momenta tako, da smo v glavo vpeli ročico dolgo 500 mm, in jo obremenjevali z utežmi.

Registracija količin. Vsi merilci — števec obratov, ura za momente in stoparica za merjenje časa — so zbrani v tabli, katero snemamo z razdalje 1 m s 16 milimetrsko kamero. Za kratke preizkuse je snemanje neprekinjeno s frekvenco 8 ali 16 slik na sekundo, za daljše preizkuse (zelo plastična jekla ali majhne vrtilne hitrosti) pa zadostujejo

posamezni posnetki vsakih nekaj sekund. S projiciranjem filma z navadnim diapozitivnim projektorjem lahko registriramo vse količine — čas, obrate in odklon zaradi momenta. Za zelo natančne meritve je treba nato narisati diagram odvisnosti momenta od števila obratov.

Preizkusili smo jekla:

Č.5421 — ECN 200

Č.9683 — BRU

Č.6980 — BRC in

Č.4570 — Prokron 2 spec.,

katerih sestave so na tabeli 2.

Tabela 2 — Sestave preizkušanih jekel

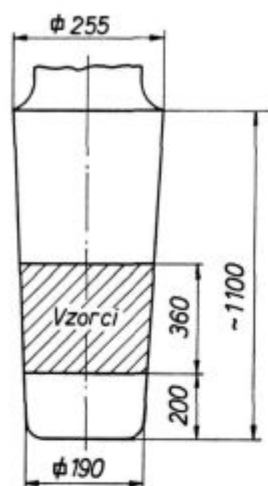
Element	ECN 200 C 5421 talina: 41190	BRU C.9683 talina: 13564	BRC C.6980 talina: 14252	Prokron 2 spec. C.4570 talina: 44547
C	0,16	1,18	0,78	0,22
Si	0,27	0,29	0,24	0,36
Mn	0,45	4,03	0,32	0,59
P	0,012	0,063	0,034	
S	0,022	0,006	0,004	0,018
Cr	1,89	4,09	4,13	17,3
Ni	1,94	0,25	0,40	1,79
Mo	0,03	0,60	0,60	0,14
V	0,01	3,46	1,5	
W		9,55	18,6	
Co		9,50	5,06	
Cu	0,15	0,17	0,12	0,15
Al _t	0,004			

Jekli ECN 200 in Prokron 2 spec. sta bili uliti v kokilo OKGV 255, jekli BRU in BRC pa v kokilo OSZK 240. Dimenzije blokov in lege preizkušancev so prikazane na sliki 9.

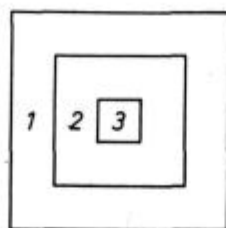
Mere preizkušancev: Prvotno smo se odločili za preizkušance z merami $\varnothing 10$ mm, $l = 50$ mm. Pri začetnih preizkusih z brzoreznimi jekli, ki imajo zelo visoko predelovalno trdnost, smo opazili, da so stroj in naprave na njem (sklopka, čeljusti) preslabi za momente, ki nastopajo pod 1000° C. Zato smo se odločili za standardni preizkušane z merami: premer 6 mm in dolžina 50 mm.

Preizkušanje predelavnosti z vzorci iz zunanje plasti bloka: Zunanja plast v bloku, ki se prva in najhitreje ohladi pri ulivanju jekla v kokilo, je najbolj drobnozrnata in homogena in predelava bloka je predvsem odvisna od te plasti. Zato so pri preizkušanju predelavnosti najbolj važni rezultati, ki jih dobimo z vzorci iz te plasti. S temi

Ingot OKGV 255

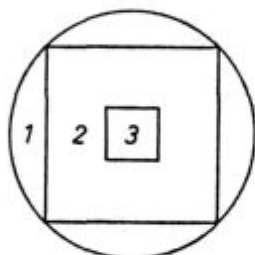
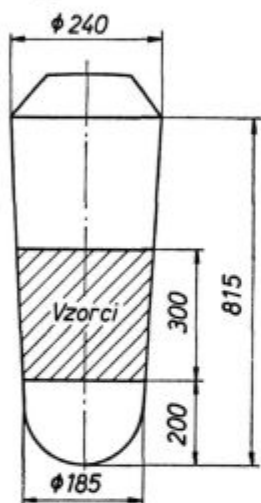


Lega vzorcev v prečnem prerezu bloka



1 zunanja
2 srednja
3 notranja

Ingot OSZK 240



1 zunanja
2 srednja
3 notranja

Slika 9

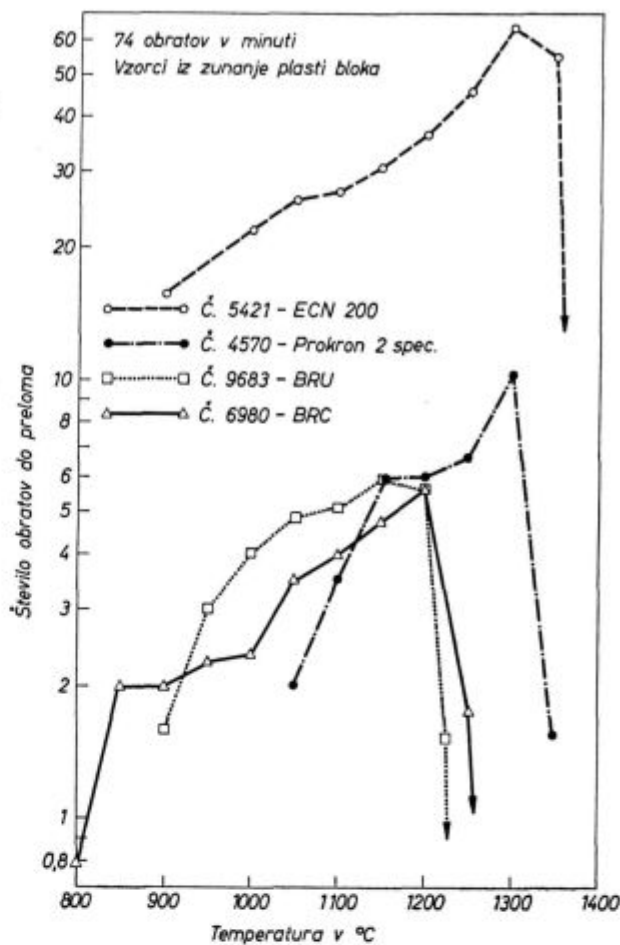
Lega vzorcev v prečnem prerezu bloka

rezultati bomo torej vrednostili predelavnost jekel. Odvisnost predelavnosti (števila obratov do preloma) od temperature, kaže slika¹⁰.

— Jeklo ECN 200 doseže najboljšo predelavnost med 1300 in 1350° C in sicer okoli 60 obratov do preloma. Pri nižjih temperaturah se predelavnost slabša in doseže pri 900° C le 15 obratov.

— Pri brzoreznih jeklih BRU in BRC je najboljša predelavnost pri 1200° C. Manj kot 2 obrata do preloma dosežeta ti jekli pri 1225° C (BRU) odnosno 1250° C (BRC) pri višji temperaturi (1250 odnosno 1275° C) pa se zlomita takoj in praktično brez momenta. Relativno dobro predelavnost kažeta obe jekli do 900° C.

— Jeklo Prokron 2 spec. ima relativno ozek interval optimalne predelavnosti med 1050 in 1300° C.



Slika 10

Predelavnost preizkušanih jekel v odvisnosti od temperature

Iz teh rezultatov moremo predpisati optimalni temperaturni interval valjanja, odnosno kovanja. Za zgornjo temperaturo tega intervala ni težav, ker pri vseh jeklih po prekoračitvi določene temperature predelavnost naglo pade. Zaradi varnosti predlagamo 20 do 30° C nižjo zgornjo temperaturo intervala. Težje je določiti spodnjo temperaturo vroče predelave. Jeklo ECN 200 ima npr. še pri 900° C zelo dobro predelavnost. Pri takih jeklih bodo o spodnji temperaturi vroče predelave odločale druge zahteve, npr. struktura ali mehanske lastnosti po vročem valjanju. Pri jeklih, ki se težje predelujejo, pa naj bi o spodnji temperaturi predelave odločal določen minimum obratov do preloma, ki ga jeklo še doseže. Za naš preizkušane in lito stanje v katerem smo jekla preizkušali, smo se odločili za najmanj 2 obrata do preloma (to vprašanje je tudi v strokovni literaturi zelo sporno). V praksi bo tudi lahko predelavnost pri nižjih temperaturah boljša kot jo pa določimo s torzijskim preizkusom — predelava namreč začne pri višji temperaturi in poteka diskontinuirno do nižjih temperatur, pri katerih je lita struktura že bolj ali manj razbita.

Na osnovi rezultatov navajamo na tabeli 3 zgornjo temperaturo in optimalni temperaturni interval vroče predelave.

Tabela 3 — Temperature vroče predelave

Jeklo	Zgornja temperatura vroče predelave °C	Optimalni interval vroče predelave °C
ECN 200	1350	1320
BRU	1200	1170— 925
BRC	1200	1170— 900
Prokron 2 spec.	1300	1270—1050

Faktor predelavnosti P: (predlaga J. Langerweger): Izberemo 200° C široko optimalno področje predelavnosti:

ECN 200	1100—1300
BRU	950—1150
BRC	1000—1200
Prokron 2 sp.	1100—1300

Število obratov do preloma n_{pr} pri spodnji temperaturi tega področja pomnožimo s srednjim naraščanjem števila obratov v tem področju $n/200^0$

$$P = n_{pr} \cdot n/200^0$$

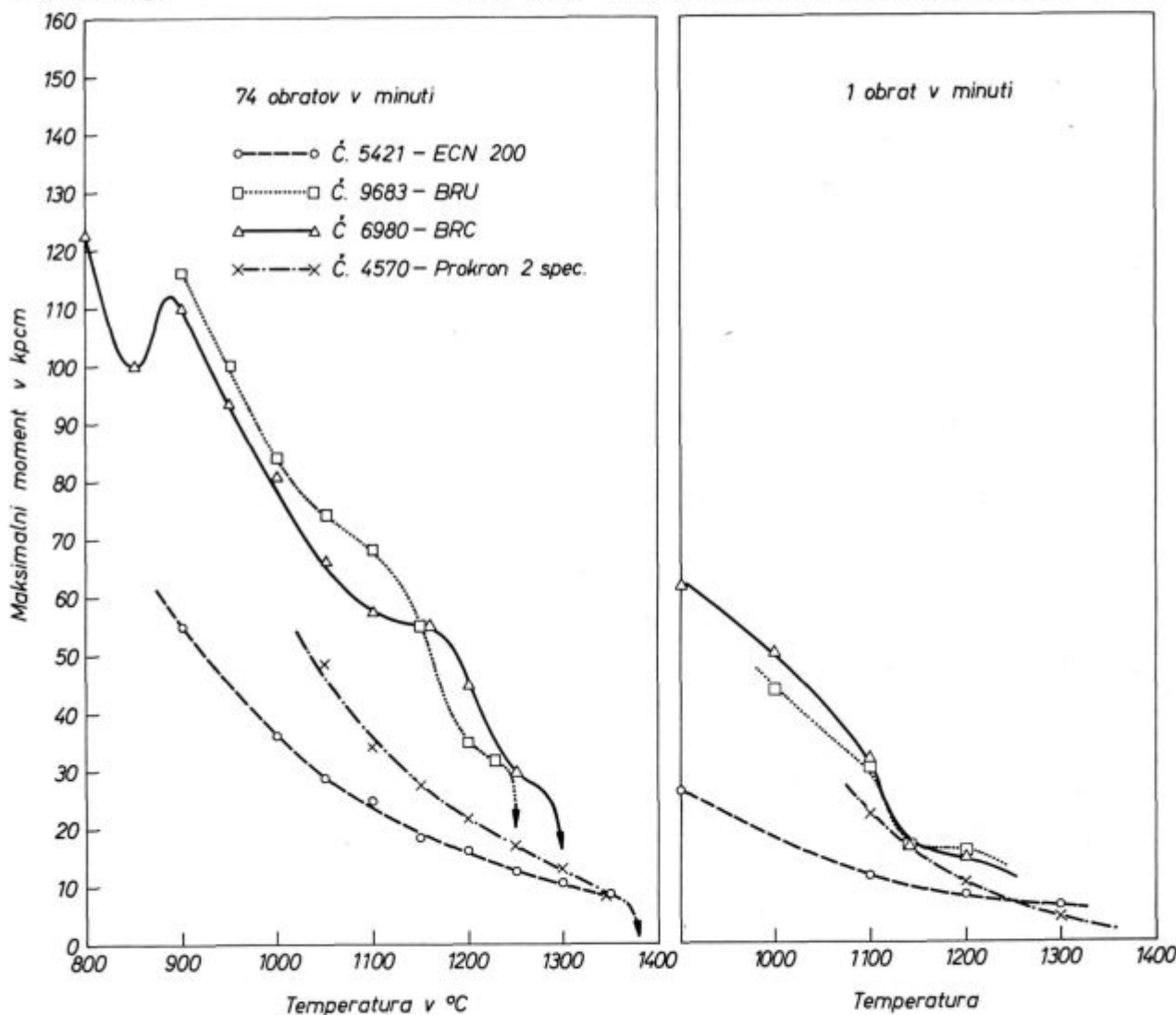
Na tabeli 4 so navedeni rezultati po tej enačbi za preiskovana jekla.

Tabela 4 — Faktorji predelavnosti

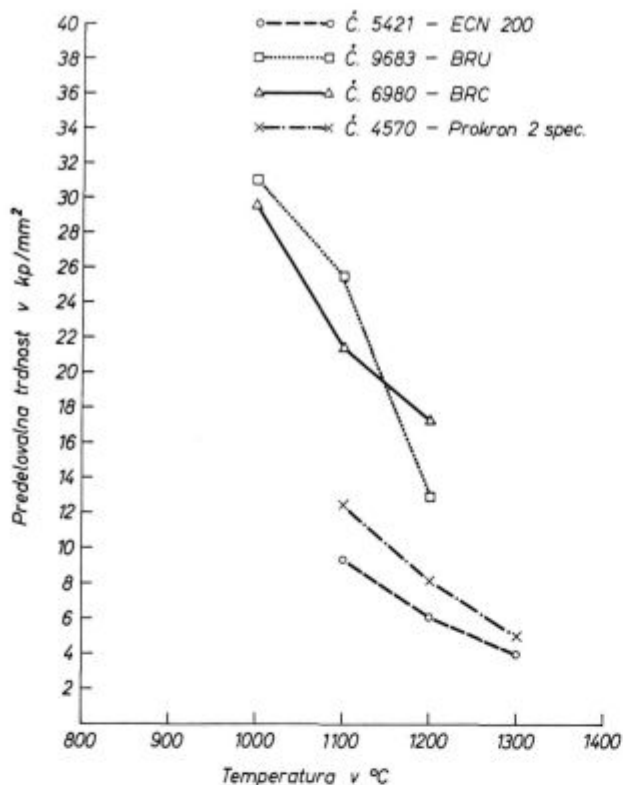
Jeklo	n_{pr}	Naraščanje predelavnosti $n/200^0$	Faktor predelavnosti P
ECN 200	27	0,18	4,86
BRU	3	0,014	0,042
BRC	2,4	0,0155	0,037
Prokron 2 sp.	3,5	0,0335	0,117

Ti faktorji najbolj izrazito pokažejo razlike v predelavnosti posameznih jekel.

Torzijski momenti: Na sliki 11 so narisane krivulje odvisnosti maksimalnega momenta od tem-



Slika 11
Maksimalni momenti v odvisnosti od temperature



Slika 12

Predelovalne trdnosti preizkušanih jekel v odvisnosti od temperature

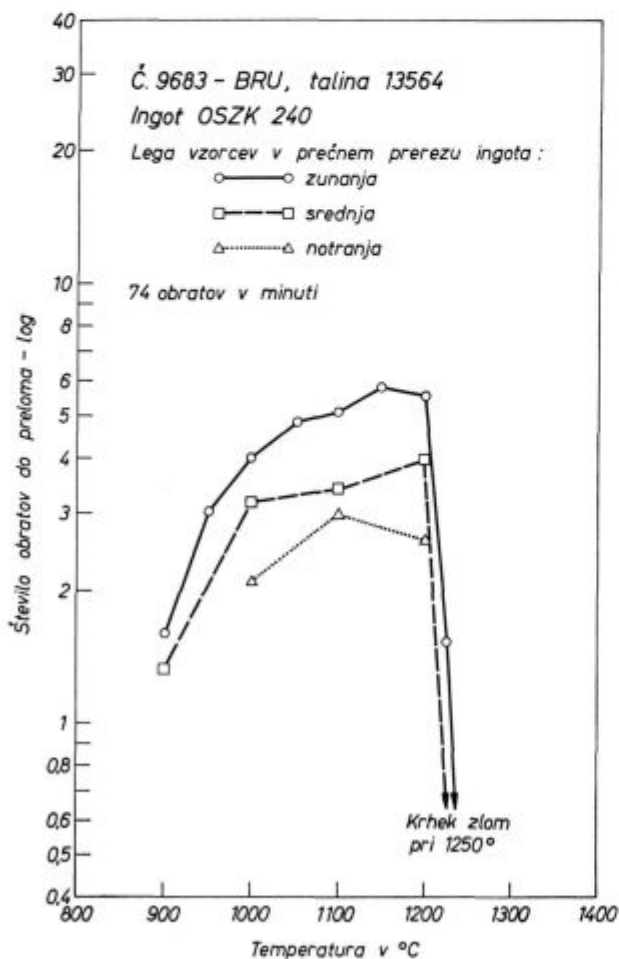
perature za vsa 4 jekla. Najmanjše torzijske momente ima jeklo ECN 200, srednje Prokron 2 sp., dočim imata brzorezni jekli izrazito večje momente. Jeklo BRC, ki smo ga preizkusili tudi pod 900° C, pokaže v dvofaznem območju padeč momenta, ki pa v alfa območju (pod 850° C) ponovno narašča. Pri krivuljah obeh brzoreznic jekel opazamo med 1100 in 1200° C koleni, ki sta v zvezi s strukturnimi spremembami (raztapljanje karbidov). Momenti pri manjši deformacijski hitrosti (1 obrat/minuto) so približno enkrat manjši.

Predelovalne trdnosti: Navedene so na tabeli 5 in sliki 12.

Tabela 5 — Predelovalne trdnosti

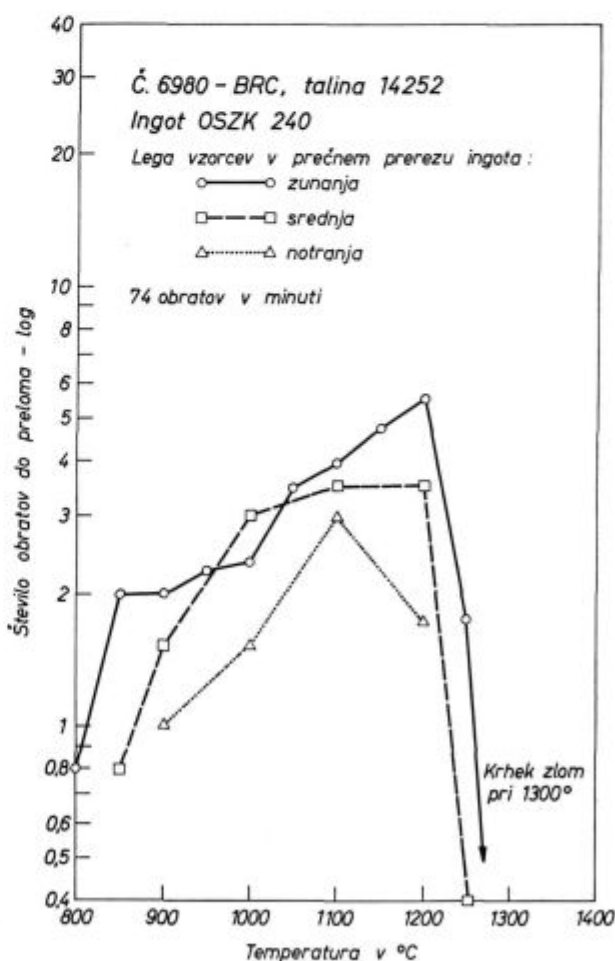
Jeklo	Predelovalne trdnosti v kp/mm² pri temperaturi °C			
	1000	1100	1200	1300
ECN 200		9,3	6,05	4,0
BRU	31,0	25,5	12,9	
BRC	29,7	21,4	17,3	
Prokron 2 sp.		12,4	8,07	5,03

Vpliv kristalizacije v bloku: Znano je, da se kristalizacija v bloku, zaradi različnih ohlajevalnih hi-



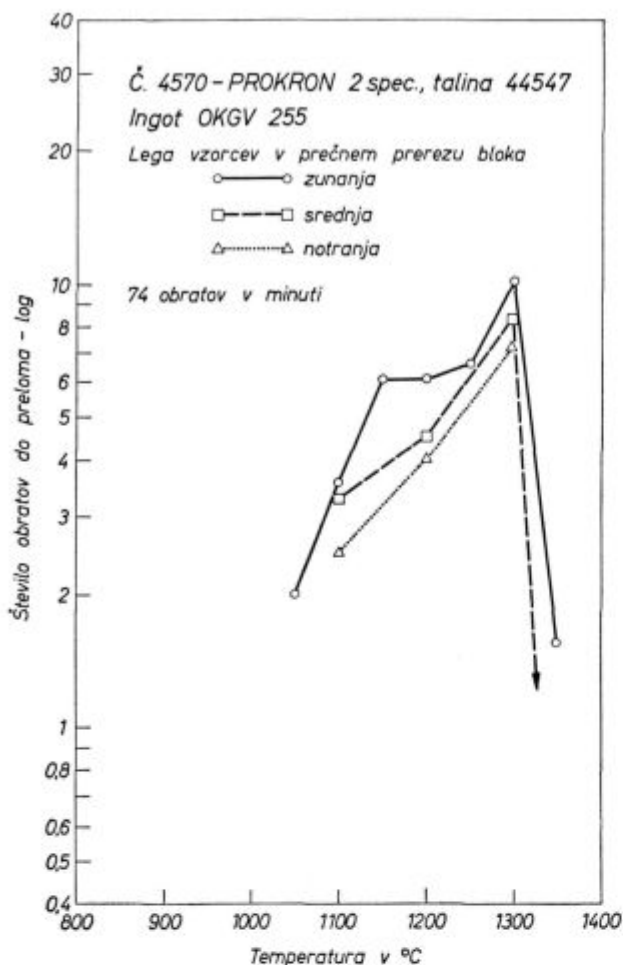
Slika 13

Plastičnost jekla BRU v odvisnosti od temperature in lege vzorcev v prečnem prerezu ingota



Slika 14

Plastičnost jekla BRC v odvisnosti od temperature in lege vzorcev v prečnem prerezu ingota



Slika 15

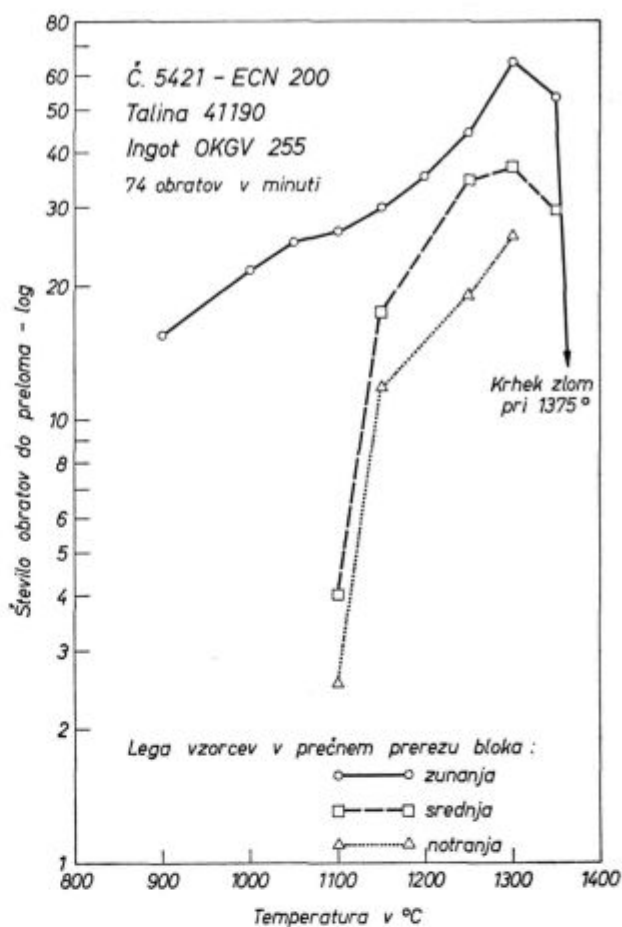
Plastičnost jekla Prokron 2 sp. v odvisnosti od temperature in lege vzorcev v prečnem prerezu ingota

trosti, spreminja od površine bloka do njegove sredine. Na površini se, zaradi hladilnega vpliva kokile, ingot hitro strdi in zato tu nastane plast drobnozrnatih globularnih kristalov. V notranjost bloka je nato strjevanje transkristalizacijsko, sredina bloka, ki se ohlajuje najbolj počasi, pa kristalizira ponovno globularno, vendar v velike kristale.

Vročo predelavo bloka omogoča zunanja plast drobnozrnatih kristalov. Ustrezno debelino te plasti dobimo s pravilnim ulivanjem, predvsem s pravilno temperaturo in hitrostjo ulivanja. Notranjost bloka je zaradi grobih in usmerjenih kristalov in poroznosti mnogo slabše predelavna.

Iz blokov jekel, ki smo jih preizkušali, smo izrezali vzorce tudi iz srednjega in notranjega dela blokov. Lege teh vzorcev so prikazane na sliki 9. Odvisnost plastičnosti od temperature in lege vzorcev v prečnem prerezu bloka prikazujejo slike 13, 14, 15 in 16.

Razlike v predelavnosti glede na lego vzorcev v ingotu so pri vseh jeklih očitne. V srednji legi je plastičnost slabša, v notranjosti pa najslabša. Plastičnost hitroreznih jekel BRU in BRC — izražena z obrati do preloma — je v sredini približno enkrat



Slika 16

Plastičnost jekla ECN 200 v odvisnosti od temperature in lege vzorcev v prečnem prerezu ingota

slabša kot v zunanji plasti. Jeklo Prokron 2 spec. ne kaže tako velikih razlik, plastičnost se zmanjša le za 20 do 30 %. Relativno najbolj pa se poslabša plastičnost jekla ECN 200. V intervalu 1150 do 1350°C se zmanjša za okoli 70 %, pod 1150 pa se plastičnost jekla v notranjosti bloka nenavadno močno poslabša.

Preizkusi, ki smo jih izvršili, so uvod v sistematično preizkušanje predelavnosti domačih vrst jekel in raziskovanje raznih pojavov, ki spremljajo kristalizacijo jekel v bloku.

Literatura

1. D. E. R. HUGHES: Journal of the Iron and Steel Institut
2. W. LUEG, H. G. MÜLLER: Arch. Eisenhütt., 28, 1957, 508—516
3. J. LANGERWEGER: Technische Rundschau, 52, dec. 1967
4. C. ROSSARD: These de doctorat, 1960
5. J. LANGERWEGER, Trenkler, BHM, 112, jan. 1967, zv. 1, 20—33
6. M. F. E. White, These de doctorat, 1967
7. P. A. PORTEVIN, These de doctorat, 1962.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Warmverformbarkeit wird das mechanische Verhalten der Metalle und Legierungen beim Einfluss der Temperatur und der Verformung bezeichnet. Schon im Anfang dieses Artikels sind im kurzen die Arten der Bestimmung der Warmverformung des Stahles, vor allem der Verdrehversuch, beschrieben. Es sind die Gleichungen für die Verformung beim Verdrehen, die Verformungsgeschwindigkeit und die Verformungsfestigkeit gegeben.

Die Prüfungsergebnisse werden von der Form des Prüfstückes, der Verformungstemperatur und Verformungsgeschwindigkeit, von der Stahlzusammensetzung und des Gefüges beeinflusst.

Es sind vier Stahlsorten, ECN 20 C, BRV, BRC und Prokron 2 spec. untersucht worden. Der optimale Temperaturintervall für die Warmverformung dieser Stähle und die Verformungsfestigkeiten sind bestimmt worden.

SUMMARY

Hot workability of steel means mechanical behaviour of metals and alloys when they are influenced by temperature and deformation. In the introduction of the paper methods of determining hot workability of steel are shortly described, especially the torsion test. Equations for the deformation by torsion, the rate of deformation, and the rate of workability are presented. The testing results are

influenced by the sample shape, testing temperature, rate of deformation, steel composition, structure, etc.

Four steels, ECN 200, BRU, BRC, and Prokron 2 spec. were tested. Optimal temperature interval for hot workability of these steels and for their workability strength were determined.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под деформируемостью стали в горячем состоянии обозначаем механическое поведение при действии температуры и деформации. В начале статьи описан способ определения деформируемости стали в горячем состоянии в особенности при случаях кручения. Изнесены уравнения для деформации при кручении,

быстрота деформации и вязкость деформируемости. На результат испытания влияет форма образца, темпа испытания, быстрота деформации, состав и структура стали итд. Исследование выполнено на сталях марки: ECN 200, BRU, BRC и Prokron 2 spec. Определен оптимальный температурный интервал для горячей обработки этих сортов стали и вязкости деформаций.

Primeri iz dela metalografskega laboratorija

Ze v eni prejšnjih številkk tega zbornika smo opisali nekaj primerov porušenih konstrukcijskih elementov (predvsem gredi). Z metalografsko analizo smo poskušali dognati vzroke porušitve oziroma najti najverjetnejše faktorje, ki so povzročili porušitev. V tem sestavku pa analiziramo vzroke porušitve oz. neuporabnosti drugih konstrukcijskih elementov, npr. delov motornih vozil in delov orodij.

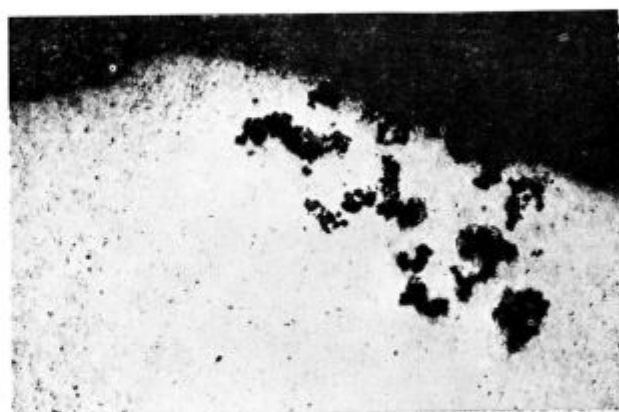
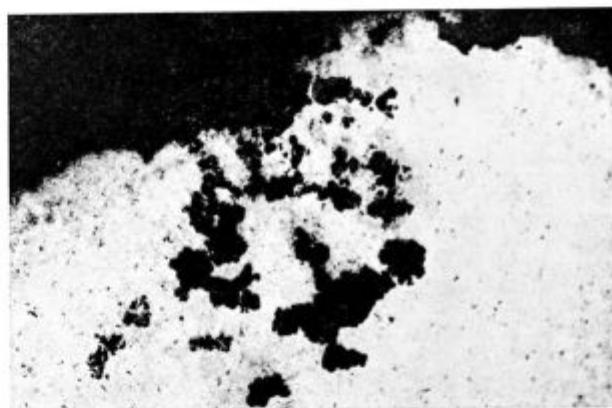
1. V prvem primeru smo morali dognati vzroke porušitve nosilca — elementa zavornega mehanizma pri avtomobilu. V preiskavo smo dobili ročico in nosilec, ki pa sta bila močno zamazana s prahom in oljem (slika 1). Oba dela smo najprej temeljito očistili z bencinom. Prelomne ploskve

so bile sicer na nekaj mestih zarjavele, vendar smo pri primerjavi sovpadajočih prelomnih površin jasno videli, da se je nosilec prelomil trenutno. Na nobenem mestu nismo odkrili znakov utrujenostnega preloma. Na prelomnih ploskvah, ki sta označeni s številko 2, nismo opazili nikakršnih makroskopskih napak (slika 1). Nasprotno pa smo na obeh ploskvah, označenih s številko 1 (slika 1 in slika 2) takoj opazili dokaj velik luncker, v njegovi okolici pa področje močne poroznosti, ki zavzema približno 1/3 do 1/2 prelomne površine. Zaradi naknadnega udarca po prelomu je bila poškodovana prelomna površina na 1 na mestu P.

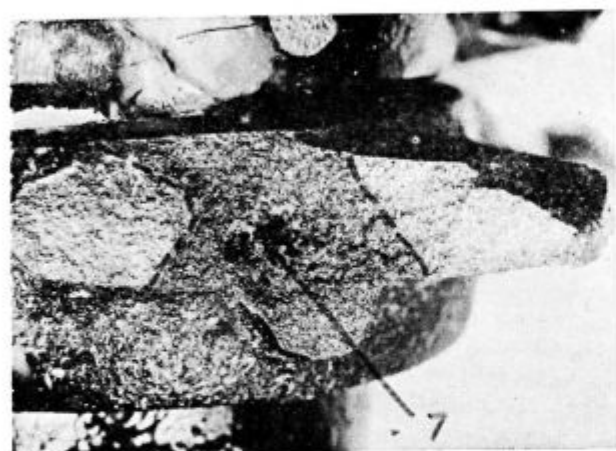
Velikost in obseg poroznosti smo opazovali na prerezi, ki so bili napravljeni pravokotno na prelomno površino (slike 3, 4 in 5).



Slika 1
Ročica in prelomljeni nosilec, pomanjšano pribl. 4×



Slika 3, 4
Poroznost na prečnem preseku čez prelomno ploskev. Polirano, pov. pribl. 8×



Slika 2
Prelomna površina (1). Puščica kaže mesto lunckerja. S črtkano črto obkroženo področje je zelo porozno, pov. pribl. 2,3×



Slika 5

Detajl v področju močne poroznosti, pov. 100 ×, polirano

Ze makroskopski pregled je pokazal materialno napako (lunker in obsežno poroznost), ki zavzema velik del preseka oziroma volumna. Take napake zmanjšujejo konstrukcijskemu elementu zmožnost prenašanja večjih dinamičnih obremenitev.

Nedvoumno smo lahko pokazali vzrok porušitve šele potem, ko smo spoznali tudi mikrostrukturne značilnosti. Na različnih mestih smo izrezali iz nosilca reprezentančne vzorce. Na mestih, oddaljenih od lunke in na prelomu niti mikroskopsko nismo opazili kakih napak.

Ugotovili smo, da je bil nosilec ulit iz sive litine. Grafit je bil lamelaren, vrste A po lestvici ASTM, mestoma se je pa pojavljal tudi grafit vrste C. Po velikosti grafitnih lamel smo ga uvrstili pretežno v 4., delno pa v 5. velikostni razred (srednje in srednje fin grafit) (slika 6).



Slika 6

Grafit, vrste A po ASTM, velikost 4...5, polirano, pov. 100 ×

Mikrostruktura litine je normalna in sestoji, poleg grafita, iz treh komponent: perlita, ferita in fosfidnega eutektika (slika 7).

Struktura sestoji pretežno iz perlita, torej lahko litino uvrstimo med perlitne sive litine. Ferit se pojavlja zvečine ob grafitnih lamelah v obliki manjših kolonij. Fosfidni eutektik je bil razpore-



Slika 7

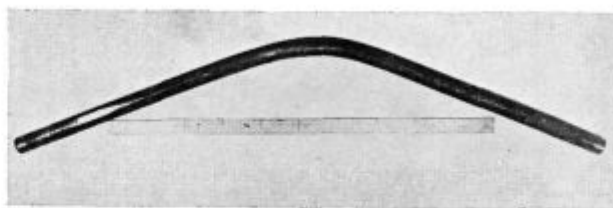
Mikrostruktura litine v zdravem delu: grafit, ferit, perlit, fosfidni eutektik, jedkano z nitalom, pov. 500 ×

jen ob mejah perlitnih zrn, vendar ne v množinah, ki bi vplivale na zmanjšanje trdnostnih lastnosti ulitka. Sestava in mikrostruktura sive litine sta bili torej primarni in v tej smeri ni kazalo iskati vzroka porušitve.

Po vsem zgoraj opisanem sta bila lunke in poroznost edini materialni napaki v nosilcu. Zaradi njunega obsega oziroma prostornine, ki jo v materialu zavzemata, sta tudi nedvoumno vzrok porušitve nosilca, h kateri pa je nedvoumno pripomogla trenutna velika dinamična obremenitev.

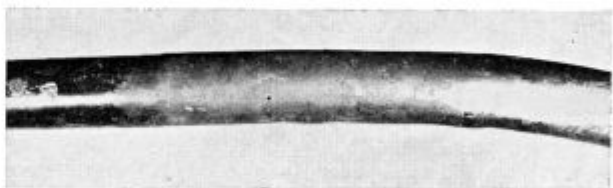
2. Tudi drugi preiskovani konstrukcijski element je bil del motornega vozila. V tem primeru pa ni prišlo do porušitve, temveč je postal neuporaben zaradi upogiba. Za nadaljnjo preiskavo ima opis že s prostim očesom opaznih značilnosti poglobilni pomen.

Vežni drog je bil dolg 160 cm, izdelan pa iz cevi. Ukrivljenost v sredini cevi je bila približno 23 cm, v dolžini približno 40 cm (slika 8 in 9). Na eni strani je bil delno svetlo črno lakiran (pribl. 38 cm), na drugem koncu pa na dolžini pribl. 20 cm. Preostali srednji del cevi (raven in ukriv-



Slika 8

Makroskopski posnetek vežnega droga, pom. pribl. 10 ×



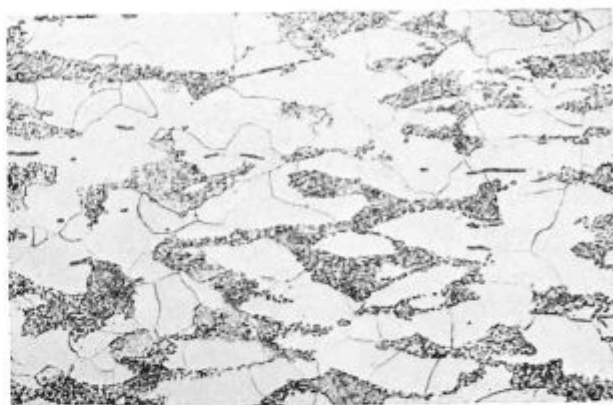
Slika 9

Makroskopski posnetek vežnega droga, pom. pribl. 2,5 ×

ljen) pa je bil brez prevleke laka, opazili pa smo tudi temne lise, ki so posledica segrevanja cevi (slika 9). Druga gola mesta pa so kazala razne izbokline in zaradi udarcev in prask deformirana mesta. Preiskava je obsegala meritve trdot (HRB) in metalografski pregled.

Trdote smo izmerili po celi dolžini, na vseh mestih, ki so kazala prej opisane značilnosti (tabela 1).

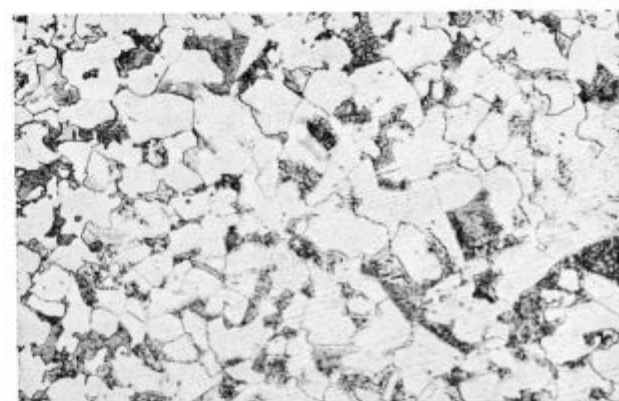
Merilno mesto Štev. Opis	HRB	HB σ_n (rač.) kp/mm ²	
1 Lakirani del	75,1	131	47
2 Lakirani del	76,3	133	48
3 Lakirani del	77,4	137	49
4 Lakirani del	79,6	145	53
5 Prehod na odrgnjeni del	82,6	155	56
6 Začetek izbokline	79,9	146	53
7 Vrh izbokline	82,2	152	55
8 Konec izbokline	80,8	147	54
9 Začetek izbokline	82,4	152	55
10 Vrh izbokline	85,8	166	60
11 Konec izbokline	83,8	158	57
12 Začetek krivine	81,3	149	54
13 V krivini	78,1	140	50
14 Konec krivine	83,3	157	56
15 Sledovi udarca	83,7	158	57
16 Škaja	83,2	157	56
17 Prehod na lakirani del	79,7	146	53
18 Lakirani del	77,2	137	49



Slika 10

Mikrostruktura na mestu vz. 1., drobnnozrnati ferit in globularni perlit, nital, pov. 500 ×

vz. 1, perlit pa je bil lamelaren. Opaziti ni bilo nobene anizotropije v orientaciji zrn. Na izboklini se je struktura še bolj razlikovala, čeprav je bila tudi tu sestavljena iz ferita in perlita. Ferit je bil tu delno puščičaste, delno mrežaste oblike in je obdajal velika zrna lamelnega perlita (slika 12).



Slika 11

Mikrostruktura na mestu vz. 2, drobnnozrnati ferit in lamelarni perlit, nital, pov. 500 ×



Slika 12

Mikrostruktura v vzboklini, ferit in lamelarni perlit, nital, pov. 100 ×

Natezna trdnost osnovnega materiala je približno 50 kp/mm², v sredini pa je zaradi različnih vplivov narasla na 55 kp/mm².

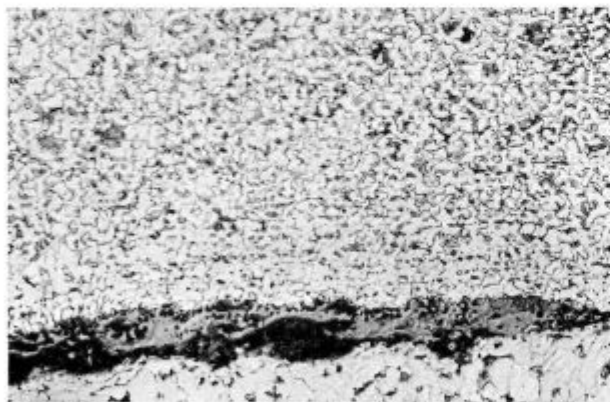
Vzorci (4) za metalografski pregled smo izrezali tako, da so obsegali naslednja merilna področja trdot:

- vzorec 1 (2, 3)
- vzorec 2 (6, 7, 8)
- vzorec 3 (12, 13)
- vzorec 4 (15)

Na mestu vzorca 1 je bila struktura sestavljena iz drobnnozrnatega ferita in globularnega perlita (slika 10). Globularni perlit kaže, da je bila cev verjetno pred dobavo segrevana pri približno 700° C, kar je povzročilo sferoidizacijo cementitnih lamel.

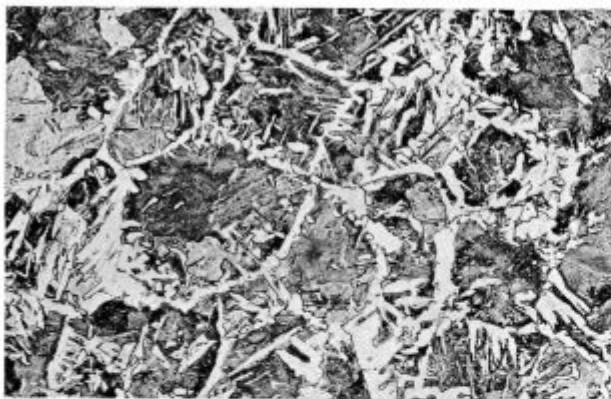
Na izrezanem vzorcu 2 (merilno mesto 6, 7, 8), kjer je bila cev nabreknjena, je bila struktura bistveno drugačna. Približno 10...15 mm od nabrekljne je bila sestavljena iz ferita in perlita (slika 11), zrna ferita so bila drobnejša kot pri

Primerjava s strukturo na mestu vzorca 1 pove, da je bilo jeklo na mestu nabreklina segreto precej nad Ac3 (približno 860°C) temperaturo (verjetno blizu 1000°C) tako, da je prišlo do pregretja (rasti avstenitnih zrn) in nastanka grobe strukture pri ohlajevanju. Na oddaljenosti približno 1,5 cm od nabreklina je bilo jeklo segreto prav tako čez Ac3 temperaturo (blizu 900°C) zaradi česar je nastala pretvorba globularnega perlita v lamelarnega. Na notranji strani cevi smo opazili ob nabrekli ostanke škaje (slika 13).



Slika 13
Škaja na notranji strani cevi, nital, pov. 100 ×

Na mestu vzorca 3 smo opazili podobno mikrostrukturo kot v nabrekli, le da je bila grobejša. To kaže na še višjo temperaturo pregretja (slika 14). Na mestu vzorca 4 je mikrostruktura podobna oni z mesta vzorca 1, kar kaže, da jeklo na tem mestu ni bilo podvrženo naknadnim toplotnim vplivom.



Slika 14
Mikrostruktura na mestu vzorca 4, ferit in lamelarni perlit, nital, pov. 100 ×

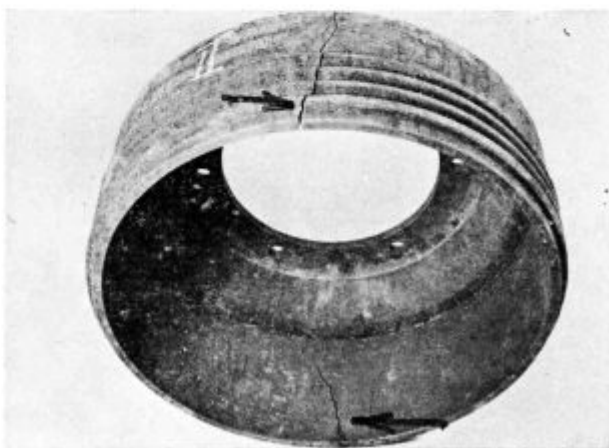
Na osnovi metalografske preiskave smo lahko zanesljivo trdili, da je bil vezni drog na nekaterih mestih v srednjem delu močno segret. V tem delu novo nastala grobokristalna struktura je v vsakem primeru neugodnejša od prvotne. Vendar ji pa

kljub temu ne moremo prisoditi, da je povzročila poškodbo droga.

Zaradi ohlajanja po lokalnem segrevanju so nastale v cevi na posameznih mestih velike notranje napetosti elastičnega značaja. Po grobi oceni lahko zrastejo na vrednosti blizu meje plastičnosti.

V neugodnih primerih se lahko seštejejo z zunanjimi obremenitvami v rezultatno, ki je povzročila deformacijo cevi. Uporabljena zunanja sila, ki je povzročila deformacijo cevi, je bila v tem primeru lahko že dosti manjša od uklonske trdnosti cevi.

3. Tretji primer je prav tako iz avtomobilске industrije. V preiskavo smo dobili 3 počene zavorne bobne avtomobilskih prikolic. Poslani vzorci so bili že rabljeni, pri servisnem pregledu pa so bili vzeti iz obratovanja (sl. 15).



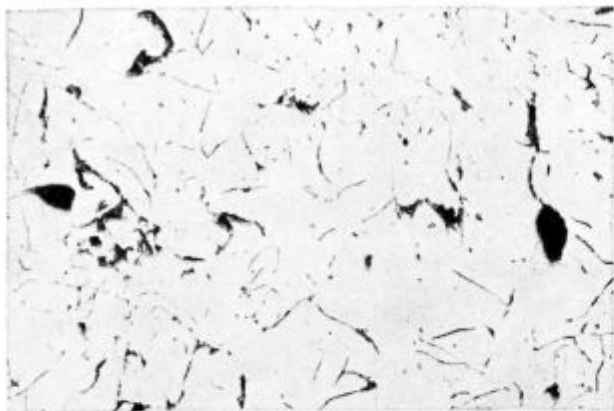
Slika 15
Izgled enega od treh zavornih bobnov. Zgoraj in spodaj sta diametralno nasproti razpoki (puščici)

Preiskava je obsegala kemično in metalografsko analizo ter merjenje mehanskih lastnosti.

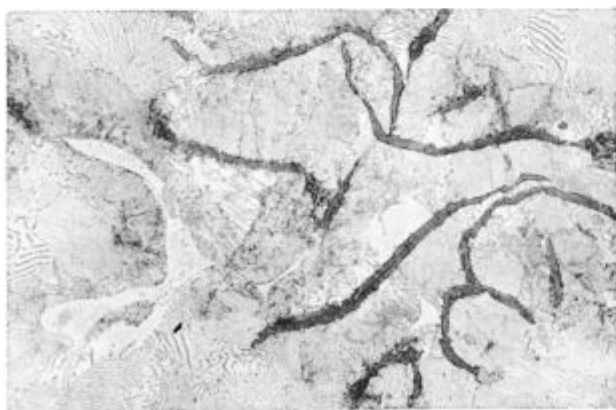
S kemično analizo smo ugotovili, da je material bobnov praktično povsem identičen, saj so razlike pri vseh analiziranih elementih (C, Cgraf., Si, Mn, P, S, Cr, Mo) največ do 0,06 %.

Na izrezanih vzorcih smo ugotovili, da je grafit v zavornem bobnu I lamelaren, vrste A in velikosti 5...6, vrste B (velikost 5...6), ter oblike interdendritskega grafita tipa E. (Velikostni razred po ASTM 6 in manjši.) Tudi množina vključkov je normalna. Posebno na zunanji strani reber smo opazili znake mikroporoznosti (slika 16). Mikrostruktura uvršča material med perlitne litine, vsebuje pa same normalne komponente: finolamelaren perlit, ferit in fosfidni eutektik (slika 17). Ferit je najbolj pogost ob grafitnih lamelah, posebno še v rozetah. Množina in porazdelitev fosfidnega eutektika prav tako ustrezata zahtevani kvaliteti materiala.

V bobnu št. II je grafit pretežno interdendritsko izločen (vrste E, velikostni razred 6 in manjši) ali pa v obliki vrste D (velikost 7...8), mestoma pa se pojavlja tudi grafit vrste A (velikostni razred 5...6). Jasno so bili vidni tudi znaki mikroporoz-



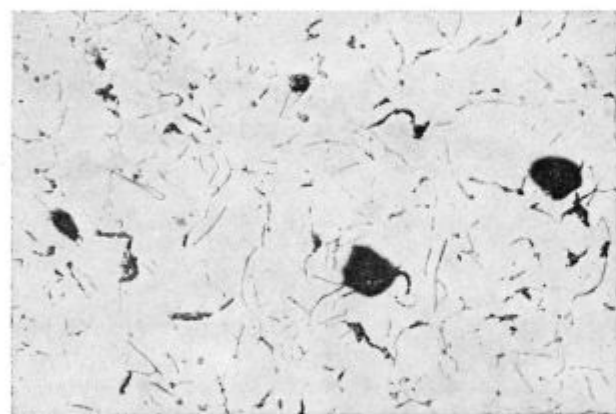
Slika 16
Mikroporoznost, polirano, pov. 100 ×



Slika 17
Struktura: grafit, perlit, ferit in fosfidni eutektik, nital, pov. 500 ×

nosti (slika 18). V strukturi ni bilo opaziti nobenih anormalnosti, sestavljale so jo pa normalne komponente: finolamelarni perlit, ferit in fosfidni eutektik.

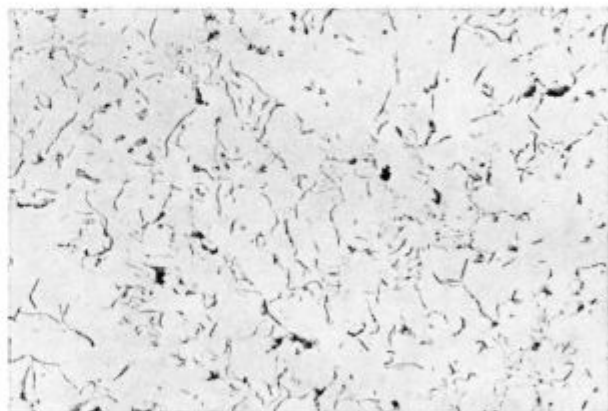
Tudi material tretjega bobna je sodil k perlitni sivi litini. Grafit je bil izločen pretežno v interden-driški obliki vrste D (velikostni razred 7...8) in



Slika 18
Mikroporoznost, polirano, pov. 100 ×

E (velikostni razred 6 in manj), (slika 19). Redko se pojavljata tudi vrsti B in A z zelo kratkimi lamelami. Mikroporoznost je bila zelo majhna. Strukturne komponente so bile iste kot pri prvih dveh bobnih.

Metalografski pregled torej ni pokazal nobenih napak, ki bi lahko bile nedvomno vzrok razpokanja. Tudi opazovana mikroporoznost tako po velikostni razporeditvi kot po obsegu, ni mogla bistveno vplivati na mehanske lastnosti litine.



Slika 19
Grafit vrste E in D, polirano, pov. 100 ×

Trdota po Brinellu (boben I - 196 kp/mm², boben II - 197 kp/mm², boben III - 198 kp/mm²) pove, da je ustrezal material kvalitete SL 26 po JUS.

Za isto kvaliteto litine pri debelini sten 15...30 mm znaša minimalna natezna trdnost $\sigma_m = 26$ kp/mm². Večjo od minimalne vrednosti sta imela le materiala bobnov I in III (27,8kp/mm² oz. 27,2 kp/mm²) pri II pa je bila okoli 25 kp/mm².

Sklep, zasnovan na zgornjih preiskavah, je v tem primeru malo drugačen kot pri do sedaj opisanih. Rezultati preiskav so pokazali, da je material ustrezal deklariranemu kvalitetnemu razredu (litini SL 26). Množina ogljika v litini je bila sicer na zgornji meji, zaradi česar je bilo v litini precej grafita, imela pa je tudi manjšo trdoto. Vse vrednosti pa so bile še vedno v intervalih, ki so predpisani za ta material. Pri preiskavi tudi nismo našli napak, ki bi utegnile biti vzrok razpokam. Opažena mikroporoznost nima večjega zarezne učinka kot ga imajo grafitni lističi, ki so normalne strukturne komponente.

Z metalurškega stališča, v kolikor smo ga lahko zajeli z izvršenimi preizkusi, je bila litina povsem v redu.

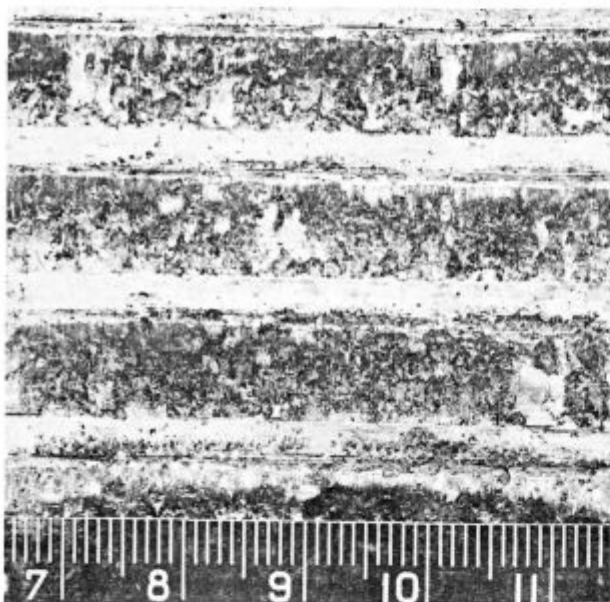
Obstojajo pa še drugi kvalitetni faktorji, katerih z laboratorijskimi preizkusi ni mogoče oceniti. Tak faktor je staranje ulitkov oziroma njihovo napetostno žarenje, o čemer pa ni bilo podatkov. Če ulitki niso bili podvrženi tej toplotni obdelavi, je bilo razpokanje verjetno posledica prav tega. Ob močnih obremenitvah pri zaviranju.

Če pa temu ni tako, je verjetni razlog razpokanja normalna obremenitev bobnov, katere litina te kvalitetne vrste ne more prenesti. Verjetno je delovna obremenitev bobnov tako velika, da bi morali biti bobni izdelani iz litine boljših mehanskih lastnosti (npr. SL 30, iz temprane litine, ki se mnogo uporablja v te namene, ali iz nodularne litine).

4. V naslednjem primeru ni bilo težko hitro poiskati vzroke porušitve, saj se je ponujal že pri prvem natančnejšem pregledu skozi binokularno lupo. Dokaj dalje smo se zamudili pri razmišljanju iz katerih kovin je sestavljena zlitina. Preiskovani element je bila navojna stročnica stiskalnice (slike 20, 21 in 22). Po mikrostrukturni značilnosti in specifični teži smo sklepali, da je material zlitina cinka in neke bistveno lažje kovine, verjetno aluminija.



Slika 20
Navojna stročnica z odtrganimi navoji



Slika 21
Povečani detajl prelomnih površin 4 navojev

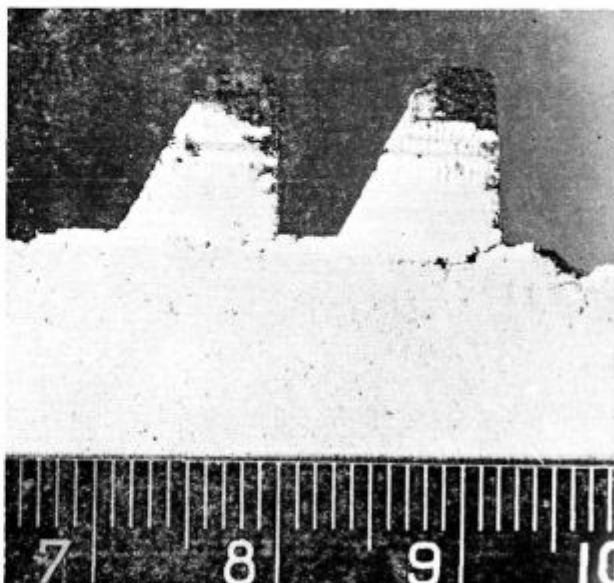
Kemična sestava zlitine je bila naslednja:

Zn	50,55 %
Al	45,70 %
Cu	3,20 %
Mg	0,21 %
Si	0,16 %
Fe	0,10 %

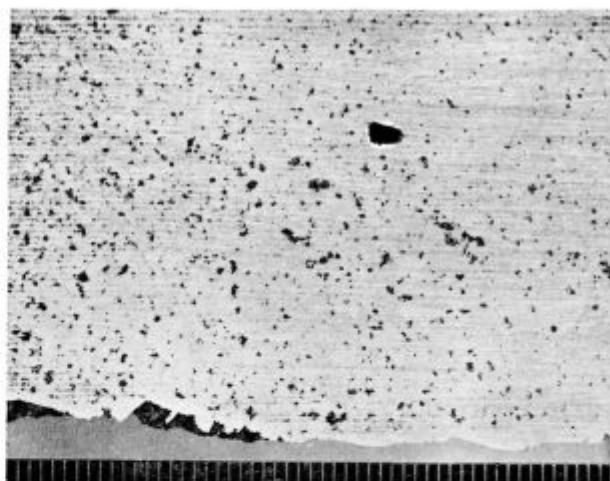
Zlitina spada v vrsto modernih cinkovih zlitin z veliko trdnostjo. Po razpoložljivih podatkih zlitina še ni bila normirana.

Zlitina ima značilno dendritsko večfazno strukturo (slika 25 in 26) z zelo finodispergirano fazo (neugotovljene sestave), zaradi česar se ji močno zvečajo trdnostne lastnosti.

V delu stročnice, ki smo ga prejeli v preiskavo, so bili navoji potrpani v korenu.



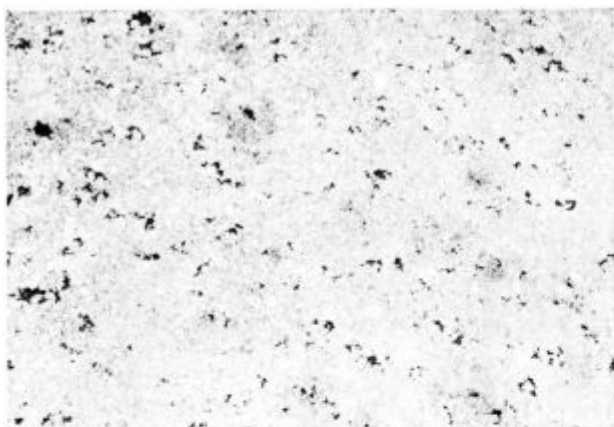
Slika 22
Prečni presek čez preostala navoja



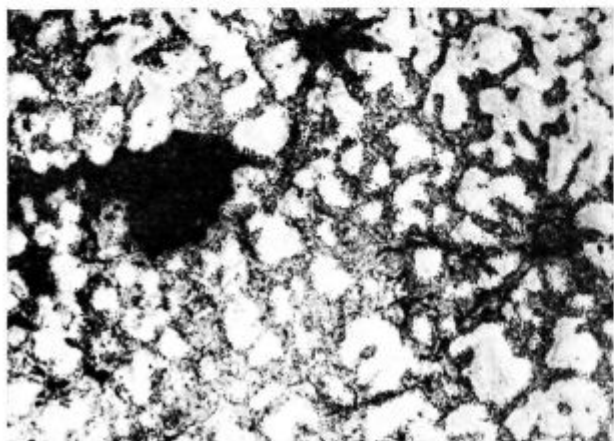
Slika 23
Izredno obširna mikroporoznost na prečnem preseku stročnice

Na sliki 21 so pri večji povečavi prikazane prelomne površine 4 navojev, slika 22 pa kaže presek presotalih navojev. V korenu desnega navoja je razpoka, obe pa imata poškodovani glavi.

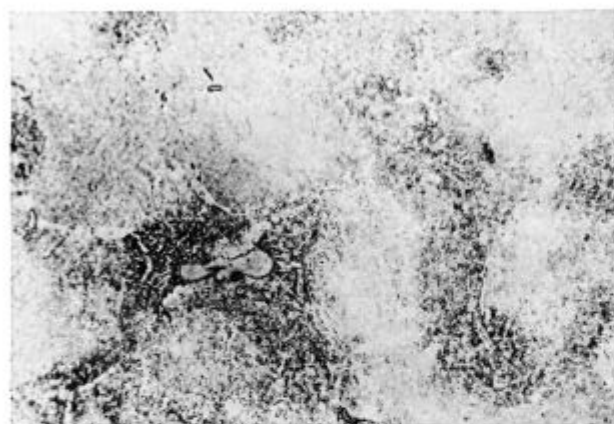
Na vseh teh posnetkih lahko opazimo, da so v kovini številne drobne napake. Jasneje pa lahko



Slika 24
Makroskopsko jedkan prečni presek stročnice, pov. 6 ×



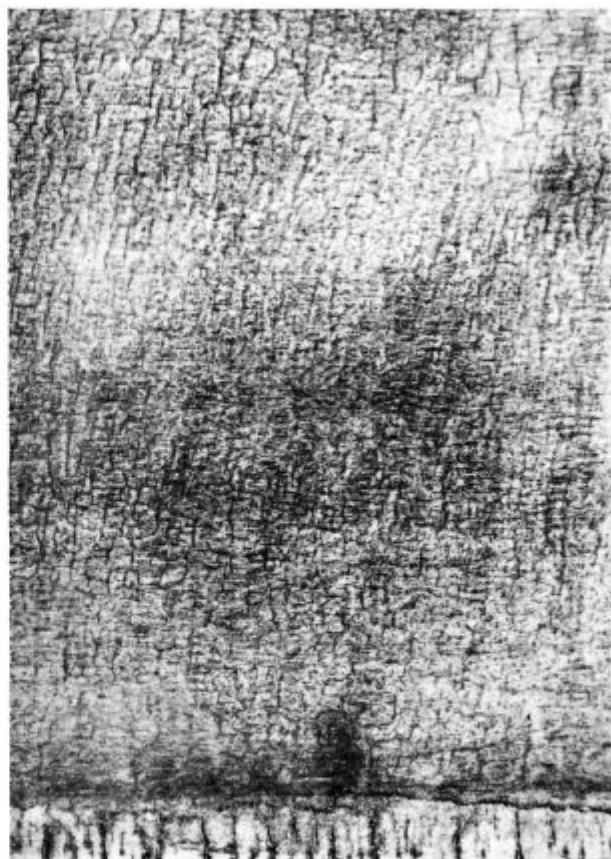
Slika 25
Makrostruktura ob porah: primarni kristali z eutektikom, pov. 40 ×



Slika 26
Mikrostruktura zlitine, pov. 200 ×

ocenimo njihovo število in razdelitev na sliki 23, ki kaže osni presek stročnice.

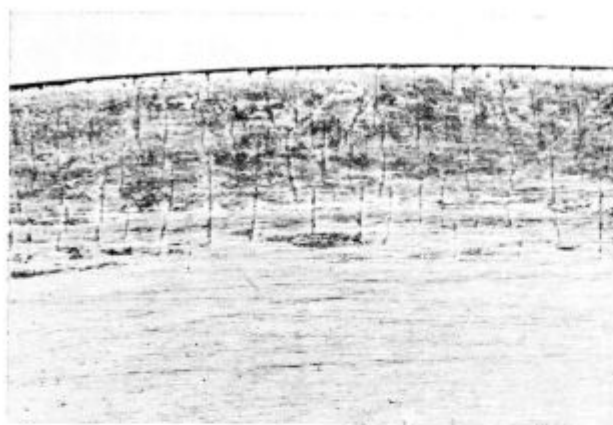
Po slikah 23, 24 in 25 se jasno vidi, da so napake mikrolunkerji. Ti niso enakomerno porazdeljeni



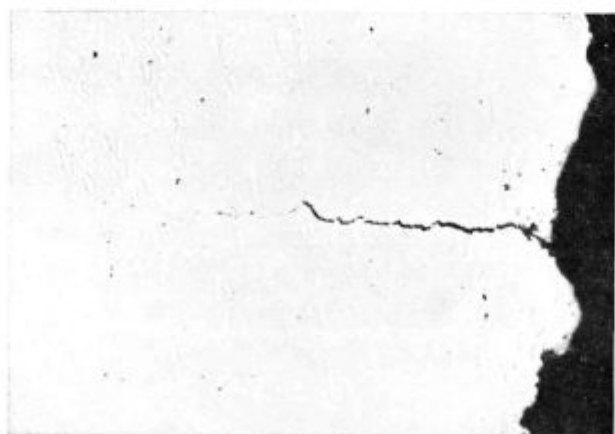
Slika 27
Brusilne razpoke na obodu noža, pov. pribl. 4,5 ×



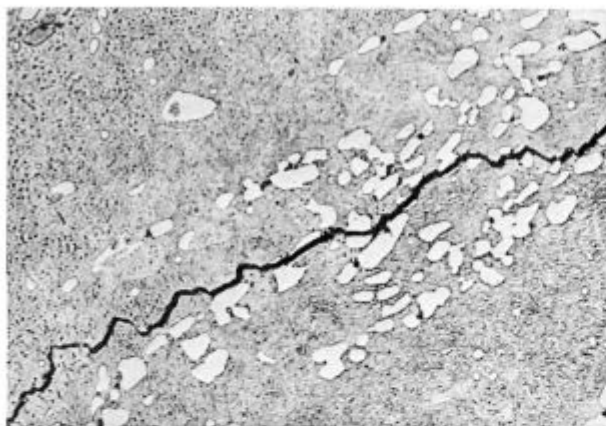
Slika 28
Brusilne razpoke na osnovni ploskvi noža, pov. pribl. 2 ×



Slika 29
Razpoke ob rezalnem robu na osnovni ploskvi valja,
pov. pribl. 5 ×



Slika 30
Transkristalna razpoka na ravni površini noža, pov. 200 ×



Slika 31
Potek razpoke preko mikrostrukturnih komponent, jed-
kano ($\text{CuSO}_4 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$), pov. 500 ×

v ulitku, marveč jih je več v spodnjem delu (sl. 20).

Množina mikrolunkerjev in obseg nezdravega materiala sta tako velika, da ulitek ni primeren za namenjeno uporabo. Škodljivi vpliv nehomoge-

nosti zlitine se je pokazal v tem, da so mikrolunkerji olajšali nastanek in širjenje prelomne razpoke v korenu navojev, kjer je pri obremenitvi navojne stročnice največja koncentracija nape-
tosti.

5. Naslednji primer je poškodovan krožni nož, ki je razpokal že po kratki uporabi. Nož je bil odluščen na reznem robu, imel pa je tudi vzporedne razpoke s tem robom. Na površini, ki se je pri odluščenju odkrila, je bil pokrit pas s svetlorjavo rjo, globlje pa s temno sivo snovjo. Ista snov se je pojavila tudi, ko smo rezni rob luščili naprej po obstoječi razpoki. Svetlo rjava rja se je lahko raztopila v razredčeni solni kislini, temno siva pa nekoliko počasneje, niso je pa raztopljala organska topila. Po tem sklepamo, da to niso ostanki kalilnega olja, ampak škaje, ki je prišla v razpoko z jeklene pločevine med rezanjem.

Po jedkanju so se na površini noža odkrile (slike 27 in 29) drobne razpoke. Na obodu noža so razpoke samo ob rezalnem robu (slika 29), na drugih mestih pa pokrivajo velike dele rezne površine.

Razpoke so bile podobno usmerjene in nekoliko večje ob zunanjem robu kot v notranjosti (slika 28). Na obodu valja so bile tudi številne drobne razpoke pretežno v smeri osi valja. Ob robu so bile večje in povezane z onimi v osni smeri.

Potek razpoke v preseku, vzporednem z osnovno ploskvijo, kaže slika 30. Ta razpoka je bila približno 0,4 mm globoka.

Oblika, število in velikost razpok kažejo, da niso nastale pri kaljenju noža, temveč pri brušenju kaljenega noža. Vzrok je bil ali preslabo hlajenje ali prevelik odvzem materiala. Brusilne razpoke so se nato pri rezanju še bolj širile in med sabo povezale v značilno mrežasto obliko, kar je povzročilo odluščenje reznega roba.

S ponovljenim celotnim ciklom toplotne obdelave in odstranitvijo poškodovanega dela je bilo mogoče nato popraviti nož.

SKLEP

V zgornjih primerih smo pokazali vzroke porušitve oziroma nastanka takšnih poškodb na konstrukcijskih delih, da le-ti niso bili več uporabni.

V opisanih primerih je vzrok poškodb in neuporabnosti ali tipična livarska napaka, toplotna poškodba ali pa nepravilno izbran material za dane delovne pogoje. V vseh opisanih primerih smo razmeroma po lahki in kratkotrajni poti ugotovili in dokazali materialne napake in s tem vzroke neuporabnosti.

Pri obravnavi teh problemov se je že mnogo-krat pokazalo, da strojna in kovinska industrija premalo kontaktirata z metalurgi, če pa, je že prepozno. Eden naslednjih člankov bo ta primer povsem ilustrativno potrdil.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel sind einige Beispiele der Zerstörung und Beschädigung verschiedener Konstruktionselemente beschrieben.

In den beschriebenen Fällen ist die Ursache der Beschädigung oder ein typischer Gießfehler, eine Warmversprödung oder für die gegebenen Arbeitsbedingungen ein nicht recht ausgewählter Werkstoff. In allen Fällen haben

wir verhältnismässig leicht und schnell die Ursache der Beschädigung gefunden.

Bei den meisten hier beschriebenen Fällen war eine schlechte Arbeit, die Nachlässigkeit bei der Warmbearbeitung der Konstruktionsteile und eine zu kleine Aufmerksamkeit beim Auswählen des geeignetsten Werkstoffes der Grund für das Auftreten der Fehler.

SUMMARY

In the paper some cases of breaking and damage on construction elements are described.

In the described cases the damage, and the inapplicability of the elements were caused either by typical casting defects, thermal damages or incorrectly chosen materials for given working conditions. In all the described cases

the material defects were found relatively easily and quickly, and thus also the cause of their inapplicability.

Majority of the previously described defects were caused either by badly performed work, carelessness in heat treatments, or insufficient care in choosing materials.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны случаи разрушения и повреждения различных конструктивных элементов.

На описанных примерах причина повреждения порок типично литейного происхождения, тепловое повреждение или неправильный выбор материала для данных условий работы.

При всех описанных примерах порок обнаружен весьма легко и быстро и таким образом определено почему данный элемент не употребим.

В большинстве случаев пороки вследствие: плохо выполненная работа, небрежность при выполнении термической обработки и недостаточное внимание при выборе материала.

Magnetografija v metalurški praksi

Članek obravnava magnetografski postopek kontrole jekla. Ta način služi predvsem za odkrivanje napak v površinskem sloju.

Opisan je princip metode s teoretičnimi osnovami, podane pa so tudi praktične izkušnje.

Studija je bila namenjena predvsem ugotavljanju uporabnosti magnetografskega postopka odkrivanja napak.

Magnetografski postopek je dokaj nov in le slabo poznan, saj so tudi podatki iz prakse dokaj skopi. Magnetografski postopek kontrole materiala, posebno gredic na površinske defekte in defekte, ki leže blizu površine, je pričel v Evropi prednekaj leti razvijati »Inštitut Dr. Förster« v Reutlingenu, razen tega pa še v SSSR. Prva naprave, ki so industrijsko izkoriščene, so pokazale veliko uporabnost metode z gotovimi prednostmi, ki jo odlikujejo pred vsemi drugimi metodami.

V maju 1965 je defektoskopski oddelek železarne Ravne pričel s serijo raziskav, da bi to metodo osvojili v lastnem kontrolnem procesu. Prvi poizkusi so bili izvedeni s televizijskim magnetoskopskim trakom, ki sicer nima nobene obrabne trdnosti, je pa zelo občutljiv in z njegovo pomočjo je bilo mogoče razviti potrebno elektroniko, ki spada k temu postopku, ter dognati najvažnejše parametre o občutljivosti in uporabnosti metode.

Ključni problem metode je magnetografski trak, ki mora poleg zadostne občutljivosti imeti še zadostno obrabno trdnost in fleksibilnost, da bi se lahko brez škode valil po razmeroma grobi površini gredice. Pri tem mora čim tesneje nalegati na površino, zapisana magnetska sled pa mora ostati poljubno dolgo časa shranjena v magnetnem sloju, ko pa zapis potuje mimo brisalne glave, mora biti zapis popolnoma izbrisan. Razen tega mora biti odporen proti prekrmiljenju, to se pravi, da tudi najmočnejša magnetna polja nad napakami ne pustijo tako močnega zapisa, da bi ga izmenično polje brisalne glave ne izbrisalo. Končno ne sme biti trak preobčutljiv na prečna magnetna polja tam kjer ni napak, odnosno, kjer se polja iztekajo na robovih gredic. Magnetoskopski trak je pokazal sicer odlično občutljivost za male in srednje velike napake, pokazal je, da je malo občutljiv na prečna polja dokler ni premočno, pri močnejšem magnetenju pa je pobiral velik del prečnega polja na robovih, kar je povzročalo motnje pri analizi traku, predvsem pa so ga močna polja tako močno prekrmilila, da ga je bilo težavno popolnoma zbrisati. Napake, ki so ležale pod površino so

pustile na magnetoskopskem traku nesorazmerno slabšo sled — trak je bil torej slabo občutljiv za globoko ležeče napake, največja hiba pa je bila seveda v tem, da ni imel nobene obrabne odpornosti in je bil uporaben res samo za laboratorijske namene.

Z nadaljnjimi raziskavami smo prišli do industrijsko uporabnega traku. Za občutljivost traku je poleg pravilnega magnetnega prahu odgovorna še debelina zrn prahu in debelina nanosene plasti.

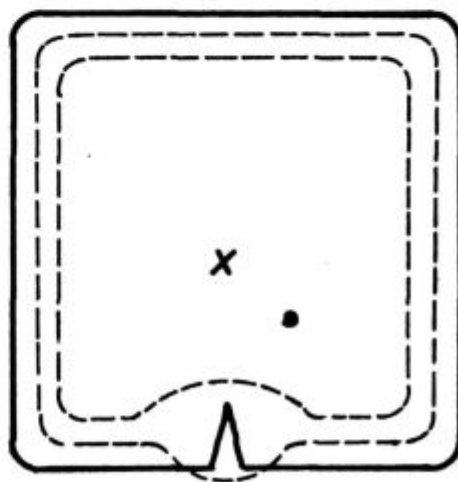
Poizkusi so pokazali, da lahko občutljivost traku močno zvečamo z gradacijo prahu, toda trak postaja pretirano občutljiv na prečna magnetna polja — dobiva »prečne lastnosti« ali »ozadje«. Pretirana finoiznatost pa zmanjšuje občutljivost traku. Za globinsko občutljivost traku je predvsem odgovorna debelina plasti, dočim na sposobnost brisanja predvsem vpliva kemijska sestava prahu. S primernim kompromisom moremo izdelati trak s poljubnimi magnetnimi lastnostmi n. pr. odkrivanje finih napak ali pa pretežno grobih napak s povečano globinsko občutljivostjo itd.

Na občutljivost in praktično uporabnost metode pa v veliki meri poleg kvalitete magnetografskega traku vplivajo še: način magnetenja, občutljivost sonde, hitrost sondiranja.

Princip metode

Ako skozi vzorec n. pr. gredico v vzdolžni smeri pustimo teči električni tok, se okoli nje oprede cirkularno magnetno polje.

Slika 1 kaže kako na mestu razpoke (vzdolžne) magnetne silnice izstopijo. Jakost magnetnega



Slika 1
Shematsko prikazan potek magnetnih silnic nad razpoko. Silnice nad razpoko izstopajo in ponazorijo napako

polja znaša:

$$H = \frac{0,2 \cdot J (A)}{r (cm)} \quad (\text{Oe}) \quad (1)$$

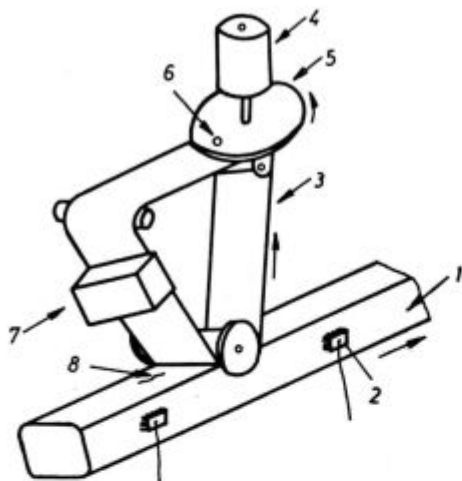
J ... jakost el. toka

r ... polmer

Že iz enačbe (1) vidimo, da bo na robovih gredice, kjer je r manjši, jakost polja večja, torej bodo napake na robovih slabše odkrite.

Dobro znana metoda ferofluksa omogoča na mestih, kjer magnetne silnice izstopajo, napraviti defekt viden na ta način, da površino gredice potresemo z magnetnim prahom ali pa polijemo z magnetnim oljem. Tako nam koncentracija magnetnega prahu na mestu defekta ponazori defekt v pretirani obliki, ne pove pa nam mnogo kako globoko defekt leži, niti kake oblike je pod vidno površino, predvsem pa ne omogoča nikakršne avtomatizacije postopka.

Magnetografska metoda se od metode ferofluksa razlikuje po tem, da namesto magnetnega prahu ali olja naredi magnetni zapis tako, da položimo na magnetizirano površino gredice magnetografski trak, ki na mestu napake registrira izstopajoče magnetne silnice ne samo po obliki v ravnini, temveč tudi po jakosti, tako vsebuje sedaj še nevidni zapis na magnetskem traku poleg lokacije še podatek o globini ali resnosti odkrite napake. Magnetografski trak moramo polagati na površino in ga potem analizirati ali pa ga zlepimo v brezkončni trak, ki se vali po površini gredice, potuje mimo naprave za analizo magnetnega zapisa (scanning) in dalje mimo glave za brisanje in končno zopet na površino gredice prazen in pripravljen za nov zapis — slika 2.



Slika 2

Shematsko prikazan princip sondiranja gredice na vzdolžne razpoke z magnetografskim trakom

1. gredica,
2. tokovne ščetke,
3. magnetografski trak,
4. motor,
5. scanning plošča za otipavanje,
6. sonda,
7. brisalna glava,
8. vzdolžne razpoke.

Odkrivanje magnetnega zapisa na traku

Magnetno sled na traku bi lahko odkrili po obliki tako, da bi sedaj trak, ki predstavlja negativ vzorca, posuli z magnetnim prahom, ki je zadosti občutljiv za razmeroma slaba magnetna polja, ki so ostala registrirana na magnetografskem traku. Tega načina se nikoli ne poslužimo, temveč »otipamo« trak prečno v pasovih z magnetografsko sondo, ki je v principu podobna magnetofonski reprodukcijijski glavi, vendar se od nje razlikuje po frekvenčni karakteristiki in po tem, da odkriva razmeroma široke magnetne sledi. »Scanning glava« se vrti z enakomerno hitrostjo tik nad površino magnetografskega traku in na mestu, kjer naleti na magnetno sled, odda električni inducirani signal, ki je po obliki in velikosti odvisen od hitrosti vrtenja sonde in od oblike magnetnega zapisa, ter oddaljenosti od površine traku. Praktično moramo poskrbeti, da je hitrost vrtenja sonde in oddaljenost od površine traku vedno enaka, tako so meritve odvisne le še od samega magnetnega zapisa. Ako dosežemo še, da je jakost magnetnega polja konstantna, potem je detektirani signal vse bolj verna slika defekta. Scanning glava ne sme biti občutljiva za zunanja stresana polja, zato mora biti primerno magnetno oklopljena, razen tega mora biti primerno globinsko občutljiva. To občutljivost dosežemo z regulacijo zračne špranje v glavi. Zelo ozka zračna špranja, kot jo srečamo pri magnetofonski glavi, je slabo uporabna, saj pri malo večji oddaljenosti od površine traku močno duši signal, s tem pa je treba pri magnetografskem postopku računati, prav tako z učinkom širokih zapisov. Ozka špranja prenaša le fine zapise kot jih srečamo pri magnetofonu, ne pa širokih zapisov, kot jih najdemo pri magnetografiji n. pr. zapis prevaljane preplate more biti širok tudi po več mm.

Frekvenčni spekter, katerega sonda prenaša, je podrejenega pomena, vendar se je treba izogibati preozkem pasu, saj srečujemo v magnetografiji dokaj različne frekvence n. pr. na gredici širine 100 mm najdemo razpoko širine 0,1 mm (fine razpoke pa gredo še dosti nižje), vendar je magnetni zapis širši kot sama razpoka, saj silnice silijo iz vzorca v okolici razpoke.

Ako uporabimo scanning s sinhronim številom obratov (kar je najbolj praktično) in napravimo premer plošče D tako, da širina traku zaseže 1/5 obsega ($D \cdot \pi = \pi \cdot 160 = 500 \text{ mm}$, $D = 160 \text{ mm}$), potem bo frekvenčni pas pri širini zapisa 0,1 mm segel do 250 KHz. Iz tega primera vidimo, da je za verno odkrivanje finih razpok dokaj važna frekvenčna karakteristika sonde in ojačevalca. V praksi pa se tako visokim zahtevam odrečemo, ker take osamljene napake le redko nastopijo, v večini slučajev so napake grupirane in tako pride do prekritja polj in do deformacije ter interferenc pri odkrivanju, kar zmanjša vrednost širokopasovnega detektorja in pravzaprav razvleče rezultatni signal v nižja frekvenčna področja, predvsem še, ako ležijo defekti globlje pod površino in tako dajo razširjene zapise.

Prenos električnega signala

Najenostavnejši prenos električnega signala iz sonde, ki se vrti, je preko drsnih obročev. Ta način direktno uporabljen, pa ima veliko nevšečnost, na drsni površini med obročki in ščetko namreč nastopajo spremenljivi prehodni upori, ako se nabere med obe ploskvi še prah, nastopijo še dodatne motnje kot termo in galvanski toki zaradi končne dimenzije obročkov pri mičnih magnetnih poljih more priti do induciranih parazitnih signalov — vse skupaj imenujemo šum, ki more biti večji kot je koristni merjeni signal. Red velikosti merjenega signala je med 1 do 50 mV, v tem področju pa se gibljejo tudi »šumi«.

Bolj ugoden je sistem modulacije nosilnega oscilatorja in brezkontaktni prenos merjenega signala na nadaljni sistem. Ta način pa je bolj kompliciran in tudi dražji, zato smo mi uporabili kombinacijo. Signal iz sonde se pojača v vrtečem se tranzistorskem ojačevalcu za približno $500 \times$ in šele potem ga vodimo na drsne obročke. Tako dosežemo zelo ugodno razmerje koristni signal : šum, $500 : 1$ in šumi praktično niso več opazni.

Druga vrsta šumov, katerih pa se je težje znebiti, pa so šumi sonde, posebno ako je sonda slabo oklopljena ali pa šumi slabo izglajenega magnetilnega toka, ako delamo z brezkončnim trakom. Zato moramo skrbeti, da je magnetilni tok čimbolj usmerjen in sonda dobro oklopljena. Končno imamo šume iz traka. Ti šumi pa so odvisni od vrste traku, načina magnetenja in od homogenosti preiskovane gredice.

Mnogo bolj elegantna je seveda za otipavanje magnetnega zapisa Försterjeva sonda, ki je napajana z visoko osnovno frekvenco od nekaj KHz do nekaj MHz. Enosmerno polje, ki se superponira izmeničnemu, močno popači osnovno sinusoido tako, da lahko kot merjeno količino uporabimo drugo harmonično, katero izfiltriramo, pri tem ko osnovno v ojačevalniku čim bolj dušimo. Razmerje med osnovno in drugo harmonično naj bo vsaj $1 : 500$. Taka sonda je zelo malega premera (pod 1 mm). Zaradi visoke napajalne frekvence moremo sondo v primarju napajati preko vrtečih se transformatorjev, prav tako prenašamo merilni signal druge harmonične preko enakega sistema. Z mikrotranzistorji je mogoče graditi kompletno grupo ojačevalnika in filtrov direktno k sondi, tako da na transformator prenašamo že čist in pojačan signal druge harmonike. Zaradi pomanjkanja primerne materiala za jedra Försterjeve sonde smo pri naših poizkusih ostali pri induktivni sondi. Za otipavanje magnetne sledi bi mogli uporabiti tudi hallovo sondo, ki je nezavisna od hitrosti otipavanja (prav tako kot Försterjeva), vendar zaradi slabe občutljivosti in enosmernega izhoda ni primerna za to vrsto otipavanja in ne nudi nobene prednosti pred induktivno sondo.

Način magnetenja gredice

Gredice, ki so iz trdomagnetnega jekla (jekla z visokim % C ali legirana), moremo magnetiti

z enosmernimi impulzi zadostne jakosti n.pr. iz izpraznjenjem kondenzatorske baterije. Gredica se po par impulzih namagnetni, tako da zadrži zadosti remanentnega magnetizma, da lahko napake naknadno posnamemo na trak. Pri večini jekel pa to ni mogoče in moramo magnetiti s stalnim enosmernim tokom. Tako magnetenje predstavlja gotov problem, saj moramo imeti na razpolago izvor enosmernega toka jakosti do 2000 A, n. pr. za gredico premer 150 kv., ker smo s poizkusom ugotovili, da naj znaša jakost polja med 10 in 20 Oe.

Napetosti so zelo nizke in zavisne od dolžine gredice, odnosno odseka, katerega magnetimo in od prehodnega upora kontaktov. Dobro so se izkazali bronasti kontakti, tako da je padec napetosti na vzorcu na njih max. 1 V, na gredici pa tudi 0,5 do 1 V. Magnetilni tok za kontinuirni postopek mora biti čimbolj uglajen, sicer dobimo močan šum v detektorskem delu naprave.

Uporabili smo Graetzov usmernik, priključen na trafo 6 V/2000 A. Idealni izvori bi bili unipolarni generatorji brez vsake izmenične komponente. Jakost magnetilnega toka reguliramo na primarni strani transformatorja. Jakost magnetilnega toka moramo najti s poizkusom in je zavisna od premera gredice, prevodnosti gredice, od velikosti napak in kvalitete traku.

Za orientacijo nam lahko služi podatek $H = 10$ do 20 Oe.

Ako je polje prešibko, se napake slabo odkrivajo, ako je premočno, pa dobimo močno ozadje, v posebno neugodnih slučajih celo motnje zaradi geometrije površine in zaradi močnih karbidnih segregacij v gredici, predvsem pri trdih jeklih. Razen tega močno tangencialno polje more popolnoma izbrisati magnetni zapis napake posebno pri trakovih z ozko histerezo zanko.

Predelava merjenega signala in možnosti avtomatizacije postopka

Detektirani signal, ki naj bi bil merilo za odkriti defekt v gredici, je dejansko posredno merilo in je tembolj objektivni podatek čim več spremenljivih, ki vplivajo nanj, uspemo spraviti med konstante. Ta električni impulz ali serija impulzov, katero smo dobili iz ščetk na sistemu ojačevalca — drsni obroč, moramo primerno ojačati in ga predelati v uporabno obliko. Izhodni impulz je odvisen od vrste ojačevalca med 0,1 do 1 V. Da bi ga prikazali na katodnem osciloskopu, ga moramo primerno ojačati — ojačevalca je običajno že vgrajen v katodnem oscilografu.

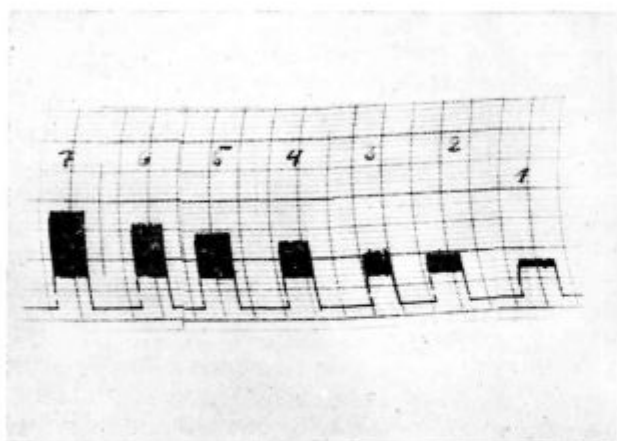
Za sinhronizacijo uporabimo običajno sinhronizacijski signal, katerega moremo dobiti na najrazličnejše načine iz scanning sistema n. pr. induktivno, fotoelektrično itd. Tako dosežemo, da slika na zaslonu miruje in jo raztegnemo čez ves ekran t. j. širina ekrana je širina traku. Z opazovanjem ekrana na K. O. moremo razbrati položaj, število in velikost defektov, ki se pojavljajo po vsej širini gredice. Običajno pa se ne zadovoljimo samo

z opazovanjem ekrana, temveč želimo odkriti signal registrirati na trak, to pa le v slučaju individualne analize posameznih posnetkov n. pr. v svrhu študija metode, dočim za praktično industrijsko sondažo običajno izberemo direktno markiranje defektov na površino gredice ali pa štetje napak po dolžini, širini in velikosti.

Registracija je mogoča na več načinov. Najbolj verno sliko razporeditve in velikosti napak nam da katodni oscilograf, ki analizira napake tudi po širini traku, lahko imenujemo ta zapis B-slika, dočim nam registrator da le zapis rezultante vseh napak, pri enem obhodu sonde imenujemo ta zapis A-slika.

Ako bi ekran katodnega oscilografa kontinuirno snemali po dolžini gredice, bi dobili C-sliko. Tak zapis je drag in kompliciran za interpretacijo, zato se običajno zadovoljimo z A-sliko ali pa z več A-slikami, tako da širino traku elektronsko razdelimo na več kanalov in vsak kanal posebej registriramo z več kanalskim registratorjem.

Izbor registratorja z ozirom na njegovo frekvenčno zmogljivost moremo oceniti z dveh gledišč. Verno prenaša zapis le visokofrekvenčni registrator. Na prejšnjem primeru smo videli, da naj bi obsegal področje več sto kilohertzov. Tak registrator je edino mogoče realizirati s projekcijskimi katodnimi cevmi. Z ozirom na visoko ceno pa nam tak registrator da dokaj malo podatkov, ki bi opravičili njegovo nabavo. A zapis bi v takem slučaju morali izvajati z velikimi pomiki traku, kar spet nima smisla, ako pa je pomik traku majhen, pa visokofrekvenčni zapis izgubi svoj smisel. V tem slučaju je primernejše uporabiti nizkofrekvenčni registrator (ca. 20 Hz), ki deloma integrira zapis. V ta namen vgradimo še visokofrekvenčni filter in sploh podvzamemo mere, da signal čimbolj raztegemo. Pri takem zapisu se moramo zavedati, da predstavlja rezultanto signalov in ni verni odraz višine enega samega ozkega signala.



Slika 3

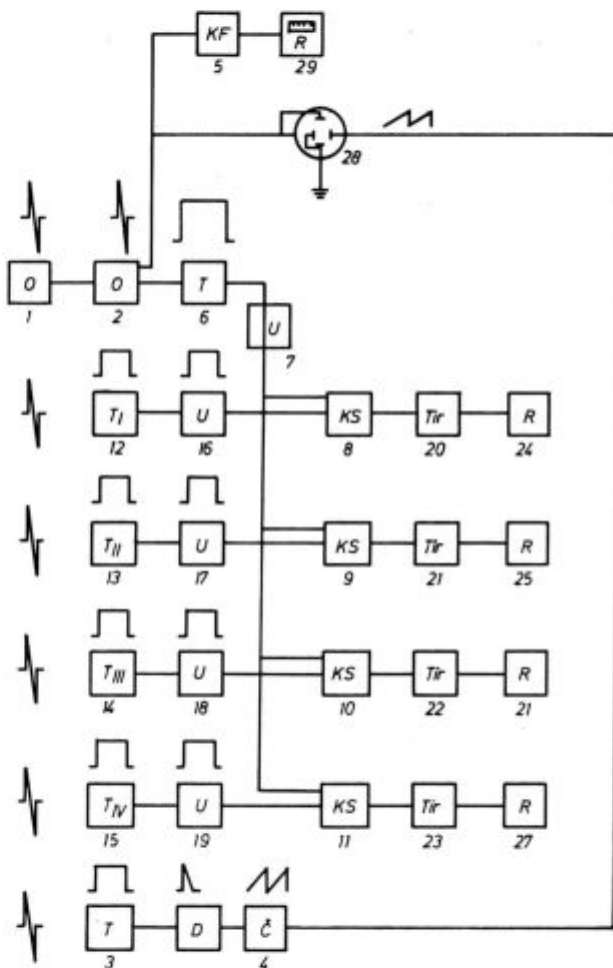
Zapis na registratorju na umetnih napakah globine 0,5 mm

1 — osamljen signal,

2 — 7 zapis, ako je napak več (2 do 7).

Na sliki 3 vidimo primer zapisa osamljenega signala (1) in grupe signalov (2—7), ki imajo vsak zase manjšo amplitudo pa nastopijo z enako višino zapisa. Tak način registracije tudi želimo, ker običajno ni interesanten en sam defekt na kratki dolžini, temveč vsota grupe, ki predstavlja »kvaliteto gredice«.

Za direktno markiranje napak na gredico ali za pogon elektronskih števecv moramo signal primerno pripraviti t. j. dati mu moramo tako obliko, da sigurno odpira servomehanizme. Del signala peljemo na šmitov triger, ki nam da pravokotni signal. Tega moremo uporabiti sedaj z ali brez zakasnitve za odpiranje monovibratorja in dalje preko koincidenčnih stopenj za aktiviranje relejnih stopenj ali števecv.



Slika 4

Shematski prikaz elektronskih grup 4-kanalne naprave za popolno kontrolo gredic na vseh štirih ploskvah

Na sliki 4 je prikazana blok shema 4-kanalne sondažne naprave s pripadajočo impulzno shemo. Izvedba more biti v cevni ali tranzistorski tehniki, ki je bolj ekonomična in stabilna.

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | — vrteči tranzistorski ojačevalec |
| 2 | — končni ojačevalec |
| 3 | — triger za časovno bazo |

4	— časovno prožena baza
5	— katodni ojačevalec in cevni voltmeter
6	— triger za merjeni signal
7	— monovibrator za merjeni signal
8, 9, 10, 11	— koincidenčne stopnje
12, 13, 14, 15	— trigerji za sinhronizacijo kanalov
16, 17, 18, 19	— monovibratorji za sinhronizacijo kanalov
20, 21, 22, 23	— tiratronske stopnje za direktno markiranje
24, 25, 26, 27	— relejne stopnje za direktno markiranje
28	— katodni oscilograf
29	— registrator

Opis blok sheme

Merjeni signal je pojačan v vrtečem ojačevalcu 1 in nato v stabilnem ojačevalcu 2, ter prikazan na katodnem oscilografu 28.

Za sinhronizacijo služi sinhronizacijski signal, ki se formira v trigerju 3 v pravokotni impulz in proži časovno bazo 4, ki daje žagasto napetost za horizontalni premik elektronskega žarka v katodni cevi. Del signala vodimo preko katodne stopnje 5 in cevnega voltmetra v registrator 29. Drugi del signala uporabimo za direktno markiranje defektov na površini gredice oziroma za štetje napak. Signal formiramo v trigerju 6 in v monovibratorju 7, ter ga vodimo na vse koincidenčne stopnje 8 do 11. Na drugi vhod koincidenčnih stopenj peljemo pravokotni signal, katerega dolžino določimo v posameznih monovibratorjih 16 do 19. Te monovibratorje krmilijo sinhronizacijski signali, formirani v trigerjih 12 do 15. Širino pravokotnega impulza v posameznem monovibratorju nastavimo na 1/4 širine traku. Merjeni signal prepušča koincidenčna stopnja le v času, ko je na drugem vhodu sinhronizacijski signal. Če sta prisotna oba merjeni in sinhronizacijski signal, se aktivirajo tiratronske stopnje 20 do 23 in relejne stopnje 24 do 27.

Občutljivost nastavimo na trigerju 6, tako moremo s štirimi elektropnevmatskimi pištolami direktno markirati napake na površino gredice selektivno po širini gredice. Število kanalov je seveda lahko tudi večje ali manjše, če pa pomislimo, da je za industrijsko kontrolo treba istočasno sondirati gredice s štirih strani, ki ima npr. vsaka po 4 kanale, vidimo, da hitro narašča število potrebnih elektronskih enot in s tem cena naprave.

Avtomatizacija postopka lahko seveda krene v različne smeri npr. statistična analiza kvalitete se more dokaj elegantno izvajati s selektivnim štetjem napak po velikosti in porazdelitvi z elektromehanskimi števci. Končni podatek je kvaliteto število.

Zopet drugi projekti vključujejo avtomatsko krmiljenje brusov ali avtogenih pištol za istočasno odstranjevanje najdenih napak.

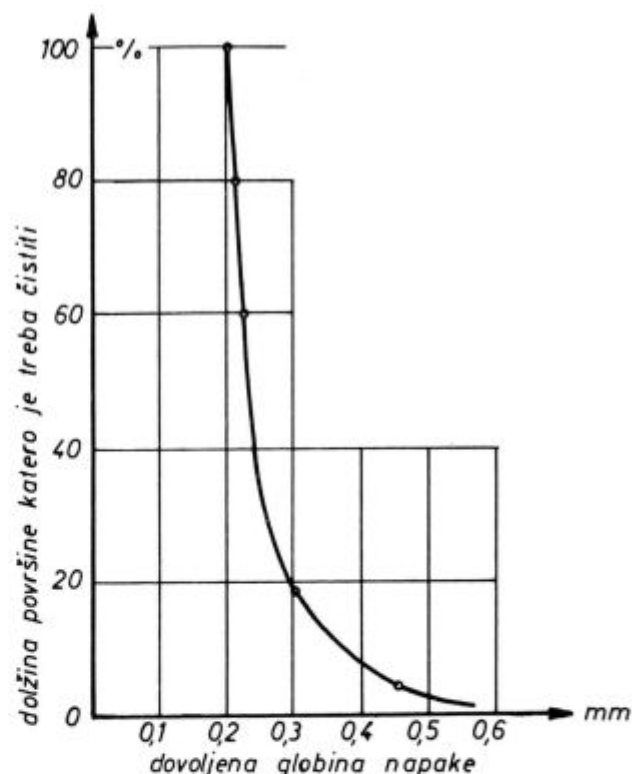
Ocena uporabnosti metode

Na seriji poizkusov smo ugotavljali občutljivost metode, tako da smo individualno snemali posamezne gredice, napravili zapis in na defektnih mestih gredice rezali, ter metalografsko kontrolirali.

Občutljivost postopka ima svoje meje na meji šumov, ki so lahko prav različnega izvora kot smo prej prikazali. Izkazalo se je, da lahko brez težav registriramo površinske napake globine nad 0,2 mm, ki pa so za uporabnost gredice nepomembni, saj je skoro pri vsakem naknadnem ogrevanju polfabrikata odgorek večji. Po statistiki, katero je prikazal dr. Förster v svojih raziskavah (slika 5) moremo videti, da je potrebna površina čiščenja gredice padla od 100 % pri globini defekta 0,2 mm na 5 % pri globini 0,45 mm. Napake globlje od 1,5 do 2 mm se pokažejo praktično z istim signalom kot napake blizu te meje. Ta nedostatek za prakso niti ni važen, kajti gredica, ki ima razpoko globljo od 2 mm itak ni uporabna brez čiščenja.

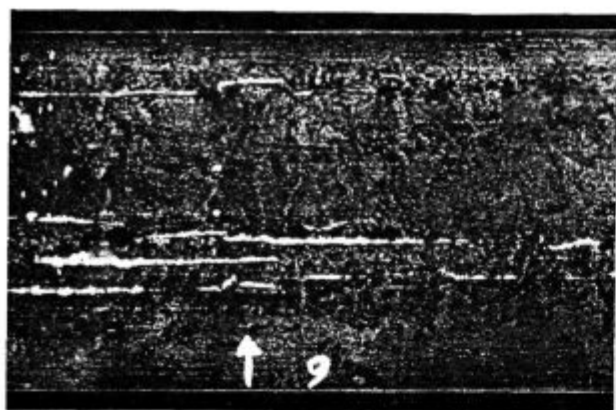
Bolj delikatno je vprašanje globinske občutljivosti metode. Z umetnimi napakami \varnothing 1,5 mm smo uspeli dobiti sliko magnetske sledi z magnetnim prahom do globine 4 mm, dočim smo isto napako zabeležili s trakom na globini 20 mm. Predpogoj je zadostno magnetenje.

Shema, prikazana na sliki 4, ni popolna in je za prakso pomanjkljiva iz sledečih razlogov:

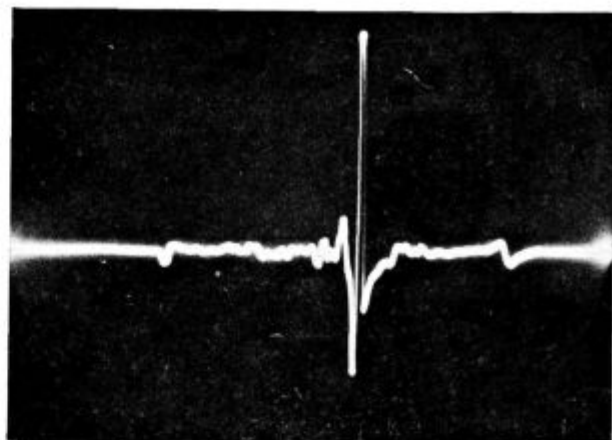


Slika 5

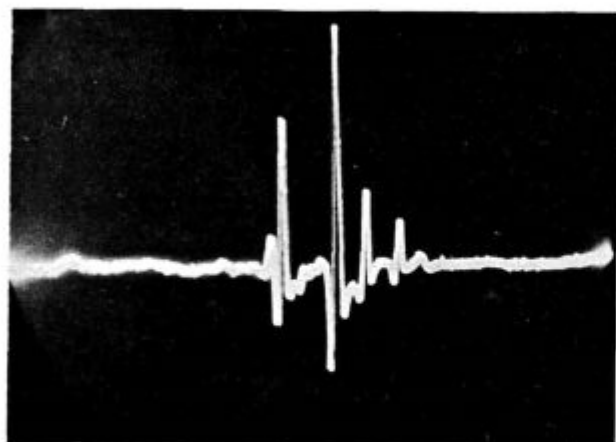
Praktično dognan prikaz, kolikšna je površina gredice, ki jo moramo čistiti, ako toleriramo večje globine razpok. 100 % je pri globini 0,2 mm



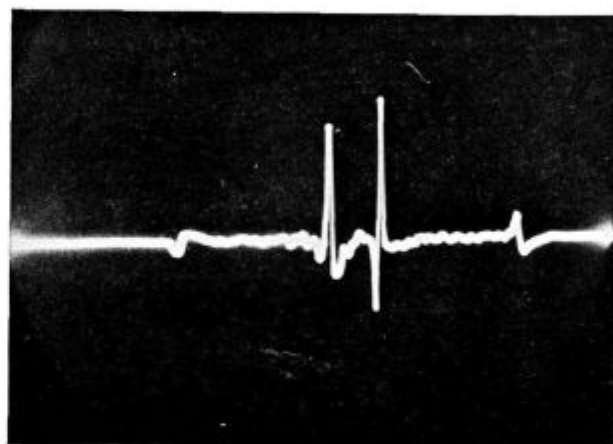
Slika 6 a
Magnetofluks odtis s prahom na gredici



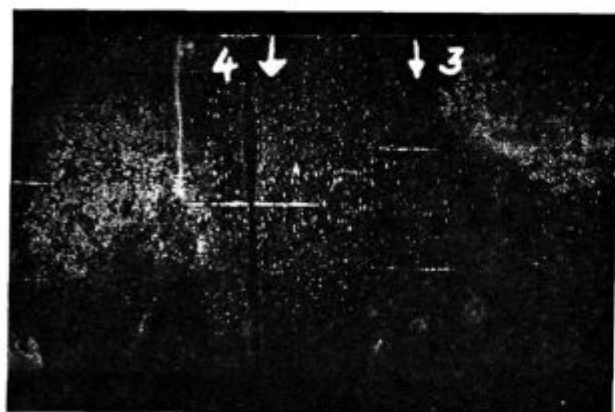
Slika 6 d
Magnetografski posnetek na preseku 4 v sl. 6 c



Slika 6 b
Magnetografski posnetek na preseku 9, vidne so prve tri razpoke, tretja je največja, četrta pa zopet manjša, kar pa na ferofluks posnetku ni jasno vidno



Slika 6 e
Magnetografski posnetek na preseku v sl. 6 c



Slika 6 c
Magnetofluks odtis na isti gredici na drugem mestu, na preseku 4 je gredica pozneje zabrušena
Globina razpoke je ca. 1 mm



Slika 6 f
Magnetografski posnetek pri visokih občutljivostih na palici \varnothing 25 mm s tremi razpokami
Globina razpok 0,4 do 0,6 mm

Jakost polja na robovih gredice upada do 1/3 jakosti na sredini gredice. Zato je potrebno krmiljeno balansirno pojačalo, ki v začetku pojača s polnim pojačanjem, proti sredini upade na 1/3 pojačanja in se na koncu zopet zveča na polno pojačanje. Ako imamo celo površino gredice razdeljeno na več kanalov n.pr. na 5, potem se moremo zadovoljiti s stopenjskim nastavljanjem pojačanja n. pr. 1 in 5 polno pojačanje, 2 in 4 = 70 %, tretji na sredini pa s 30 % pojačanja.

Pri velikih pojačanjih, kadar želimo odkrivati male defekte in kadar uporabljamo visoko magnetilno polje, nastopi močan signal na robovih traku. Ta signal bi prav tako sprožil elektroniko in ga moramo izbrisati, odnosno moramo krmiliti elektroniko, tako da postane občutljiva šele izven področja motečih signalov, torej med obema robovoma traku. To moremo doseči s krmiljenimi ojačevalniki ali s koincidenčnimi stopnjami, katerih širino lahko poljubno spreminjamo. Tak primer je prikazan na sliki 6f. Poleg treh razpok v osrednjem delu gredice sta vidna tudi oba robova traku, katere moramo izolirati, tako da jih elektronsko porežemo.

Na sliki 6 so prikazani primeri detekcije naravnih napak in pripadajoči makro posnetki.

Prednost in hibe magnetografskega postopka pred ferofluks postopkom:

1. Je hiter in ekonomičen.
2. Daje podatek o globini defekta.
3. Dovoljuje avtomatizacijo kontrole in statistiko kvalitete.
4. Odkriva napake v globini in na temnih površinah.
5. Je malo zavisen od površine.
6. Je slabo uporaben na okroglih profilih zaradi težkega naleganja traku.
7. Terja čimbolj zglažen enosmerni magnetilni tok, dočim je pri običajni ferofluks metodi uporabno izmenično magnetenje.
8. Je neuporaben na neferomagnetnih materialih.

Ti prvi preizkusi magnetografije pri nas so pokazali veliko bodočnost postopka za kontrolo gredic, ki je bila vse do sedaj v veliki meri nerešen problem in bo verjetno instaliran v nekaterih naših železarnah.

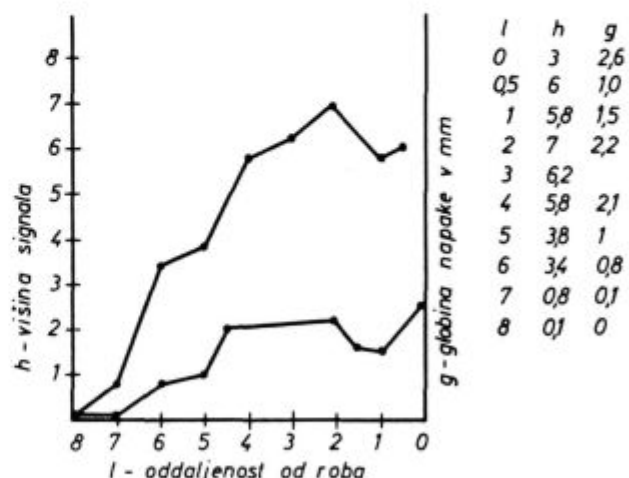
Vsekakor lahko uporabimo magnetografsko metodo tudi za kontrolo drugih polfabrikatov in fabrikatov n. pr. za kontrolo zvarov, ravno zaradi odlične globinske občutljivosti in male občutljivosti na neravno površino, nadalje za kontrolo ulitkov in pa na končnih izdelkih n.pr. kontrola strgarskih nožev.

Tak poizkus je bil napravljen v železarni Ravne na strgarskih nožih iz brzoreznega jekla. Po metodi ferofluksa, ki odkriva na trdo kaljenih in brušenih površinah tudi najmanjše rise, je bilo izločenih 10 nožev. Vseh deset je bilo ponovno kontroliranih na magnetografskem traku. Zaradi

velike trdote nožev moremo uporabiti impulzno namagnetenje, tako da preko serije nožev v vzdolžni smeri izpraznimo kondenzatorsko baterijo.

Vsled velike remanence napravimo magnetografski zapis šele po izvršenem magnetenju, kar nam da izredno čist zapis brez vsakega ozadja. Ta zapis na scanningu analiziramo in tako ločimo razpoke od plitvih.

Na sliki 7 vidimo diagram globine razpoke po dolžini noža izmerjen iz preloma in iz oscilograma.



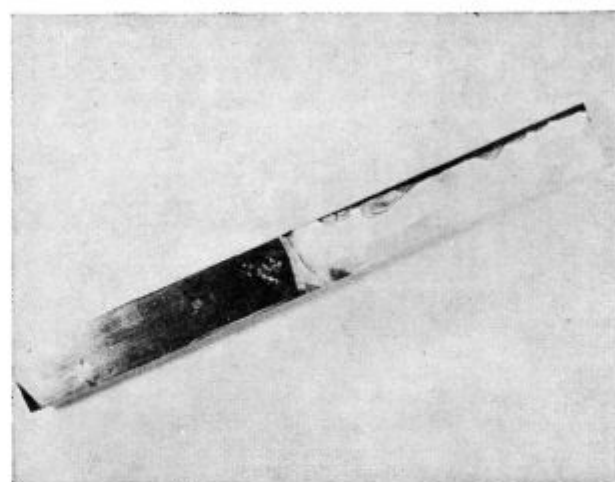
Slika 7
Diagram globine razpoke po dolžini noža

h... višina merjenega signala na traku,

g... dejanska globina razpoke v mm,

l... oddaljenost od začetka razpoke.

Slika 8 kaže potek razpoke na prelomu noža. Podobno globljo razpoko je kazal še en strgarski nož. Vsi ostali pa so na scanningu dali tako šibke signale, da smo mogli smatrati, da so globine zanemarljivo majhne. Z zarezovanjem smo ugotovili, da je globina take razpoke daleč izpod



Slika 8
Prelom noža z napako po dolžini. Črna senca predstavlja potek razpoke

1/100 mm in je za praktično uporabo noža nenevarna. Kje so meje uporabnosti nekega artikla z manjšo napako je pač treba določiti s serijo poizkusov, magnetografija nam pokaže le približni podatek, ki je zdaleč bolj zanesljiv kot so podatki drugih metod neporušenega merjenja resnosti defekta.

Magnetografska kontrola zvarov na zvarjenih ceveh

Varjene cevi na avtomatu z debelinami stene 4 do 6 mm predstavljajo dokaj kompliciran problem za kontinuirno preiskavo zvara. Pri stiskanju raztaljenih robov nastane na notranji steni izrazita brada, dočim jo na zunanji površini nož sproti obrezuje.

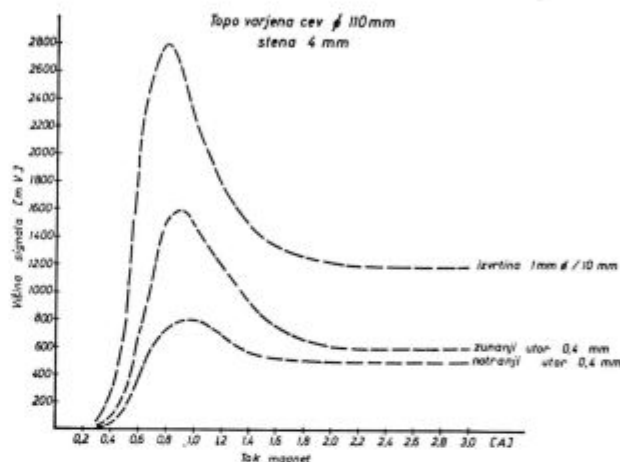
Običajno se v linijo vključi ferofluks, tako da cev potuje med poli elektromagneta, na površino pa se vsipa magnetni prah, ki se nakopiči na napaki. Taka sled pa je dobro vidna le na razpokah, ki pridejo na površino, ničesar pa ne pove o napakah v notranjosti zvara ali tistih, ki prodrejo na notranjo stran cevi.

Ultrazvočne metode so pri takih tenkih stenah z močnimi bradami neuporabne, ker nastopi odmev od brade, ki je običajno večji kot pa odmev od napake, ki jo še lahko toleriramo t. j. 10 % debeline stene.

Poizkusi z magnetografijo so pokazali, da ta metoda pove mnogo več o napakah te vrste. Ne-

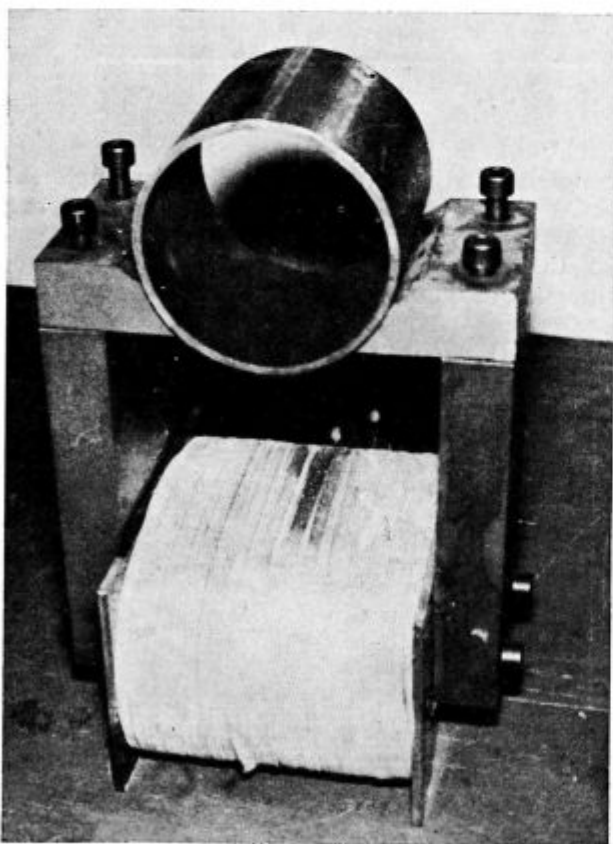
izogibna brada na notranji strani ne daje pretirano velik signal, pač pa eventuelne razpoke. Za poizkus smo vzeli varjeno cev \varnothing 110 mm z debelino stene 4 mm. Na zunanji in notranji steni smo vrezali utor 0,4 mm t. j. 10 % debeline stene, ter za kontrolo še izvrtali izvrtino \varnothing 1 mm. Tak testni komad smo postavili med magnetne pole kot je razvidno iz fotografije sl. 9, ter ga magnetili z enosmernim tokom. Na površino smo polagali magnetografske trakove in snemali velikost signala od vseh treh umetnih napak in pri tem spreminjali tok magnetenja.

Iz diagrama na sliki 10 je razvidno, da da večji signal zunanja zarez, manjši pa notranja zarez, seveda pa je signal od 1 mm izvrtine zdaleč največji, saj predstavlja zmanjšanje preseka stene za 25 %.



Slika 10

Odvisnost višine signala od jakosti magnetilnega toka

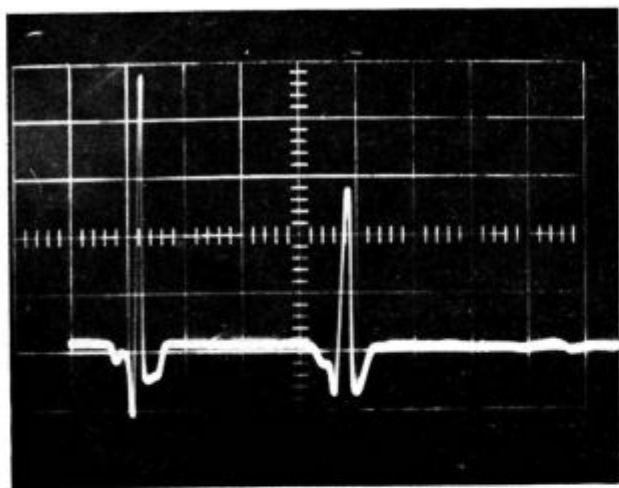


Slika 9

Magnetilni jarem, zvar je zgoraj

Iz diagramov lahko tudi posnamemo, da se signal povečuje do določene jakosti magnetilnega toka, ki je zavisna od geometrije vzorca in od vrste jekla, ter velikosti zračne špranje med vzorcem in polovimi čevlji. Pri našem poizkusu je znašala zračna špranja $2 \times 2,5$ mm in nazvečjo občutljivost smo dosegli pri 0,8 A. Pri večjih magnetnih poljih signal upada, saj prehaja material v zasičenje in relativna permeabilnost pada, dokler ne doseže nekega konstantnega iznosa, tam kjer preide krivulja v horizontalo. V našem primeru nad 1,8 A. Pri teh pogojih so razlike med velikostjo signala od zunanjega ali notranjega utora konstantne in eventuelno povečanje zračne špranje praktično ne vpliva na rezultat. Ako moremo zasigurati konstantno razdaljo zračne špranje je zaradi večje občutljivosti umestno uporabiti vrhnji del diagrama, ako pa geometrije ne moremo natančno držati, je bolj primerna desna stran krivulje, seveda s tem moramo računati na zmanjšano občutljivost.

V opisanem primeru je poljska jakost zaradi eksaktne geometrije valja povsod enaka in ni treba nobenih korekcij.



Slika 11
Magnetografski posnetek zunanjega utora (levo) in notranjega utora (desno). Globina 0,4 mm

Na sliki 11 je prikazan primer magnetografskega posnetka zunanjega utora (levo) in notranjega utora (desno) istočasno pri optimalnih pogojih magnetenja, zunanji signal je ca 100 % večji od notranjega.

Ako pogledamo sl. 11, vidimo, da se signal od zunanje in notranje zareze razlikuje tudi po širini. Ako ga opazujemo v ničelni črti, moremo izmeriti (pod povečavo) da zunanji traja ca. 0,2 msec, notranji pa cca. 0,3 msec (en delec znaša 10 msec). S primernimi filtri moremo pojačati samo ene vrste signale, tako moremo pri avtomatizaciji kontrole ločeno markirati zunanje in notranje razpoke do določenih mej, pri tem moramo seveda uporabljati dva merna kanala, enega z vgrajenim nizkofrekvenčnim, drugega brez ali z vgrajenim visokofrekvenčnim filtrom.

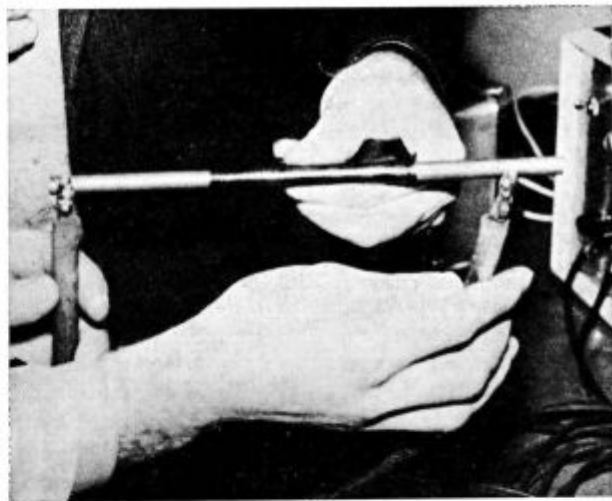
Avtomatizacija kontrole zvara je enaka kot pri gredicah, brezkončni trak se vali po zvaru, magnetno polje pa ustvarja jarem, ki objema cev. Magnetni zapis potuje mimo izpraševalne glave (scanning), ter nato mimo brisalne glave in pride prazen zopet na zvar. Pomanjkljivost tega sistema je v tem, da se na trak nabira nesnaga, ki sčasoma onemogoči snemanja in ga je treba sproti čistiti. Zato modernejšie naprave uvajajo direktno otipavanje zvara (brez dotika) s krožečimi ferosondami, v disk pa so istočasno vgrajene še visokofrekvenčne sonde, ki otipavajo površino, globinske defekte pa odkrivajo ferosonde. Taka naprava je poznana pod imenom »discomat« fa. dr. Förster, Reutlingen.

Magnetografska kontrola risov na žičnih kolobarjih

Vroče valjana žica običajno v dimenzijah od 6 do 20 mm \varnothing in zvita v kolobarje je za kontrolo težko pristopna. Danes sicer obstojajo naprave za kontinuirno kontrolo vroče žice nad AC₃ t. j. v nemagnetnem stanju s tunelskimi tuljavami in visoko frekvenco (do 100 KHz), kjer teko vrtničasti tokovi

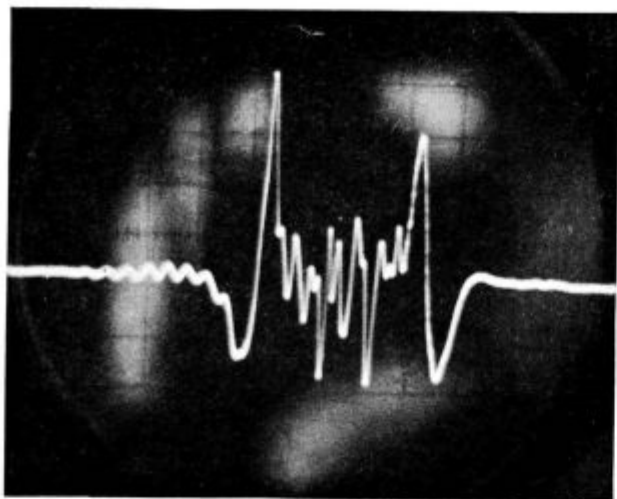
čisto na površini in na razpoki spremenene impedančni signal. Ta kontrola je kontinuirna, vendar je registracija napak na žici komplicirana in se običajno reducira na digitalno štetje napak in ugotavljanje kvalitete faktorja žice. Teoretsko bi bila mogoča tudi registracija na magnetno žico ali trak in sinhrono odvijanje kolobarja in registrirnega traka. Vendar bi taka naprava ne opravičevala svoje cene, predvsem ne, ker ni rečeno, da so razpoke v vročem edine, lahko nastanejo namreč tudi na žici pri hlajenju, posebno še pri trdih kvalitetah. Zato v praksi rajši uporabimo orientacijsko metodo, da na vsakem koncu kolobarja odrežemo košček žice, ter jo lužimo ali fero-fluksamo. Tako sigurno najdemo površinske razpoke, ne vemo pa njih globine, niti ne kako daleč po kolobarju se raztezajo, iz sredine kolobarja pa jih ne smemo izrezovati.

V pomoč nam je magnetograf. Na poljubnem delu kolobarja ovijemo okoli žice magnetografski trak in na vsakem koncu nekaj cm oddaljeno od traka pritisnemo elektrode z močnim enosmernim tokom nizke napetosti ali napolnjeno kondenzatorsko baterijo visoke kapacitete n. pr. 1000 μ F/200 V (slika 12). Tokovni sunek, ki steče skozi odsek žice, jo cirkularno namagnetni in magnetna sled eventualnih razpok ostane na traku. Trak preiščemo na scanningu in najdemo napake, tako po številu in globini, ako smo na probnem vzorcu določili z zarezovanjem velikost signala v odvisnosti od globine napak.

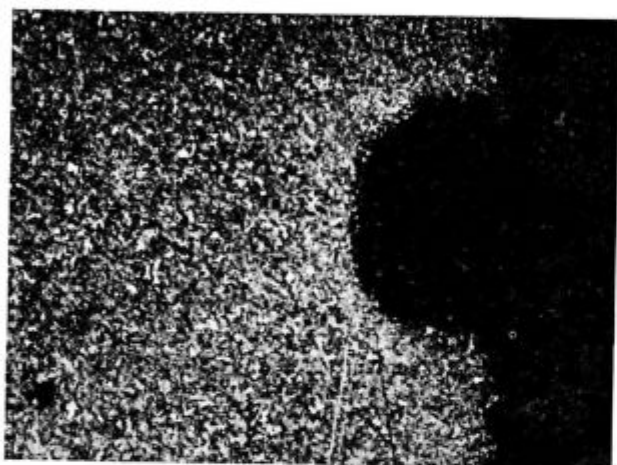


Slika 12
Snemanje na kolobarju, vidni obe elektrodi in magnetografski trak med njima.
Desno magnetilna naprava

Tak primer je prikazan na sliki 13. Na obeh konceh so vidni signali od robov traku, teh ne moremo preprečiti, vmes pa sta vidni dve razpoki. Z metalografskim pregledom smo ugotovili, da so globoke največ 0,2 mm (slika 14). Žica je lahko črna pa tudi tanka plast škaje ne moti.



Slika 13
Magnetografski posnetek razpok globine največ 0,2 mm
na VCV žici $\varnothing 7$



Slika 14
100 \times , nital
Vzorec: $\varnothing 7$ mm, kvalitete VCV-150, globina vzdolžne
razpoke 0,20 mm

Poizkusi so pokazali, da daje boljše rezultate impulzno magnetenje s praznjenjem kondenzatorske baterije, ker se podobno visokofrekvenčnemu toku koncentrirajo magnetne silnice na površini, ki nas najbolj zanima, uporabili pa smo manj občutljiv trak s široko histerezo zanko.

S primernimi filtri za nizke frekvence se iznebimo prevelike valovitosti signala in slika napak postane bolj izrazita.

Magnetografija za odkrivanje napak na nerjavečih žicah

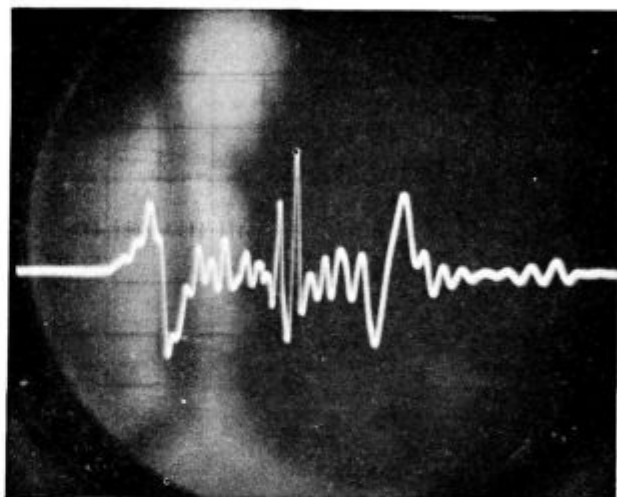
Magnetografija ima veliko pomanjkljivost kakor ferofluks, da je uporabna le na feromagnetnih materialih.

Vendar jo v določenih primerih lahko uporabimo tudi na prokronih, ker je površina običajno nekoliko feromagnetna zaradi različnih vzrokov n. pr. hladna deformacija. Ali pa ima v razpoki

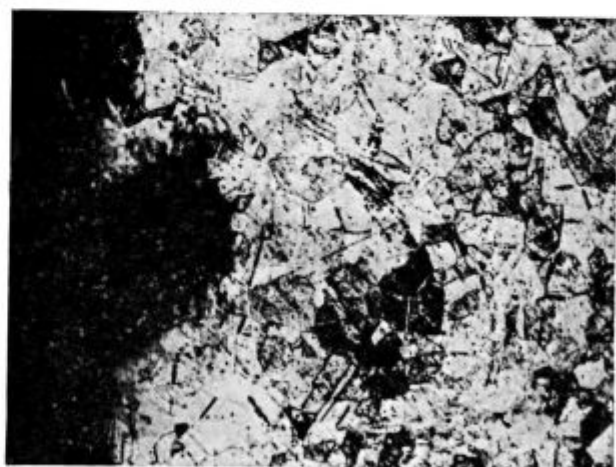
zavaljano škajo, ki je magnetna. Z impulznim magnetenjem dobimo koncentriran magnetni pretek na sicer slabo magnetni površini in tudi nad napakami izstopijo magnetne silnice. Seveda je signal v primeri s feromagnetnim materialom nižji, vendar v določenih primerih zadosten za odkrivanje razpok, kar bi bilo možno sicer le z luženjem.

Na sliki 15 je prikazan magnetografski posnetek prokron žice $\varnothing 9$, ki ima dve napaki globine max. 0,3 mm, tretja pa je nevidna, ker leži ravno nasprotni strani, zato moramo na istem mestu narediti dva posnetka, da bi tako sigurno zajeli celo površino. Na sliki 16 vidimo eno teh razpok pri 100 \times povečavi.

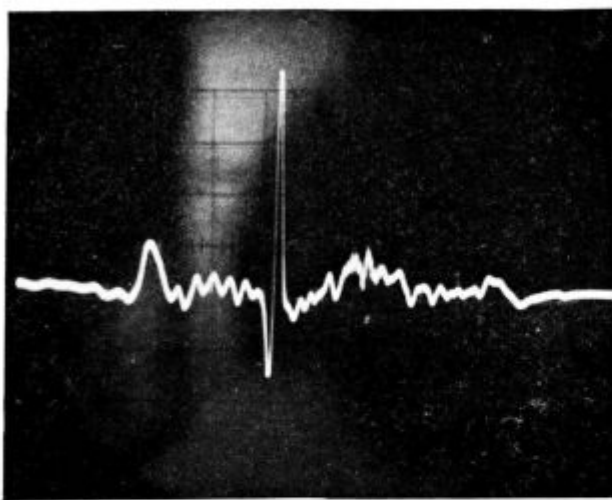
Na sliki 17 je prikazan še en magnetografski posnetek, žica $\varnothing 14$ z močno razpoko globine 1 mm. Pojačanje smo znižali za 5 \times , zato so tudi robovi traku malo vidni.



Slika 15
Magnetografski posnetek razpok globine 0,3 mm
na prokron žici $\varnothing 9$ mm



Slika 16
100 \times , zlatotopka
Vzorec: $\varnothing 9$ mm avstenitni prokron vzorec je imel tri
vzdolžne razpoke do globine 0,30 mm



Slika 17

Magnetografski posnetek razpoke 1 mm na žici \varnothing 14 mm. Pojačanje znižano na 5×

Magnetografijo lahko uporabimo še v številnih drugih slučajih n. pr. za preiskavo zvarov itd. Treba pa je poudariti, da so predstave o veliki globinski občutljivosti magnetografskega traku pretirane. Res da dosežemo globinsko občutljivost tudi do 20 mm, vendar se v signalu popolnoma izgubi podatek o obliki in velikosti zareze.

Vsled velikega magnetnega shunta v materialu nad napako, se signal močno splošči, čeprav ga z večjim pojačanjem še lahko vidimo, pa nam da premalo podatkov o napaki predvsem še, ako je voluminozna. Lahko zaključimo, da je magnetografija predvsem uporabna za odkrivanje površinskih napak in napak pod površino do ca. 5 mm. Njena velika prednost pred ferofluks metodo pa je kvantitativnost in možnost avtomatizacije postopka.

ZAKLJUČEK

V članku je opisana študija magnetografskega postopka odkrivanja napak v obliki risov in razpok na feromagnetnih materialih. Študija je imela predvsem namen ugotoviti uporabnost te metode na različnih metalurških proizvodih, čeprav naprave te vrste na trgu že obstojajo in so elektronsko dokaj popolne, vendar so cene tem napravam

tako visoke, da bi bila nabava na srečo preveč tvegana.

Magnetografsko metodo s priborom izdelano v laboratorijih Železarne Ravne smo preizkusili na gredicah, na palicah, na kaljenih strugarskih nožih, ter na žičnih kolobarjih ter varjenih ceveh.

Uspeh magnetografske metode je v veliki meri odvisen od pravilno izbranega polja magnetenja. Prenizko polje daje slab signal, previsoko polje pa prav tako potlači signal, močno pa poudari šume in nezaželjene robne efekte traku. Na gredicah je razen tega še potrebna kompenzacija pojačanja na obeh robovih, kjer opada poljska jakost na 1/3. Kvantitativna interpretacija rezultatov je mogoča na podlagi test vzorcev in kontroli jakosti magnetilnega polja na samem vzorcu (tangencialna komponenta polja).

Avtomatizacija kontrole na gredicah obstoji v avtomatskem markiranju napak na vse preiskovane površine istočasno in selektivno z večjim številom pištol ter avtomatsko sortiranje v dobre in defektne. Predpogoj je seveda peskana površina gredice in dovolj ravna gredica, ki je na konceh prirezana brez robov.

Prikazan je tudi primer magnetografije strugarskih nožev. Ker so ta jekla po kalenju magnetno trda, lahko uporabimo remanentni magnetizem. Kontrola strugarskih nožev po magnetografskem postopku sicer ne povečuje količine kontroliranih nožev, pač pa preprečuje, da bi izločali izdelke, ki imajo zanemarljivo plitve napake, kar je na ferofluksu težko ali nemogoče določiti, običajno je ferofluks preveč rigorozna metoda.

Magnetografija je omogočila kontinuirno kontrolo čelno zvarjenih cevi s tankimi stenami. Kontrola je lahko popolnoma avtomatizirana in omogoča direktno markiranje defektov na površino ločeno za notranje in zunanje, ako uporabimo še frekvenčno analizo signalov.

Magnetografska kontrola žičnih kolobarjev je edina skoraj kvantitativna metoda kontrole kolobarjev na kateremkoli mestu kolobarja. Pri tem se je pokazalo impulzno magnetenje kot bolj primerno, ker koncentrira magnetni fluks podobno kot skin efekt na površini, ki je najbolj interesantna.

S poizkusi smo ugotovili, da se tudi na avstentnih materialih more uporabiti magnetografska kontrola v kolikor je površina delno feromagnetna.

ZUSAMMENFASSUNG

Es ist ein magnetographisches Verfahren für die zerstörungsfreie Prüfung der Stähle beschrieben. Dieses Verfahren dient vor allem für die Entdeckung der Fehler in der Oberflächenschicht.

Das Prinzip der Methode und die theoretischen Grund-

lagen sind beschrieben. Auch die praktischen Erfahrungen sind angegeben.

Diese Studie war vor allem für die Feststellung der Brauchbarkeit des magnetographischen Verfahrens für die Entdeckung der Fehler bestimmt.

SUMMARY

The paper deals with the magnetographical method of the steel control. This procedure is usable mainly for determination of defects in the surface layer.

The principle of this method is described together with theoretical basis, and also practical experinces are given. The study had intention mainly to find the usability of the magnetographic procedure in discovering the defects.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен магнетографический метод качественного контроля стали. Этот метод применяется главным образом для обнаруживания пороков в поверхностном слое.

Описан принцип метода, его теоретическая основа; поданы также результаты получены вследствие применения в практики.

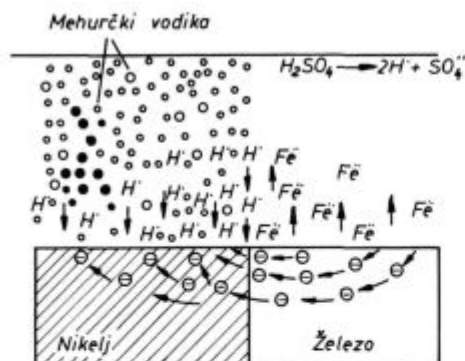
Цель испытания была определить пригодность этого магнетографического метода при обнаруживанию пороков.

Korozija jekel

Podane so osnove teorije o koroziji v elektrolitih, naštetih vplivi zunanjih in notranjih faktorjev, ki vplivajo na korozijo, omenjeni so tipi korozije in njihov vpliv na mehanske lastnosti preizkuševalcev. Prikazan je vpliv posameznih legirnih elementov na korozijsko obstojnost jekla s posebnim poudarkom na nerjavečih jeklih. Opisana je plinska korozija.

Že leta 1823 je švicarski znanstvenik De la Riv ugotovil, da je korozija kovine v elektrolitih rezultat dela mnogih mikroskopsko majhnih in kratko spojenih galvanskih elementov na kovinski površini. Ta predpostavka tvori osnovo današnje teorije o koroziji kovine v elektrolitih.

Oglejmo si to na praktičnem primeru! Predpostavimo, da je železo skupaj z nikljem potopljeno v raztopino žveplene kisline, ki je dober prevodnik elektrike (slika 1). Ker je potencial železa negativnejši od potenciala niklja, bo železo kot anoda tega galvanskega para pošiljalo ione v raztopino. Elektroni, ki so se pri tem osvobodili, prehajajo k površini niklja, kjer se spajajo z ioni vodika v raztopini. V nadaljevanju procesa se nastali atomi vodika spajajo v molekule, ki v obliki mehurčkov izhajajo iz raztopine. Ta proces lahko poteka toliko časa, dokler se železo popolnoma ne raztopi.



Slika 1

Proces raztapljanja železa ali galvanski člen dveh kovin

V gornjem primeru torej tvorita galvanski člen dve dotikajoči se kovini. Prav tako pa dobimo galvanski člen tudi v primeru, če potopimo samo eno kovino v raztopino, ker ima kovina na raznih delih površine različne potenciale zaradi različne strukture legirnih komponent.

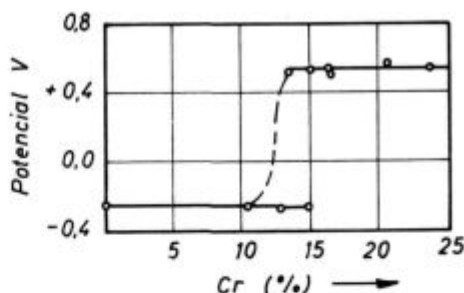
Pri korozijskih procesih igra zelo važno vlogo t. i. pasivacija. Pasivnost kovine razlagajo strokov-

njaki na različne načine. Če postane neka kovina korozijsko obstojnejša, kot to ustreza njenemu mestu v elektrokemični napetostni vrsti, označujemo to kot stanje pasivacije. Pasivno stanje nastopi v tistih medijih, v katerih morejo obstajati netopni produkti vzajemnega učinka kovine in medija. Pasivirajoča prevleka zavira korozijo in preprečuje prehod kovinskih ionov v raztopino.

Krom se pasivira že pod vplivom zraka in obdrži na zraku svojo pasivnino, zato mnoge predmete kromamo, da jih na ta način uspešneje zaščitimo pred korozijo. Če krom ne bi imel lastnosti samopasivacije, bi bil z ozirom na svoj nežlahtni elektrokemični potencial veliko bolj izpostavljen koroziji kot železo.

Pojav pasivacije ni vezan samo na čisti krom, ampak tudi na njegove zlitine z železom, to so s kromom legirana jekla.

Korozijska obstojnost jekel v oksidirajočem mediju in obstojnost proti rjavenju se z rastočim dodatkom kroma do 12 % hitro povečuje, dodatek kroma preko 14 % pa le neznatno povečuje te lastnosti. Med lastnostmi v elektrokemičnem smislu ni prehoda, ker se potencial v območju legiranja med 12 in 13 % Cr spremeni skokoma. (slika 2).



Slika 2

Vpliv vsebnosti kroma na spremembo potenciala

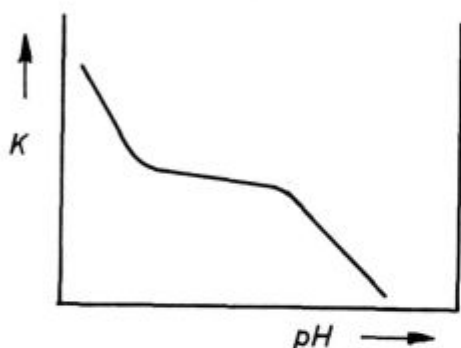
Treba je pripomniti, da ni merodajna analitsko dobljena vsebnost kroma, ampak le oni krom, ki se nahaja v trdni raztopini alfa in gama železa. Krom, vezan kot karbid, nitrid ali v drugi kemično vezani obliki, ne vpliva na pasivacijo jekla.

Korozijska obstojnost nerjavečih jekel ni odvisna samo od vsebnosti kroma, temveč tudi od oksidacijskih lastnosti agresivnih sredstev. V redukcijskih sredstvih je hitrost korozije velika. V slabo oksidacijskih sredstvih imajo s kromom legirana nerjaveča jekla v glavnem visoko korozijsko odpornost, v močno oksidacijskih sredstvih pa nerjaveča jekla izgubijo svojo korozijsko obstojnost. Ta

pojav je znan pod imenom »transpasivnost« in nastane kot posledica razpadanja oksidne prevleke v močno oksidacijskih sredstvih.

Pasivno ali aktivno stanje je odvisno tako od zunanjih, kakor tudi od notranjih faktorjev.

K zunanjim faktorjem spada sredstvo, ki obkroža kovino, na primer elektrolit (njegova sestava, temperatura itd.). Znano je, da ima v mnogih slučajih na hitrost korozije večji vpliv korozijsko sredstvo, kakor pa sestava ali stanje jekla. Zmenjava koncentracije vodikovih ionov v raztopini je eden od najznačilnejših faktorjev, ki vplivajo na hitrost korozije. S spreminjanjem pH se lahko spremeni celotni karakter procesa. Sprememba hitrosti korozije železa v odvisnosti od pH je shematsko prikazana na sliki 3. Tako vrsto krivulje dobimo samo v primeru, ako v raztopini ni kisline, ki bi lahko povzročila spremembo korozijske hitrosti, to se pravi zmanjšanje zaradi pasivacije ali povečanje zaradi depolarizacijskega delovanja elementa, ki povzroča korozijo.



Slika 3
Vpliv pH na hitrost korozije.

Prav tako povečuje korozijsko hitrost tudi gibanje korozijskega sredstva. (Slika 4). Z mešanjem korozijskega sredstva se olajša pristop kisika h korodirajoči kovini, zaradi tega je v raztopinah, ki se gibljejo, korozijska hitrost večja kot v tistih, ki mirujejo. Z nadaljnjim povečanjem hitrosti gibanja tekočine hitrost korozije pada, ker se s povečanjem dostopa kisika površina železa pasivira. Pri še močnejšem gibanju tekočine hitrost korozije ponovno naraste. To ponovno naraščanje



Slika 4
Vpliv gibanja korozijskega sredstva na hitrost korozije

krivulje je verjetno rezultat mehanskega uničevanja zaščitne kožice na površini kovine.

Na hitrost korozije vpliva tudi temperatura korozijskega sredstva. Literatura navaja, da je korozijska hitrost največja pri 80° C. S povečanjem temperature se zožuje območje pasivnega stanja pri hkratnem povečanju korozijske hitrosti v pasivnem in aktivnem stanju, kar ima za posledico znatno zmanjšanje korozijske obstojnosti v oksidacijskih in redukcijskih sredstvih.

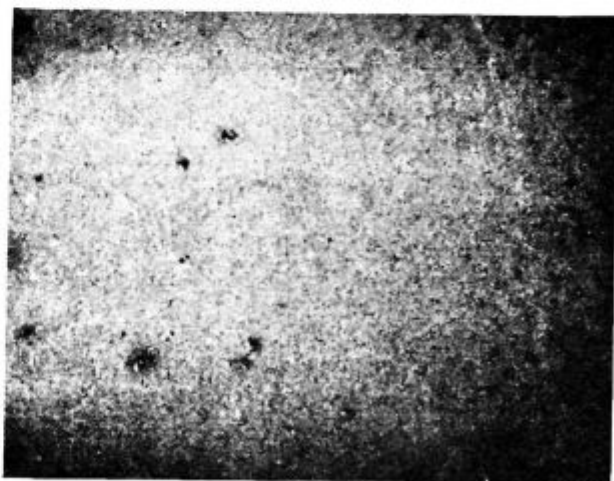
Korozijska obstojnost nerjavečih jekel v veliki meri zavisi od strukture. Pasivno stanje je popolno samo takrat, ako je zaščitna prevleka homogena po celi površini.

Površinske napake na jeklu kot n. pr. ostanki škaje, risi in podobne napake povečujejo vpliv korozije in so v mnogih primerih celo vzrok nastanka korozije. Smatra se, da za doseg pasivnega stanja in korozijske odpornosti najbolj ustreza struktura homogenih mešanih kristalov, pri katerih lahko zaradi homogenosti izključimo vsak vzrok za tvorbo lokalnih galvanskih elementov. Z ozirom na to lahko pričakujemo, da imajo največjo korozijsko odpornost homogena avstenitna in feritna jekla, pri čemer je morda treba dati prednost avstenitnim zlitinam, ki imajo gostejši razpored atomov v kristalni mreži.

Pri koroziji kovin in zlitin se mehanske lastnosti zmanjšujejo glede na jakost in vrsto korozije.

Pri enakomerni koroziji se mehanske lastnosti ne menjajo znatno, ker se korozija širi enakomerno po celi površini. Zmanjšanje preseka zaradi korozije zahteva zmanjšanje skupne obremenitve, toda pri tem se ne spremeni niti natezna trdnost, niti meja plastičnosti.

V ostalih primerih korozije material ne korodira po celotni površini, ampak se tvori majhne vdolbinice, ki delujejo kot razpoke in na ta način povečujejo napetosti. Pri pitting koroziji (slika 5) je ta učinek manj izrazit, ker nastale izjede zaradi zaobljenih vrhov ne delujejo kot razpoke. V primeru interkristalne



Slika 5
Pitting korozija

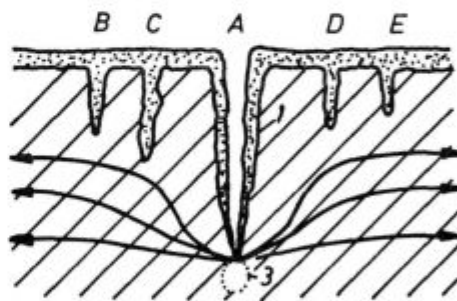
Tabela 1 — vpliv korozije na mehanske lastnosti

Vrsta korozije	izguba teže v %	globina porušitve v %	padec lastnosti v %		
			natezna trdnost	meja plast.	raztezek
enakomerna	1,0	1	1	1	1
pitting	0,7	5	7	5	15
interkristalna	0,2	15	25	20	80
napetostna	0,1	100	100	100	100

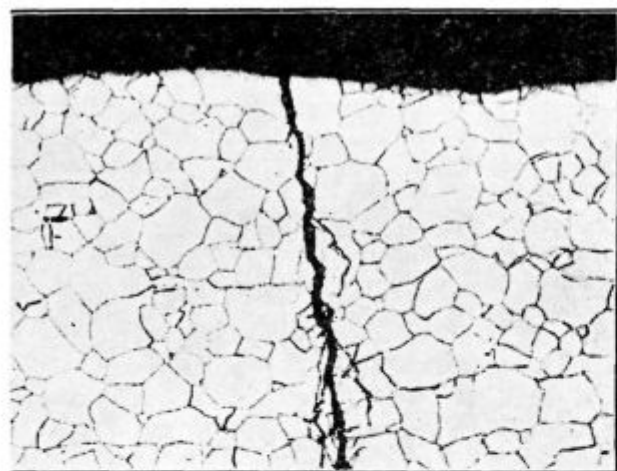
Znano je, da se trdnost tiste kovine, ki je izpostavljena delovanju korozije ali adsorpcije, bistveno razlikuje od trdnosti one kovine, ki jo obdaja neaktiven medij. Razliko opazimo tako pri statičnih kakor tudi pri dinamičnih obremenitvah kovine. Hkratno delovanje korozije in mehanske obremenitve na kovino je znano pod imenom »koruzijsko utrujanje«. Potek porušitve kovine kot posledico koruzijskega utrujanja lahko razdelimo v inkubacijsko dobo nastanka razpok, nadaljnji razvoj teh razpok in končni lom jekla.

Inkubacijska doba kot primarni stadij koruzijskega utrujanja je karakteriziran z lokalizacijo koruzijskega procesa, ki ga povzroča vrsta fizikalnih in kemijskih faktorjev, kakor tudi površinske lastnosti, struktura jekla in agresivnost koruzijskega medija. Lokalizacija koruzijskega procesa in z njo povezane porušitve anodnega mikrovolumna na kovinski površini povzroča na tem mestu koncentracijo napetosti. V primeru povišanja mehanske obremenitve povzroča ta koncentracija napetosti lokalizacijo koruzijskega procesa. Kolikor večje je število anodnih mikrovolumnov, toliko večja je možnost, da ti mikrovolumni prevzamejo vlogo klice za tvorbo razpoke.

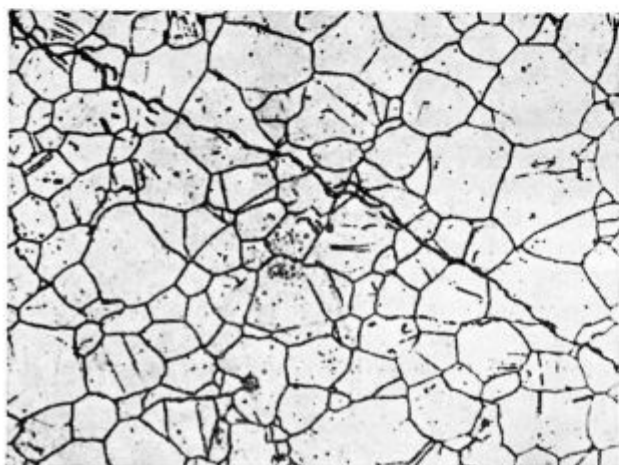
Druga faza koruzijske utrujenosti je širjenje površinskih razpok. Pri tistih koruzijsko načetih površinah, ki imajo najmanjšo napetostno koncentracijo, se v razpokah ne izvrši nobena sprememba več. Ta mesta postanejo neaktivna, medtem ko se razpoke pri aktivno načetih mestih nadalje širijo in razvijajo. Mehanizem nadaljnega razvoja je prikazan na slikah 8 in 9. Utrujenostna razpoka A je prevzela vlogo napetostnega koncen-



Slika 8
Koncentracija napetosti ob razpoki



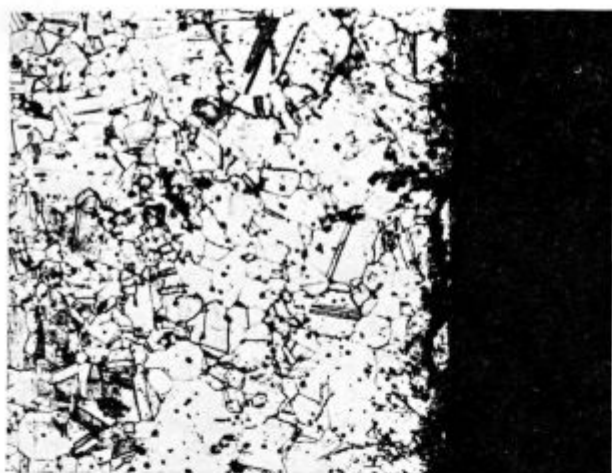
Slika 6
Interkristalna korozija



Slika 7
Napetostna korozija

(slika 6) in napetostne korozije (slika 7) so korodirane cone bolj podobne razpokam kakor pa jamicam, zaradi tega je koncentracija napetosti veliko večja, kar ima za posledico, da zmanjšanje trdnosti ni proporcionalno zmanjšanju preseka. Mehanske lastnosti (posebno razteznost) se znatno poslabšajo in sicer toliko bolj, kolikor je razpoka ostrejša. Pri enakomerni koruziji zmanjšanje preseka prav malo vpliva na trdnost kovine, medtem ko se pri interkristalni koruziji ta vpliv močno poveča. Čeprav je količina razpadle kovine pri enakomerni koruziji največja, ker poteka po celotni površini, se vseeno to dogaja v tankem sloju. Povsem nasprotno pa je v primeru interkristalne in napetostne koruzije, pri katerih se celotni proces dogaja v malih področjih (po kristalnih mejah ali drsnih ravninah), pri tem pa koruzija prodre globoko v jeklo.

V tabeli I je prikazan vpliv koruzije na mehanske lastnosti, če predpostavimo, da lahko pri konstantnih pogojih koruzije ista zlitina korodira na vse načine.

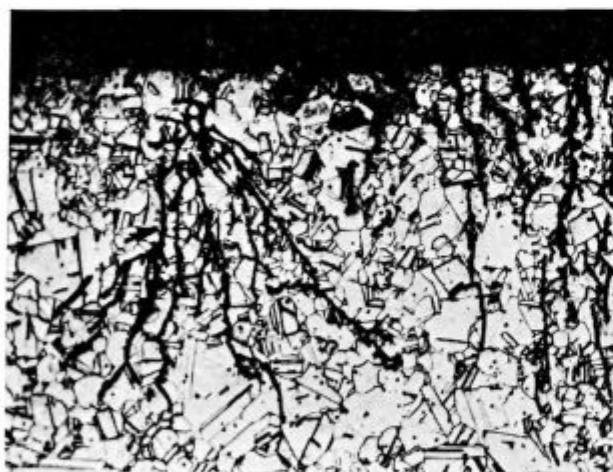


Slika 9

Razpoke na površini, ob katerih se koncentrirajo napetosti

tratorja in njen razvoj se nadaljuje, medtem ko so razpoke B, C, D in E v razbremenjenem območju in se s tem njihovo širjenje zavre.

Na število utrujenostnih razpok močno vpliva agresivnost korozijskega sredstva. Preiskave so pokazale, da je število korozijskih centrov in iz njih izhajajočih razpok za toliko večje, kolikor je višja agresivnost medija. Pri korozijski utrujenosti v visoko agresivnih medijih in pri hkratnih nizkih obremenitvah lahko opazimo intenzivno razvejnost utrujenostnih razpok kot posledico enake hitrosti širjenja v dveh ali tudi več smereh (slika 10).



Slika 10

Utrujenostne razpoke ob koroziji v agresivnih sredstvih

Poleg sočasnega delovanja mehanskega in korozijskega faktorja pride med procesom korozijskega utrujanja do veljave tudi delovanje adsorpcije aktivnega medija. Z adsorpcijo se zniža prosta površinska energija kovin in zmožnost odpora proti mehanskemu delovanju napetosti tako, da nastane v zvezi z Rehbinderjevim efektom zagod-

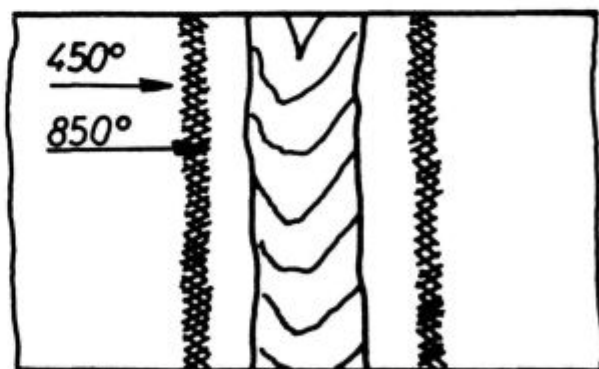
no delovanje medija. To zagodno delovanje medija predstavlja tretji stadij korozijskega utrujanja in končno porušenje jekla.

Iz analize elektrokemičnih pogojev sledi, da je pravi nastanek inter in transkristalno potekajočih razpok odvisen — poleg že prej omenjenega — tudi od strukture jekla. Znano je, da so pod določenimi pogoji podvržena interkristalni koroziji avstenitna, kakor tudi feritna in polferitna visoko kromova jekla.

Nagnjenost jekel k interkristalni koroziji je odvisna od pogojev toplotne obdelave, kateri so različni za avstenitna in za feritna jekla.

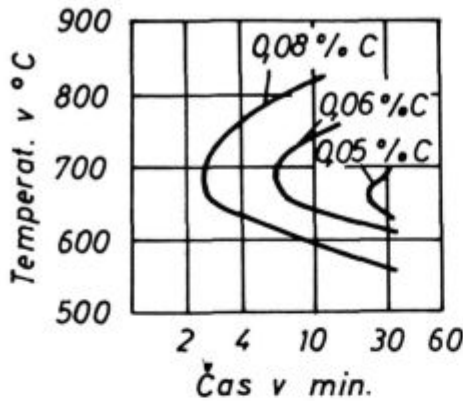
Feritna jekla postanejo nagnjena k interkristalni koroziji le po segrevanju in hitrem ohlajanju s temperatur nad 900—925° C. Minimalna kritična temperatura za feritna jekla je odvisna od vsebnosti kroma. Za jeklo z 22 % Cr znaša 900° C, za 25 % Cr 1000° C in z 27 % Cr 1100° C. Po počasnem ohlajanju s teh temperatur feritna jekla niso nagnjena k interkristalni koroziji. Pri feritnih jeklih se interkristalna korozija pojavi pri zvarjenih spojih v coni, ki leži neposredno poleg zvara, torej tam, kjer je bilo največje segrevanje in relativno hitro ohlajanje. Zmanjševanje nagnjenosti k interkristalni koroziji pri feritnih jeklih, ki so to nagnjenost že dobila, je mogoče doseči s segrevanjem v temperaturnem območju 780—850° C, pri čemer se izvrši izenačevanje koncentracije kroma po kovinskem zrnu zaradi difuzije.

Podobno kot pri feritnih se tudi pri avstenitnih jeklih pojavlja interkristalna korozija v zvarjenih spojih in pri nepravilni toplotni obdelavi. Pri varjenju se efekt interkristalne korozije pojavlja v osnovni kovini in to v coni, ki se je nahajala, pa čeprav zelo kratek čas, v intervalu kritične temperature v neki določeni razdalji od zvara, kjer nastanejo ugodni pogoji za tvorbo kromovega karbida. (Slika 11)



Slika 11
Interkristalna korozija ob zvaru

Vsebnost ogljika, ki preseže mejo svoje topnosti v avstenitu pri sobni temperaturi, znatno povečuje nagnjenost k interkristalni koroziji. Diagram na sliki 12 prikazuje čas pojava interkristalne korozije pri jeklih tipa 18-8 z različnim odstotkom ogljika.



Slika 12
Vpliv % C na interkristalno korozijo

S povečanjem velikosti zrn se tudi poveča nagnjenost jekla k interkristalni koroziji. Hladna in topla plastična deformacija pa znatno znižujeta hitrost interkristalne korozije.

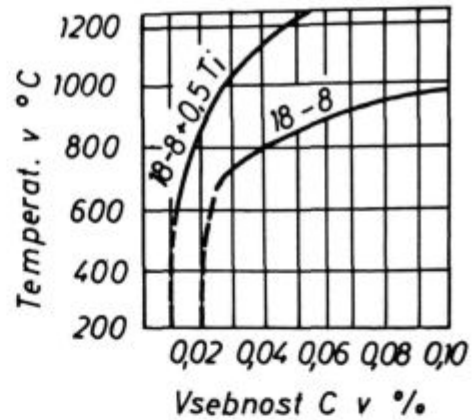
Velik vpliv na nagnjenost jekel k interkristalni koroziji kaže kemijska sestava avstenitne osnove.

Odstranjevanje ali zmanjševanje nagnjenosti avstenitnih jekel k interkristalni koroziji je mogoče doseči na več načinov, vendar dovolj učinkovitih in v praksi dostopnih je samo nekoliko. Vse te metode so osnovane na preprečevanju izločanja kroma. V praksi se uporabljajo štiri metode:

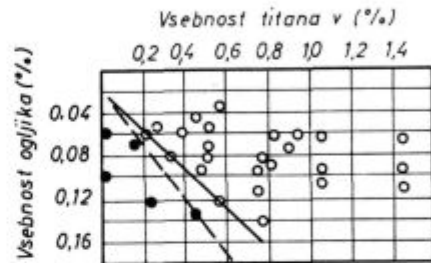
- preprečevanje interkristalne korozije avstenitnih jekel z zmanjšanjem odstotka ogljika do meje njegove topnosti pri sobni temperaturi t. j. do 0,02 — 0,03 %,
- preprečevanje interkristalne korozije avstenitnih jekel z dodatkom karbidotvornih elementov,
- preprečevanje interkristalne korozije z gašenjem avstenitnih jekel z visokih temperatur,
- preprečevanje interkristalne korozije z delno feritizacijo strukture.

Mejni odstotek ogljika je odvisen od kemijske sestave jekla. S povečanjem odstotka kroma ali z dodatkom molibdena se lahko poveča, pada pa pri povečanju odstotka niklja. Diagram na sliki 13 prikazuje raztop karbidov v odvisnosti od temperature za jeklo tipa 18-8 in jeklo 18-8 z 0,5 % Ti.

Z dodatkom karbidotvornih elementov (npr. titana, niobija in drugih) lahko avstenitnim jeklom močno zmanjšamo nagnjenost k interkristalni koroziji. Prisotnost titana in niobija dovoljuje, da se nekoliko poveča odstotek ogljika v jeklu, ne da bi se pri tem znižale njegove antikorozijske lastnosti. Vpliv odstotka ogljika in titana na nagnjenost jekla tipa 18-8 k interkristalni koroziji je prikazan na sliki 14.



Slika 13
Raztop karbidov v odvisnosti od vsebnosti ogljika in sestave jekla



Legenda:

- Jeklo je podvrženo interkristalni koroziji
- Jeklo ni podvrženo interkristalni koroziji

Slika 14
Vpliv % C in % Ti na nagnjenost jekla 18-8 k interkristalni koroziji

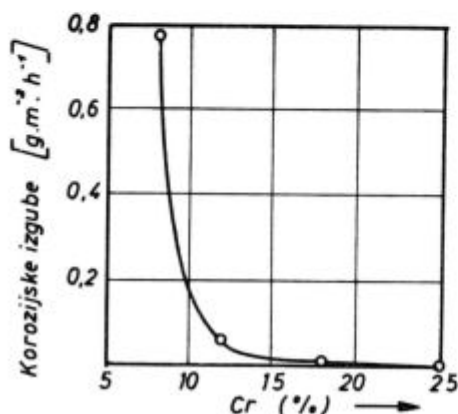
Pri jeklih, ki vsebujejo titan in niobij, je potrebno paziti na to, da se pri gašenju na avstenit ne segreva do previsokih temperatur, ker blizu točke taljenja specialni karbidi prehajajo v trdno raztopino. Raztopljeni ogljik se lahko pri naknadnem kratkotrajnem žarjenju pri nižjih temperaturah (600—700° C) izloči kot kromov karbid, kar povzroča interkristalno korozijo. Šele pri daljšem segrevanju na temperaturah nad 800° C se tvorijo posebni karbidi; zaradi tega se pri jeklih, ki vsebujejo titan, včasih poslužujemo stabilizacijskega žarjenja na temperaturi okoli 850—900° C, da bi se na ta način ves ogljik izločil v obliki titanovega karbida.

Ako segrevamo avstenitna jekla tipa 18-8 na temperaturo 1050—1150° C, kromovi karbidi prehajajo v trdno raztopino avstenita in se tudi pri hitrem ohlajanju na sobno temperaturo zadržijo v njem, kar občutno zmanjša nagnjenost jekla k interkristalni koroziji. Enak učinek dosežemo tudi pri ohlajanju na zraku z visokih temperatur. Ta način toplotne obdelave zagotavlja jeklom dobro korozijsko odpornost, prav tako pa tudi visoko plastičnost in žilavost.

Tudi z delno feritizacijo strukture je mogoče zmanjšati nagnjenost avstenitnih jekel k interkristalni koroziji. Pri sočasni prisotnosti ferita in av-

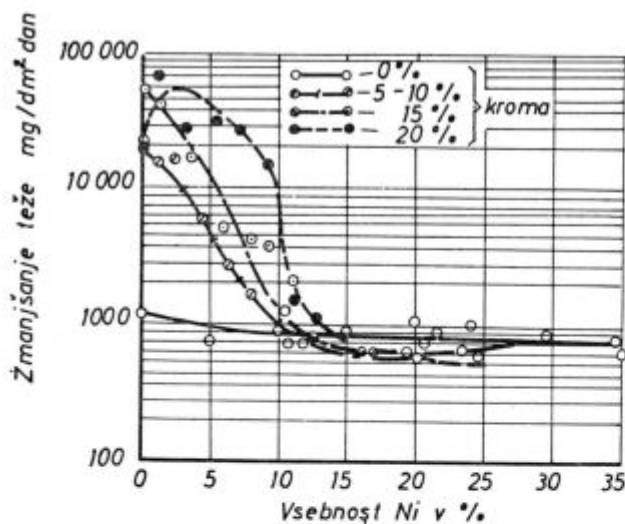
stenita so kristalne meje enih in drugih različno občutljive na različne pogoje toplotne obdelave. Na ta način se interkristalna korozija blokira ali z zrni ferita ali pa z zrni avstenita.

Diagram na sliki 15 kaže odvisnost korozijske hitrosti kromovih jekel od vsebnosti kroma v 65 % HNO₃. Korozijska obstojnost kromovih jekel se z dodatkom niklja še poveča. Nikelj je namreč v žvepleni kislini zelo obstojen in to svojo lastnost prenese tudi na zlitine z železom. Na sliki 16 je prikazan vpliv niklja na korozijsko obstojnost Cr-Ni jekla v 5 % H₂SO₄ pri 30° C. Iz diagrama je razvidno, da približno do 10 % Ni nastopa neko izrazito poboljšanje. Nikelj pripomore k pasivaciji jekla, čeprav v znatno manjši meri kakor krom. Cr-Ni-jekla se uporabljajo v aktivnem, pasivnem in transpasivnem stanju, kar pa ne velja za kromova jekla, ki so v aktivnem stanju slabo odporna.



Slika 15

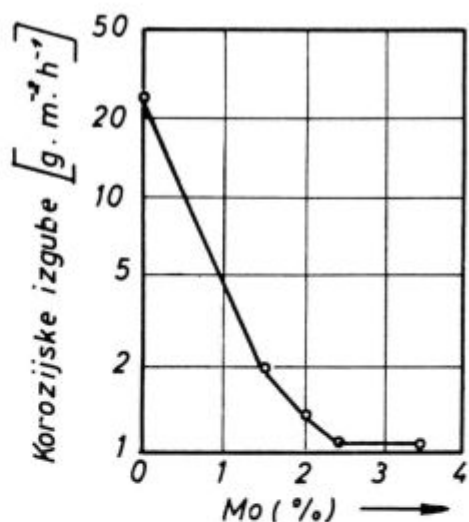
Vpliv % Cr v jeklu na korozijsko hitrost v 65 % HNO₃



Slika 16

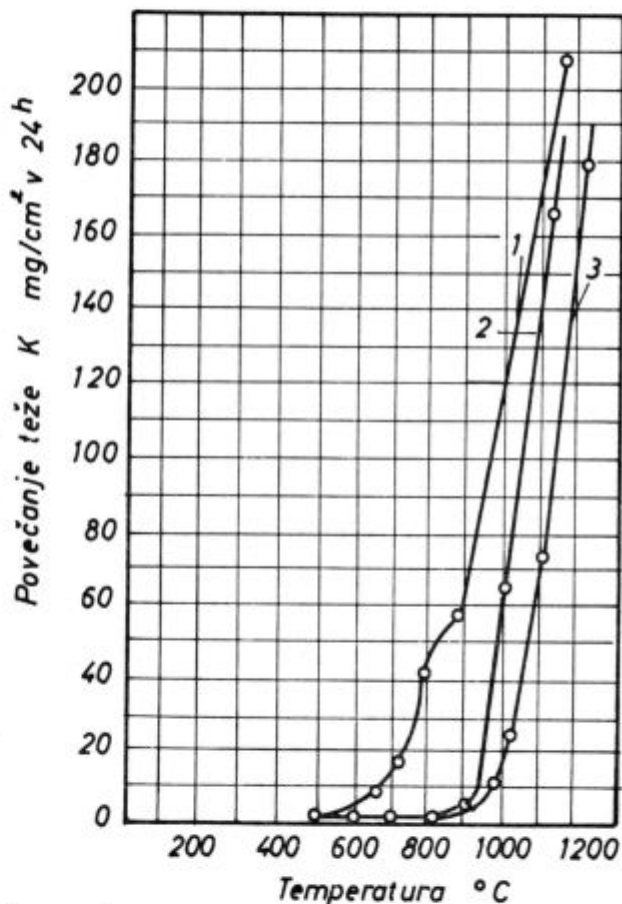
Vpliv % Ni v Cr-Ni jeklu na korozijsko obstojnost v 5 % H₂SO₄ pri 30° C

Korozijsko obstojnost nerjavečih jekel lahko še nadalje izboljšujemo z novimi legirnimi dodatki. Pri tem pride do izraza predvsem dodatek molibdena in bakra. Dodatek molibdena občutno poveča



Slika 17

Padeč korozijskih izgub avstenitnega Cr-Ni jekla v 10 % H₂SO₄ pri 70° C ob različnih dodatkih molibdena



Legenda:

- 1-jeklo z 0,17 % C
- 2-jeklo z 0,32 % C; 1,3 % Si; 13 % Cr
- 3-jeklo z 0,12 % C; 18 % Cr; 8 % Ni

Slika 18

Vpliv temperature na oksidacijo površine

področje pasivacije. Poleg tega molibden laže tvori karbide kot krom, tako da v prisotnosti molibdena več kroma ostane v trdni raztopini, kar ugodno vpliva na povečanje korozijske obstojnosti kromovih jekel. Se večji pomen ima dodatek molibdena v avstenitnih krom-nikljevih jeklih, ker pboljšša njihovo korozijsko obstojnost ne samo v pasivnem, ampak tudi v aktivnem stanju, pri čemer se vpliv molibdena bistveno razlikuje od vpliva kroma. Diagram na sliki 17 prikazuje padeč korozijskih izgub v 10 % H₂SO₄ pri 70° C za avstenitno krom-nikljevo jeklo ob različnem dodatku molibdena.

Vpliv bakra na korozijsko obstojnost nerjavečih jekel je podoben nikljeveemu. Dodajamo ga le v posameznih primerih in to vedno v kombinaciji z molibdenom. Na ta način dosežemo pri krom-nikljevih jeklih bistveno izboljšanje korozijske obstojnosti predvsem v žvepleni kislini s srednjo in visoko koncentracijo.

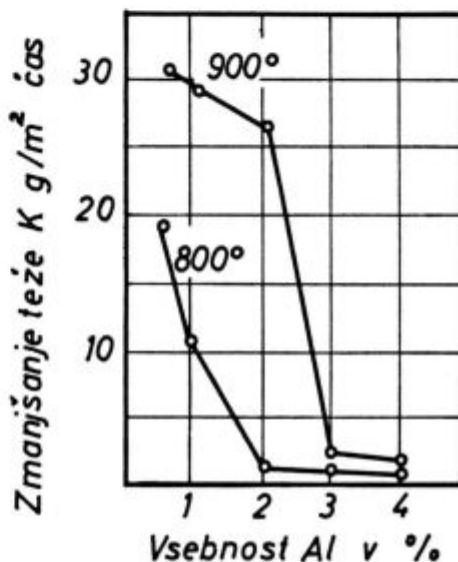
V novejšem času so v SSSR raziskali vpliv plemenitih kovin (predvsem paladija in platine) na korozijsko obstojnost nerjavečih avstenitnih jekel in ugotovili, da dodatek omenjenih elementov ugodno vpliva samo v slabih oksidacijskih sredstvih, ko je jeklo v aktivnem stanju.

Vse doslej smo govorili o koroziji in korozijski obstojnosti jekel v tekočinah. Posebno poglavje pri

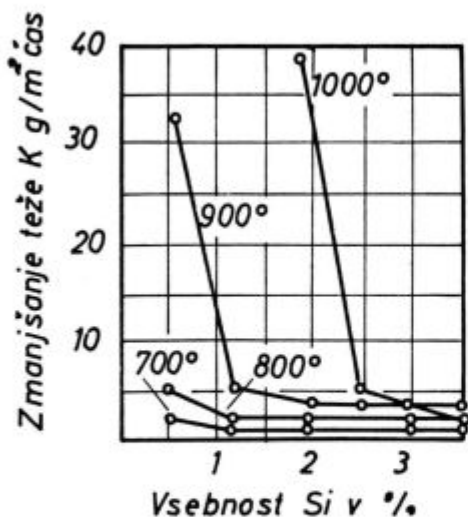
obravnavanju korozije železa in jekla pa obsega tako imenovana plinska korozija, ki nastane pod vplivom par in plinov. Armature peči, deli motorjev z notranjim izgorevanjem, pirometrške cevi itd., prav tako pa tudi kovine, ki so podvržene toplotni obdelavi, se pri povišanih temperaturah zaradi plinske korozije prekrijejo z oksidno plastjo — škajo. Na relativno nizkih temperaturah (od 200—300° C), se na železu že začne pojavljati vidna oksidna kožica in je vse tja do 600° C hitrost korozije sorazmerno majhna. Pri povišanih temperaturah hitrost korozije hitro raste, kar je odvisno od sestave kovine. Slika 18 prikazuje odvisnost plinske korozije jekla na zraku od temperature. Železov oksid, ki nastane pri temperaturi 600—800° C, ima zaščitne lastnosti in zavira nadaljnji proces oksidacije. Na sliki 19 lahko vidimo, da krivulja, ki predstavlja odvisnost hitrosti plinske korozije od časa pri temperaturi 800° C, na začetku hitro raste, nato pa je položnejša.



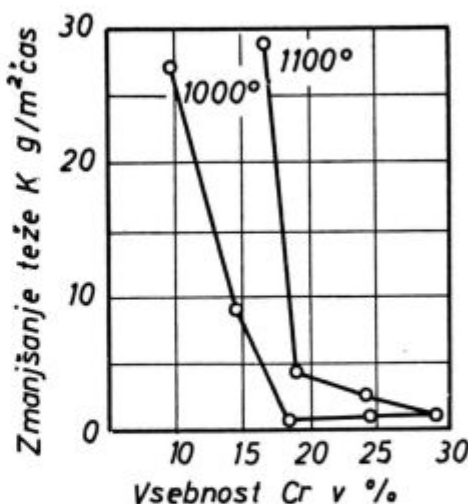
Slika 19
Vpliv časa pri 800° C na oksidacijo površine



Slika 21
Vpliv vsebnosti aluminija na toplotno stabilnost jekel



Slika 20
Vpliv vsebnosti silicija na toplotno stabilnost jekel



Slika 22
Vpliv vsebnosti kroma na toplotno stabilnost jekel

K plinski koroziji prištevamo tudi razogljčenje, ki ga v tem članku ne bomo obravnavali.

Na hitrost plinske korozije močno vpliva sestava atmosfere. Prav tako igra pri plinski koroziji zelo važno vlogo sestava korozijskih produktov in njihove zaščitne lastnosti. V tabeli II je prikazan vpliv atmosfere na hitrost plinske korozije jekla z 0,17 % C.

sestava atmosfere	povečanje teže v mg/cm ²
zrak	57,2
zrak + 2 % SO ₂	65,8
zrak + 5 % SO ₂ + 5 % H ₂ O	152,4
zrak + 5 % CO ₂ + 5 % H ₂ O	100,0

Povišanje odpornosti ogljikovih jekel proti oksidaciji pri visokih temperaturah dosežemo z dodatkom aluminija, silicija, kroma in niklja, ki imajo to lastnost, da se prevlečejo z zelo tankimi zaščitnimi kožicami. Vpliv vsebnosti silicija, aluminija in kroma na toplotno stabilnost jekel je prikazan na slikah 20, 21 in 22.

Dodatek aluminija in silicija jeklu, ki ne vsebuje drugih legirnih elementov, znatno poveča nje-

govo toplotno stabilnost, vendar pa je tako jeklo zelo krhko in ima slabo toplotno vzdržljivost. Z dodatkom omenjenih dveh elementov kromovim in krom-nikljevim jeklom pa dobimo zlitine z dobrimi mehanskimi lastnostmi, ki imajo poleg tega še dobro toplotno vzdržljivost. Za povečanje toplotne vzdržljivosti dodajamo jeklom tudi molibden in vanadij.

Literatura

1. G. T. Bahvalov, A. V. Turkovskaja: »Korozija i zaštita metala«, Beograd, 1949
2. D. Stanković: »Uticaj hemijskog sastava na korozionu otpornost hrom-nikl nerđajućih čelika« — Zaštita materiala, Beograd, 1965, 6—7.
3. D. Stanković: Metode borbe protiv međukristalne korozije nerđajućih hrom-nikl čelika« — Zaštita materiala, Beograd, 1966, 2
4. F. Strojín: »Korozijska obstojnost nerđavećih avstenitnih in feritnih jekel« — Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani, Ljubljana, 1964, 10. 2—4
5. Herbert H. Uhlig: »The Corrosion Handbook«, John Wiley & Sons, Inc., New York 1953.
6. J. C. Hudson: »Sixth Report of the Corrosion Committee« — (The Iron and Steel Institute), London 1959
7. American Society for Testing Materials: »Symposium on Stress — Corrosion Cracking of Metals«, York, Pa., U.S.A., 1945

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel sind im kurzen die theoretischen Grundlagen der Metallkorrosion in den Elektrolyten und die Einflüsse verschiedener äusserer und innerer Faktoren beschrieben. Im weiteren werden verschiedene Typen der Korrosion mit seinen Charakteristiken und dem Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften, so wie die Einflüsse

einzelner Elemente in der chemischen Zusammensetzung behandelt. Es ist eine Übersicht der Korrosionsbeständigkeit einiger typischen nichtrostenden Stähle gegeben. Und zuletzt sind noch die Eigenheiten der Gasskorrosion der Metalle beschrieben.

SUMMARY

The paper shortly deals with the basic theory on corrosion of metals in electrolytes and with the influences of various external and internal parameters. Further, different corrosion types with their characteristics, and their influence on mechanical properties are discussed, and the

influences of individual chemical elements in steel are still added. Simultaneously with the review of the corrosion resistance of various characteristic stainless steels, also characteristics of gas corrosion are described.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье кратко рассмотрены основные принципы теории о коррозии металлов в электролитах и влияния разных внешних и внутренних факторов. Приведены и рассмотрены также разные виды коррозии и их свойства; их влияние на механические

свойства сталей; влияние отдельных элементов химического состава сталей. Описана характеристика газовой коррозии и приведен обзор сортов нержавеющей стали которые обладают способностью коррозионной устойчивости.

Onečiščenje atmosfere v Mežiški dolini

Podan je pregled rezultatov dvoletne raziskave onečiščenj v atmosferi Mežiške doline. V okviru tega je bila izdelana posebna spektrografska metoda za določevanje sledov kovin v atmosferi in organizirana široka kontrolna mreža v Železarni Ravne in celi dolini. Obdelani in karakterizirani so viri emisij v Železarni Ravne in njihov vpliv na zunanjo atmosfero. Na osnovi tega so podani tehnološki ukrepi, ki so potrebni za zmanjšanje škodljivih emisij v Železarni in njeni okolici.

Problem onečiščenja zraka v industrijskih področjih je slično problemu odpadnih voda prerastel v problem svetovnih dimenzij. Skoraj ni industrijske veje, zlasti v bazični industriji, ki ne bi bila prizadeta s to problematiko. Reševanje te problematike se deli danes v dve osnovni smeri: preprečevanje ali vsaj zmanjševanje škodljivih emisij in odstranjevanje njihovih posledic. Medtem ko v razvitejših deželah že celo desetletje uspešno delajo na tem področju, so se pri nas začeli zanj zanimati v večji meri šele pred dobrima dvema letoma. Povod za bolj sistematičen pristop v večjem obsegu je bila naša zakonodaja z odredbo o prijavi objektov, ki lahko onesnažijo zrak in določbo o odstranitvi vseh virov onečiščenja atmosfere do približno konca letošnjega leta. Železarna Ravne je skupno z Zavodom za zdravstveno varstvo v Mariboru uvedla sistematsko reševanje tega problema na svojem neposrednem in posrednem območju, to je v Mežiški dolini, že leta 1967. Končni namen našega dela raziskovalnega programa je bila tehnološka rešitev problema zmanjšanja emisij na področju Železarne Ravne.

Vsaka tehnološka rešitev mora bazirati na zanesljivih podatkih, ki omogočajo pravilno dimenzioniranje in ukrepe. Poznati je treba vrste in vire emisij, količino in razporeditev ter faktorje, ki vplivajo na te parametre. V Mežiški dolini imamo tri glavne vire emisij: Železarna Ravne, Rudnik in topilnica svinca Mežica in naselja. Predhodne raziskave so pokazale, da imamo opravka le s plinskimi in trdnimi emisijami: od prvih je važen le žveplov dioksid, ki se le malenkostno oksidira v trioksid, od trdnih pa prah, ki ga sestavljajo saje ter kovinski oksidi, predvsem železa, cinka, svinca in silicija z zelo majhnimi količinami mangana,

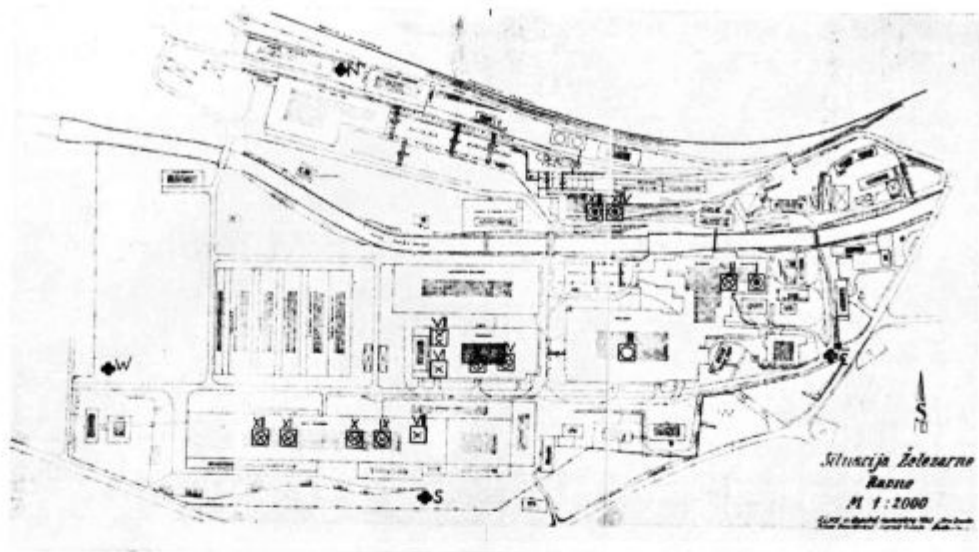
vanadija, magnezija in kroma. Žveplov dioksid prihaja iz kurišč vseh treh virov in iz prazilnih peči v Žerjavu; prah emitirajo isti viri, le da se bistveno razlikuje sestav kovinskih oksidov.

Razporeditev virov emisij znotraj Železarne Ravne prikazuje slika 1.

Na situaciji je 37 glavnih virov emisij, ki jih karakterizira tipična emisija. Nekateri viri emisij so si skoraj identični ali vsaj zelo podobni. Take vire smo grupirali in med njimi izbrali tipičnega zastopnika, ki je obdan s kvadratom. Tako smo skrčili število merskih mest, kar nam je sploh omogočilo nadaljnje spremljanje karakteristik virov emisij. Žveplov dioksid, zaznamovan s krogom, emitirajo predvsem žarilne peči in valjarni, čistilnici, topilnici in kovačnici ter kurišča v kotlarni. Saje dajejo predvsem mazutna kurišča zaznamovana s črno točko. Prah emitirajo poleg kurišč tudi ventilacijske naprave in so odgovarjajoči viri zaznamovani s črko X. Pogled na situacijo nam pove, da je težišče virov emisij potisnjeno na južno stran Meže in poteka približno paralelno k vzpetinam, ki na južni strani obrobajo ta del doline. Na štirih nebesnih straneh situacije so postavljene postaje prašnih odsedalnikov. Na vzhodni strani pri črki E se vršijo meteorološke meritve.

Absolutna količina emisij zavisi od števila in jakosti virov ter njihovega obratovalnega časa. Ugotovitev števila in obratovalnega časa je relativno lahka, jakost pa lahko določimo le eksperimentalno z merjenjem pretoka v dimovodih in ekshaustorjih ter sistematsko kvantitativno analizo dimnih plinov in ekshalatov. Teoretsko jakost kurišč lahko izračunamo iz podatkov za porabo, vrsto in kvaliteto uporabljenih goriv. Osnovna masa emitiranih nečistoč je direktno ali indirektno vezana s proizvodnjo v danem obdobju. Razporeditev emisij na določenem teritoriju pa zavisi od njihovih fizikalnih in kemičnih lastnosti ter topografskih in meteoroloških prilik. S tem smo se dotaknili tudi parametrov, ki vplivajo na koncentracijo posameznih emisij na določenem kraju in v določenem času.

Najprej smo morali ugotoviti dejansko stanje, prvič na virih emisij in drugič v zunanji atmosferi. V ta namen smo najprej izbrali ali izdelali merske metode, nato pa organizirali kontrolno mrežo. Za določitev teoretske količine žveplovega dioksida smo spremljali vrsto in porabo goriv, ki smo jih ves čas kontrolirali na gorljivo žveplo. Dejansko količino žvepla v dimnih plinih smo kontrolirali



Slika 1
Karakteristični viri emisij

s poznano jodometrično metodo. Prah v dimnih plinih in ekshalatih smo določevali reflektometrično s fotoelektričnim reflektometrom. Dimni plan oz. ekshalate smo prečrpavali s pomočjo vi-



Slika 2
Postaja odsedalnikov

sokotlačne črpalke skozi lovilec z gostim belim filtrirnim papirjem Watmann 1, na katerem smo potem reflektometrirali dobljeni madež. Sestav prahu smo določili spektrografsko, kot bomo videli kasneje pri zunanji atmosferi. Količino počasi se odsedajočega prahu v atmosferi nad teritorijem železarne smo določili s štirimi postajami vertikalnih odsedalnikov razporejenih na nebesnih straneh teritorija. Po desetdnevnih ciklikih odsedanja smo celokupne in usmerjene prekrivalne faktorje določili absorpciometrično z »Dust pollution metrom«. Postajo odsedalnikov prikazuje naslednja slika 2.

Hitro in počasi odsedajoči prah ter del lebdečega prahu smo na teritoriju Zelezarne in celotne Mežiške doline določili po kolektorski metodi s snegom. Pri odsedalnih postajah in na desetih mestih vzdolž doline smo vzeli kvadratni meter snežne odeje ter v njem določili količino in sestav prahu. Ker je za števila sondiranja na celotnem teritoriju ta metoda neizvedljiva, smo razvili posebno vrsto snežne sonde, ki jo prikazuje slika 3.

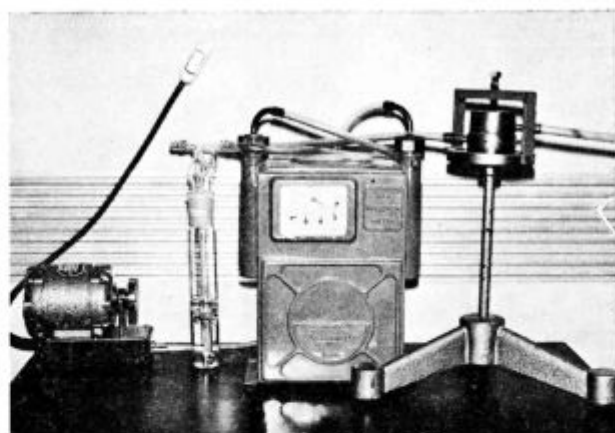
S to plastično sondo odvezamo po celi debelini manjšo količino snega, ki ga kar v sondi prenesemo v laboratorij, raztalimo in prefiltriramo skozi filter v glavi sonde. Prah se prilepi na gost filtrirni papir Watmann 1, kjer daje madež, ki nam omogoča reflektometrično določitev količine prahu in naknadno spektrografsko določitev sestave prahu. Za določevanje žveplovega dioksida in prahu v zunanji atmosferi vzdolž cele doline smo postavili devet kontrolnih črpalnih postaj. Na naslednji specialki Mežiške doline, slika 4, je njihov položaj zaznamovan s točko.

Trikotniki označujejo mesta, kjer smo odvzeli kvadratni meter snežne odeje. Slika 5 prikazuje izgled take črpalne postaje.

Majhna membranska črpalna prečrpa ca. 2 m³ zraka v 24 urah, točno količino kaže plinska ura;



Slika 3
Sonda za odvzem vzorcev snega



Slika 5
Črpalna postaja za kontrolo zunanje atmosfere

služi za reflektometrično določitev količine prahu in naknadno spektrografsko analizo sestave prahu. Te črpalke delujejo neprenehoma že drugo leto, vzorce odvezemajo vsakih 24 ur.

Največji problem pri tako velikem številu vzorcev je bilo kontinuirno določevanje sestave prahu. V ta namen smo izdelali izvirno spektrografsko metodo, ki je rešila ta problem. Izhajamo iz omejenih filtrov, ki jih direktno uporabimo za spektralno analizo prahu. Da bi se izognili kontaminaciji, vršimo vse operacije s tefloniranim orodjem v spektralno aseptični komori. Določeni del filtra izrežemo z mikropipeto, naparimo interni standard ter papir osušimo z infra-grelcem. Papir vstavimo v krater čiste grafitne elektrode in ga vzbujamo z lokom istosmernega toka v nehomogenem magnetnem polju (slika 6).

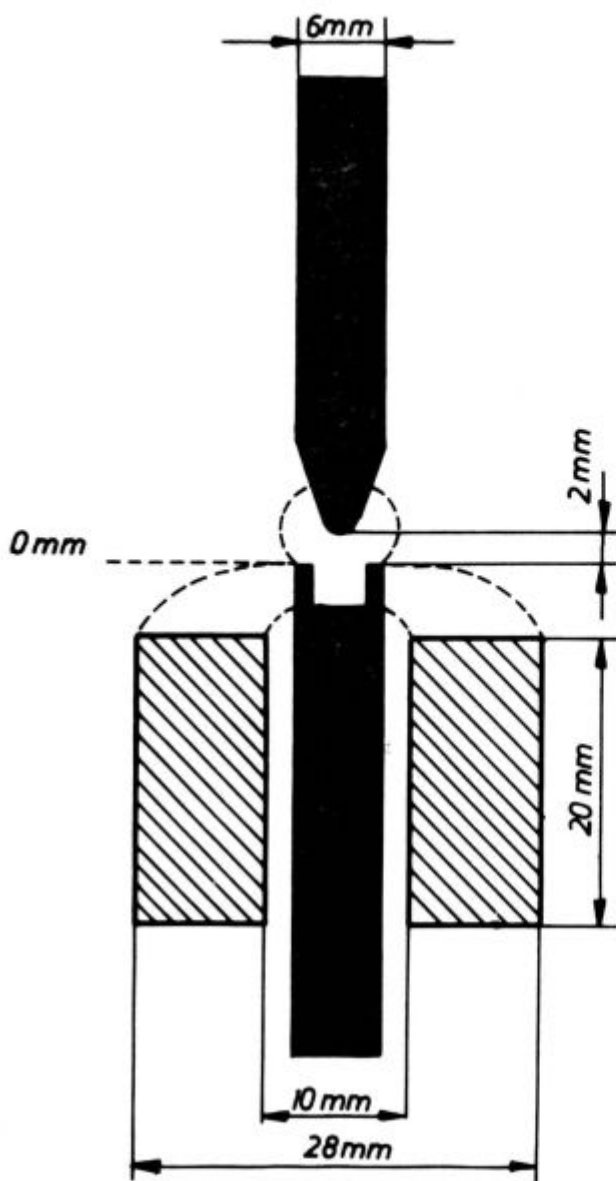
Spekter snemamo na mrežnem spektrografu PGS 2. Na Abbejevem komparatorju napravimo kvalitativno analizo ter poiščemo analizne spektralne črte, ki jih označimo na projektorju. Kvantitativno analizo napravimo na registrirnem mikrofotometru, rezultate pa izračunamo s pomočjo kalkulatorja. Umeritvene krivulje so izdelane za Zn, Pb, Fe, Si, Mg, V, Mn in Cr ter obsegajo področje absolutnih količin od 0,1 do 100 μg metala. Isti postopek je možen tudi s filtrirnimi papirji iz snežnih sond. Glavne meteorološke parametre, kot temperaturo, pritisk, vlago, popis vremena ter smer in jakost vetra smo merili trikrat dnevno na vzhodni odsedalni postaji v Železarni. Uporabili smo standardne metode meritve. Neprekinjena kontrola teče že drugo leto. Za kontinuirnost, transport, oskrbo ter zbiranje in dokumentacijo podatkov smo organizirali kontrolno mrežo. Podatke dnevno dokumentiramo tudi grafično, kot je razvidno iz slike 7.

Spodaj je nomografsko prikazana dnevna poraba posameznih goriv, nad tem je z zvezno črto prikazana teoretska količina emitiranega žveplovega dioksida, križci pa vsak teden prikazujejo dejansko ugotovljeno količino. Eno periodo višje je prikazano nihanje koncentracije žveplovega dio-



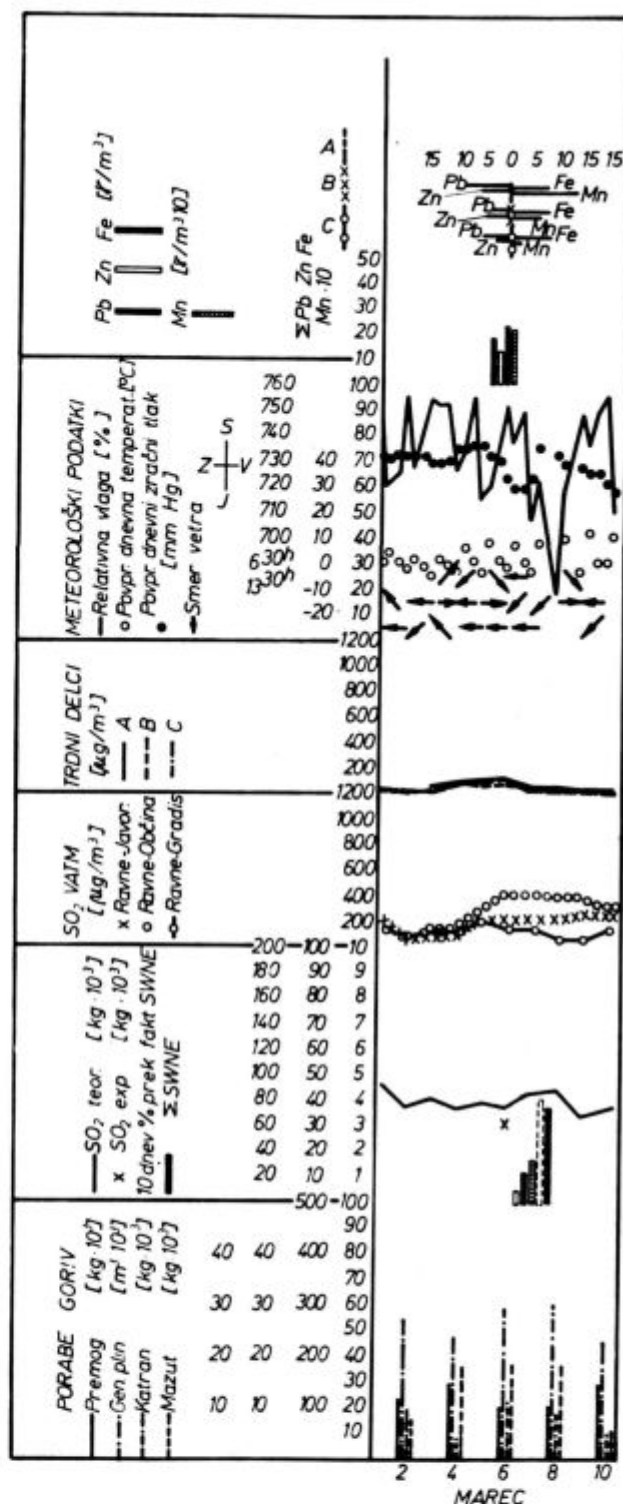
Slika 4
Razpored črpalnih postaj in odvzemnih mest v Meziški dolini

prah zadrži čistilec z gostim filtrirnim papirjem. Tako očiščen plin prehaja skozi izpiralko za absorbcijo in določevanje žveplovih oksidov z acidimetrično metodo. Madež prahu, dobljen na filtru,



Slika 6
Shema vzbujanja v magnetnem polju

ksida v okoliški atmosferi, določeno na treh črpalnih postajah ABC v bližini Železarne Ravne. Nad tem je analogno prikazana dnevna koncentracija prahu na istih postajah. Vse te vrednosti so prikazane kot 24-urno povprečje. Količino odsedlega prahu in smerno razporeditev nam prikazujejo tudi nomogrami v drugi periodi. Ti nomogrami prikazujejo celokupni in usmerjeni 10-dnevni prekrivalni faktor izražen v procentih. Iz tega lahko določimo količino prahu, ki se je ovsedel na omenjenem teritoriju Železarne Ravne in sklepamo na smerno razporeditev količine. V peti periodi so meteorološki podatki: smer vetra je zaznamovana s puščicami, pika pa pomeni tišino. Gibanje temperature prikazuje krogi, pritiska pa točke. Nihanje zračne vlage v relativnih procentih prikazuje izvlečena črta. V gornji periodi je prikazana



Slika 7
Izsek iz grafičnega spremljanja dnevnih parametrov

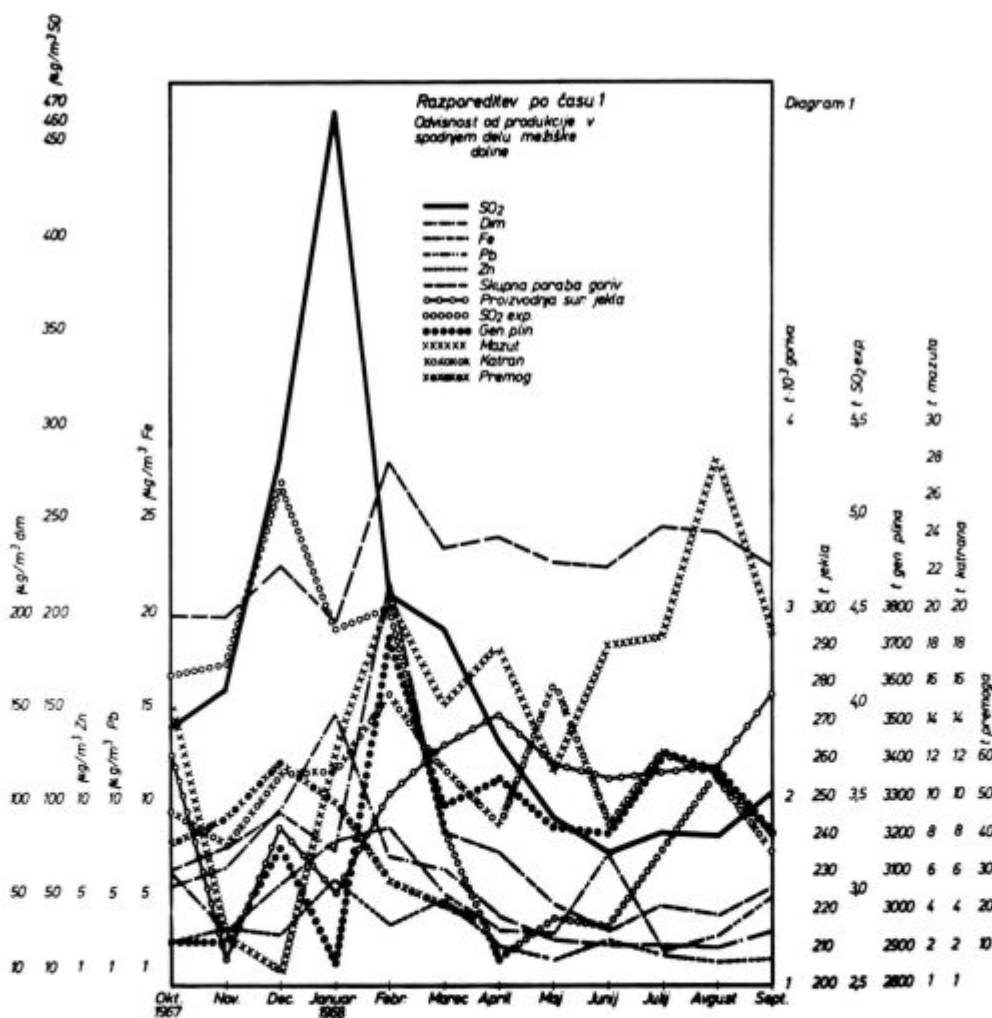
količina štirih tipičnih kovin v prahu, filtriranjem na omenjenih treh črpalnih postajah. Zaradi preglednosti sta izbrana le cink in svinec kot tipična predstavnika Mežice ter železo in mangan kot tipična predstavnika Železarne Ravne; ker se ti dvojnici lahko širita le v eni smeri, so nomogrami usmerjeni in sicer za svinec in cink od zahoda proti

vzhodu, za železo in mangan pa obratno. Pod temi usmerjenimi nomogrami so normalni pokončni nomogrami, ki prikazujejo vsoto koncentracij omenjenih metalov na vseh treh postajah v neposredni bližini Zelezarne Ravne. Sestav prahu je določen vsako sredo v tednu. S pomočjo teh diagramov lahko reproduciramo stanje in pogoje za vsak dan v kontrolnem obdobju.

Iz take mase rezultatov je težko dati kratek pregled njihove obdelave, vendar bomo to skušali prikazati z naslednjimi tremi diagrami in zaključkom. Slika 8 prikazuje razvoj mesečnih povprečij koncentracij glavnih emisij po času in skuša najti zvezo s proizvodnimi prilikami. Različno izvlečene črte pojasnjene v legendi prikazujejo gibanje SO₂, dima, železa, svinca in cinka. Ostale krivulje prikazujejo gibanje skupne porabe goriv, povprečno proizvodnjo surovega jekla, in eksperimentalno količino emitiranega žveplovega dioksida. Nadalje je prikazana povprečna mesečna poraba generatorskega plina, mazuta, katrana in premoga. Na prvi pogled vidimo, da so povprečne mesečne koncentracije v spodnjem delu Mežiške doline občutno večje v zimskem času in relativno zelo nizke poleti.

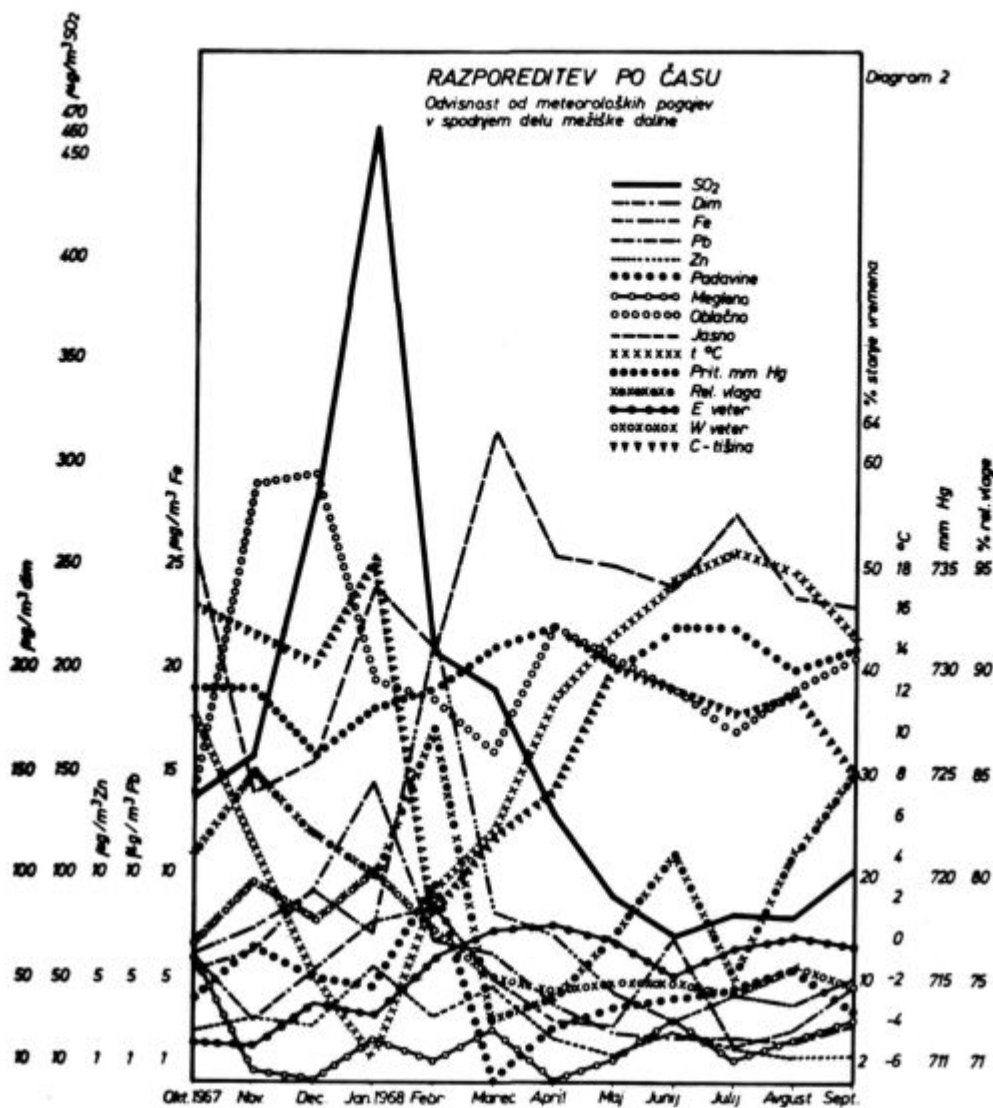
Žveplov dioksid, prah in cink imajo svoj rezki maksimum v januarju, odgovarjajoči maksimum železa in cinka pa je pomaknjen na februar, kar je po vsej verjetnosti zvezano z drugačnimi lastnostmi njihovih oksidov. V poletnem času potekajo krivulje za emisije precej paralelno in se dokaj ujemajo s potekom proizvodnje surovega jekla in celokupne porabe goriv. V zimskem času ne najdemo nikakršne zakonitosti, ker neprimerno bolj vplivajo meteorološki pogoji. To se bolje vidi na naslednjem diagramu na sliki 9. Tu je prikazan isti letni potek obravnavanih emisij v primerjavi z meteorološkimi povprečji. Januarski maksimum za SO₂, prah in cink sovpada z maksimumom tišine, ki je tu usodna zaradi zimske inverzije, ki jo nakazuje tudi temperaturni minimum v tem času. Maksimum sovpada tudi z minimom padavin in relativne vlage, ter maksimumom zahodnih vetrov, ki kopičijo emisije v spodnjem delu Mžežiške doline ter jih donajajo tudi iz gornjega dela.

Februarski maksimum za svinec in železo sovpada z maksimumom padavin in relativne vlage, ki morda zaradi lastnosti teh oksidov igrajo določeno vlogo pri tvorbi tega maksima. Te odvisnosti



Slika 8

Spremembe koncentracij in pogojev v teku kontrolnega leta z ozirom na tehnološke pogoje



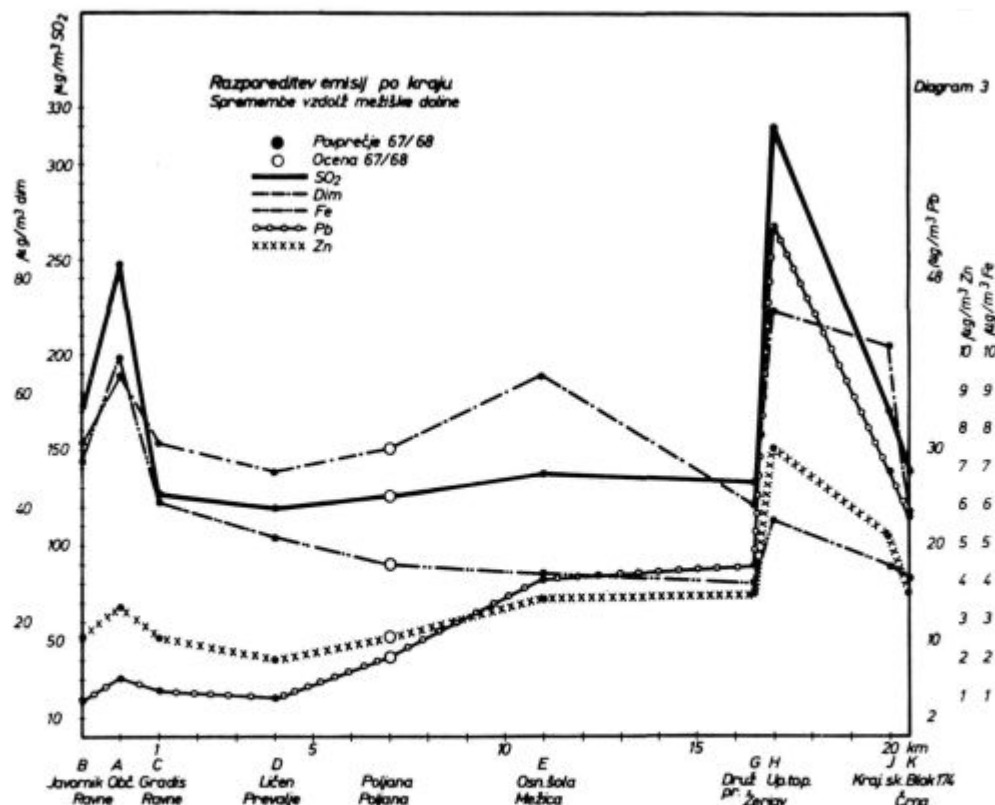
Slika 9

Spremembe koncentracij in pogojev v teku kontrolnega leta z ozirom na tehnološke pogoje

so vidne v glavnem le pozimi, poleti pa so zabrisane po vsej verjetnosti zaradi zadostne migracije emisij in ugodnejših meteoroloških pogojev. Poletni minimum nastopa pri visoki temperaturi in zračnem pritisku kljub relativno visoki tišini in relativni vlagi. Žal nam niso znani proizvodni pogoji v Rudniku in topilnici Mežica, kjer bi nam morda ti razložili junijski maksimum za cink in svinec, ki ga po vsej verjetnosti ne moremo razložiti z maksimumom relativne vlage v tem času. Na splošno lahko zaključimo, da so poletne koncentracije emisij razen svinca v območju koncentracij, ki so pod higienskimi tolerancami. Svinec je izjema zaradi njegove izredno nizke tolerančne vrednosti. V zimskem času narastejo koncentracije emisij preko toleranc, na kar vplivajo meteorološki pogoji, zlasti inverzija, ki je tipična za Mežiško dolino. Določen delež k temu prispeva tudi takratna povečana poraba goriv v naseljih, ki prispevajo v tem času n. pr. od 30 do 40 % žveplovega dioksida in dima.

Razporeditev omenjenih tipičnih emisij vzdolž doline prikazuje diagram na sliki 10.

Na abscisi so nanešene razdalje v km vzdolž ceste Ravne—Črna in označen položaj posameznih črpalnih postaj na tej trasi. Na ordinato so nanešena letna povprečja koncentracij posameznih emisij na omenjenih črpalnih postajah. Koncentracije so izražene v mikrogramih SO₂, dima in kovin na m³. Vse emisije imajo dva tipična maksima in sicer v Žerjavu in v naselju v Ravnah. Maksimi v Žerjavu so neprimerno večji, razen pri železu, kjer je maksimum v Ravnah iz razumljivih razlogov občutni višji. Koncentracije emisij padajo v smeri od Žerjava proti Ravnah, železo pa seveda v obratni smeri. Rezki minimum na postaji G nastopa zaradi slabe namestitve črpalne postaje v vertikalnem mrtvem kotu. Diagram jasno kaže razmerje koncentracij emisij in dokazuje možnost dotoka emisij iz gornjega dela Mežiške doline v spodnji in obratno, kar se je dosedaj smatralo za



Slika 10
Spremembe koncentracij vzdolž Mežiške doline

nemogoče. Maksimum na postaji A v Ravnah nastopa zaradi topografskih in meteoroloških okoliščin. Kje se giblje n. pr. zrak onečiščen s svincem v smeri od Žerjava proti Ravnam prikazuje naslednja slika 11.

Prikaz je dobljen s sondiranjem snega na celotnem področju in s spektrografsko določitvijo svınca v preostalem prahu. Velikost črnih točk na specialki ilustrira določeno količino svınca v enem

kg snega; čim večji je premer točke, tem večja je koncentracija svınca. Zaradi preglednosti so na specialko nanešene le vrednosti, ki so višje od letnega povprečja. Jasno se vidijo trije topografski kanali, po katerih se giblje s svincem onečiščen zrak v smeri od zahoda proti vzhodu. Podobno sliko dobimo tudi pri nanašanju koncentracij drugih kovin.

Na podlagi rezultatov kontrolnih meritev in njihovi primerjavi lahko na koncu napravimo nekaj zaključkov o stanju in vzrokih onečiščenja atmosfere v Mežiški dolini in ukrepih, ki bi bili potrebni za saniranje tega stanja. Z zdravstvenega stališča je najnevarnejše onečiščenje zraka s svincem. Povprečna letna koncentracija svınca v Žerjavu je $53,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka, v Ravnah pa $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka; povprečna koncentracija svınca v gornjem delu Mežiške doline je okrog $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v spodnjem delu doline pa $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Če to primerjamo z mednarodnimi normami in predlogom Jugoslovanskega standarda, ki dopušča za zunanjo atmosfero maksimalno $0,7 \mu\text{g}$ svınca na m^3 zraka, vidimo, da so dejanske koncentracije v Žerjavu približno 100 krat, v Ravnah pa približno 10 krat višje od dopustnih. Druga nevarnost za zdravstvo so saje z adsorbiranimi ostanki katrana, ki vsebuje kancerogene snovi. Maksimalna dopustna količina saj v zunanji atmosferi je $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Letna povprečja saj torej na nobeni kontrolni postaji v Mežiški dolini ne presegajo te norme, v mrzlih mesecih pa se



Slika 11
Topografske poti onečiščenja zraka

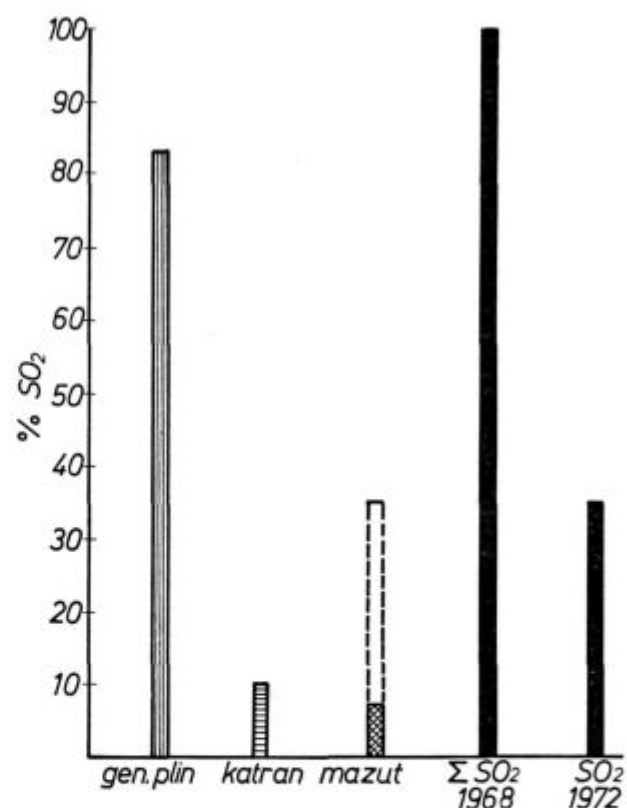
povzpnejo povprečja znatno preko dovoljenega praga. Tretja neprimerno manjša nevarnost za zdravje je inertni ali netoksičen prah, ki ga pri naših vrednostih lahko istovetimo z dimom. V to grupo lahko prištejemo tudi železo in cink, ki v takih količinah nista toksična. Predlog dopušča maksimalno koncentracijo prahu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka; v Mežiški dolini nobeno letno povprečje ne presega te vrednosti, mesečna povprečja pa v nekaterih bolj naseljenih krajih v decembru ali januarju nekoliko presežejo to vrednost; pri pregledu dnevnih situacij pa najdemo dneve, ko je ta maksimum močno prekoračen. Četrta nevarnost je žveplov dioksid, ki ga omenjeni predpisi dovoljujejo $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka. Povprečna letna koncentracija v celotni Mežiški dolini je višja od dovoljenega maksima in znaša v spodnjem delu doline 166, v zgornjem pa $179 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mesečna 24-urna povprečja so v topljem delu leta manjša od tega dovoljenega maksima, v hladnem delu leta pa ga prekoračujejo. Z ozirom na posamezne kontrolne postaje prekoračujejo te norme v letnem povprečju le postaje A in B v Ravnah, H v Zerjavu in J v Črni. Na omenjenih postajah so tudi mesečna povprečja v hladnem delu leta redko preko te norme. Na ostalih postajah se to zgodi le v zelo hladnih mesecih v času največje inverzije, torej v decembru, januarju in redkeje v februarju. Pri pregledu dnevnih situacij pa najdemo dneve, ko je pri virih emisije žveplovega dioksida tudi več kot 10 krat prekoračena dopustna koncentracija. Ostale nevarne kovinske nečistoče, ki smo jih zaznali v določljivih količinah kot krom, mangan in silicij nastopajo v izredno nizkih koncentracijah, ki so tudi v najslabših primerih globoko pod dopustnimi mejami po predlogu jugoslovanskega standarda. Drugih škodljivih emisij v dolini nismo ugotovili. S stališča vegetacije in nanjo vezanih panog pa je najnevarnejši žveplov dioksid, čeprav njegove koncentracije zlasti v spodnjem delu doline niso tako visoke. Njegovo delovanje namreč pojača prah, zlasti svinčev in cinkov, ki direktno in indirektno vpliva na vegetacijo. Prah svinčevega in cinkovega oksida je dosti bolj nevaren kot žveplov dioksid, saj je znan njun vpliv na zemljo in asimilacijo.

V okviru potrebnih tehnoloških ukrepov smatramo za največji korak že izvedeno namestitev filtrov za svinčev oksid v Zerjavu, ki je bila zelo nujna zaradi izredne toksičnosti svinca in fizioloških okvar, ki jih je že povzročil, zlasti na otrocih. Efikasnost filtrov bo pokazalo naslednje kontrolno obdobje. Tak filter bi rešil tudi vprašanje cinka ter v veliki meri vprašanje inertnega prahu in saj. Vprašanje saj bi na vseh kuriščih lahko rešili tudi s popolnejšim zgorevanjem goriv, torej pravilnim vodenjem procesa kurjenja. V kolikor to ne bi zadostovalo, bi morali uvesti naknaden sežig v dimovodih. Vprašanje saj je poleg svinca bistveno za zdravje prebivalstva. Z rešitvijo vprašanja saj bi istočasno po vsej verjetnosti zadovoljivo rešili tudi celotno vprašanje količine inertnega prahu, saj bi s tem le-ta padel globoko pod predpisane

maksimalne vrednosti. Za eliminiranje železovega oksida je le ena možnost in to namestitev zadovoljivih odpraševalnih naprav pri obločnih pečeh v Železarni Ravne. Ostane nam še vprašanje žveplovega dioksida, ki je nevaren predvsem za vegetacijo. Rešitev tega vprašanja pa bi se obrestovala deloma tudi pri stroških, ki jih povzročata korozija objektov in naprav. Količine žveplovega dioksida so previsoke in jih je treba znižati vsaj toliko, da bi bile neškodljive v dobi vegetacije. Pri največjem viru v Zerjavu obstoja po našem mnenju le ena rešitev in sicer filtracija ali predelava. Gradnja ogromnega podaljška sedanjega dimovoda po vsej verjetnosti ne bi bila zadosti efikasen ukrep. V Železarni Ravne je po našem mnenju tehnološko in ekonomsko najugodnejša rešitev prehod na goriva z manjšo količino žvepla. Prvi korak je bil že napravljen z ukinitvijo direktne uporabe premoga, kar se je že zrcalilo na manjših količinah žveplovega dioksida v drugi polovici kontrolnega leta.

Pot do končne tehnološke kalkulacije in rešitev problema emisij v Železarni Ravne je bila zelo dolga in naporna, vendar se je trud izplačal, ker se je pokazalo, da je možna sorazmerno enostavna in cenena rešitev. Prikažemo jo lahko s preprostim nomogramom na zadnji sliki 12.

Nomogram prikazuje procentni doprinos posameznih goriv k emisiji žveplovega dioksida. Od celotne količine emitiranega žveplovega dioksida v Železarni Ravne odpade 93 % na generatorje, predvsem na generatorski plin in manj na katran.



Slika 12
Procentni doprinos k emisiji SO₂

Preostalih 7 % odpade na mazut. Če bi ukinili generatorje ter generatorski plin in katran nadomestili z mazutom ali celo z mešanico butan-propan, bi popolnoma rešili vprašanje žveplovega dioksida. Čeprav bi do končnega plafona proizvodnje povečali količino mazuta sedanje kvalitete petkrat, bi količina emitiranega žveplovega dioksida ne dosegla niti ene tretjine sedanje, kar bi bilo kljub naselju in dotoku iz gornje Mežiške doline globoko izpod toleranc. S povečanjem količine mazuta pa bi se povečala nevarnost saj, ki pa bi jih lahko odpravili s pravilnim režimom kurjenja.

Dosedanje raziskave v tej smeri so pokazale, da je mazut glavni vir saj zaradi slabega sistema razprševanja, ki daje za obstoječe retencijske čase v gorilni coni prevelike kapljice mazuta in prevelik balastni podpih. Z rešitvijo problema saj bi istočasno po vsej verjetnosti zadovoljivo rešili tudi celotno vprašanje količine inertnega prahu, saj bi s tem le ta padel globoko pod predpisane maksimalne vrednosti. S tem bi eliminiranje železovega dioksida ne bilo več neobhodno in bi postala namestitev zadovoljivih odpraševalnih naprav pri obločnih pečeh le zaželjena ne pa neobhodna. Verjetno bi jih namestili le zaradi zaščite samega obrata in njegove neposredne okolice. Jasno pa je, da bo treba vsak opisan ukrep kontrolirati, torej v obdobjih pred, med in po ukrepanju spremljati vrsto, količino in gibanje odgovarjajočih emisij v atmosferi. V nasprotnem primeru ne bo imel ne ekolog ne tehnolog nobenega oprijemljivega podatka, napotka in dokazila.

V sodelovanju med kemijskim oddelkom Železarne Ravne in Zavodom za zdravstveno varstvo v Mariboru je nastala dvoletna študija problemov onečiščenja atmosfere v Mežiški dolini s posebnim ozirom na Železarno Ravne. Znotraj železarne in v celi dolini je bila organizirana široka kontrolna mreža za zasledovanje žveplovega dioksida, prahu, sestave prahu in meteoroloških pogojev. Uporabljene so znane kontrolne metode, za sestavo prahu pa je izdelana specialna spektrografska metoda za določevanje sledov kovin v ozračju direktno s filtra črpalne naprave. Zaradi obširnosti raziskav je v članku podan samo pregled rezultatov, obdelan po kraju, času in tehnoloških pogojih v proizvodnji. Ugotovljeno je, da vpliva tehnologija v Železarni Ravne precej konstantno na onečiščenje atmosfere in torej ne povzroča močnih nihanj koncentracij škodljivih emisij, medtem ko na spre-

membo koncentracij močno vpliva lokacija virov in meteorološki pogoji. Koncentracija svinca in cinka pada od izvora v Žerjavu proti spodnjemu delu Mežiške doline in dosega v Ravnah vrednosti, ki so 5 do 10-krat nad higienskimi tolerancami. Podobno se gibljejo tudi koncentracije žveplovega dioksida in SO_2 , ki imajo svoj izvor z manjšim maksimumom tudi v Železarni Ravne in so zlasti v zimskem času nekoliko nad higienskimi tolerancami. Koncentracija železovih oksidov z izvorom v Železarni Ravne znatno hitreje pada v smeri gornje Mežiške doline. Najbolj nevarne nečistoče so poleg svinca saje z ostanki katrana, ki je produkt nepopolnega zgorevanja na vseh industrijskih in neindustrijskih kuriščih. Slednja prispevajo od 30 do 40 % dima in žveplovega dioksida. Nečistoče prehajajo iz gornjega dela doline v spodnji in obratno, v glavnem po treh topografskih kanalih, ki so določeni s sondiranjem in analizo snega na celotnem področju.

Koncentracije vseh nečistoč imajo svoj veliki in izraziti maksimum v zimskem času, kar je posledica ostro izražene inverzije v tem obdobju. Koncentracija žveplovega dioksida je nad dovoljenimi tolerancami le v zimskem in pomladanskem času, v poletnem in jesenskem času pa le zelo redko. Žal segajo previsoke koncentracije žveplovega dioksida tudi v zgodnjo rastno dobo. Še bolj kot žveplov dioksid pa uničujejo vegetacijo relativno velike količine svinčevih in cinkovih oksidov, ki delujejo na vegetacijo direktno in indirektno.

Z notranjo kontrolno mrežo v Železarni Ravne so ugotovljeni, sistemizirani in preiskani vsi viri škodljivih emisij. Glavni in praktično edini vir žveplovega dioksida so v Železarni Ravne goriva, predvsem generatorski plin in katran, ki da okrog 93 % celotne količine, dočim odpade na mazut le 7 %. Če bi ukinili generatorje ter generatorski plin in katran nadomestili z mazutom ali celo z mešanico butan propan, bi popolnoma rešili vprašanje žveplovega dioksida. Saje bi lahko odpravili s poboljšanjem kurišč in pravilnim režimom kurjenja, s čemer bi deloma znižali tudi količino prahu. Poleg kurišč so glavni viri prahu obločne peči, ki bi jih bilo treba opremiti z odpraševalnimi napravami. Iz ugotovitev je razvidno, da bi problem škodljivih emisij v Železarni Ravne lahko rešili na tehnološko dokaj enostaven način in nakup dragih filternih naprav ne bi bil potreben.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Übersicht der Untersuchungsergebnisse der zweijährigen Untersuchungen über die Verunreinigung der Luft im Mežica Tal ist gegeben. In diesem Rahmen ist auch eine spectrographische Methode für die Bestimmung der Spurenelemente in der Luft ausgearbeitet worden.

Ein breites Kontrollnetz im Hüttenwerk Ravne und im ganzen Tal ist organisiert worden. Die Emissionsquellen

in Hüttenwerk Ravne und dessen Einfluss auf die äussere Atmosphäre sind bearbeitet und charakterisiert worden. Auf Grund dieser Untersuchungen sind technologische Massnahmen angegeben, die nötig sind, um die schädlichen Emissionen im Hüttenwerk und seiner Umgebung zu verringern.

SUMMARY

A review of results of the two-years investigations on the pollution of the atmosphere in Mežica valley is given. For this purpose a special spectrographic method for determining the traces of metals in the atmosphere was developed and a wide control network in Ravne Ironworks

and in the whole valley was organized. Sources of the emissions in the Ravne Ironworks and their influence on the external atmosphere were investigated and characterized. Based on these findings technological measures were prescribed to reduce the harmful emissions in the ironworks and their surroundings.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты двухлетнего исследования загрязнения атмосферы в долине Межицы (Mežica). Чтобы успешно выполнить это исследование выработан специальный спектрографический метод для определения следов металлов в атмосфере а также организована широкая контрольная сеть в заводе чёрной металлургии Равне (Zelezarna Ravne) и во всей долине. Разработаны

и определены все источники эмиссии и их влияние на внешнюю атмосферу.

На основании полученных данных изложены технологические меры необходимы для уменьшения количества вредных эмиссий в заводе и его окрестности.

Uporaba kemično vezanih mas za žlebove jeklarskih peči

Da bi se zmanjšale možnosti onečiščenja jekla pri izlivanju iz peči so bile pripravljene mase za oblogo žlebov in drugih delov peči na podlagi magnezita s kemično vezavo. Uporaba teh mas v praksi je pokazala, da je obraba monolitne obloge minimalna, s tem pa je možnost nastajanja eksogenih vključkov iz žlebu znižana na minimum, obenem pa je vzdrževanje žlebov zelo poenostavljeno. Poraba mase v žlebovih je približno 0,36 kg/t ali 0,9 din/t jekla. Stroški so približno trikrat nižji, kot pri izzidavi z opeko. Na podlagi tega so vsi žlebovi pri električnih obločnih pečeh na Ravnah bili v 1969. letu že izzidani z maso, na Jesenicah pa za začetek pri martinovkah, kjer je bilo žlebove lažje pripraviti.

UVOD

Pri ugotavljanju izvirov eksogenih nekovinskih vključkov v nekaterih jeklih smo z vgraditvijo izotopa cirkonija v šamotne opeke za ponev, v šamotno cevno opeko za vlihanje jekla in v kislno maso za oblaganje izlivnega žleba peči ugotovili, da je prišel sicer količinsko največji del teh vključkov v jeklo iz poneve, relativno zelo velik del pa je izviral iz izlivnega žleba¹.

Ko smo iskali možnosti za zmanjšanje količine eksogenih ali sekundarnih nekovinskih vključkov v jeklu, smo pripravili za ponev opeko na podlagi korunda s približno 85 % Al_2O_3 , ki smo jo prav tako aktivirali s cirkonijevim izotopom. Opeka je imela izvrstne lastnosti, njena poroznost je bila pod 18 % in mehanska tlačna trdnost 1500 kp/cm². Pri preizkusu v 45 t ponvi pri električni obločni peči na Ravnah je vzdržala 48 šarž, kar je bil prav dober rezultat glede na to, da je bila njena debelina le 90 mm namesto 150 mm, kot pri običajni izzidavi. Pri meritvah količine vključkov iz poneve se je dalo ugotoviti, da je bilo teh približno 3 krat manj kot pri običajni izzidavi s šamotno opeko. Vključki iz žleba pa so bili v jeklu v običajni količini. Da bi odpravili tudi te, smo predlagali, naj se poskusi izzidati izlivni žleb z bazično maso, kakršno smo pripravili za izzidavo dna jeklarskih peči.

Pri opazovanju obnašanja kisle mase, s katero se običajno obloga žleb, smo ugotovili, da se med sušenjem ne utrdi, temveč da ostane sipka in jo talina močno odplavlja s seboj v ponev.

Vsa masa, ki je bila pred prebodom v žlebu, je bila po končanem izlivanju jekla iz peči v ponev temeljito vmešana v jeklu, nastali vključki pa so bili steklasti.

POSKUSNE MASE

Da bi nadomestili kisle mase z bazičnimi, smo sestavili večje število poskusnih mas na podlagi magnezita, gline in kemičnih veziv na podlagi polifosfatov. Ob tem smo posvečali veliko pozornosti predvsem granulometrični sestavi mas, temperaturi spekanja mas in njihovi odpornosti proti raznim talinam.

Po premisleku o načinu oblaganja žlebov smo prišli do sklepa, da bi morali pripraviti vsaj dvoje različnih mas. Ena naj bi bila primerna za izdelavo monolitne obloge žleba v debelini 30 do 50 cm, kot so bili žlebovi izzidani z opeko, druga pa naj bi bila primerna za krpanje poškodb na žlebu in za pripravo zaščitne prevleke prek podlage.

Naloga zaščitnega premaza naj bi bila dvojna: preprečil naj bi obrabo osnovne mase, če pa bi bilo treba žleb čistiti zaradi ostankov žlindre, naj bi se dal z lahkoto odluščiti od podlage z žlindro vred. Kvaliteta te zaščitne plasti pa bi morala biti takšna, da bi jo kljub majhni debelini tekoče jeklo ne odplavilo v ponev. Kemična odpornost proti delovanju žlinder je pri magnezitnih materialih zelo dobra, zato smo hoteli pripraviti mase tako, da bi bila njihova glavna komponenta sintermagnezit. Težave pa so bile predvsem v tem, ker je bilo treba najti najprimernejše vezivo, ki bi že pri sušenju dalo masi zadostno odpornost proti eroziji in bi se ne zmeščala pri visokih temperaturah, pri katerih se jeklo preliva prek žleba.

1. Laboratorijski poskusi

Na podlagi že prej izdelanih študij o lastnostih bazičnih mas² in preiskav lastnosti raznih proti ognju odpornih gradiv, smo pripravili večje število poskusnih mas, ki smo jih preskusili glede na njih mehansko odpornost po termični obdelavi pri različnih temperaturah, določili pa smo tudi njihovo odpornost proti delovanju raznih talin pri temperaturah do 1700° C.

Nekatere od preskušanih mas smo izbrali za nadaljnje raziskave in zbrali njihove glavne karakteristike v sledeči tabeli 1:

Tabela 1: Karakteristični podatki o lastnostih preskusnih mas

Oznaka	Zrnatost v mm			dodatki %		termična obdelava °C	mehanska trdnost kp/cm ²
	-0,1	0-6	0-2	glina	vezivo		
MF 1 G	25	40	20	10	5	100	190
						1000	210
						1420	340
						1680	360
MF 2 G	30	40	20	5	5	100	180
						1000	165
						1430	330
						1680	460
MF 12 F	30	—	55	10	5	100	240
						1000	300
						1430	480
						1680	600
MF 15 F	30	—	65	—	5	100	80
						1000	100
						1430	220
						1680	490
MF 17 F	30	—	60	5	5	100	200
						1000	180
						1430	380
						1680	550

Pri granulometriji smo se držali osnovnih teoretskih pravil³. Ta pravila povzamemo na kratko v sledečem poglavju.

2. Osnovna pravila granulometrije

V proti ognju odpornih gradivih so zrnati materiali navadno nepravilne ostrorobe oblike, ki se dobro zagodijo med seboj in se zato tudi ob majhnih količinah veziva lahko dobe velike trdnosti. Za teoretsko obravnavanje pa so take oblike zrn zelo neprimerne, zato so si pri študijah pomagali z modeli krogličnih oblik.

Če se sestoji masa iz kroglic ene same velikosti, so prostori med njimi 4 ali 3 ogelni. Največje možno število medsebojnih dotikališč krogel je 12 (koordinacijsko število 12), navadno pa dosežejo največkrat le število 7. Če se masa stresa in vibrira, je možno doseči lahko koordinacijsko število 8.

Premer krogel pa določa tudi velikost praznin med njimi. Kolikor finejše so kroglice, toliko finejše so tudi pore med njimi. Pri enaki absolutni vrednosti za poroznost je lahko pri eni sami masi velikost por večja, pri drugi pa manjša. Velikost por pa odločilno vpliva tudi na penetracijo taline v maso. Izbrati je treba tako velikost, da kapilarne sile ne pospešujejo penetracije, pore pa morajo biti tudi dovolj fine, da talina ne more prelahko prodirati vanje zaradi hidrostatične sile.

Pri izbiri dveh velikosti kroglic se gostota močno poveča, ker manjše zapolnijo prostore med večjimi. Razmerje med premeroma obeh vrst kroglic mora biti 1:50. Eksperimenti na podlagi računov so pokazali, da lahko s kroglicami dveh velikosti dosežemo koordinacijska števila 6 do 8 in poroznosti do 20 %. Takšna zmes vsebuje 70 % grobih in 30 % finih kroglic v razmerju $R_1 : R_2 = 1 : 50$. Pri masi iz kroglic ene same vrste lahko dosežemo največjo poroznost ca. 26 %. Pri uporabi treh vrst kroglic, lahko dosežemo že poroznost 6,18 %, če ima zmes koordinacijsko število 8 in če so razmerja med kroglicami 64,45 % R_1 , 25,25 % R_2 in 10,07 % R_3 .

Zaradi zelo nepravilne oblike keramičnih zrn pa naj bi sledila po Andreasenu razporeditev zrn geometrični vrsti. Količine posameznih granulacij morajo biti v soglasju z razmerjem:

$$\frac{dm}{m} \cdot b = \frac{dR}{R}$$

kar pomeni, da mora biti relativna sprememba količine v konstantnem razmerju q s spremembo radija. Po integraciji izraza dobimo:

$$m_R = \left(\frac{R}{R_{max}} \right) \cdot q$$

in to je razporeditvena krivulja gostega krogličnega polnjenja. Polnjenje bo tem boljše, čim manjši je q . Na podlagi teh predpostavk sta Fuller in Thompson⁴ določila najboljše sestave zrn za betonske mešanice.

Na podlagi krogelnega modela pa je Litzow⁵ tudi eksperimentalno določil pravila za sestavo optimalne zmesi granulacij, s katero dobimo najboljšo poroznost proti ognju odpornih mas.

Pri eksperimentiranju s 3 granulacijami:

a 2 do 5 mm

b 0,25 do 2 mm

c pod 0,25 mm

je dosegel izraziti maksimum gostote zmesi po stresanju mase.

Do podobnih rezultatov so prišli tudi drugi avtorji in za prakso poenostavljena pravila za doseg dobre gostote keramičnih mas pravijo, da naj bodo le-te sestavljene tako, da bo medsebojno razmerje grobih, srednjih in finih frakcij 52:11:37 delov, velikosti zrn pa naj se med seboj razlikujejo v razmerjih med 1:5 do 1:7. Menijo, da so fine frakcije do 0,2 mm, srednje od 0,2 do 1 ali 1,5 mm, vse druge debelejšje frakcije pa so grobe. Največja zrna naj bi ne bila večja od 1/10 debeline opeke ali monolitne plasti proti ognju odporne obloge. Navadno pripravljajo mase za nabijanje v granulacijah do 8 mm, za opeko pa do 5 mm.

3. Sestava poskusnih mas

Na podlagi navedenih predpostavk in tudi na podlagi poskusov z različnimi masami⁶ smo pripravili nabijalne mase v sledeči granulometrični sestavi:

nad 5 mm	3—6 %
od 5 do 3 mm	15—20 %
od 3 do 1 mm	15—20 %
od 1 do 0,5 mm	15—20 %
pod 0,5 mm	40—50 %,

v tej količini pa je vsaj 1/3 moke pod 0,1 mm.

Fine frakcije v masi močno vplivajo na to, kako se da maso nabijati, kolikšno mehansko trdnost pridobi in kakšna je njena gostota. Premalo moke v masi je navadno vzrok slabe odpornosti proti obrabi in proti penetraciji taline v globino obloge. Masa mora vsebovati tudi grobe frakcije, ker te zboljšujejo termično obstojnost mase in kot armatura povezujejo maso v trdno celoto.

Pomanjkanje katerekoli skupine zrn v masah lahko zelo kvarno vpliva na njih življenjsko dobo in povzroča težave pri vgradnji. Slabo sestavljene mase ne morejo bistveno popraviti niti dodane komponente za vezavo, bodisi kemične, ali pa keramične.

Kemična sestava mas temelji na uporabi sintermagnezita kot glavne komponente, in nekaterih veziv, ki pospešujejo sintranje mase in vežejo maso še v surovem stanju, takoj po sušenju. Teh dodatkov je v masi 7 do 10 %. Temeljne komponente so proti ognju odporne glinice in zmes polifosfatov, ki začno kemično vezati maso že med sušenjem. Mehanska trdnost mase je bila v suhem stanju že zelo dobra, kot lahko razberemo iz tabele 1, trdnost pa je skoraj vedno naraščala z višanjem temperature. Nekaj izjemnih rezultatov z manjšo trdnostjo pri višji temperaturi so bili najbrž posledica napak v epruveti sami.

4. Poskusi v industrijskem obsegu

Na podlagi poskusov v malem obsegu smo pripravili večje količine mas za preskus v praksi. Najprej smo preskusili mase za zaščitni premaz žleba pri 30 t električni obločni peči na Ravnah. Premaz je bil tako sestavljen kot masa MF 12 F na tabeli 1. Pri premazu smo lahko videli, da se je zelo hitro posušil od izžarevane toplote oboka med šaržiranjem peči, pri tem pa ni razpokal, dobil je pa dovolj veliko trdnost, da ga talina med izlivanjem v ponev ni prav nič odplavila. Po končanem izlitanju je ostal premaz v glavnem nepoškodovan, le pri odstranjevanju ostankov žindre z drogom se je na nekaterih mestih poškodoval. Ta mesta smo ponovno premazali in popravljeni premaz je zdržal še nekaj šarž. Podlaga, na katero smo nanašali premaz, je bila pri tem močno izrabljena in globokih jam nismo mogli povsem izravnati, ker bi postala plast premaza predebela. Na podlagi teh rezultatov

smo se odločili, da pripravimo maso za nabijanje celotnega žleba pri 45 t EP in primerno količino mase za premaz.

Ti dve masi smo pripravili v začetku maja 1969 in po vgradnji je žleb obratoval 120 šarž, ali v celotni kampanji peči. Le na vsake 3 do 4 šarže smo morali nanesti novo plast premaza, ki se je poškodoval predvsem zaradi čiščenja žleba ostankov žindre. Pri beli žindri pa žleba ni bilo treba čistiti, ker je ta žindra zaradi večje količine dikalcijevega silikata sama razpadla v fin prah in se je dala izpihati iz žleba. Vse manjše poškodbe se je dalo popravljati z maso za premaz, katere so porabili med vso kampanjo približno 500 kg.

Vgradnja mase je bila v skladu z našimi predpisi. Maso je bilo treba nabijati v pol suhem stanju, ki je imela približno 6—7 % vlage. Po končanem nabijanju in odstranitvi modela so maso lahko hitro posušili s plinskim gorilnikom. Pogoj pa je bil, da se presuši celotna obloga, ne le površina mase. Le tedaj se je masa dobro utrdila po vsej debelini. Posušeni žleb je bil tako trdn, da je ob udarcu s kladivom zazvonil. Površine so bile povsem gladke in brez razpok. Premaz smo nanесли še po drugi šarži, ko se je žleb ohladil pod 100° C, drugače se mokra masa zaradi razvijanja pare ne prime na podlago.

REZULTATI POSKUSA

Pri prvem poskusu smo ugotovili, da je bila nabijalna masa zadovoljivo dobra in je zdržala toliko kot smo pričakovali. Masa za premaz se je nekoliko premočno oprijela podlage, zato smo njeno sestavo spremenili, da se je temperatura sintranja nekoliko zvišala. Novi masi smo spremenili tudi oznako, in pri naslednjih poskusih smo uporabljali maso MF 17 (glej tabelo 1).

Naredili smo še nekaj poskusov na Jesenicah pri martinovkah in pri električnih obločnih pečeh. Tam uspehi v začetku niso bili zadovoljivi, vendar ne zaradi mase, ki je bila prav takšna kot na Ravnah, temveč zaradi neprimerne načina termične obdelave gotove obloge žleba. Pri martinovki ni bilo dovolj časa, da bi se žleb primerno osušil, pri elektropeči pa ni bilo gorilnika. Vedno je bila masa pri prvem preobodu še vlažna in zato brez primerne mehanske odpornosti. Med prvim izlivanjem jekla prek tako pripravljenega žleba se je masa zelo hitro osušila na površini, v notranjosti pa ni vezala. Ko se je skorja poškodovala zaradi čiščenja žleba ostankov žindre, se je masa začela krušiti in žleb ni zdržal tako, kot bi moral, če bi bil pravilno pripravljen. Kljub temu je pri 6. peči zdržal poskusni žleb 50 šarž, pri 7. peči pa drugi poskusni žleb 110 šarž, le z malenkostnimi popravili z zaščitno maso predvsem ob koncu žleba, kjer je bil največkrat poškodovan med različnimi manipulacijami z žerjavom. Pri elektropeči je žleb prav tako zdržal 88 šarž, ali 12 šarž več, kot

je znašala njena kampanja. S poskusi smo pri električnih pečeh prenehali, dokler ne bo pripravljena napeljava za mazut, da se bo dalo maso v žlebu pred obratovanjem temeljito osušiti. Vgradnja mase pri martinovkah je sedaj že vplejana in žlebovi zdrže najmanj 120 do 150 šarž ob primerni vgradnji, sušenju in vzdrževanju z maso. Pri tem pa je zelo pomembno, da je dno peči pred prebodno odprtino v dobrem stanju, da vsa talina dobro odteče in je ni treba izpihavati s kisikom.

EKONOMSKA UTEMELJITEV UPORABE MAS

Ob uporabi mas smemo predvsem računati z zmanjšanjem sekundarnih nekovinskih vključkov v jeklu, poleg tega pa je pomemben tudi prihranek pri stroških izzidave. Namesto da bi zidali žleb z opeko vsakih 3 do 5 dni, včasih še pogosteje, zadostuje, da z nabijalno maso naredimo žleb približno enkrat mesečno. Poraba mase za premaz in manjša popravila pa je tudi majhna. Na podlagi podatkov za 45 t elektropeč na Ravnah smo izračunali sledečo primerjavo stroškov za izzidavo žleba za eno kampanjo peči:

1. Poraba materialov za 1 izzidavo žleba:

- a) 1000 kg nabijalne mase po 2,50 din/kg
2500.— din
- b) 1000 kg opeko »2« in »2L« po 1,30 din/kg
1300.— din

Izzidava a) traja najmanj 6 krat dalj, kot izzidava b), razmerje stroškov za obe izzidavi je 2500:7800 din brez zidarskih stroškov, ali približno 1:3. Ob upoštevanju porabe zaščitne mase 1000 kg za kampanjo je razmerje med obema vrstama izzidave še vedno približno 1:2 v korist mas.

Pri poskusni kampanji na Ravnah je bilo narejenih 3800 t jekla, specifična poraba pa je bila 0,36 kg/t ali 0,9 din/t jekla. Pripominjamo, da so to le materialni stroški za maso, glavni prihranek pa bi se moral pokazati predvsem pri kvaliteti jekla. Poleg tega je po mnenju vodstva jeklarne še posebna prednost ulivanja prek z maso obloženega žleba tudi ta, da se lahko vzdržuje curek med vso kampanjo v zaželeni obliki, t. j., da ostane vedno enakomerno ozek in da jeklo ne brizga po ponvi, kot se to dogaja ob izrabljenem žlebu zaradi širokega, pahljačasto razširjenega curka.

Nadaljnja velika ugodnost izdelave žleba z maso je tudi ta, da en sam delavec lahko vzdržuje žlebove pri nekaj pečeh, ne da bi imel pretežno delo.

SKLEP

Na podlagi do sedaj izvedenih poskusnih in rednih vgrajevanj mas v žlebove jeklarskih peči lahko pridemo do sledečih sklepov:

1. Kvaliteta mas je dovolj dobra, da lahko nadomesti zidano oblogo žleba in zagotovi najmanj 5-kratno življenjsko dobo žleba, če je bila pripravljena po izdelanih predpisih.

2. Izzidavo je treba narediti tako, da se masa pred obratovanjem temeljito posuši v vsej globini obloge. Po sušenju in predgrevanju mase je treba žleb ohladiti na približno 80° C, da se lahko nanese zaščitni premaz še pred prvim prebodom.

3. Čiščenje žleba je treba izvesti tako, da se mase ne poškoduje. Morebitne ostanke žlindre je treba odstraniti tako, da jih odluščimo skupaj s premazom od podlage, nikakor pa ne smemo razbijati po ostankih žlindre s težkimi kladivi od vrha.

4. Monolitno oblogo je treba izdelati s primerno šablono, da dobi žleb najprimernejšo obliko. Popravljamo žleb lahko z nabijalno maso tako, da izkopljemo poškodovani del, nato pa zopet nabijemo maso ob primernem modelu. Manjša popravila površinskih poškodb lahko opravimo z zaščitno maso.

5. Ekonomski efekt se ne kaže le v manjših stroških za maso, temveč predvsem v kvaliteti jekla in manjših zidarskih stroških.

6. Mase je treba razvijati dalje, ker se lahko izdeluje tudi dno jeklarskih peči s podobnimi masami. Prvi poskusi so pokazali, da z maso napravljeno dno zdrži najmanj 15 dni brez popravila.

7. Pomembna se nam zdi tudi ta ugotovitev, da so vse surovine za izdelavo mas lahko dosegljive in vse komponente izdelujejo domače tovarne. S kemično tovarno v Hrastniku je dogovorjeno, da izdeluje kemično vezivo na bazi polifosfatov za potrebe vse industrije.

Literatura

1. Muster J., Prešern A., Hodnik J.: »Preiskava korundne opeke in vpliv kvalitete opeke na oksidne vključke v jeklu«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 716 (1969).
2. Muster J., Biček J.: »Uvedba popravila dna SM peči po metodi Baryšnikova«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 558 (1967).
3. Harders F., Kienow S., Feuerfestkunde, Berlin (Göttingen) Heidelberg Springer Verlag 1960.
4. Fuller W. B., Thompson S. E. Proc. Amer. Soc. Civil Engr. Vol. 33, (1907), str. 222.
5. Litzow K.: Glastechnische Berichte, Bd. 8 (1930), str. 149—153.
6. Muster J., Ručigaj A.: »Priprava phalnih mas za visokofrekvenčne peči«, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 680, (1968).
7. Muster J.: »Poskusi izdelave mas za oblogo vrat martinovk«, Poročilo Metalurškega inštituta, št. 709, (1969).
8. Muster J.: »Priprava kemično vezanih mas za oblaganje žlebov jeklarskih peči«, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 679/708, (1969).
9. Levin E. M., Murdie H. F., Hall F. P.: Phase Diagrams for Ceramists. The American Ceramic Society, Columbus, 1956.

10. Anon. »Republic develops new basic refractora bonding«, The Iron and Steel Engineer, October 1967.
11. Sheets, H. G., Bulloff J. S. in Dutchworth W. H.: »Phosphate Bonding for Refractory materials«, Batelle Memmorial Institute, July 1958.
12. Muster J.: »Izdelava mas na bazi magnezita za žlebove

jeklarskh peči«, Poročila Metalurškega inštituta, Ljubljana, februar 1969.

13. Horošavin L. B., Djačkov P. N., Ponomarev B. V., Pivnik L. J., Bogatikova V. K.: »Izledovanje koncentracije fosfornoi kisloti na nekatore svojstva tonkomolotih ognepornih materialov«, Ogneupory 3, (1968), 40—44.

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Möglichkeiten der Verunreinigung des Stahles beim Abstich zu verringern, wurden chemisch gebundene Magnesit-Massen für die Ausmauerung der Abstichrinnen und anderer Ofenteile entwickelt. Die praktische Anwendung dieser Massen im Betrieb hat gezeigt, dass der Verschleiss der feuerfesten Verkleidung sehr gering ist. Dadurch ist die Möglichkeit der Entstehung exogener Einschlüsse vom Abstich auf ein Minimum reduziert, und die Instandhaltung der Abstichrinnen

sehr vereinfacht. Der Verbrauch der Feuerfesten Masse liegt bei rund 0,36 kg/t bzw. 0.9 din/t Stahl. Der Kostenaufwand ist rund dreimal niedriger wie bei der Ausmauerung mit den Schamottensteinen. Aus diesem Grund wurden im Jahr 1969 die gesamten Abstichrinnen bei den Lichtbogenöfen im Hüttenwerk Ravne mit dieser Masse ausgemauert. Im Stahlwerk Jesenice aber anfangs nur bei den SM Öfen, weil da die Zustellung leichter war.

SUMMARY

Analysis of sources of nonmetallic inclusions by isotopes led to the conclusion that majority of inclusions come from the furnace spouts. In order to eliminate this source of inclusions special mixtures based on magnesite raw materials with chemical bonding in cold state which is transformed at about 1000°C into ceramic bonding were prepared for lining the spouts. A test lining on 45 ton electric arc furnace at Ravne showed that this mixtures stays at least one campaign of the furnace while the spout had to be renewed every 3 to 5 days before. Beside much smaller expenses of such a lining the advantage of this monolithic lining made of prepared mixtures is in reduction of

secondary inclusions, and in improved shape of the stream during the whole campaign as the spout shape can always be repaired with the mixture for repairing the spout. Test lining on open-hearth furnaces showed that monolithic lining stays 120 to 150 batches also on these furnaces, and that it is damaged mainly due to mechanical damages when spout is cleaned, and due to other operations around the furnace. Economical effect, counting only material expenses, is about 1:2 on behalf of the mixture. After completed tests all spouts of electrical arc and open-hearth furnaces in Ravne and Jesenice will be lined with the mixture. There the spouts are dried with suitable burners.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении источников неметаллических включений при помощи изотопов утверждено, что большая часть этих включений обнаруженных в металле перешла из выливного жёлоба сталеплавильной печи. С целью чтобы устранить этот источник приготовлена специальная масса для жёлоба на базе сырья из магнетита. Футеровка укреплена с химическим вяжущим средством которое при 1000°C переходит в керамическое состояние. Опытная установка этой массы при 45 т. электрической дуговой печи на Металлургическом заводе в Равнах (Ravne) показала, что такая футеровка выдержала не менее одной кампании плавки, в то время как раньше надо было поправлять жёлоб в среднем каждые 3—5 дней. Кроме многих мелких расходов для облицовки

преимущество монолитной футеровки из таким образом приготовленной массы представляет также уменьшение количества второстепенных включений, улучшения формы струи во время всей кампании плавки, потому что форму жёлоба можно всегда поправить с отвечающей массой. Опытное употребление этой массы при мартеновской печи показало, что монолитная футеровка жёлоба выдержала 120—150 шихтов и что, повреждения обнаружены главным образом вследствие чистки жёлоба. Экономический эффект высчитан лишь из материальных расходов представляет отношение 1:2 в пользу монолитной массы. На основании этих опытов с этой массой облицовывают все жёлобы сталеплавильных печей в Равнах и на Есеницах (Jesenice) при чём их сушат с соответственными горелками.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani: Jože Rodič, dipl. inž.,
Janez Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Zagar,
tehnični urednik. — Tisk: CP »Gorenjski tisk«, Kranj