

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Dobovišek Bogo — Metalurški inštitut, Ljubljana ANALIZA VPLIVA REAKTIVNOSTI TRDNIH REDUCENTOV NA NAOGLJICENJE ŽELEZA MED REDUKCIJO ŽELEZOVIIH OKSIDOV S CO	181
Dobovišek M., A. Rodič, J. Zunec, V. Macur — Zelezarna Ravne IZBOLJSANJE KAKOVOSTI JEKLA ZA KROGLICNE LEZAJE S POSEGI V JEKLARSKI TEHNOLOGIJI	185
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana VPLIV ELEKTRO PRETALJEVANJA POD ZLINDRO NA KVALITETO JEKLA ZA KROGLICNE LEZAJE (OCR 4 ex šp)	193
Segel Jože — Zelezarna Ravne VPLIV HRAPAVOSTI POVRŠINE NA UDARNO ŽILAVOST ORODNEGA JEKLA	199
Sipek Mitja — Zelezarna Ravne KONTROLA POVRŠINSKIH NAPAK NA GRE-DICAH	203
Vodopivec F., L. Kosec, R. Brifah, B. Wolf — Metalurški inštitut, Ljubljana PREISKAVA VZROKOV POSKODB NA LOPATICAH PARNE TURBINE	211

1971 · LETO V 4

VSEBINA

	Stran
Dr. Dobovišek Bogo, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana	
Analiza vpliva reaktivnosti trdih reducentov na naogljčenje železa med redukcijo železovih oksidov s CO	181
DK: 669.046.562 : 669.094.2	
ASM/SLA: C 26, D 11 g	
Dobovišek M., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Žunec, dipl. inž., V. Macur, dipl. inž. — Železarna Ravne	
Izboljšanje kakovosti jekla za kroglične ležaje s posegi v jeklarski tehnologiji	185
DK: 669.15 — 194.2 : 669.187	
ASM/SLA: SGA c, AYB, D 5	
Dr. Koroušič Blaženko, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana	
Vpliv elektropretaljevanja pod žlindro na kvaliteto jekla za kroglične ležaje (OCR 4 ex. sp.)	193
DK: 669.187.046.5	
ASM/SLA: D 8 p	
Šegel Jože, dipl. inž. — Železarna Ravne	
Vpliv hrapavosti površine na udarno žilavost orodnega jekla	199
DK: 539.55	
ASM/SLA: Q 6 N	
Šipek Mitja, dipl. inž. — Železarna Ravne	
Kontrola površinskih napak na gredicah	203
DK: 620.191 : 620.179.1	
ASM/SLA: S 13 j	
Dr. Vodopivec F., dipl. inž., mag. J. Kosec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., B. Wolf, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana	
Preiskava vzrokov poškodb na lopaticah parne turbine	211
DK: 621.165 : 620.1	
ASM/SLA: M 21 c, Q 26 p	

INHALT

	Seite
Dr. Dobovišek Bogo, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana Einfluss der Reaktivität der festen Reduktionsmittel auf die Aufkohlung des Eisens während der Reduction der Eisenoxyde mit CO.	181
DK: 669.046.562 : 669.094.2 ASM/SLA: C 26, D 11 g	
Dobovišek M., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Zunec, dipl. inž., V. Macur, dipl. inž. — Železarna Ravne Verbesserung der Kugellagerstahlqualität durch die Eingriffe in der Stahlherstellungstechnologie	185
DK: 669.15 — 194.2 : 669.187 ASM/SLA: SGA c, AYB, D 5	
Dr. Koroušič Blaženko, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana Einfluss der Elektroschlackeumschmelzverfahrens auf die Qualität des Kugellagerstahles	193
DK: 669.187.046.5 ASM/SLA: D 8 p	
Segel Jože, dipl. inž. — Železarna Ravne Einfluss der Rauheit der Oberfläche auf die Kerbschlagbiege Zähigkeit der Werkzeugstähle	199
DK: 539.55 ASM/SLA: Q 6 N	
Sipek Mitja, dipl. inž. — Železarna Ravne Kontrolle der Oberflächenfehler an Knüppeln	203
DK: 620.191 : 620.179.1 ASM/SLA: S 13 j	
Dr. Vodopivec F., dipl. inž., mag. J. Kosec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., B. Wolf, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana Untersuchung der Beschädigungsursachen an Dampfturbinenschaufeln	211
DK: 621.165 : 620.1 ASM/SLA: M 21 c, Q 26 p	

CONTENTS

	Page
Dr. Dobovišek Bogo, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana	
Analysis of the influence of the reactivity of solid fuels on carburizing of iron during the reduction of iron oxides with CO.	181
DK: 669.046.562 : 669.094.2	
ASM/SLA: C 26, D 11 g	
Dobovišek M., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Zunec, dipl. inž., V. Macur, dipl. inž. — Železarna Ravne	
Improvements in the quality of steel for ball bearings by steel technology	185
DK: 669.15 — 194.2 : 669.187	
ASM/SLA: SGA c, AYB, D 5	
Dr. Koroušič Blaženko, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana	
On the influence of electroslag remelting (ESR) on the quality of steel for ball bearings	193
DK: 669.187.046.5	
ASM/SLA: D 8 p	
Segel Jože, dipl. inž. — Železarna Ravne	
On the influence of surface coarseness on the impact toughness of tool steel	199
DK: 539.55	
ASM/SLA: Q 6 N	
Šipek Mitja, dipl. inž. — Železarna Ravne	
Control of surface defects on billets	203
DK: 620.191 : 620.179.1	
ASM/SLA: S 13 j	
Dr. Vodopivec F., dipl. inž., mag. J. Kosec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., B. Wolf, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana	
Investigation of causes for defects on steam turbine vanes	211
DK: 621.165 : 620.1	
ASM/SLA: M 21 c, Q 26 p	

СОДЕРЖАНИЕ

- Dr. Dobovišek Bogo, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana
Анализ влияния твёрдых реактивных раскислителей на науглероживание железа во время восстановления окисей железа при помощи CO 181
DK: 669.046.562 : 669.094.2
ASM/SLA: C 26, D 11 g
- Dobovišek M., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Žunec, dipl. inž., V. Macur, dipl. inž. — Železarna Ravne
Улучшение качества стали для шарикоподшипников с мерами в технологии производства этого сорта стали 185
DK: 669.15 — 194.2 : 669.187
ASM/SLA: SGA c, AYB, D 5
- Dr. Koroušič Blaženko, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana
Влияние электрошлакового переплава на качество стали для шарикоподшипников . 193
DK: 669.187.046.5
ASM/SLA: D 8 p
- Segel Jože, dipl. inž. — Železarna Ravne
Влияние шароховатости поверхности на ударную вязкость инструментальной стали 199
DK: 539.55
ASM/SLA: Q 6 N
- Šipek Mitja, dipl. inž. — Železarna Ravne
Контроль пороков на поверхности заготовок 203
DK: 620.191 : 620.179.1
ASM/SLA: S 13 j
- Dr. Vodopivec F., dipl. inž., mag. J. Kosec, dipl. inž., R. Brifah, dipl. inž., B. Wolf, dipl. inž. — Metalurški inštitut Ljubljana
Исследование причин повреждений на лопатках паровой турбины 211
DK: 621.165 : 620.1
ASM/SLA: M 21 c, Q 26 p

Dr. B. Dobovišek, dipl. inž.
Metalurški inštitut Ljubljana

DK: 669.046.562 : 669.094.2
ASM/SLA: C26, D11g

Analiza vpliva reaktivnosti trdnih reducentov na naogljčenje železa med redukcijo železovih oksidov s CO

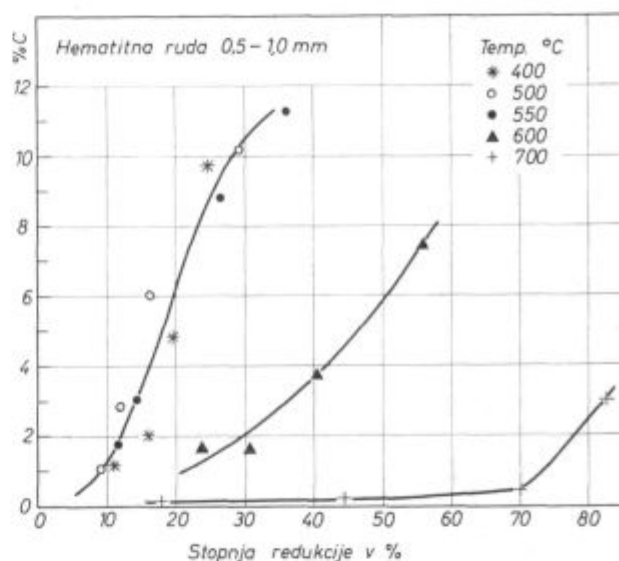
Med redukcijo železovih oksidov poteka istočasno naogljčenje pri redukciji nastalega kovinskega železa. Na naogljčenje močno vpliva reaktivnost trdnih reducentov, ki jih uporabljamo za redukcijo, ker je od nje odvisno vsakokratno razmerje CO/CO_2 v plinski fazi. Delo tolmači na osnovi ravnotežnih faznih diagramov sistemov C-O in Fe-O-C ter na osnovi pod določenimi pogoji dobljenih kvaziravnotežnih razmerij CO/CO_2 možnosti naogljčenja z različnimi trdnimi reducenti.

UVOD

Redukcijo železovih oksidov s CO spremljata med drugimi procesi razkroja CO pri relativno nizkih temperaturah in pojav razkrojnega ogljika med 400...600 °C; nad temi temperaturami pa zaznamo naogljčenje železa, ki nastaja med redukcijo in, ki je z naraščajočo temperaturo vse močnejše. Razkroj CO med redukcijo Fe_2O_3 obravnava eno prej objavljenih del¹, ki ugotavlja maksimalno hitrost razkroja med 400...570 °C. Iz tega dela posnemamo tudi odvisnost med stopnjo redukcije in odstotkom ogljika razkrojenega za redukcijo ljubijskega limonita pri različnih temperaturah (slika 1).

Slika kaže, da količina pri razkroju CO nastalega ogljika do 550 °C skoraj ni odvisna od temperature, pri kateri poteka redukcija. Razkrojni ogljik aktivno sodeluje pri nadaljni redukciji železovih oksidov in verjetno tudi pri naogljčenju kovinskega železa. V tem sestavku nameravamo poročati o možnostih naogljčenja pri redukciji nastalega železa s trdnimi reducenti, ki se po reaktivnosti močno razlikujejo med seboj.

C. Rekar in J. Lamut navajata v študiji o fizikalnih in kemijskih lastnostih mineralnih kom-

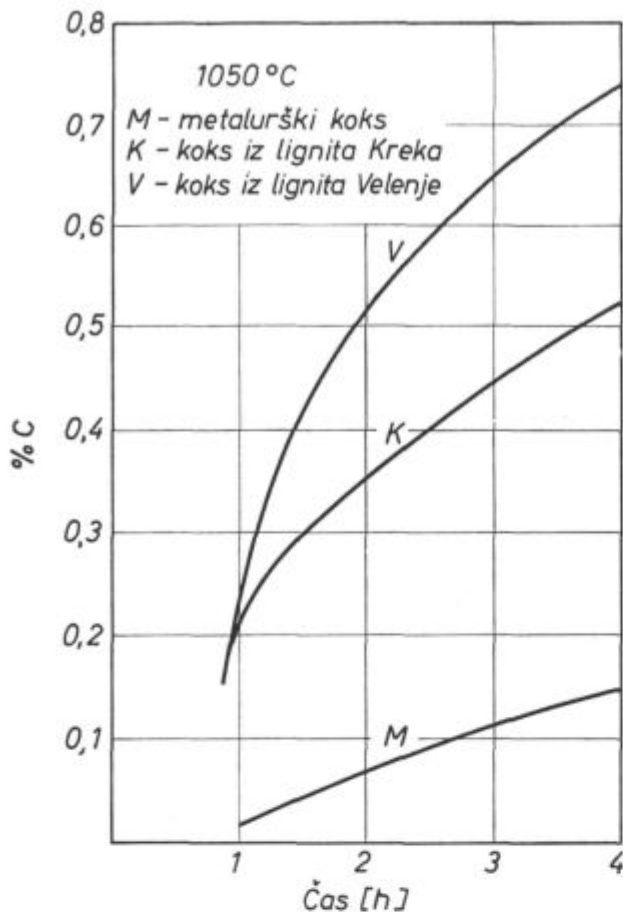


Slika 1
Količina razkrojnega ogljika v odvisnosti od stopnje redukcije. Redukcija limonitne rude s CO

ponent železovih rud² odvisnosti, ki kažejo, kako se spreminja količina ogljika raztopljenega v železu od vrste trdnih goriv s katerimi sta reducirala kemično čisti Fe_2O_3 . Slika 2, ki je iz navedenega dela kaže, da z naraščajočim trajanjem redukcije narašča stopnja naogljčenja železa, ter da bolj reaktivni gorivi koks iz lignita Velenje in lignita Kreka, močnejše naogljčita železo, kot manj reaktivni metalurški koks.

Teoretske osnove

Naogljčenje železa poteka preko plinske faze (CO). Bolj reaktivna goriva pa vzdržujejo med redukcijo v plinski fazi višji odstotek CO, kot manj reaktivna in s tem plinsko atmosfero, ki je

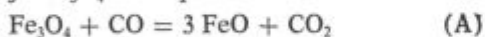


Slika 2

Naogljčenje železa med redukcijo hematita z različnimi trdnimi reducenti pri 1050 °C.

bolj ugodna za ogljčenje, kot če uporabljamo za redukcijo manj reaktivna goriva.

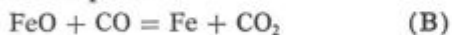
Redukcijo Fe_3O_4 s CO pišemo s sledečo enačbo:



z ravnotežno konstanto K_A :

$$K_A = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}}$$

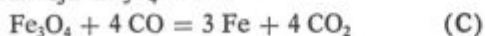
redukcijo FeO s CO pa z:



in ravnotežno konstanto K_B :

$$K_B = \frac{P'_{\text{CO}_2}}{P'_{\text{CO}}}$$

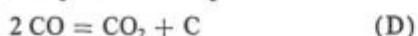
Pri temperaturah pod 570 °C poteka še neposredna redukcija Fe_3O_4 v Fe:



z ravnotežno konstanto K_C :

$$K_C = \frac{P^4_{\text{CO}_2}}{P^4_{\text{CO}}}$$

Redukcijo spremlja še razkroj CO:



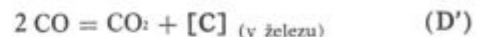
z ravnotežno konstanto K_D :

$$K_D = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P^2_{\text{CO}}}$$

Ta reakcija uvaja v reakcijski sistem novo fazo, trdni ogljik. Ta ogljik in CO lahko naogljčita železo, oziroma tvorita z njim karbide. Reakcijo (D) spremlja torej še proces ogljčenja železa:

$$C_{(\text{graf.})} = C_{(\text{v železu})} \quad (\text{E})$$

Z združenjem procesov (D) in (E) dobimo:



z ravnotežno konstanto:

$$K_{D'} = \frac{P'_{\text{CO}_2} \cdot a_c}{P^2_{\text{CO}}}$$

Zato je odnos med CO in CO_2 pri določeni temperaturi in pri določenem tlaku in pri konstantnem koeficientu aktivnosti ogljika v železu odvisen od koncentracije ogljika v nenasičenih raztopinah ogljika v železu, kar nam kaže preurejena enačba (D')

$$\frac{(\% \text{CO})^2}{(\% \text{CO}_2)} = K \cdot \frac{100}{P_{\text{cel}}} \gamma_c \cdot N_c$$

Pri tem so K — ravnotežna konstanta

P_{cel} — skupni tlak plinske mešanice,

γ_c — molski delež ogljika v železu,

N_c — koeficient aktivnosti ogljika v železu,

Prav tako lahko postavimo, da je pri določeni temperaturi, določenem tlaku in določenem koeficientu aktivnosti ogljika v železu odvisen odstotek ogljika v železu od razmerja CO/CO_2 v plinski fazi med potekom redukcije, kot to kaže slika 3.³

V nenasičenih raztopinah ne nastopa ogljik kot posebna faza in se z zmanjšanjem koncentracije ogljika v železu manjša potrebna ravnotežna koncentracija CO v plinski zmesi CO/CO_2 . Krivulje za enako sestavo pa kažejo, da z naraščajočo temperaturo narašča v plinski fazi tudi potrebna ravnotežna koncentracija CO. Na drugi strani pa % CO teoretično ne more biti manjši od ravnotežne sestave za reakcijo (B).

Tako kontrolira proces naogljčenja in redukcije železovih oksidov s CO plinska zmes CO/CO_2 v plinski fazi, ki struji skozi reakcijski prostor. Sestava te plinske zmesi pa je odvisna od reaktivnosti trdnih reducentov, ki jih uporabljamo za redukcijo in od same tehnologije pridobivanja železa, predvsem v trdnem stanju. V danih pogojih se v posameznih področjih redukcijskih peči (reaktorjev) vzpostavi določeno razmerje med CO in CO_2 , ki se med procesom bistveno ne spreminja. V redukcijskih pečeh najdemo zato v posameznih reakcijskih conah z ozirom na način njihovega vodenja karakteristične toplotne režime in karakteristično sestavo redukcijskih plinov. To nam

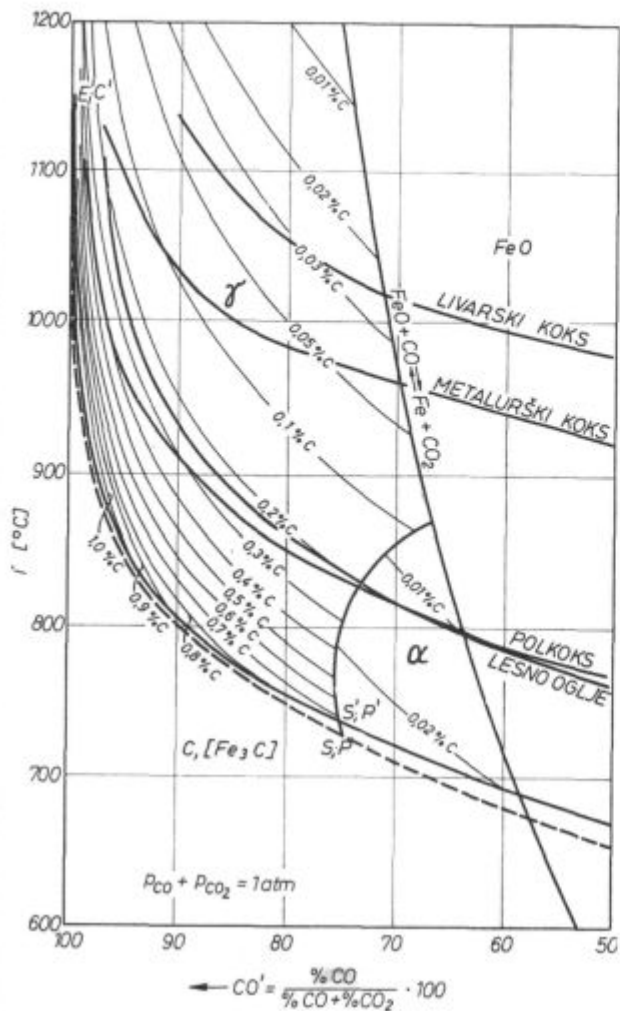
plinske zmesi, za tri različne hitrosti strujanja CO₂. Z zmanjševano hitrostjo strujanja CO₂, se dejanske vrednosti CO/CO₂ vse bolj približujejo ravnotežnemu stanju CO/CO₂ in s tem bolj intenzivnemu ogljičenju.

Torej:

$$\left(\frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2}\right)_{3,7 \text{ l/h}} > \left(\frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2}\right)_{9,2 \text{ l/h}} > \left(\frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2}\right)_{21 \text{ l/h}}$$

in podobno tudi pri sicer enakih pogojih (P, T, konst.)

$$\left(\frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2}\right)_{\text{L. O}} > \left(\frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2}\right)_{\text{metal. k.}} > \left(\frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2}\right)_{\text{livarski koks}}$$

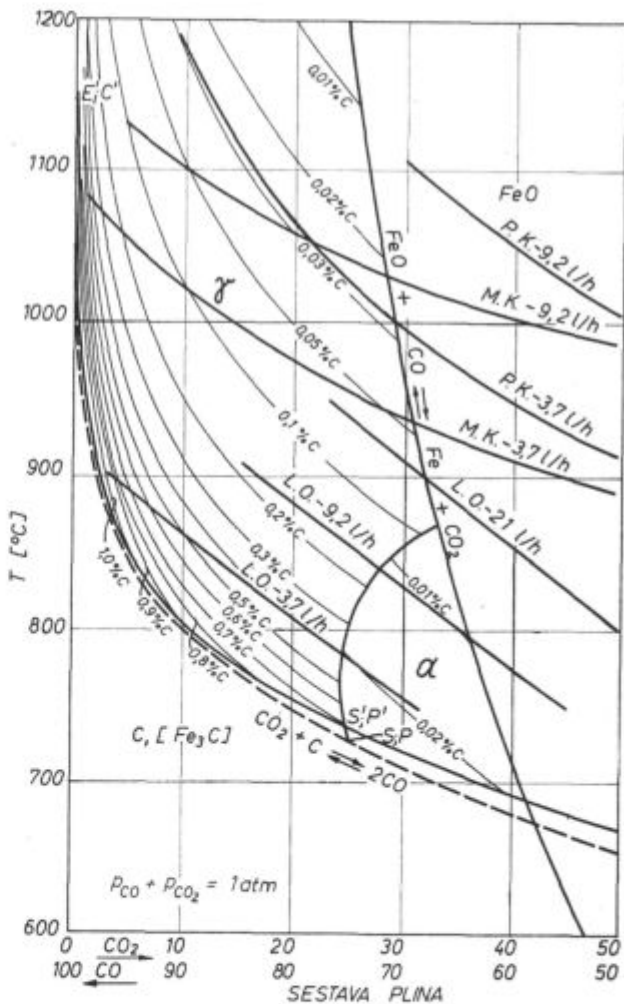


Slika 3
Delni sistem Fe-O-C

omogoča, da lahko postavimo zanje — bolj ali manj — uspešne toplotne in snovne modele, s katerimi se skušamo približati dejanskim procesom v reaktorjih in procese izračunati vnaprej. Zaradi različnih kinetičnih pogojev sta tako proces redukcije, kot proces naogljčenja več ali manj oddaljena od ravnotežnih zmesi, ki jih kaže slika 3.

Na sliki navajamo poleg ravnotežnih sestav plina še sestave reakcijskih plinov za odgovarjajoče plinske mešanice, dobljene za livarski, metalurški koks pol koks iz lignita ter za lesno oglje za določeno stacionarno stanje dobljeno v pogojih: velikost zrna 0,5...1,0 mm, količina goriva 34 cm³, količina vpihanega CO₂ 10,41/h. Iz slike razberemo, da lahko dosežemo z različnimi gorivi pod sicer enakimi pogoji različne stopnje naogljčenja. Tako npr. v pogojih naših poskusov pri 1000°C lahko dosežemo največ: s polkoksom 0,4 % C, z metalurškim koksom 0,07 C, dočim z livarskim koksom ne moremo pri 1000°C ogljičiti železa.

Sestava plinske zmesi CO/CO₂ po prehodu skozi nasutje trdnega reducenta pa je odvisna še od hitrosti strujanja CO₂ skozi nasuto gorivo. Slika 4 kaže za lesno oglje in petrolkoks sestave



Slika 4
Stopnja naogljčenja železa v odvisnosti od temperature in sestave plinske mešanice v sistemu Fe-O-C

SKLEPI

Naogljčenje pri redukciji železovih rud s trdnimi reducenti nastalega kovinskega železa poteka preko plinske faze in je zato odvisno od vsakokratnega odnosa med CO in CO₂ v plinski fazi v reaktorju. Ta odnos je odvisen od narave reducenta, ki ga uporabljamo za redukcijo. Raziskave so pokazale, da dajejo močno reaktivni trdni reducenti med redukcijo železovih rud v temperaturnem področju prehoda indirektno redukcije v direktno ter pri temperaturah nad tem področjem, plinske reakcijske produkte z večjo vsebnostjo CO, kot slabše reaktivni. Posledica tega je, kot kaže slika 2, da bolj reaktivni gorivi, kot sta npr. koks iz lignitov Velenje in Kreka močnejše naogljčita železo, kot običajni metalurški koks. Privzemajoč,

da je proces regeneracije CO₂ s trdnim reducentom odločilen za vsakokratni ogljikov potencial v plinski zmesi v reakcijskem prostoru, so na slikah 3 in 4 označene za določene pogoje poteka reakcije CO₂ + C = 2 CO možnosti maksimalnega naogljčenja pri redukciji nastalega železa.

Literatura

1. Dobovišek B. Studij razkroja CO med redukcijo železovih oksidov z njim. *Železarski zbornik* 1970, števil. 1. 69...78.
2. Rekar C., J. Lamut: Studij fizikalnih in kemijskih lastnosti mineralnih komponent železovih rud. I. del. Poročilo katedre za železarstvo, Metalurški odsek FNT Ljubljana, febr. 1971.
3. Die Phys. Chemie der Eisen und Stahlerzeugung, Verlag Stahleisen M. B. H. Düsseldorf 1964 (po Schürmann, E. H. Eagener, T. Schmidt-u).

ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufkohlung ist eine Begleiterscheinung des bei der Reduktion der Eisenoxyde mit CO und festen Reduzenten entstehenden Eisens. Neben der Temperatur wird der Aufkohlungsgrad auch von der Reaktivität für die Reduktion verwendeten festen Reduktionsmittel beeinflusst.

Entscheidend für die Aufkohlung ist das Verhältnis zwischen CO und CO₂ in der Gasmischung welche die Erzsicht durchströmt. Dieses Verhältnis ist aber von der Reaktivität der verwendeten Reduktionsmittel abhängig. Im Artikel sind auf Grund der unter bestimmten

Bedingungen ausgeführten Versuche erhaltenen Verhältnisse CO/CO₂, für Holzkohle, Halbkoks, Hüttenkoks und Giessereikoks und mit Hilfe der Gleichgewichtssysteme C-O und Fe-O-C die theoretischen Möglichkeiten, für die Aufkohlung des Eisens während der Reduktion gegeben. Bei der Reduktion und Aufkohlung hat einen starken Einfluss auch die Zersetzungskohle als Produkt der Zersetzung von CO, welche wegen seiner grossen Reaktivität das Verhältnis CO/CO₂ in der Gasmischung bestimmt beeinflusst, und die Aufkohlung beschleunigt, was aber in dieser Arbeit nicht mitefasst ist.

SUMMARY

The reduction of iron oxides with CO and solid fuels is accompanied with the carburisation of freshly reduced iron. Degree of carburisation depends on the temperature and on the reactivity of the solid fuels used. The CO/CO₂ ratio of the gaseous mixture flowing through the ore bed has a decisive role in the carburisation. The CO/CO₂ ratio depends on the reactivity of solid reducible means used for the reduction. Theoretical possibilities for the carburisation are given on the basis of an analysis of the

equilibrium states in the systems C-O and Fe-O-C as well as on the basis of the experimental data obtained with charcoal, semicoke, metallurgical and foundry coke at various CO/CO₂ ratios. It is well known that the carbon resulting from the dissociation of CO has a strong influence on the carburisation and on the reduction because of its high reactivity. It influences the CO/CO₂ ratio and promotes the carburisation, however, this effects was not investigated.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстановление оксидов железа при помощи CO и с твердыми восстановителями сопровождается науглероживанием образованного при восстановлении железа. На степень науглероживания кроме температуры имеет влияние реактивность твердых восстановителей которые употребляются при восстановлении. Решительное влияние на науглероживание имеет соотношение между CO и CO₂ в газовой смеси которая обращается через насыщенный руду. Это соотношение зависит от восстановительности употребленных твердых восстановителей. На основании опытов автор износит соотношения CO/CO₂ полученные при определенных условиях при применении древесного

угля, полу кокса, металлургического кокса а также и за литейный кокс. При помощи систем равновесия C-O и Fe-O-C даны теоретические возможности науглероживания железа во время восстановления. При восстановлении и науглероживанию имеет большое влияние также разложенный углерод который образуется во время разложения CO и который благодаря большой способности восстановления без сомнения влияет на соотношение между CO/CO₂ в смеси газов и ускоряет науглероживание. Это влияние в статье не рассмотрено.

Milan Dobovišek, dipl. inž.
Alenka Rodič, dipl. inž.
Jože Žunec, dipl. inž.
Vlado Macur, dipl. inž.
Železarna Ravne

DK: 669.15—194.2 : 669.187
ASM/SLA: SGAc; AYb; D 5

Izboljšanje kakovosti jekla za kroglične ležaje s posegi v jeklarski tehnologiji

Pri izdelavi jekla OCR 4 ex. spec. za kroglične ležaje je bilo preizkušenih več metod metalurške tehnologije taljenja. Cilj raziskave je bil izboljšanje kakovosti tega jekla z zmanjšanjem vsebnosti nekaterih vrst vključkov, z odpravo karbidnih izcej in z izboljšanjem nekaterih mehanskih lastnosti. V toku raziskave je bilo postopoma izvajano preizkušanje sprememb v dezoksidacijski tehniki med taljenjem tega jekla v elektro obločnih pečeh. Izbrana je bila metoda jeklarske tehnologije, ki je v celoti najbolj izboljšala splošno kakovost jekla, obenem pa tudi ekonomiko metalurške izdelave. Izdelanih je bilo večje število šarž na 10, 25 in 40-tonski elektro obločni peči, vse pa so bile kemično, metalografsko in mehansko preiskane. Izbrana tehnologija je bila preizkušena v daljšem obdobju redne proizvodnje.

Jeklo z osnovno sestavo 1 % C in 1,5 % Cr se uporablja v velikih količinah za najrazličnejše namene uporabe. Največ se uporablja za izdelavo krogličnih ležajev, pri čemer so kvalitetne zahteve najostrejše, precej tega jekla pa se porabi tudi za izdelavo različnih orodij in nekaterih konstrukcijskih delov. Nekaj tega jekla se uporablja tudi za mlevne elemente — palice, valje in krogle — v mlinih cementne in podobne industrije. Za jeklo, ki je namenjeno taki uporabi, ni posebnih kvalitetnih zahtev, zato je tudi izdelano na drugačen način.

Jasno je, da so z ozirom na tako različne zahteve tudi tehnološki postopki izdelave za to vrsto jekla zelo različni. V tem članku bomo v glavnem obravnavali le tisto kvalitetno varianto tega jekla, ki je namenjena izdelavi krogličnih ležajev.

Standardi posameznih držav za to vrsto jekla se po svojih kvalitetnih zahtevah med seboj razlikujejo, poleg tega pa še posamezni proizvajalci krogličnih ležajev postavljajo svoje posebne kvalitetne zahteve.

Znano je, da se jeklo za kroglične ležaje danes v svetu izdeluje v Siemens-Martinovih pečeh, v elektro obločnih pečeh, pa tudi v indukcijskih pečeh. Vsak od teh osnovnih postopkov daje jeklu

določene značilnosti. Postopki taljenja, posebno glede načina dezoksidacije, pa se celo pri enakih talilnih agregatih v posameznih metalurških podjetjih močno razlikujejo. Naše raziskave, ki jih v nadaljevanju opisujemo, so bile omejene na klasičen način taljenja v elektro obločnih pečeh. Z raziskavo smo želeli zadovoljiti zahteve jugoslovanskih kupcev tega jekla — proizvajalcev krogličnih ležajev. Na tem področju moramo poudariti, da je bilo med proizvajalcem in potrošnikom tega jekla doseženo vzorno sodelovanje pri sestavljanju tehničnih prevzemnih pogojev. Kvalitetne zahteve jugoslovanskih proizvajalcev krogličnih ležajev se najbolj približujejo zahtevam srednjeevropskih podjetij. Sovjetski GOST standardi predpisujejo tako ostre kvalitetne zahteve, da jih le malokatero podjetje lahko le izjemoma v celoti zagotavlja, posebno še ob upoštevanju ekonomskih kriterijev proizvodnje, ki pri tem jeklu zaradi nekaterih značilnosti odnosa dimenzij, količin in cen predstavljajo poseben problem.

Znano je, da omogočajo nekateri postopki, kot so elektro-žlindrin postopek, perrinžiranje ipd., več možnosti znižanja sulfidnih vključkov kakor klasičen elektro obločni postopek. Vemo pa tudi, da nekatera podjetja predpisujejo zaradi boljše obdelovalnosti ležajev na avtomatih (predvsem v Franciji) spodnjo mejo vsebnosti žvepla. V splošnem lahko trdimo, da so kvalitetne zahteve, ki jih postavlja jugoslovanska industrija ležajev, dokaj zahtevne in da jih pri obstoječih metodah in agregatih, s katerimi razpolaga železarna Ravne, ni lahko doseči.

Z ozirom na različne kvalitetne zahteve se v kontroli uporabljajo različne metode preizkušanja in tudi različni kriteriji oz. omejitve. Po obsegu se v kontroli največ uporablja za ocenjevanje standard GOST 801-60, ob katerem pa se postavljajo posebne omejitve po dogovoru med proizvajalcem in potrošnikom.

Poglejmo za primer zahteve, ki so v kontroli najpogostejše:

— Nemetalni vključki se ocenjujejo po tabelah 9, 10 in 11 omenjenega standarda, pri čemer se dopušča za vse dimenzije najvišja stopnja 4.

— Karbidne izceje se ocenjujejo po tabeli 7 omenjenega standarda z najvišjo dovoljeno stopnjo 2.

— Karbidna trakavost se ocenjuje po tabeli 8 omenjenega standarda in ne sme prekoračiti stopnje 3.

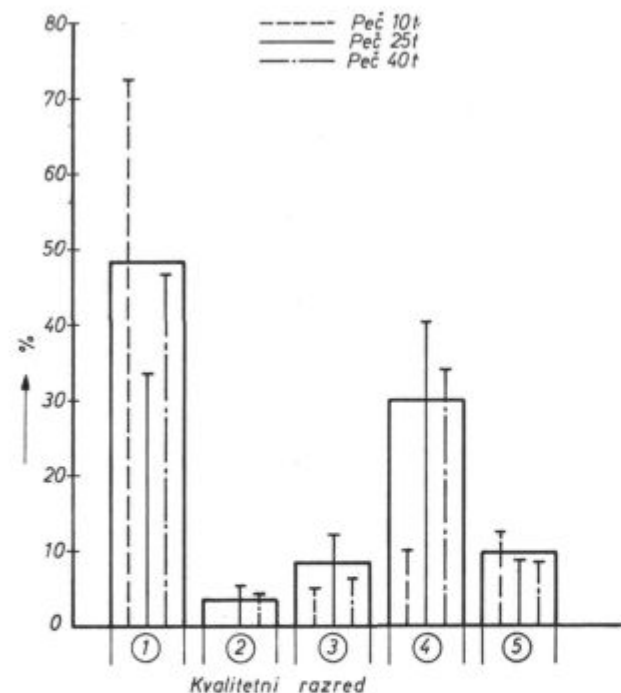
Poleg teh pogojev se postavljajo še omejitve pri ocenjevanju makrostrukture po tabelah 2 in 4 omenjenega standarda. Pri tem so dopustne meje:

- za centralno poroznost max. 2,
- za splošno poroznost max. 1,5,
- za izceje max. 2.

Zadovoljevanje vseh teh pogojev je bilo v železarni Ravne ob specifičnih pogojih izdelave jekla za kroglične ležaje v elektro obločnih pečeh nekaj časa zelo kritično, zato smo se lotili z obširnejšo raziskovalno nalogo cele vrste sprememb v tehnologiji taljenja. Preizkušali smo posamezne tehnološke spremembe v načinu legiranja posameznih elementov, dezoksidacije, temperaturnega režima, dodajanja žlinder oz. dodatkov, ali pa v celoti različne tehnologije.

Osnova za planiranje sistematične raziskave je bila dokumentacija in statistična obdelava vseh podatkov iz tehnologije in kontrole tega jekla. Pri tem smo upoštevali valjane caglje, paličasto jeklo in ležajne obročke, izdelane iz tega jekla. Posebej smo upoštevali tudi primerjave kvalitete jekla iz različnih elektro obločnih peč (10, 25 in 40 ton). Statistična obdelava je obsegala 159 šarž tega jekla iz proizvodnje v letu 1969.

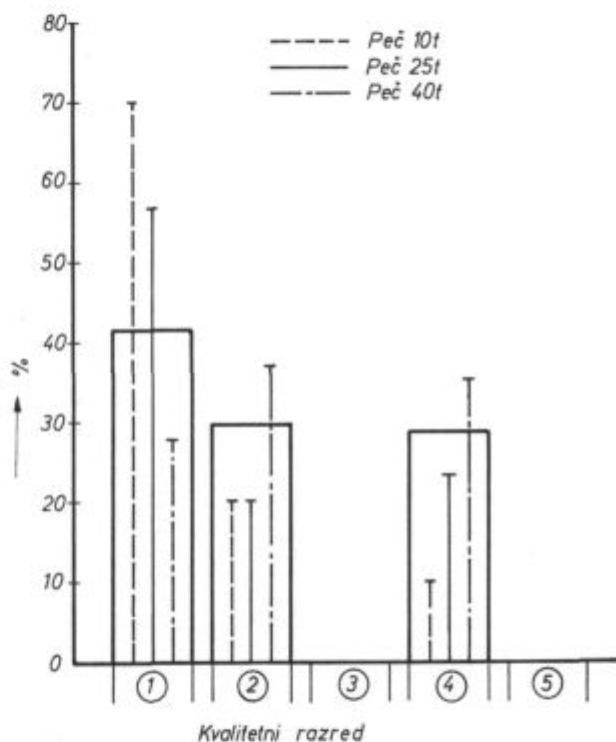
V splošnem so zaključki izvršenega pregleda za preteklo obdobje pokazali, da je bila negotovost



Slika 1
Deleži porazdelitve šarž po kvalitetnih razredih v medfazni kontroli cagljev

v izpolnjevanju kvalitetnih zahtev skoraj nesprejemljiva in ni omogočala ekonomične redne proizvodnje.

Obenem s planiranjem raziskave smo morali določiti tudi ustrezne kvantitativne kriterije za ocenjevanje kakovosti, s katerimi naj bi ocenjevali uspehe metalurških posegov in zanesljivost kvalitete v toku raziskovalne naloge in kasneje v redni proizvodnji. Na osnovi zbrane in obdelane dokumentacije preteklega obdobja smo izbrali kriterije za oceno kvalitete tako, da smo dobili pet kvalitetnih razredov, med katerimi predstavlja prvi razred najboljšo kvaliteto, peti razred pa najslabšo — tako, ki zahteva spremembo dispozicije. Jeklo petega kvalitetnega razreda se lahko uporabi le za podrejene namene na področjih, za katera ni posebnih tehničnih zahtev glede kvalitetnih karakteristik jekla.



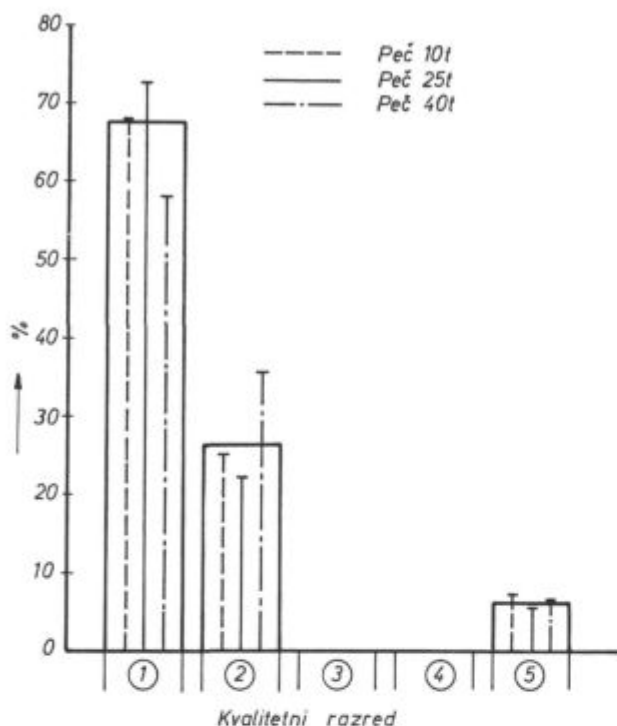
Slika 2
Deleži porazdelitve šarž po kvalitetnih razredih v končni kontroli paličastega jekla

Slika 1 kaže, kakšni so bili deleži porazdelitve šarž po kvalitetnih razredih v medfazni kontroli cagljev. Kriteriji posameznih razredov se nanašajo v glavnem na omejitve metalografsko kontroliranih lastnosti.

V medfazni kontroli na podlagi rezultatov metalografskega pregleda odredimo uporabo posameznih šarž v nadaljnji predelavi.

Na podoben način smo določali tudi v končni kontroli paličastega jekla ali pa odkovkov za obročke krogličnih ležajev deleže porazdelitve šarž po posameznih kvalitetnih razredih, kar je prikazano v slikah 2 in 3.

Iz slik 1, 2, in 3 vidimo do neke mere tudi kvalitetne razlike jekla iz posameznih peči. To pomeni, da so dane možnosti za izboljšanje s posegi v jeklarsko tehnologijo, upoštevajoč karakteristike dela na posameznih pečeh.



Slika 3

Delež porazdelitve šarž po kvalitetnih razredih v končni kontroli obročkov za kroglične ležaje

Iz obdelane dokumentacije preteklega obdobja jasno sledi zaključek, da je bila kvaliteta tega jekla preveč nezanesljiva in da je nujno potrebno s sistematičnimi raziskavami najti ukrepe, ki bodo kvaliteto tega jekla pomembno izboljšali ob sprejemljivih ekonomskih pogojih proizvodnje. Taka raziskava s poprečnimi težami šarže 30 ton pa je seveda precej dolgotrajna in ob nepremišljenem tveganju tudi zelo draga. Zato smo le postopoma preizkušali manjše variante in na osnovi kontrolnih pregledov odločali o utemeljenosti njihovega uvajanja in o vsebini nadaljnjih sprememb oz. izboljšav. Ob takem preizkušanju posameznih variant smo sproti tiste, ki niso omogočale zadovoljive ekonomičnosti, in tiste, ki so dale nezadovoljivo kvaliteto, sproti izločali iz nadaljnega preizkušanja. Glavni cilj je bil v zagotavljanju kvalitete višjih kvalitetnih razredov z manjšo neenakomernostjo kvalitete, obenem pa smo želeli skrajšati proces izdelave šarž od prejšnjih klasičnih 6 do 7 ur na ca. 5 ur.

Že v začetku raziskave smo lahko ugotovili, da na tako specifičnem področju praktično ni mogoče koristiti podatkov iz literature, ker ne gre za bistvene spremembe v postopku, ampak le za optimizacijo specifičnih pogojev, ki se od jeklarne do jeklarne, pa tudi od peči do peči, razlikujejo.

Ponovno je bila potrjena, že večkrat ugotovljena, trditev, da se pri raziskovalnih nalogah za izboljšanje enakomernosti in nivoja kvalitete največ uspeha doseže z izkoriščanjem lastne urejene dokumentacije, z obdelavo podatkov in sistematično analizo lastnih izkušenj.

Literatura je sicer prav na tem področju zelo obsežna. Tako na primer navajajo Fiedler, Lachner in Eisenkolb¹ številne ukrepe in obsežne podatke o proizvodnji surovega jekla za kroglične ležaje. Ti avtorji ugotavljajo, da nečistoče naraščajo z zviševanjem temperature taline in s povečanjem hitrosti litja. Pomemben vpliv pripisujejo razmerju Mn : Si v jeklu in trdijo, da je čistost jekla boljša, če je to razmerje večje. V svojem članku ugotavljajo celo odvisnost čistosti jekla od absolutne vsebnosti mangana v jeklu. Čim več je mangana — seveda v določenih mejah, tem bolj čisto je jeklo. Podaljšana rafinacija ugodno vpliva na čistost jekla. Dolgo čakanje s polno ponovco pred začetkom litja poslabša čistost jekla. Zviševanje količine aluminija daje čistejše jeklo, vendar le do neke meje, ker povečana vsebnost aluminija vpliva na livnost.

Hiebler, Nepel in Nöstenhall² ugotavljajo, da se jeklo s pomočjo uporabe argona v ponovci močno izboljša. Trdimo pa lahko, da niti prva niti druga skupina avtorjev po klasični tehnologiji izdelave elektro jekla ni mogla zagotoviti doseganja tehničnih pogojev, ki jih zahteva GOST 801-60. Pri svojih kriterijih ti avtorji dovoljujejo vključke z ocenami celo nad 4.

Sovjetski avtorji^{3,4,5} veliko pišejo o vplivu rafinacijske žindre na količino in tipe vključkov. Pri različnih bazičnostih in sploh različnih sestavah žlinder ugotavljajo zelo različne rezultate.

Vso to in še številno drugo literaturo smo lahko uporabili le kot koristne informacije, nismo pa mogli posameznih ugotovitev neposredno uporabiti in tudi ne preizkusiti, ker so preveč vezane na specifičnosti proizvodnje v posameznih jeklarnah, kjer so avtorji svoje raziskave izvajali.

Sami smo na primer ugotovili, da primerna bazičnost in velika aktivnost žindre močno znižuje žveplo v končni sestavi — celo na vsebnosti pod 0,006 %. Obenem pa je zanimiva ugotovitev, da ta vsebnost žvepla ni posebno odločilna za tipe in velikosti sulfidnih vključkov, ki smo jih pri takih šaržah ugotavljali. Po naših izkušnjah se morajo karbidne žindre pred izpustom taline iz peči razbiti v takšne, da vsebujejo pri izteku čim manjšo količino kalcijevega karbida, saj se ta noče izločiti iz taline, ampak ostaja kot emulzija žindre v jeklu in jeklo močno onesaži.

Ugotovili smo, da je jeklo, ki je na koncu pod močno karbidno žindro, potrebno izpustiti iz peči brez žindre — z zadržanjem žindre. Obenem pa velja, da talina, izpuščena iz peči v ponovco brez istočasnega mešanja žindre, obdrži previsoko vsebnost žvepla. Torej smo rajši karbidne žindre s pomočjo oksidov kalcija delno pa z SiO₂ ali CaF₂ razbijali ter mešali žindro, ki ni imela CaC₂

z jeklom. Tako smo šarže lažje odžveplali, poleg tega pa se izognili nevarnosti lebdenja vključkov karbidne žlindre v ponovci.

Poglejmo v kratkem glavne metode, ki smo jih z več variantami v naših raziskavah preizkusili:

1. metoda je predstavljala klasično rafinacijo. Vložek smo izbrali tako, da smo dodajali do 20 % legiranih odpadkov jekla iste sestave. K vložku ni dodanega nič grodlja zaradi potrebne nizke vsebnosti mangana v vložku. Vložek smo v celoti oglijčili samo s karburitom do 1,30 % C v prvi predprobi.

Oksidacija je pričela pri temperaturi 1540 do 1580°C, nato se je ogljik oksidiral do ca. 0,9 %, za $\Delta C > 0,4$ %.

Pred oksidacijo je bilo potrebno uvesti posebno odfosforanje, zato smo dodali nekaj železove rude do 10 kg/tono taline. To je bilo potrebno tudi zaradi sigurnejšega znižanja mangana v talini. Po oksidaciji smo vršili izkuhavanje ca. 30 minut ter držali temperaturo taline blizu 1640°C. Sledil je vlek žlindre, nove žlindre $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{SiO}_2$ pa so dodali v količini 2–2,5 % od teže vložka.

Klasična rafinacija je trajala ca. 1 1/2 ure, medtem pa smo izvajali učinkovito obdelavo žlindre s prašnatimi dezoksidanti FeSi, CaSi in C (difuzijska dezoksidacija).

Legiranje FeCr se je izvršilo na belo ali karbidno žlindro. Izpust šarže s predhodnim dodatkom ca. 0,7–1 kg Al/t v peč se je izvršil z mešanjem žlindre in jekla ob izteku taline v ponovco. S ponovco smo nato čakali 5–8 minut. Temperatura prehoda je znašala 1580–1610°C (potopni pirometer).

Litje je bilo komunicirano v 2-tonske valjavske ingote s hitrostjo 20–25 cm/minuto. Litje se je vršilo z livnim praškom.

2. metoda je bila prav tako klasična rafinacija z manjšimi spremembami.

Vložek je bil brez odpadkov kromovih jekel (OCR). Spremenjeni so bili dodatki Al za dezoksidacijo. Ruda se za oksidacijo ni uporabila, ampak le kisik. Del aluminija se je dodal že po oksidaciji oz. izkuhavanju (za preddezoksidacijo).

3. metoda je imela možnost uporabe samo legiranih odpadkov. Ta metoda je enostavna pretopitev z zelo kratko oksidacijo ali brez oksidacije. V vložek pridejo samo legirani odpadki iste vrste jekla (OCR 4). V vložek se doda 1 % rude na težo vložka. Šaržo se po raztaljenju očisti žlindre ter na golo kopel popravlja vsebnost ogljika in ostalih elementov (FeCr). Nova žlindra $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ (1,5 % od teže vložka) je karbidna, ki se jo postopoma dezoksidira s prašnatimi dezoksidanti. Ta dezoksidacija poteka preko žlindre difuzijsko.

Končni dodatek Al znaša 0,7 kg/tono jekla ter se izvrši dve minuti pred izpustom šarže. Dodatek FeSi se vrši 1/4 ure pred izpustom šarže v peči. Vse ostalo se med litjem ne menja napram metodi 1 in 2.

4. metoda naj bi omogočila hitrejšo izdelavo šarže, zato je morala biti izdelana na posebne

načine preddezoksidacijskih posegov ter izdelavo tenkotekočih aktivnih žlinder.

Vložek, odfosforanje, oksidacija so običajni s tem, da se lahko doda celo do 50 % legiranih odpadkov OCR 4 ali ekvivalentnih vrst jekel.

Oksidacijski čas je kratek in prav tako je kratek čas izkuhavanja. Po teh posegih je sledil vlek žlindre in preddezoksidacija z različnimi količinami Al. Naredili smo novo, zelo aktivno in tenkotekočo žlindro. Ta je morala v času pol ure do 50 minut omogočiti padec žvepla pod 0,012 %, kar smo postavili za končno analizo kot pogoj. Dezoksidacija je sledila v ponovci ali pa med pihanjem argona, saj smo šaržo pri tej metodi redno preprihali z argonom. Trajanje šarže smo znižali na 5 in celo manj ur. Pri tem smo imeli manj okvar na oblogi peči in povečali produktivnost peči za najmanj 20 %.

S temi štirimi metodami in manjšimi modifikacijami smo preizkusili izdelavo jekla za kroglične ležaje na 25-tonske elektro obločne peči. Vlivali smo 2-tonske kvadratne ingote ter jih vroče zakladali v globinske peči valjarne.

Tehnologija ogrevanja v globinskih pečeh je bila sorazmerno preprosta, morali pa smo vpeljati homogenizacijsko ogrevanje za odpravo karbidnih segregacij. Problem karbidnih segregacij smo dokončno rešili in lahko tudi trdimo, da danes vse šarže ustrezajo normalnim kvalitnim zahtevam, s katerimi smo imeli prej velike težave.

V toku daljšega obdobja smo kljub variantam v tehnologiji praktično izključili pojavljanje šarž, ki po čistosti ne bi zadovoljevale realnih zahtev potrošnikov jekla za kroglične ležaje.

Izboljšanje kvalitete smo v redni kontroli potrdili s serijo 51 šarž ob sistematični kontroli izvajanja predpisane tehnologije.

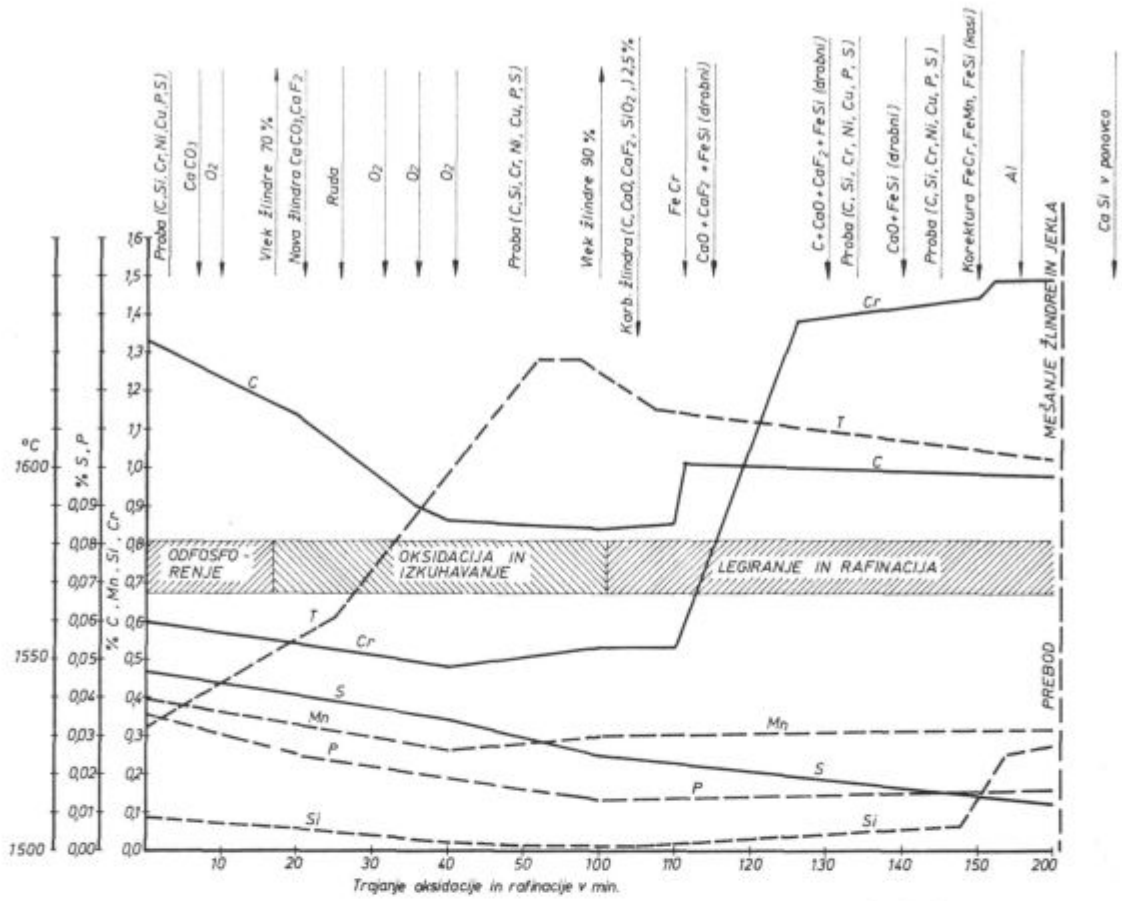
Pri vseh teh šaržah smo glede vključkov izpolnili zahteve 1. kvalitetnega razreda, zahtevam z omejitvami karbidnih segregacij pa ni ustrezala v tem obdobju samo ena šarža, pri kateri smo namenoma izpustili fazo homogenizacijskega ogrevanja. To pa je le potrdilo upravičenost uvedenih ukrepov v postopku ogrevanja pred valjanjem.

Karbidna travavost je v medfazni kontroli cagljev popolnoma zadovoljiva, zaradi različnih kriterijev pa je pri končnih dimenzijah paličastega jekla posameznih šarž še nekoliko problematična.

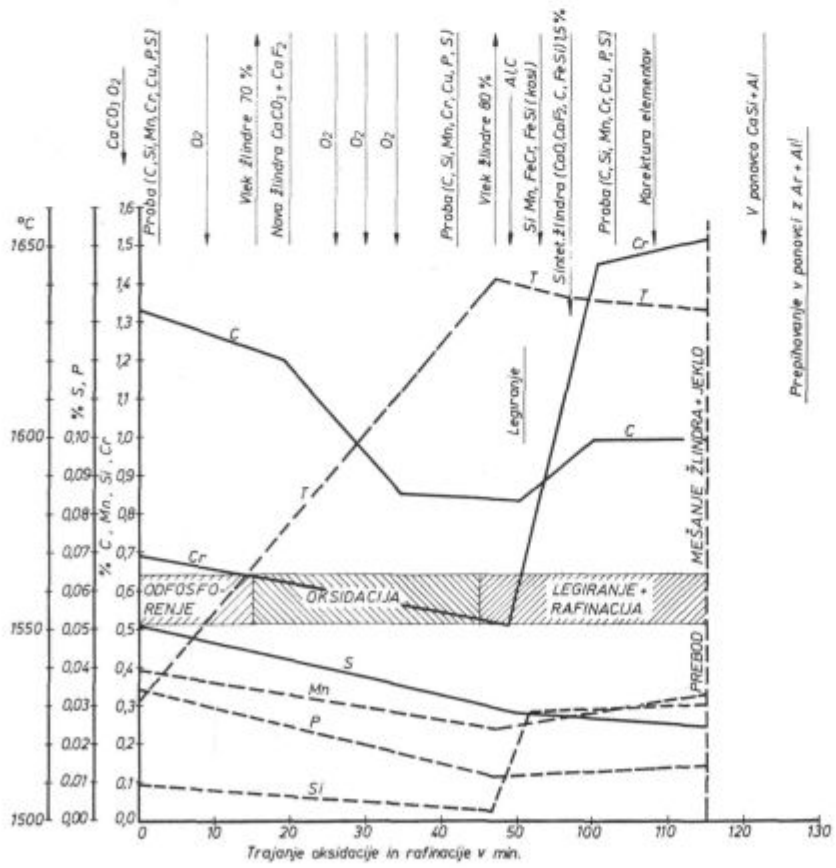
Z ukrepi, uvedenimi v toku raziskovalne naloge, smo v medfazni kontroli cagljev praktično odpravili šarže, ki bi pripadale 4. in 5. kvalitetnemu razredu. Iz slike 1 pa vidimo, da je bilo takih prej v celoti skoraj 40 %.

IZPOPOLNJENA TEHNOLOGIJA IZDELAVE JEKLA OCR 4 ex. sp.

V naši železarni je najugodnejša 25-tonska elektro obločna peč. Ima sorazmerno plitvo dno, zato je fizikalno-metalurški proces med žlindro in jeklom ugodnejši kot pri drugih pečeh.



Slika 4
Metoda daljšega taljenja



Slika 5
Metoda krajšega taljenja

Vložek lahko izberemo tako, da vsebuje do 0,7 % Cr in max. 0,27 % Cu ter max. 0,25 % Ni. Grodelj se navadno ne uporablja, ampak se potrebna količina C doda s pomočjo karburita.

Peč naj ima vzdržnost med 10. in 100. šaržo. Starejša peč ni ugodna, ker je v obzidavi tanka in nudi manj aktivne žilindre. Takoj po novi obzidavi pa zopet ne, saj je dolomitna obzidava vezana s katranom, kar lahko povzroči večjo plinavost šarže.

Potek daljšega načina taljenja prikazuje slika 4. Namesto rude je uporabljen kisik. Dodatek rude je največ 5 kg/t jekla pred začetkom intenzivne oksidacije s kisikom.

V celotni oksidacijski dobi in v dobi odfosforjenja se drago apno zamenja s cenejšim apnenecem. Dodatek CaSi v ponovcu ni nujen. Šarža, kot vidimo iz slike poteka taljenja, ni preprihana z argonom v ponovcu.

Trajanje oksidacije in rafinacije znaša skupno 2 uri.

Metoda daje ugodne rezultate glede čistosti, karbidnih segregacij, modrega loma itd.

Možna je tudi **hitrejša metoda taljenja**, po kateri se vsota vključkov nekoliko poveča, pade pa velikost posameznih tipov vključkov. Tudi ta metoda, ki jo kaže slika 5, daje popolno zanesljivost pri dšeganju pogojev, ki jih zahteva domača industrija krogličnih ležajev.

Izdelava jekla je po tej metodi popolnoma različna od odfosforanja naprej, posebno pa po končni intenzivni oksidaciji taline.

Metoda bazira na hitrih posegih dezoksidacije, kjer ima glavno vlogo kot preddezoksidant večji dodatek metalnega aluminija. Mogoča je tudi zamenjava metalnega Al s FeAl.

Legiranje vseh elementov se vrši takoj po končani preddezoksidaciji.

Temperature taljenja oz. celotnega procesa v peči so višje kot pri prejšnji metodi. V ponovcu se obvezno doda CaSi.

Posebnost pri tej metodi je tenkotekoa žilindra, ki je prirejena tako, da ima posebno sposobnost odžveplanja v času izpusta taline iz peči v ponovcu. Žilindra in jeklo se morata obvezno premešavati ob izteku iz peči v ponovcu.

Nova posebnost te metode je, da se šarža preprihuje 6 minut z argonom skozi porozen čep v ponovcu. Med preprihovanjem se doda še nekaj aluminija.

Izdelava šarže po drugi metodi je hitrejša, saj trajata oksidacija in rafinacija skupno le največ 1 uro in 20 minut.

Tako smo izbrali dva načina izdelave jekla za kroglične ležaje in s tema dvema metodama lahko popolnoma zagotavljamo tehnične zahteve domače industrije ležajev.

ZAKLJUČEK

Težave, ki smo jih imeli pri proizvodnji, so zahtevale izpopolnitev tehnologije taljenja in vroče predelave jekla OCR 4 ex. spec. za kroglične ležaje v naši železarni.

Preizkusili smo razne nove tehnološke metode pri izdelavi šarž in na podlagi spremljanja kvalitnih lastnosti jekel določili dve novi metodi izdelave jekla v elektro obločnih pečeh.

Obe metodi taljenja sta dali zadovoljive rezultate, zato smo ju sprejeli kot standardni pri proizvodnji omenjenega jekla. Ena od metod daje možnost ekonomičnejše in produktivnejše proizvodnje, saj skrajša čas izdelave v elektro obločni peči celo za več kot eno uro. Jeklo pa zadovoljuje tehnološke oz. kvalitetne pogoje, ki jih zahteva domača industrija krogličnih ležajev.

Dosegli smo povsem zadovoljivo stopnjo čistosti in karbidnih segregacij v jeklu ter s tem rešili dolgotrajen problem v proizvodnji te vrste jekla.

Literatura

1. Fiedler, Lachner in Eisenkolb: Möglichkeiten zur Beeinflussung der Schlackenreinheit bei Wälzlagerstahl — Neue Hütte, Heft 4, stran 199—207.
2. Hiebler H., V. Nepal in A. Nöstelthall: Erfahrungen mit der Argonspüllung an Schmelzen 100 Cr 6. Berg und Hüttenmanische Monatshefte 114, (1969), št. 11, stran 382—389.
3. Sevčenko Z. A., A. I. Hitrik in J. I. Spektov: Rol šlaka v zagraznenji stali SH 15 krupniimi nemetaličeskimi vključenji. Metalovedenie i termičeskaja obrabotka. (Zavod Dnjevprospektstalj.)
4. Zelbet B. M., L. D. Lapoško, T. V. Malikova, S. G. Voinov, A. G. Šalimov in L. F. Kosoi: Vlijanje tehnologii vplavki stali SH 15 v boljše grupnih pečah na ee kačestvo i na dolgovečnost podšipnikov. Elektro metalurgija, Stalj št. 3, stran 223—225.
5. Sapiro C. I.: O nemetaličeskikh vključenji šarikopodšipnikovoi stali. Stalj št. 6, 1953, stran, 519—523.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Erzeugung des Kugellagerstahles OCR 4 ex. spec. sind mehrere Methoden der Stahlherstellungstechnologie untersucht worden. Der Zweck dieser Untersuchungen war die Verbesserung der Stahlqualität mit der Verminderung des Einschulssgehaltes mit der Abschaffung der Karbidzeigerungen und der Verbesserung einiger physikalischen Eigenschaften. Stufenweise sind während der Untersuchungen Änderungen in der Desoxydationstechnik

überprüft worden. Diejenige Stahlherstellungstechnologie welche im ganzen die Stahlqualität und die Wirtschaftlichkeit der Erzeugung am besten ausgebessert hat, ist ausgewählt worden. Eine höhere Anzahl von Schmelzen ist an 10.25 und 40 t. Lichtbogenöfen erzeugt worden. Die gesamten Schmelzen sind chemisch, metalographisch und über die mechanischen Eigenschaften untersucht worden. Die ausgewählte Technologie ist über eine längere Zeit in der üblichen Production geprüft worden.

SUMMARY

A number of methods of metallurgical technology of melting was used in the production of OCR 4 ex. sp. steel for ball bearings. The aim of the investigation was to improve the steel quality through a decrease of certain types of nonmetallic inclusions, the removal of carbide segregation and the improvement of definite mechanical properties. Different deoxidizing methods were tested during the steel melting in an electro arc furnace. The

method which results in the highest improvement of the overall quality of steel and the best economy of metallurgical technology was finally selected. A number of charges were made on 10,25 and 40 tons arc furnaces. The specimens were mechanically, chemically and metallographically investigated. The method was tested in a long period of normal operation.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

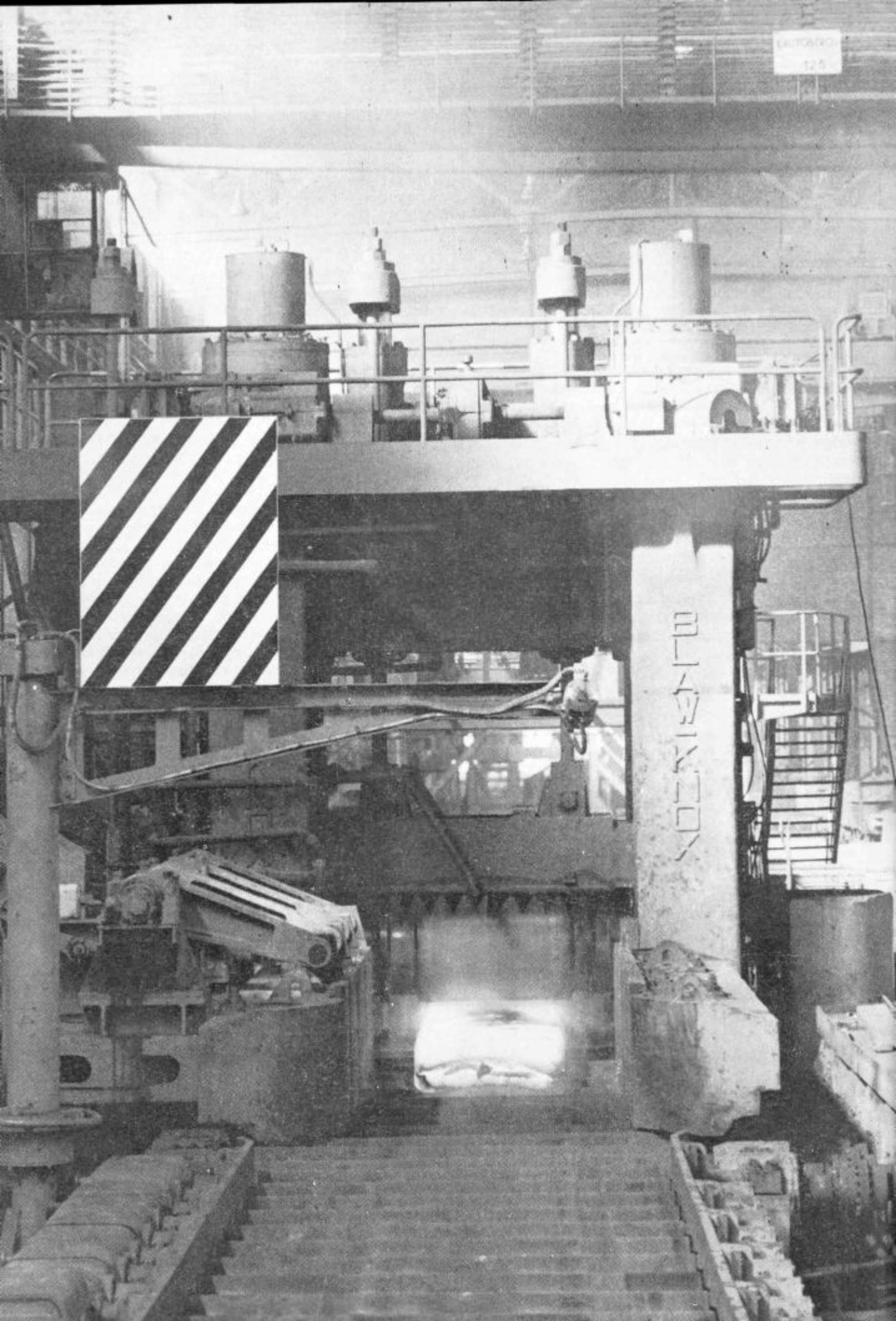
При производстве стали марки OCR 4 ex, сред. для шарикоподшипников исследовано несколько методов металлургической технологии плавки. Цель исследования улучшить качество этого сорта стали уменьшением содержания некоторых видов включений, удалением карбидных сегрегаций и с повышением некоторых механических свойств. В течении исследования постепенно определяли изменения при техники раскисления во время плавки этой

стали в электрической дуговой печи. Выбран способ при котором что касается технологии плавления полностью улучшено качество стали а также и экономическая сторона выделки. Произведено большое количество плавов в 10, 25 и 40 т. вместимости дуговых электропечей. Все плавки испытаны на химический состав, механические свойства и металлографическую структуру. Выбранную технологию исследовали после опытов во время нормального производства.

125



БЛАВНИКОВ



Vpliv elektropretaljevanja pod žlindro na kvaliteto jekla za kroglične ležaje (OCR-4 ex. sp.)

V članku so podani eksperimentalni rezultati pretaljevanja jekla OCR-4, ex. sp. (Železarna Ravne) pod žlindro. Navedeni so nekateri tehnični podatki o EPŽ-napravi. Pri oceni doseženih rezultatov je posebna pozornost posvečena reakcijam, ki potekajo med tekočo žlindro in jeklom, zlasti še parametrom, ki določajo vsebnosti kisika in žvepla v jeklu.

Pri oceni kvalitete EPŽ-jekla je izvršena komparativna metalografska analiza nekovinskih vključkov med izhodnim in pretaljenim jeklom, pri istem prečnem preseku z uporabo J. K., GOST in Diergartenove skale. Vsebnost nekovinskih vključkov (oksidov, silikatov in sulfidov) je v EPŽ-jeklu za približno trikrat nižja kot v izhodnem jeklu.

1. SPLOŠNO

Osnovna zahteva, ki se postavlja za jekla, namenjena za izdelavo krogličnih in valjčnih ležajev je minimalna vsebnost nekovinskih vključkov (zlasti grobih), homogena struktura in visoka gostota jekla.¹

Praktične izkušnje so namreč pokazale, da je življenjska doba ležajev, gledano s statističnega aspekta, v strogi korelacijski povezavi z vsebnostjo, obliko in naravo nekovinskih vključkov^{1,2,3}. Ker je delovna površina ležaja podvržena številnim periodičnim in neperiodičnim obremenitvam, se koncentrirajo okrog nekovinskih vključkov predvsem lokalne napetosti, ki se širijo globoko v notranjost ležaja. Posledica teh napetosti je tvorba razpok in vdolbin, kar neizogibno vodi do porušena ležaja.

Po drugi strani vodi prisotnost poroznosti in nakopičenj nekovinskih vključkov v centralnem delu valjanih ali kovanih polizdelkov, kot posledica pogojev kristalizacije pri standardni tehnologiji izdelave ingotov, do precejšnjih izgub v materialu pri izdelavi ležajev. Te izgube lahko znašajo tudi do 15 %.⁴

Pri izdelavi specialnih ležajev, ki delajo v posebnih pogojih (npr. v letalski industriji) so zahteve po kvaliteti jekla še večje in jekla, izdelana

s standardno tehnologijo ne ustrezajo več zahtevanim predpisom.

Na osnovi vsega tega, je lahko razumeti, zakaj so jeklarji vsaki novi tehnološki postopek kot je: pretaljevanje v vakuumu, preprihovanje z inertnimi plini, obdelava jekla s tekočimi žlindrami, elektropretaljevanje pod žlindro (EPŽ-postopek) in dr. aplicirali med prvim ravno na jekla za kroglične in valjčne ležaje.

V tem članku so opisani rezultati pretaljevanja jekla za kroglične ležaje kvalitete OCR-4 ex. sp. po postopku elektropretaljevanja pod žlindro na polindustrijski EPŽ-napravi na Metalurškem inštitutu v Ljubljani.

2. OPIS NAPRAVE IN IZBIRA SUROVIN

Splošne fizikalno-kemične in tehnološke karakteristike postopka za elektropretaljevanje jekla pod žlindro so v literaturi že večkrat opisane. Zato se bomo omejili na podajanje osnovnih tehnoloških parametrov EPŽ-naprave, na kateri smo vršili poskuse:

- moč transformatorja 100 KW
- sekundarna napetost 35—55 V
- sekundarni tok do 1700 A
- hitrost podajanja elektrode 0,5—17 cm/min
- bakreni, vodno hlajeni kristalizator z notranjim premerom $\varnothing = 118$ mm
- max. višina ingota do 1000 mm
- max. presek elektrode $\varnothing 70$ mm
- max. dolžina elektrode do 4000 mm

Kot elektrode smo uporabili paličaste profile okroglega ali kvadratnega preseka $\varnothing = 36$ do $\varnothing 60$ mm, katere smo pred taljenjem mehanično čistili.

Kemična sestava jekla, kvalitete OCR-4, ex. sp. (iz proizvodnega programa Železarne Ravne) je ležala v predpisanem območju:

% C	% Si	% Mn	% Cr	% S	% P	% Cu
0,95 —	0,17 —	0,25 —	1,35 —	max	max	max
1,05	0,37	0,40	1,65	0,020	0,025	0,25

Žlindro smo izdelali iz osnovnih komponent: pretaljenega korunda in kalcijevega fluorida in je

P	% Al ₂ O ₃	% SiO ₂	% CaO	% Fe tot.	C	S	% CaF ₂
0,003	25—30	2,0	1—3	0,2	do 0,4	0,2	65—70

3. VODENJE PROCESA

Celoten postopek vodenja EPŽ-procesa lahko razdelimo na tri periode:

1. začetna («vžigna») perioda,
2. delovna perioda,
3. končna perioda.

V začetni periodi smo raztalili žlindro v kristalizatorju, s čimer je omogočeno talenje elektrode in stabilizacija procesa. Ta del procesa smo vodili z ročno regulacijo.

Na sliki 1 sta prikazana dva načina vžiga:

Typ A: vžig preko eksotermičnega sredstva in tip B: vžig preko tekoče žlindre.

Pri naših poskusih smo uporabili vžig tipa-A.

Delovna perioda se začne 10—15 min po vžigu oziroma takrat, ko je proces popolnoma stabiliziran, kar se pokaže v obnašanju napetosti in toka na transformatorju. Hitrost podajanja elektrode v delovni periodi je bila prepuščena avtomatski kontroli.

Med delovno periodo smo v določenih časovnih presledkih merili temperaturo hladilne vode (povprečna vrednost okrog 35° C), povprečno hitrost podajanja elektrode (ta znaša v odnosnosti od preseka elektrode od 1,5—4,0 cm/min) ter temperaturo žlindre (okrog 1780° C). Jakost toka se je spreminjala glede na presek in globino potapljanja elektrode v žlindro in je ležala med 900 do 1550 A pri sekundarni napetosti 30—45 V.

po svoji kemični sestavi odgovarjala žlindri tipa AFN-6:

Hitrost talenja (Q) je ležala v odvisnosti od preseka elektrode in ostalih tehnoloških parametrov (vrsta in količina žlindre, jakost toka, itd.) med 20—30 kg/h.

4. ANALIZA REZULTATOV

Pri analizi rezultatov smo pozornost usmerili v dveh smereh:

1. Ocena poteka metalurških reakcij med je-klom in žlindro,
2. Ocena kvalitete EPŽ-jekla predvsem glede nekovinskih vključkov.

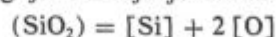
4.1. Termodinamične zakonitosti EPŽ-procesa

Kakor pri ostalih jeklarskih procesih je tudi pri EPŽ-postopku potek kemičnih reakcij med je-klom in žlindro določen s termodinamičnimi in kinetičnimi zakonitostmi.

V primeru jekla OCR-4, ex. sp. je osnovna tendenca doseči minimalno vsebnost grobih nekovinskih vključkov (zlasti grobih korundnih vključkov) in njihovo čim bolj enakomerno porazdelitev po celotnem volumnu ingota. Zato moramo izbrati takšno žlindro, ki bo imela visoko sposobnost asimilacije oksidnih nekovinskih vključkov in zadostno afiniteto do žvepla, da bi se dosegla čim višja stopnja razžveplanja jekla. Pri tem je treba voditi računa tudi o hitrosti procesa tj. času, ki stoji na razpolago za reakcijo med tekočim je-klom in žlindro. Čas pretaljevanja je od izrednega pomena pri visokoogljičnih jeklih zaradi pogojev kristalizacije karbidov.

Pri naših poskusih smo se odločili za žlindro tipa 70 % CaF₂ — 30 % Al₂O₃, ki po podatkih iz literature najbolj odgovarja tej vrsti jekla.

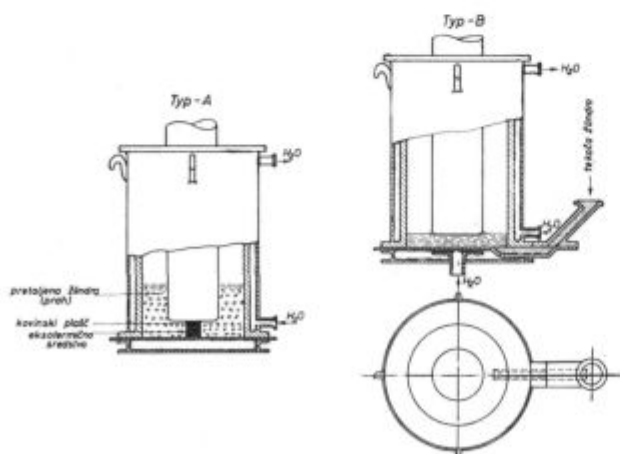
Vsebnost kisika v EPŽ-ingotu pri optimalnih pogojih talenja je določena z reakcijo



Konstanta ravnotežja za to reakcijo:

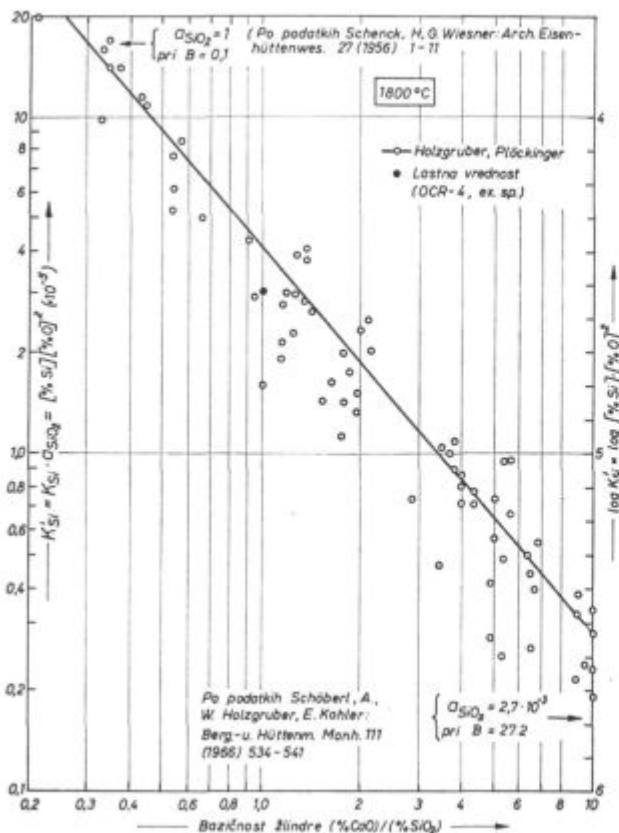
$$K'_{\text{Si, O}} = [\% \text{ Si}] [\% \text{ O}]^2 = K_{\text{Si, O}} \frac{a_{\text{SiO}_2}}{f_{\text{Si}} \cdot f_{\text{O}}^2}$$

kaže, da je vsebnost kisika pri konstantni temperaturi in vsebnosti silicija v jeklu določena predvsem z afiniteto SiO₂ v žlindri, oziroma z ba-zičnostjo žlindre, kot je to razvidno iz slike 2.⁵



Slika 1

Principielne možnosti »vžiga« pri postopku elektropretaljevanja pod žlindro. Tip A: vžig preko eksotermičnega sredstva, tip B: vžig preko tekoče žlindre



Slika 2

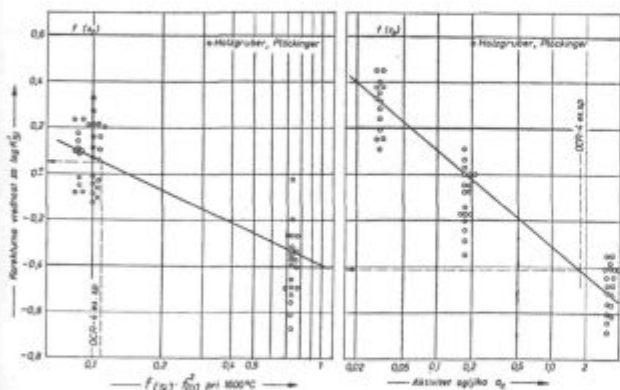
Vpliv bazičnosti žlindre na dezoksidacijsko sposobnost silicija pri EPŽ postopku

Pri tem je treba upoštevati še korekcije konstante K'_{Si} , ogleda vpliva kemične sestave jekla na koeficiente aktivnosti silicija in kisika po enačbah (glej sl. 3):

$$f_{Si} = f_{Si}^{Si} \cdot f_{Si}^C \cdot f_{Si}^{Cr} \cdot f_{Si}^{Mn}$$

$$f_O = f_O^C \cdot f_O^O \cdot f_O^{Cr} \cdot f_O^{Mn}$$

pri čemer smo zanemarili vpliv kisika na f_{Si} in f_O .



Slika 3

Vpliv koeficientov aktivnosti silicija in kisika ter aktivnosti ogljika na vrednost konstante K (v diagramu so vrisane vrednosti korektur za jeklo OCR 4 ex. sp.)

Numerična izračunavanja z uporabo termodinamičnih podatkov iz literature⁶ in znane kemične analize jekla so dala vrednosti:

$$f_C = 1,778, \log a_C = 0,25, \log f_{Si} \cdot f_O^2 = -0,963$$

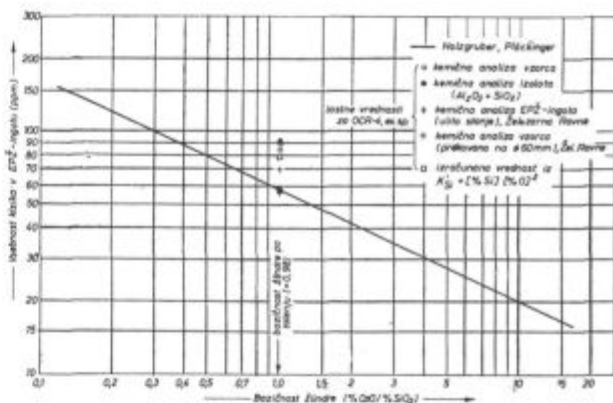
Na osnovi poznane kemične sestave žlindre (bazičnosti) in vrednosti za a_C in $f_{Si} \cdot f_O^2$ smo ocenili vrednost konstante $K'_{Si,O}$:

$$\log K'_{Si,O} = -4,780$$

Ker je vsebnost silicija v EPŽ-ingotu poznana, lahko izračunamo termodinamično vsebnost kisika v EPŽ-jecku:

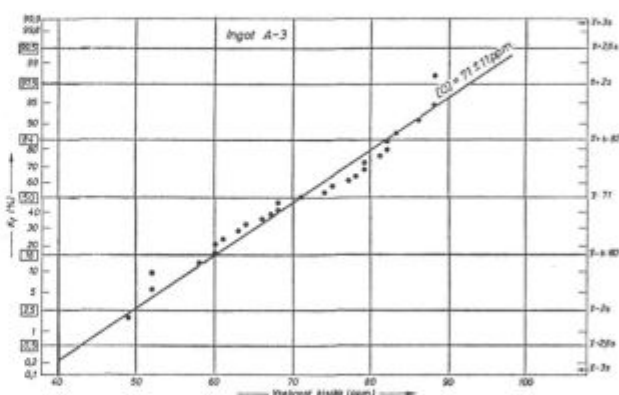
$$[\% O] = \sqrt{\frac{K'_{Si,O}}{[\% Si]}} = 0,0081$$

Ta vrednost se dokaj dobro ujema z analitično ugotovljenimi vrednostmi kisika v EPŽ-bloku, ki je v poprečju ležala med 0,005 in 0,009 % O (glej sliko 4). Porazdelitev kisika po višini ingota je ponazorjena na sliki 5 (ingot, A-3).



Slika 4

Vpliv bazičnosti žlindre na poprečno vsebnost kisika v jeklu za krogljčne ležaje (100 Cr 6) po pretaljevanju pod žlindro



Slika 5

Razdelitev kisika po prečnem preseku in pri treh različnih višinah ingota

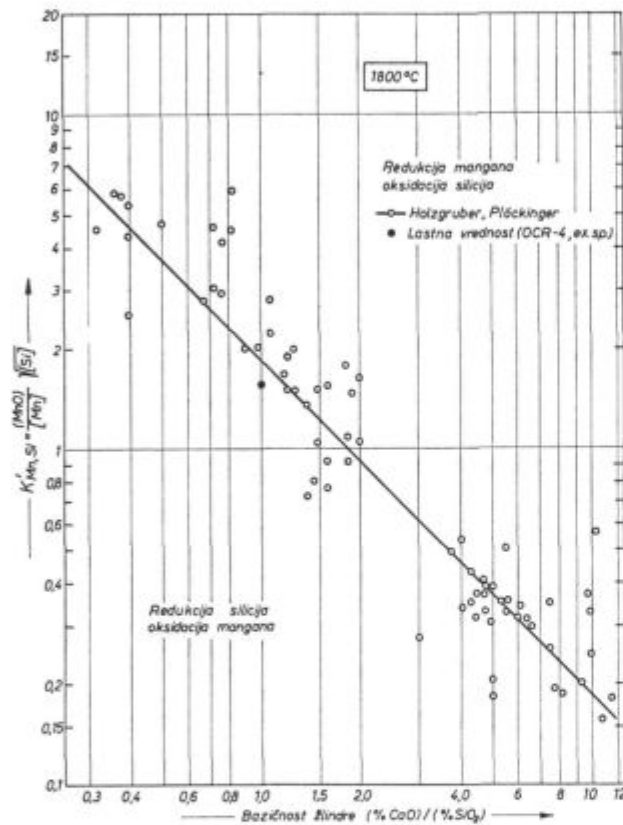
Poleg oksidacije silicija v jeklu, poteka tudi oksidacija mangana po enačbi:



Na osnovi kemične analize jekla in žlindre je mogoče izračunati konstanto $K'_{\text{Mn, Si}}$ in jo primerjati z eksperimentalno vrednostjo za to reakcijo. Naša izračunavanja so dala vrednosti:

$$K'_{\text{Mn, Si}} = \frac{(\text{MnO})}{[\text{Mn}]} \sqrt{[\text{Si}]} = 1,55,$$

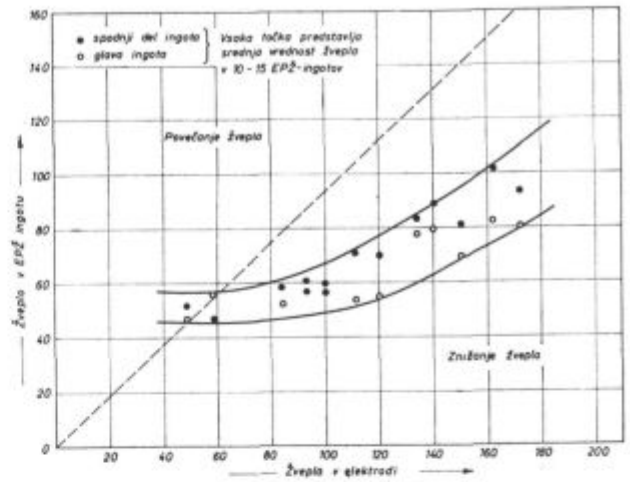
kar se precej približuje eksperimentalnim vrednostim Holzgruberja in Plöckinger-ja⁵, kot je razvidno iz slike 6.



Slika 6

Odvisnost konstante $K_{\text{Mn, Si}}$ od bazičnosti žlindre pri pretaljevanju jekla po EPZ postopku

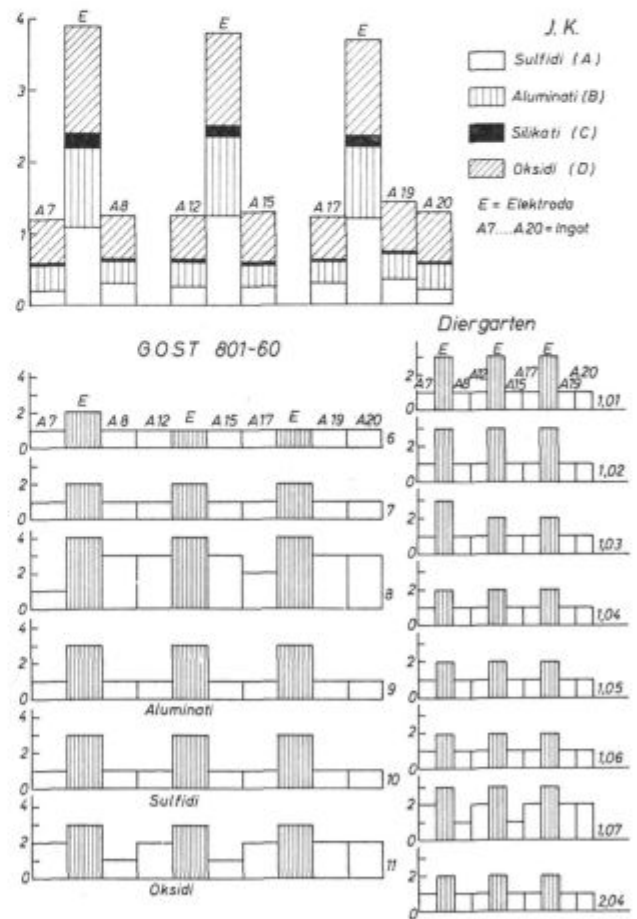
Vsebnost žvepla v jeklu po pretaljevanju pod žlindro je znašala okrog 40 ppm in se bistveno ni spremenila, ker je bila bazičnost žlindre dokaj nizka ($\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2 = 1$). To se popolnoma ujema s podatki drugih avtorjev, ki so pri tej bazičnosti žlindre in vsebnosti Al_2O_3 ugotovili stopnjo razžveplanja okrog 0–20 %^{4, 5, 7}. Pri tem je treba poudariti, da stopnja razžveplanja jekla ni odvisna samo od bazičnosti žlindre, temveč tudi od vsebnosti žvepla v izhodnem materialu (glej sl. 7). Pri nizkih vsebnostih žvepla v elektrodi okrog 50–60 ppm, kolikor ga je vseboval naš elektrodni material, nadaljne znižanje vseb-



Slika 7

Vpliv vsebnosti žvepla v izhodnem jeklu za kroglične ležaje (Sh 15) na vsebnost žvepla v EPZ ingotu, po pretaljevanju pod žlindro ANF-6

nosti žvepla z žlindro ANF-6 ni mogoče. Odstranijo pa se grobi sulfidni vključki, toda del sekundarnega žvepla iz žlindre preide v jeklo in se pojavi v obliki drobnih sulfidnih vključkov.



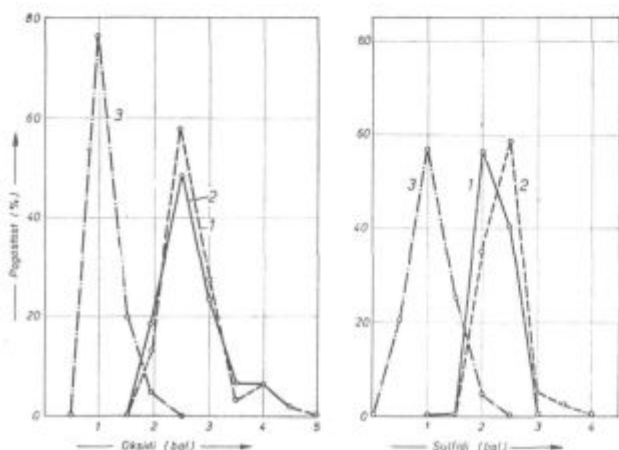
Slika 8

Vsebnost nekovinskih vključkov v jeklu OCR 4 ex. sp. določena po JK, Diergarten in GOST skali (elektrode so bile iste šarže)

4.2. Ocena vsebnosti nekovinskih vključkov

Zelo značilna karakteristika za jekla pretaljena pod žlindro pri njihovi metalografski analizi je odsotnost grobih nekovinskih vključkov.

Dabi vsebnost nekovinskih vključkov v EPŽ-jeklu čim bolj realno ocenili smo vse ingote prekovali na izhodni presek elektrode in nato izdelali komparativno analizo po GOST, J. K. in Diergartenovi skali. Na diagramu sl. 8 so pokazani rezultati metalografske analize. Iz slike je razvidno, da je med pretaljevanjem pod žlindro prišlo do skoraj trikratnega znižanja vseh tipov nekovinskih vključkov. Ti rezultati kažejo, da se je spremenila tudi velikost nekovinskih vključkov in da je večina nekovinskih vključkov premaknjena v področje finejših frakcij. Do popolnoma analognih rezultatov so prišli tudi številni drugi avtorji.^{4, 8}



Slika 9

Vpliv pretaljevanja po EPŽ postopku na čistoto jekla Šh 15 glede oksidnih in sulfidnih vključkov (1,2-izhodni material, 3 EPŽ ingot)

Zelo ilustrativni primer predstavljajo rezultati Lataša in Medovara⁴, ki so grafično prikazani na sliki 9. Pri tem je važno poudariti, da so nekovinski vključki enakomerno porazdeljeni po celotnem volumnu — kar predstavlja veliko prednost EPŽ-jekla. Kot kažejo podatki iz literature popolnoma izginejo blokovne segregacije v EPŽ-ingotu, medtem ko kristalne segregacije (merjene z razmerjem Cr max/Cr min) dosežejo minimalno vrednost, kar se pokaže v občutnem poboljšanju plastičnosti pri višjih temperaturah, kot so to potrdili torzijski poskusi na jeklu 100 Cr 6.⁹

5. ZAKLJUČEK

Rezultate pretaljevanja jekla za krogljčne ležaje, kvalitete OCR-4, ex. sp. iz proizvodnega programa Železarne Ravne pod žlindro tipa ANF-6 (CaF₂—Al₂O₃) lahko rezimiramo takole:

1. Vsebnost kisika v EPŽ-jeklu je določena z bazičnostjo žlindre in aktivnostjo silicija in ogljika.

Pri izbrani bazičnosti žlindre % CaO/% SiO₂ = 1 se vsebnost kisika giblje okrog 0,007 %, kar odgovarja termodinamičnemu ravnotežju med silicijem in kisikom.

2. Poleg oksidacije silicija (ki znaša okrog 19 %, ne glede na absolutno vrednost silicija v elektrodi) deloma oksidira tudi mangan (okrog 19 %) in ogljik (okrog 9 %), kar pokaže primerjava kemične analize med izhodnim in EPŽ-jeklom. »Odgor« silicija narašča z naraščajočo bazičnostjo žlindre, medtem ko ta v primeru mangana in ogljika z naraščajočo bazičnostjo pada.

3. Stopnja razžveplanja jekla OCR-4, ex. sp. je definirana z bazičnostjo žlindre in vsebnostjo žvepla v izhodni elektrodi. Pri vsebnosti žvepla v elektrodi okrog 0,005 % in bazičnosti žlindre (ANF-6) okrog ena, stopnja razžveplanja ne presega 15—20 %.

4. Kljub delnemu naraščanju absolutne vsebnosti kisika med pretaljevanjem, kaže metalografska ocena vsebnosti nekovinskih vključkov skoraj trikratno znižanje vsebnosti oksidnih vključkov, kot posledica odstranjevanja grobih vključkov. Ista stopnja znižanja vsebnosti nekovinskih vključkov je opažena tudi pri sulfidnih vključkih.

Ob tej priložnosti bi se zahvalil Razvojnemu oddelku Železarne Ravne, posebej ing. J. Rodiču, ing. A. Rodič in ing. J. Pšeničniku za sodelovanje.

Literatura

1. Voinov, S. G., A. G. Salimov: Šarikopodšipnikovaja stal, Moskva, Metallurgizdat 1962
2. Murray, J. D., R. F. Johnson: The United Steel Companies LTD (citirano v: Knüppel, H.: Desoxydation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen, Band I. Düsseldorf, Verlag Stahleisen M. B. H. 1970)
3. Lyty, W.: »Der Sauerstoff als Beurteilungsmasstab für den Reinheitsgrad und den Widerstand gegen Grübchenbildung von Wälzgerstahl«. Archiv für das Eisenhüttenwesen 42, 1 (1971) 49—53
4. Lataš, Ju. V., B. I. Medovar: Elektrošlakovi pereplav, Moskva, Metallurgija, 1970
5. Holzgruber, W., E. Plöckinger: »Metallurgische und verfahrenstechnische Grundlagen des Elektroschlack-Umschmelzens von Stahl, Stahl und Eisen 88, Nr. 12 (1968) 638-648
6. Schenck, H., E. Steinmetz: Wirkungsparameter von Begleitelementen flüssiger Eisenlösungen und ihre gegenseitigen Beziehungen, Düsseldorf, Verlag Stahl und Eisen, 1968
7. Klingelhöfer, H. J., P. Mathis, A. Choudhury: »Ein Beitrag zur Metallurgie des Elektro-Schlack-Umschmelzverfahren«, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 42, 5 (1971) 299—306.
8. Lüdemann, K., — F., H. J. Eckstein, D. Peisker, R. Serchen: »Veränderung des Reinheitsgrades von Wälzgerstahl durch Umschmelzen nach Sonderverfahren«, Freiburger Forschungshefte, B 122 (1966) 181—193
9. Holzgruber, W., G. Kühnelt, E. Plöckinger: »Der Seigerungsarme und gesteuert kristallisierte Stahlblock — Das ESU-Verfahren, ein Weg hiezu«, Radex-Rundschau, 3 (1970) 163—170.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Elektroschlackeumschmelzens des Kugellagerstahles der Qualität OCR 4 ex. sp. aus dem Erzeugungsprogramm des Hüttenwerkes Ravne unter der Schlacke ANF-6 ($\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) können wie folgend erörtert werden.

1. Der Sauerstoffgehalt des ESU Stahles wird durch die Basizität der Schlacke und durch die Aktivität von Si und C bestimmt. Bei der gewählten Schlackenbasizität $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1$ wird der Sauerstoffgehalt rund 0,007 %, was dem thermodynamischen Gleichgewicht zwischen Si und Sauerstoff entspricht.

2. Neben dem Si Abbrand (es beträgt 19 % unabhängig von dem Si Gehalt in der Elektrode), wird zum Teil auch Mangan (rund 19 %) und Kohlenstoff (rund 9 %) oxydiert, was durch den Vergleich der chemischen Zusammensetzung zwischen dem Ausgangs- und ESU-Stahl errechnet

wird. Der Abbrand von Silizium wächst mit der wachsenden Basizität der Schlacke, indem er bei Mangan und Kohlenstoff mit der wachsenden Basizität fällt.

3. Der Entschwefelungsgrad des Stahles OCR 4 ex. sp. wird von der Basizität der Schlacke und dem Schwefelgehalt in der Ausgangselektrode bestimmt. Wenn der Schwefelgehalt in der Elektrode rund 0,005 %, und die Basizität der Schlacke (ANF-6) 1 beträgt, übertrifft der Entschwefelungsgrad nicht 15 bis 20 %.

4. Trotzdem dass während des Umschmelzens der absolute Sauerstoffgehalt zunimmt, zeigt die metallographische Untersuchung fast eine dreifache Verminderung der oxydischen Einschlüsse als Folge der günstigen Abscheidungsverhältnisse für die groben Oxyde. Eine gleich grosse Verminderung wird auch bei den sulfidischen Einschlüssen beobachtet.

SUMMARY

The results of ERS of the steel OCR 4 ex. sp. for ball bearings from the production program of Ironworks Ravne can be summarized as follows:

1. Oxygen content of refined steel was determined with the slag basicity and the activity of Si and C. When working with the slag basicity $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1$ the oxygen content of steel was approx. 0,007 % which corresponds to the thermodynamical equilibrium between silicon and oxygen.

2. The comparison of the chemical analyses of the initial and refined steel revealed that the silicon content of refined steel was decreased due to the oxidation by approx. 19 % independent on the silicon content of the electrode. The corresponding decrease of manganese and carbon was 19 % and 9 %, respectively. The decrease in

the silicon content increases with the slag basicity whereas the decrease in manganese and carbon content decreases with slag basicity.

3. The desulfuration rate of the steel OCR 4 ex. sp. is determined with the slag basicity and the sulfur content of the electrode. When working with ANF-6 slag of the basicity $B = 1$ and at the sulfur content of the electrode 0,005 % the desulfuration rate does not exceed 15–20 %.

4. Despite a partial increase in the oxygen content of refined steel, metallographic investigation showed that the amount of oxide inclusions was decreased by three times approx. which resulted from the removal of coarse oxide inclusions. The amount of the sulfide inclusions was decreased in approx. the same degree.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных результатов исследования переплава стали для шарикоподшипников марки OCR 4 ex. sp. программа производства металлургического завода Равне (Ravne) под шлаком вида ANF-6 ($\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) можно вывести следующие заключения:

1. Содержание O_2 в стали марки EP2 определено основностью шлака и активностью Si и C. При выборе основности шлака $\% \text{CaO} : \% \text{SiO}_2 = 1$ содержание кислорода прибл. 0,007 % что соответствует термодинамическому равновесию между Si и кислородом.

2. Параллельно с окислением Si которое составляет прибл. около 19 % несмотря на абсолютное содержание Si в электроде, окисляется частично Mn (также прибл. 19 %) и C (прибл. 9 %), что доказано химическим анализом исходной и EP2-стали. Угар

Si увеличивается с повышением основности шлака а Mn и C уменьшается.

3. Степень десульфурации стали OCR-4 определена основностью шлака и содержанием серы в электроде. Если электрода содержит около 0,005 % S и основность шлака прибл. 1 то степень десульфурации не превосходит 15–20 %.

4. Несмотря на частичное повышение абсолютного содержания O_2 во время переплавки установлено металлургическим путем что содержание оксидных включений три раза меньше в сравнении с сталью до переплавки. Тоже самое установлено при сульфидных включениях, а также и при неметаллических.

Vpliv hrapavosti površine na udarno žilavost orodnega jekla

Hrapavost površine orodnih jekel ima zaradi zarezne učinka pomemben vpliv na udarno žilavost teh jekel. S posebno raziskovalno nalogo so bili opravljeni primerjalni preizkusi na žilavostnih probah iz jekla Č.7680 (BRM-2) redne proizvodnje železarne Ravne. Dobljeni rezultati so obdelani z matematično statistično analizo variance in kažejo statistični nivo pomembnosti vpliva hrapavosti površine na udarno žilavost jekla.

Ugotovili smo, da hrapavost na oslabljenem delu probe pomembno vpliva na rezultate preizkusov, zato je treba zagotoviti pri probah in nekaterih orodjih enako kakovost površine. Hrapavost površine jekla, z zarezi do 0,02 mm, zniža udarno žilavost jekla poprečno za 1/3 ali v skrajnih primerih tudi do 60 %.

UVOD

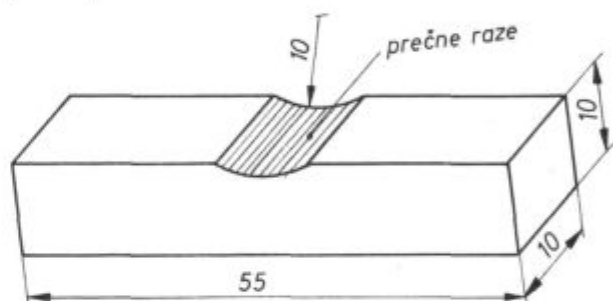
Problem vpliva hrapavosti površine na žilavost jekel se je med drugim pojavil pri izdelavi žilavostnih prob. V železarni Ravne preizkušamo udarno upogibno žilavost na Charpy kladivu s probami, ki imajo plitvo oslabitev. To metodo preizkušanja so pričeli uporabljati v ZDA, ker zahteva glede na trosenje rezultatov manjše število paralelnih preizkusov, kot navadni Charpyjev preizkus. Oslabitve na probah je mogoče brusiti v prečni smeri ali rezkati v vzdolžni smeri probe. Pri tem dobimo manjše raze na površini oslabitve v prečni oziroma vzdolžni smeri probe. Če teh raz ne odstranimo s poliranjem, potem bistveno vplivajo na žilavost jekla.

OPIS DELA

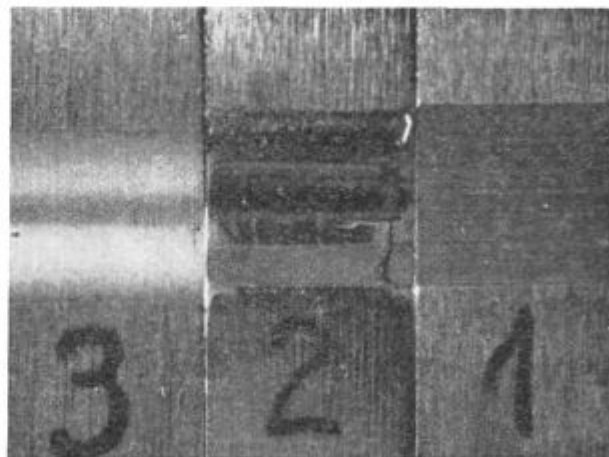
Primerjavo in analizo vpliva površine jekel na udarno žilavost, smo delali na žilavostnih probah, katerih dimenzije kaže slika 1. Vse žilavostne probe so bile izdelane iz petih šarž jekla Č.7680 (BRM-2) in enako termično obdelane. Iz vsake šarže smo izdelali 20 do 30 prob, od katerih je imela ena polovica prob oslabitev prečno grobo brušeno in druga polovica rezkano. Slika 2 kaže površinski makro izgled oslabitev. Prva proba na sliki 2 ima oslabitev brušeno, druga polirano in tretja rezkano. Pri termični obdelavi prob smo imeli vse probe skupaj v solni kopeli na kalilni

temperaturi 1230° C s potopnim časom 1,5 minute. Probe smo kalili na zraku in popuščali dvakrat po 1 uro na temperaturi 530° C.

Rezultati merjenja udarne upogibne žilavosti so zbrani v tabeli 1. Primerjali bomo rezultate žilavosti prob, ki imajo enako kemijsko sestavo (to so probe izdelane iz ene šarže) in različno hrapavost površine oslabitev. Ker smo delali s petimi različnimi šaržami pomeni to le pet paralelnih primerjav.



Slika 1
Žilavostna proba s plitvo oslabitvijo.

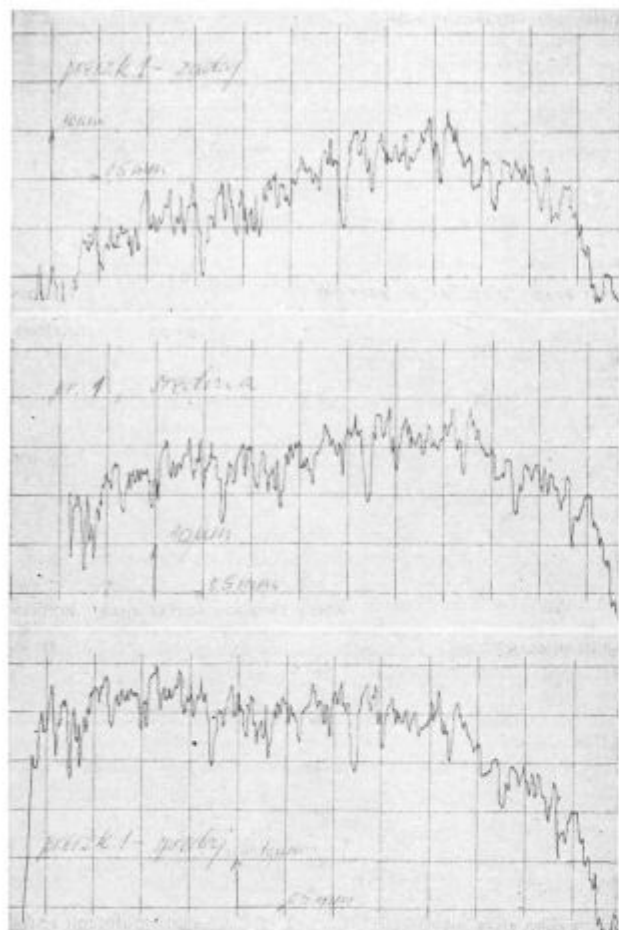


Slika 2
Izgled površine pri brušenju (1), poliranju (2) in rezkanju (3) oslabitvi.

Zaradi natančnejše analize hrapavosti površine oslabitev, smo dali na Fakulteto za strojništvo v Ljubljani izmeriti hrapavost površine na različno obdelanih vzorcih. Vse meritve hrapavosti so bile narejene v vzdolžni smeri probe, tako da smo

Tabela 1 — Rezultati meritev udarne upogibne žilavosti

Stev. šarže	Kemijska sestava (v %)							Oslabitev	Udarne upogibna žilavost (kpm/cm ²)									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W											
8341	0,85	0,26	0,34	4,75	5,15	1,88	7,10	brušena	1,00	0,83	0,83	0,78	0,55	0,83	0,80	1,11	1,00	0,83
								rezkana	0,89	0,98	1,05	1,11	0,89	1,16	1,89	1,04	1,50	0,83
12332	0,86	0,31	0,34	4,23	5,50	1,86	6,32	brušena	0,89	0,89	1,00	1,11	0,89	0,83	0,92	0,83	0,92	0,89
								rezkana	1,00	1,02	0,81	1,05	1,05	0,83	1,11	1,11	0,78	0,66
13312	0,89	0,30	0,42	4,42	5,25	1,93	6,70	brušena	0,78	0,78	1,03	1,11	0,80	0,78	1,00	0,78	1,11	1,05
								rezkana	0,86	1,33	1,44	1,55	1,61	1,22	1,55	0,98	1,00	1,50
13379	0,87	0,17	0,38	4,25	5,30	2,05	6,50	brušena	0,80	0,67	0,78	0,75	0,91	0,83	0,80	0,91	0,78	0,89
								rezkana	1,09	1,39	1,55	1,39	1,42	1,11	1,05	1,22	1,33	1,24
13280	0,86	0,25	0,22	4,51	5,27	2,32	7,20	brušena	0,78	1,00	0,87	1,04	1,55	1,55	1,61	0,98	0,72	1,33
								rezkana	1,09	1,09	1,89	1,89	1,98	1,67	0,83	1,22	1,04	1,53



Slika 3
Hrapavost grobo brušene oslabitve.

lahko analizirali prečne raze na oslabitvi (glej sliko 1).

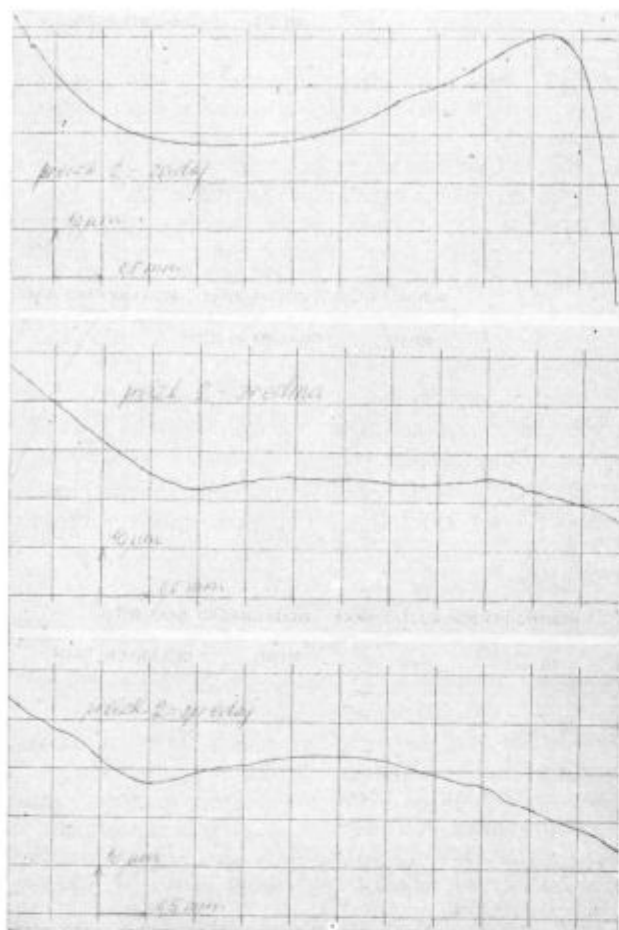
Slika 3 kaže diagram hrapavosti vzorca, ki je imel v prečni smeri grobo brušeno oslabitev. Površina na vseh treh paralelnih meritvah je izredno hrapava. Opazimo tudi, da oblika profila odstopa od krožnice in da profil ni v vseh smereh enak. Globina raz je do 0,02 mm. Pri poznejši primerjavi bomo videli, da ima takšna hrapavost površine izredno velik vpliv na udarno žilavost jekel.

Slika 4 kaže paralelne meritve hrapavosti na probah s polirano oslabitvijo. Površina je zelo fina, profil pa se po nivojih spreminja. Delali smo z istim krožnim vodenjem na vseh treh nivojih, vendar se iz posnetkov lahko vidi, da so razlike v profilu.

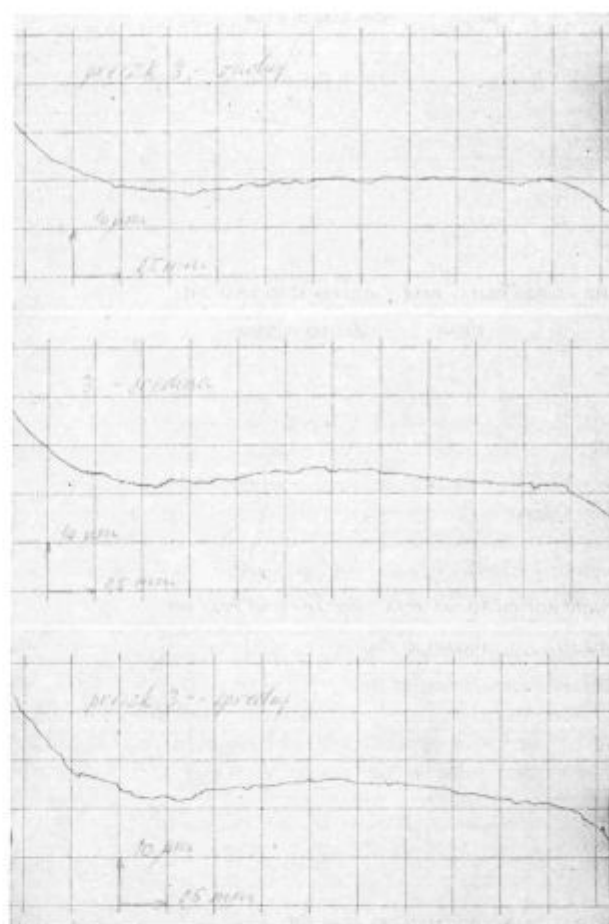
Meritve na probah z rezkano oslabitvijo kaže slika 5. Površina je razmeroma fina in profil se v znatni meri približuje krožnici. Velikostni red globine raz je 0,001 mm, kar je v primerjavi z grobo brušenimi oslabitvami na sliki 3, dvajsetkrat manjša globina. Razlika med hrapavostjo rezkanih in poliranih oslabitev je zelo majhna, zato tudi žilavost ne bi imela bistveno drugačnih vrednosti.

DISKUSIJA

Žilavost se meri tako, da se porabljen delo, ki je potrebno za prelom probe, računa na površinsko enoto preseka probe pri oslabitvi. Če bi popravili računano površino probe pri prelomu zaradi raz, ki dosežejo pri brušenih probah globino do 0,02 mm, bi se žilavost spremenila le za 0,3 %. Primerjava žilavosti v tabeli 2 pa kaže, da



Slika 4
Hrapavost polirane oslabitve.



Slika 5
Hrapavost rezkane oslabitve.

Tabela 2 — Rezultati matematično statistične obdelave

Štev. šarže	Štev. prob n	Način izdelave oslabitve	Udarna žilavost (kpm/cm ²)			Stat. nivo pomembnosti razlik	Primerjalni indeks
			\bar{x}	s	V (%)		
8341	10	brušena	0,86	0,33	38,0	95 %	100
8341	10	rezkana	1,13	0,15	13,3		131
12332	10	brušena	0,92	0,16	17,4	pod 90 %	100
12332	10	rezkana	0,94	0,08	8,5		102
13312	15	brušene	0,91	0,14	15,4	99 %	100
13312	15	rezkane	1,30	0,24	18,5		143
13379	15	brušena	0,80	0,11	13,7	99 %	100
13379	15	rezkana	1,31	0,37	13,7		161
13280	15	brušena	1,21	0,25	30,6	90 %	100
13280	15	rezkana	1,46	0,37	25,3		121
vse	65	brušena	0,95	0,18	26,4	99,9%	100
vse	65	rezkana	1,26	0,31	24,6		133

so srednje vrednosti žilavosti izmerjene na probah z brušeno oslabitvijo do 61 % nižje od žilavosti, ki so imele rezkano oslabitev. Na osnovi tega lahko zaključimo, da imamo tukaj opraviti z reznim učinkom hrapavosti površine.

Rezultati, dobljeni pri preizkusih in obdelani z matematično statistično analizo variance, so vnešeni v tabelo 2. Z analizo variance smo izračunali statistično pomembnost razlik v udarni žilavosti tistih prob, ki so imele grobo brušeno oslabitev in tistih, ki so imele rezkano oslabitev in to za vsako šaržo posebej ter enkrat za vse šarže in probe skupaj. V prvi primerjavi je izločen vpliv spremembe kemijske sestave, v drugem primeru je ta vpliv prisoten in ga moramo upoštevati. V tabeli so vpisane srednje vrednosti žilavosti » \bar{x} «, »standardne deviacije » s «, koeficient variacije » V «, statistični nivo pomembnosti razlike in za primerjavo z indeksom izraženo srednjo vrednost udarne žilavosti, za vsako šaržo posebej ter na koncu za vse šarže skupaj. Razlika v indeksih v posameznih primerih pomeni za koliko odstotkov se srednja vrednost žilavosti razlikuje glede na obdelavo oslabitve.

Pri vseh šaržah, razen pri šarži s številko 12332, se udarne žilavosti prob z grobo brušeno oslabitvijo z 90 % ali večjo statistično verjetnost-

jo, razlikujejo od prob, ki imajo oslabitev rezkano. Iz tabele 2 vidimo, da se srednje vrednosti žilavosti razlikujejo od 2 do 60 %, torej da imajo probe s finejšo obdelavo površine oslabitve za 2 do 60 % večjo srednjo vrednost udarne žilavosti. Primerjava žilavosti vseh prob in šarž kaže, da lahko z 99,9 % statistično gotovostjo trdimo, da se udarne žilavosti razlikujejo zaradi različne hrapavosti površine oslabitve in v tem primeru tudi zaradi različne kemijske sestave.

ZAKLJUČEK

Raziskava je pokazala, da ima gladkost površine zelo pomemben vpliv na udarno žilavost orodnega jekla Č.7680 (BRM-2). Probe, ki so imele grobo brušeno oslabitev v prečni smeri (globina raz do 0,02 mm), so imele v primerjavi s probami z rezkano oslabitvijo (globina raz do 0,01 mm) v povprečju za 1/3 nižjo udarno upogibno žilavost.

Pri orodjih, kjer je udarna žilavost važna lastnost, bo čim finejša obdelava površine zvišala odpornost orodja na udar in s tem tudi življenjsko dobo. Pri tem igra važno vlogo smer obdelave površine.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Rauheit der Oberfläche der Werkzeugstähle hat der Kerbwirkung einen erheblichen Einfluss auf die Kerbschlagbiegezugfähigkeit dieser Stähle.

Es sind Vergleichsuntersuchungen an Kerbschlagbiegeproben aus Stahl Č 7680 durchgeführt worden. Die Versuchsergebnisse sind durch die mathematisch statistische

Varianzenanalyse bearbeitet worden und zeigen die statistische Bedeutsamkeit des Einflusses der rauhen Oberfläche auf die Kerbschlagbiegezugfähigkeit.

Die Rauheit der Oberfläche mit Ritzten bis zu 0,02 mm erniedrigt die Kerbschlagbiegezugfähigkeit des Stahles für 1/3 oder in ganz extremen Fällen bis zu 60 %.

SUMMARY

Surface coarseness due to its notch effect has a strong influence on the impact toughness of tool steel. Specimens of Č.7680 were tested. The obtained results were analyzed by statistical analysis of the variance showing the level of statistical importance of surface coarseness in respect

to the impact toughness. The rough surface with pitch up to 0,02 mm decrease the impact toughness by 1/3 on the average while in extreme cases it can be decreased by 60 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шароховатость поверхности инструментальной стали имеет вследствие нарезного действия значительное влияние на вязкость этого сорта стали. Приведены результаты испытания вязкости образцов стали марки С-7680. Эти результаты рассмотрены при помощи статистического анализа дисперсии указывают на значе-

ние влияния шароховатости на ударную вязкость стали. Шароховатость стали с нарезками до 0,02 мм глубины уменьшает ударную вязкость стали на 1/3 а в крайних пределах даже до 60 %.

Kontrola površinskih napak na gredicah

V članku je prikazan predlog kontrole površinskih defektov gredic.

Ferofluks metoda z izmeničnim magnetenjem s poli in fluorescenčnim prahom predstavlja najcenejšo varianto, občutljivost pa je vsaj toliko kot z magnetenjem z enosmernim ali izmeničnim pretokom.

Globino najdenih razpok moremo kvantitativno odkrivati z VF sondo, ki dela na principu vrtničastih tokov pri 170 KHz in se odlikuje po tem, da je lahko precej odmaknjena od površine ter ima usmerjene karakteristike.

UVOD

Znano je, da lahko iz dobre gredice naredimo slab valjanec, če smo pri neprimernem načinu valjanja vnesli v profil valjovski ris ali smo površino natrgali, ali pa je profil pri neprimernem hlajenju počil. Taki defekti so karakterizirani po tem, da so običajno dolgi, večkrat razvlečeni po celi dolžini.

Se bolj res pa je, da iz defektne gredice ne moremo izvaljati zdravega profila, zato gredico čistimo popolnoma ali delno z brušenjem, dletenjem, skobljenjem ali odžiganjem. Odžiganje »scarfing«¹ pride v poštev le pri gredicah večjih presekov in takoj za blumingom. Hladno čiščenje pa se izvaja največkrat z brušenjem. To pa je razmeroma drago in ga vsaka vrsta jekla ne prenese. Rešitev je torej v lokalnem čiščenju gredice, tj., na mestih, kjer so razpoke tako globoke, da jih ne moremo več tolerirati, vsekakor pa nad 0,5 mm in pa, da niso pregloboke, kjer bi bilo brušenje že neuspešno. Cilj ekonomičnega dela je tedaj v tem, da napake čimprej odkrijemo in označimo njihov položaj na gredici, razen tega pa moramo ugotoviti tudi njihovo globino.

METODE POVRŠINSKE KONTROLE

Naprava, ki istočasno izpolnjuje obe nalogi, pa še tretjo, da defekte markira direktno na površino, se imenuje »magnetograf«² in je opisana v »Zelezarskem zborniku«, št. 3/70, str. 189, instalirana pa je v Südvestfalenhütte, Geissweid. Naprava je štirikanalna in istočasno sondira vse štiri površine gredice. V praksi se je dobro obnesla, je pa menda edina na svetu, ker je zelo draga in si jo lahko omisli le proizvajalec gredic, ki gredice

tudi prodaja in je prisiljen vršiti stodstotno kontrolo. Naprava terja dokaj ravne gredice, dovolj dolge in lepo prirezane brez robov, razen tega pa še peskane na površini zaradi dobrega električnega kontakta.

V naših razmerah si tako napravo lahko samo želimo, ne moremo pa je nabaviti, ne samo zaradi visoke cene, temveč tudi in predvsem zato ne, ker naše gredice niso dovolj ravne, niti nimajo čednih robov itd. Treba je torej poseči po drugih pripomočkih. Eden takih je ročni magnetograf, imenovan »likalnik«. Ta se v principu prav nič ne razlikuje od magnetografske naprave, razlika je le v tem, da magnetografsko glavo vzamemo v roke in jo peljemo po vsaki površini gredice, pri tem pa gredica leži na dveh kontaktih, ki dovajata močan enosmerni ali pulzirajoči tok skozi gredico. Jakost polja mora doseči ca. 60 Oe, kar znaša pri gredici 200 × 200 mm ca. 2000 A. Napake, katere ročni magnetograf odkrije, označimo na površini gredice, če je napaka globlja od dovoljne, ki smo si jo zamislili, da aparat alarmni signal. Ni znano koliko se ta metoda v praksi uporablja, vsekakor pa ima določene pomanjkljivosti: imeti moramo izvor močnega enosmernega toka, na kontaktih se gredica močno greje, naprava je sorazmerno draga in očitno ni našla mnogo simpatizerjev v praksi.

Ena najstarejših in zanesljivih metod je ferofluks metoda. Primeren mehanizem pripelje gredico do električnih kontaktov, nato steče skozi gredico tok, istočasno priteče na gredico magnetno olje ali emulzija, ali pa se gredica s priključenimi elektrodami potopi v kad z magnetno tekočino, ko pa tekočina odteče, ostanejo nad vzdolžnimi napakami sledi magnetnega prahu, ki so na svetli površini dobro vidne, na temni površini pa se posebno dobro lahko uporabijo fluorescenčne emulzije, ki jih opazujemo pod ultravijolično svetlobo. Tako dobimo jasno sliko tudi še tako drobnih razpok. Ta mesta operator zaznamuje z barvo in taka zebrasta gredica gre na čiščenje, po brušenju pa kontrolni postopek lahko ponovimo dokler ne pridemo do zdravega materiala. Ta metoda se seveda ne more avtomatizirati, vsaj popolnoma ne, čeprav so nekateri avtorji razvijali sisteme avtomatskega opazovanja površine s scintilacijskimi cevmi in avtomatsko označevanje defektnih mest. Metoda je znana in v principu mogoča, podatki iz prakse pa so le skopi. Morda bi se dala s sredstvi sodobne elektronike metoda bolj izpopolniti, da bi tako popolnoma nadomestila človeka.

Kakor je metoda ferofluksa privlačna pa ima vendar niz pomanjkljivosti. Naštejmo nekatere:

1. Gredica mora biti peskana ali vsaj kovinsko čista na kontaktnih mestih.

2. Kontakne točke morajo biti čim bližje koncem ali kar na čelu, da bi bili nekontrolirani konci čim krajši.

3. Kontakti morajo biti hlajeni.

4. Izvor enosmernega toka je velik in drag. Po možnosti mora imeti zvezno ali stopenjsko regulacijo, da bi dosegli za posamezne premere optimalno jakost polja.

5. Mehanika je komplicirana in draga.

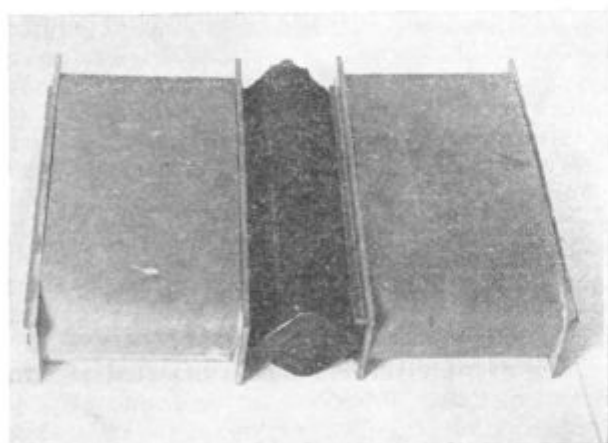
6. Gredice ostanejo po preizkusu mokre.

7. Delo je razmeroma zamudno, ker ni kontinuirano.

8. Globino napak je le težko oceniti.

9. Vidne so samo vzdolžne napake.

10. Za kontrolo pridejo v poštev le feromagnetne gredice.



Slika 1

Laboratorijski preizkusni model izmeničnega magnetenja gredic.

Da bi se vsaj deloma izognili zgoraj naštetim nevesočnostim smo v železarni Ravne poizkušali najti druge variante ferofluks postopka. Taka varianta je metoda izmeničnega magnetenja. V bistvu je enaka kot klasična z razliko, da magnetno polje ne ustvarja električni pretok skozi gredico, temveč dva lamelirana pola pošiljata skozi gredico izmenični magnetni fluks (sl. 1). Zaradi skin efekta se magnetno polje zgosti proti površini. Globina prodiranja električnega toka je podana z enačbo:

$$d = \frac{500}{f \cdot \sigma \cdot \mu_r} \quad (1)$$

f ... frekvenca

σ ... prevodnost

μ_r ... relativna permeabilnost

Če vzamemo za poprečno relativno permeabilnost $\mu_r = 70$ do 100 vidimo, da magnetno polje prodira v globino do 5 mm. Več pa tudi ne rabimo. To nam omogoča, da se večji del fluksa zgosti na površini in tako še posebno občutljivo odkriva napake na površini in na robovih. Poljska jakost je povsod približno enaka, dočim znaša pri magnetenju z enosmernim pretokom na robovih poljska jakost vsega 1/3 one na sredini ploskve gredice in se torej na robovih napake pokažejo slabo, četudi se na ploskvah najboljše. Če povečamo jakost polja na robovih, pa lahko pride do prevelikih jakosti na ploskvi, kar lahko povzroči psevdo signale. Lahko celo prične občutljivost padati, če se z magnetenjem približujemo nasičenju, izstopa pa vpliv neravne površine. Teh težav pri izmeničnem magnetenju nimamo. Razen tega ima ta način še vrsto prednosti:

1. Poraba moči je vsaj 10-krat manjša kot pri enosmernem magnetenju, zato odpade hlajenje, pa tudi regulacija poljske jakosti je silno enostavna.

2. Ni potrebno peskanje gredic.

3. Nekontroliranih koncev ni.

4. Po vsej površini se defekti pokažejo z enako občutljivostjo.

5. Kontrola je lahko kontinuirana.

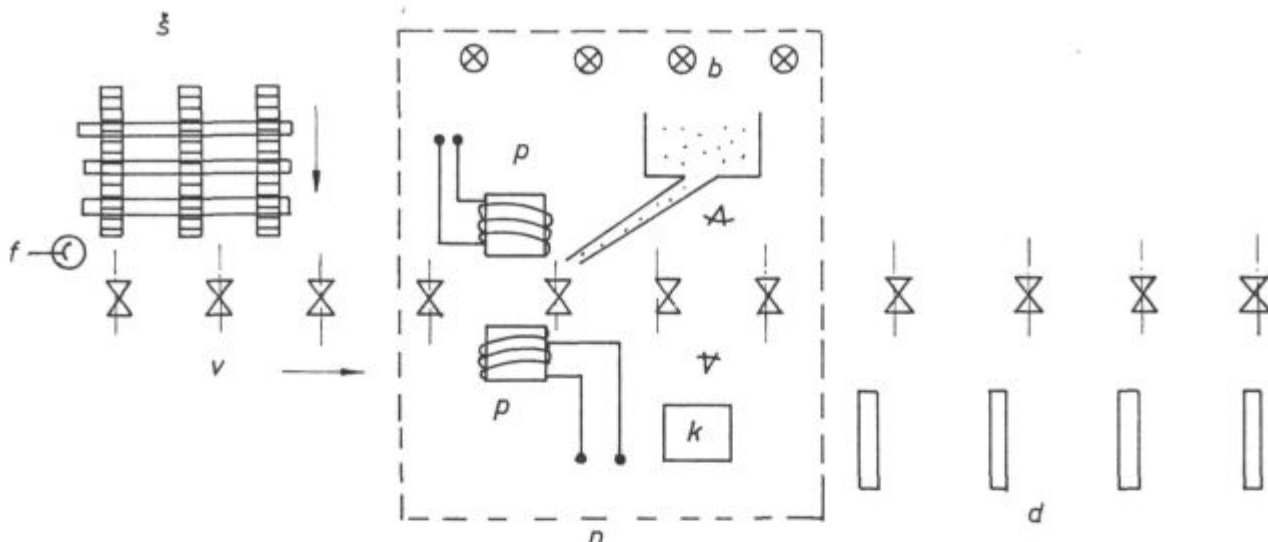
6. Namesto emulzije uporabljamo magnetni črn ali fluorescenčni prah, zato ostane gredica suha in čista.

7. Gredica je na izhodu iz sondažne proge popolnoma razmagnetena in sposobna za eventualno kontrolo trdote ali zamenjav z magnetoskopom.

Shema naprave je prikazana na sliki 2.

Šaržirna valjčnica podaja gredice na vzdolžno valjčnico. Fotozapora (f) ustavi šaržirno in požene vzdolžno valjčnico. Gredica teče med poli (p) po robu in se istočasno posipa z magnetnim prahom iz bunkerja (b). Prah odpada na zdravem delu in ostane na razpokah. Brezkončni trak pobira prah in ga vrača v bunker. Dva kontrolorja vsak z ene strani opazujeta površino gredice pod ultravijolično svetlobo v zamračenem prostoru naprave (n) in s kredo označujeta položaje razpok na površini. Potem se gredica z dvigalom obrne za 180° in postopek se ponovi še na drugih dveh ploskvah, tako da se gredica v hitrem hodu vrne nazaj ali pa se prekucne v drugo valjčnico v podaljškju, kjer stojita druga dva kontrolorja. Na ta način se namreč kapaciteta kontrole podvoji. Umestno pa je tudi, da na koncu proge kontrolor pritisne na vsakem kraju ultrazvočno glavo in takoj lahko ugotovi, da nima gredica na koncih lunkeje. Tudi iskrna proba se lahko izvrši istočasno.

Dolžina vzdolžne valjčnice mora biti najmanj $2,2 \times$ dolžina najdaljše gredice. Vzdolžni pomik pa naj bo spremenljiv in ga kontrolor nastavi po lastni presoji in svoji sposobnosti kako hitro bo lahko označeval napake in izvršil še ultrazvočno in iskrno kontrolo. Računamo, da je lahko pomik



Slika 2

Shema ferofluks naprave za kontrolo gredic

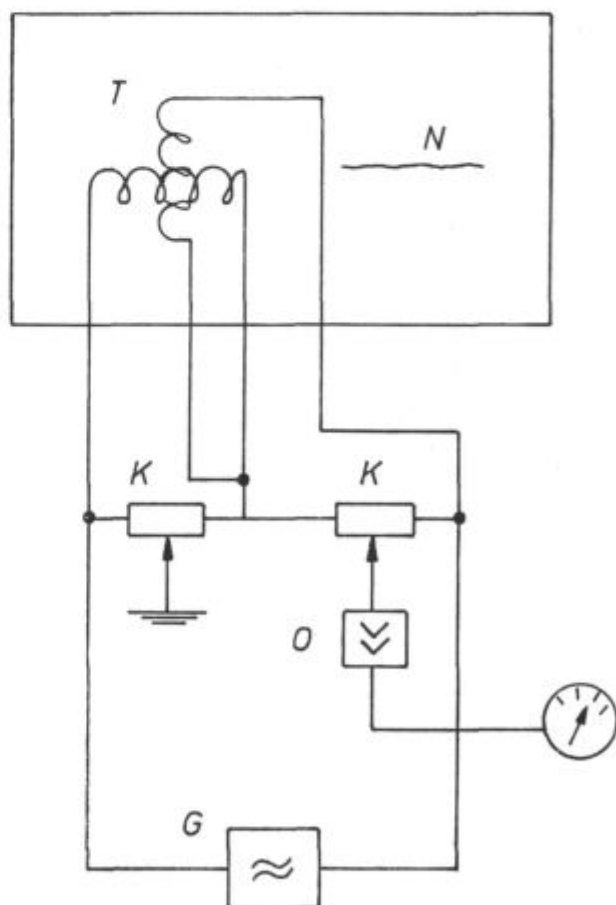
(š — prečna šaržirna valjčnica, f — fotozapa, v — vzdolžna valjčnica, p — magnetni poli, b — bunker z magnetnim prahom, d — dešaržirne jaslje, n — zamračen prostor z ultravijoličnorazsvetljavo, k — komandni pult — opazovalec).

gredice vsaj 200 mm/sek. Tako bi bila pri srednjih presekih gredic 120×120 mm in štirih kontrolorjih na tri izmene kapaciteta take kontrole ca. 5000 t/mesec brez mrtvih časov, verjetno pa bi se dala hitrost še povečati.

Vsekakor je ta način magnetenja idealen, ostane nam pa še presoja globine razpok na tistih mestih, kjer jih je magnetni prah odkril. Verjetno bi radi izmerili tista mesta, ki se pod fluorescenčnim prahom zelo slabo svetijo, ker sumimo, da so razpoke tako plitke, da jih lahko toleriramo in pa tista mesta, kjer se sledovi napak močno svetijo, kar pomeni, da je razpoka zelo globoka, morda tako, da se sploh ne izplača brušenje.

Za merjenje globine razpok imamo na razpolago več pripomočkov. Za naše namene pride v poštev praktično le eden, ki je dovolj hiter in še kolikortoliko zanesljiv pod pogojem, da razpoka pride prav na površino. Ta metoda je poznana pod imenom metoda vrtninčastih tokov. Shematsko je prikazana na sliki 3.

Tuljava je napajana z izmeničnim tokom visoke frekvence. Če tako tuljavo položimo na metalno površino in jo pomikamo čez razpoko se impedanca tuljave v tej točki spremeni, ker je prekinjena pot vrtninčastim tokom na površini. Ta efekt je v določenem odnosu na globino razpoke. Žal pa na inducirano napetost odnosno s tem na spremembo impedance tuljave mnogo bolj vplivajo še drugi faktorji npr. odmik od površine, permeabilnost površine itd., tako da jih moramo kompenzirati, če hočemo meriti razmeroma slabotne signale od plitkih površinskih razpok. Za kompenzacijo teh vplivov poznamo več načinov npr. delovanje resonančnega kroga blizu resonančne frekvence, predmagnetizacija vzorca do nasičenja, fazna selekcija signalov. Vsi ti načini so elektronski in



Slika 3

Shema merjenja globine razpok z visokofrekvenčno tuljavo

(T — sonda, K — kompenzator, O — ojačevalec, I — instrument, G — generator, N — razpoka).

bolj ali manj uspešni, vsi pa razmeroma dragi. Eden zelo znanih aparatov za merjenje globine razpoka je Försterjev »defektometer«. Aparat ima vgrajeno kompenzacijo odmičnega efekta v veliki meri. Najnižje področje je do 0,4 mm globine pri polni skali pri tem, da na brušeni površini lahko izmeri defekte globine pod 0,1 mm. Najvišje področje pa sega do 8 mm. Skala je v obeh primerih v dobršnem delu linearna. Slaba stran tega aparata je predvsem v veliki občutljivosti na odmik, saj je pri odmiku 0,2 mm od površine signal že za 50 % nižji pri isti globini razpoke. Na površini gredice pa ni vedno lahko držati tako ozkih toleranc, če količkaj hitro pomikamo sondo. Pri še večjih odmikih pa je signal že popolnoma propadel. Razmeroma visok vpliv ima tudi rob gredice, kjer signal opada odvisno od trenutnega polmera roba, ki pa se pri gredici močno spreminja posebno še, če je že brušena. Raze tega je aparat še razmeroma drag (ca. 6.000 DM) in bi za več takih kontrolnih mest bila investicija občutna.

Skušali smo najti cenejšo metodo, predvsem pa tako, da ne bo tako zelo odvisna od odmika pa čeprav bi bila njena točnost v področju majhnih globin razpok manjša.

S posebnim načinom navitja dveh tuljav v impedančnem mostu smo uspeli kompenzirati odmični efekt in efekt permeabilnosti praktično popolnoma, pri tem pa ostane blizu ničle nizek izmenični signal, ki bi ga mogli kompenzirati s fazno selektivnimi kompenzatorji, kar pa bi napravo znatno podražilo. Tako smo rajši sprejeli kompromisno rešitev, da se odrečemo absolutni kompenzaciji in rajši vgradimo potencialno bariero s prednapeto diodo. To pomeni, da je aparat čisto blizu ničle neobčutljiv, zato pa je tik nad tem pragom popolnoma kompenziran. Tako so meritve razpok pod 0,1 mm nezanesljive, kar pa nas pri gredicah prav nič ne moti. Velika prednost te naprave je v tem, da pri odmiku sonde do 1 mm od površine pade signal le za 50 % in šele pri odmiku za 4 mm na 5 %.

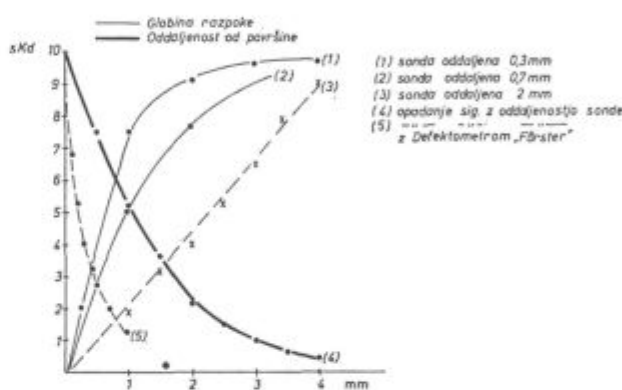
Največja občutljivost je podana s sondo in je pri prototipni gradnji ugotovljena pri 0,6 mm globoki razpoki. Skala je linearna do ca. 1 mm, z več-

jim odkikom sonde pa se linearno področje raztegne na ca. 4 mm. Aparat ima vgrajen nastavljivi monitor, ki se vključi pri 30 delcih instrumenta, tj. pri 0,2 mm globoki razpoki na najbolj občutljivem področju. Seveda pa je višina signala odvisna tudi od lege napake in od širine razpoke. Ugotovili smo, da naravna razpoka daje večje signale kot pa enako globoka zarez 0,5 do 1 mm širine, prav tako poševno ležeča razpoka daje nižji signal kot ostra radialna razpoka.

PRAKTICNI REZULTATI

Na sliki 4 so prikazane karakteristike aparata s sondo, ki ima čevelj debeline 0,5 mm in v drugem primeru 2 mm.

Za primerjavo so podane še karakteristike defektometra firme dr. Förster.

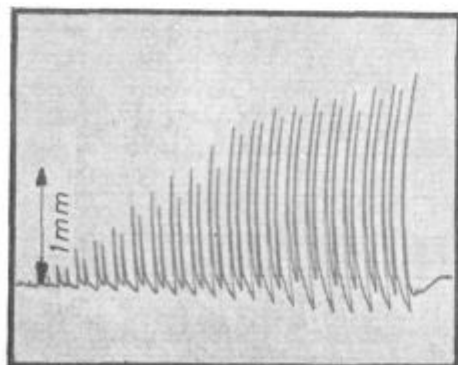


Slika 4

Karakteristike VF sonde in primerjava z defektometrom.

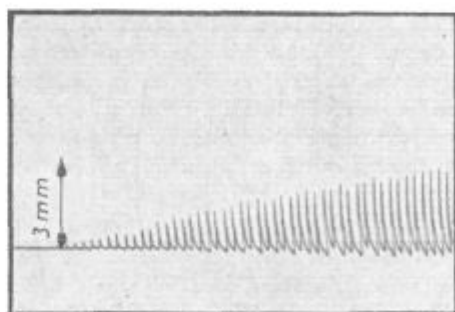
Monitor je priključen na alarmno lučko, ki zagori, če je globina razpoke večja kot smo jo nastavili. Isti signal pa se lahko uporabi za nadaljno registracijo ali avtomatizacijo postopka kontrole. Razen tega ima aparat še izhod izmeničnega signala in demoduliranega signala, ki ga lahko uporabimo za registracijo meritve, če med registrator in izhod vključimo še primerno pojačalo.

Na ta način smo posneli registrograma, ki sta prikazana na slikah 5 in 6.



Slika 5

Registrogram VF sonde na testni plošči 15 mm = 1 mm globoka razpoka.



Slika 6

Registrogram VF sonde na testni plošči 13 mm = 3 mm globoka razpoka.

Zaporedne signale na testni plošči z zarezo širine 1 mm in globine od 0 do 2 mm kaže slika 5. Na registrogramu pomeni 15 mm globino razpoke 1 mm pri največjem pojačanju. Vidimo, da je linearnost do ca. 0,75 mm dokaj dobra.

Na isti testni plošči je posnet registrogram (slika 6) na zarezi od 0 do 2,5 mm. Na registrogramu pomeni 13 mm globino razpoke 3 mm.

Sonda je imela čevelj debeline 2 mm. Vidimo, da je linearnost dobra do 2,5 mm. Z večjih odmikom sonde lahko linearnost povečamo še do večjih globin, kar pa praktično ne pride v poštev.

Za primer smo posneli še dve gredici, eno z mnogimi razpokami (slika 7) in drugo z dvema globokima razpokama (slika 8).

Na slikah 7—12 je prikazan magnetofluks posnetek:

— Obeh gredic z izmeničnim magnetenjem (sl. 7 in 8)

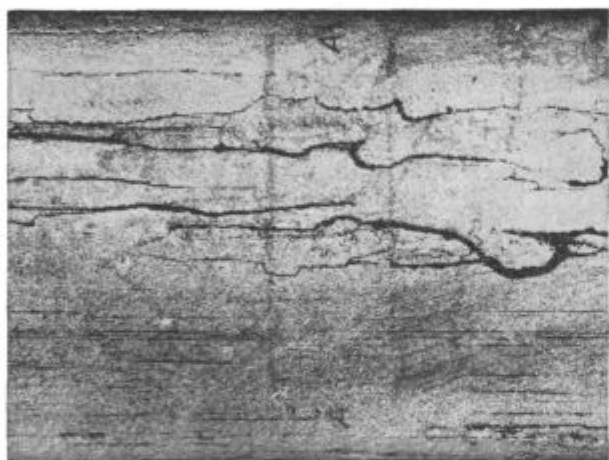
— magnetografski posnetek na mestu A — A (sl. 9 in 10)

— posnetek z VF sonde na istem mestu (sl. 11 in 12)

Tako magnetografski posnetek kot VF sonda nam kvantitativno pokažeta napake in razporeditev. Občutljivost VF sonde smo zmanjšali, tako da je največji signal ravno izkrmilil ojačevalo in znaša globina največjega risa ca. 4 mm. Vidimo, da na obeh gredicah nastopajo še manjše razpoke po širini.

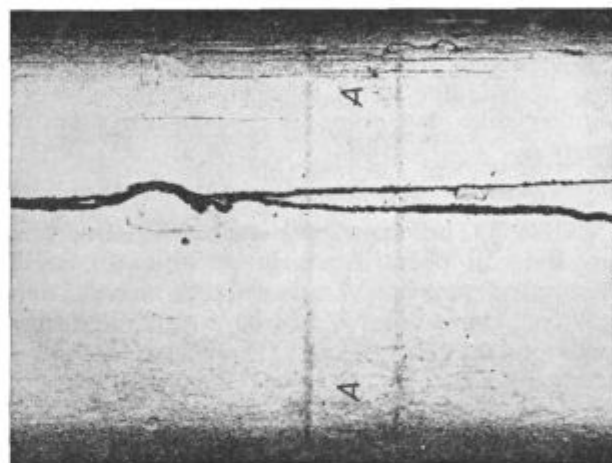
Hitrost pomika sonde po površini ne igra nobene vloge, saj je sonda napajana s 170 KHz, monitor pa sledi zelo hitrim signalom, jasno da kazalčni instrument temu ne more slediti, pač pa registrator, ki je imel lastno frekvenco 40 Hz.

Taisti sistem pa lahko uporabimo tudi za okrogle profile. Če uredimo napravo tako, da se palica



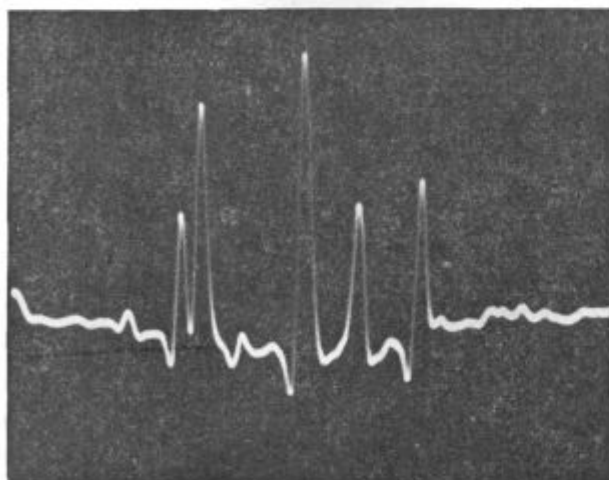
Slika 7

Magnetoskopski posnetek gredice z večjim številom razpok manjše globine.



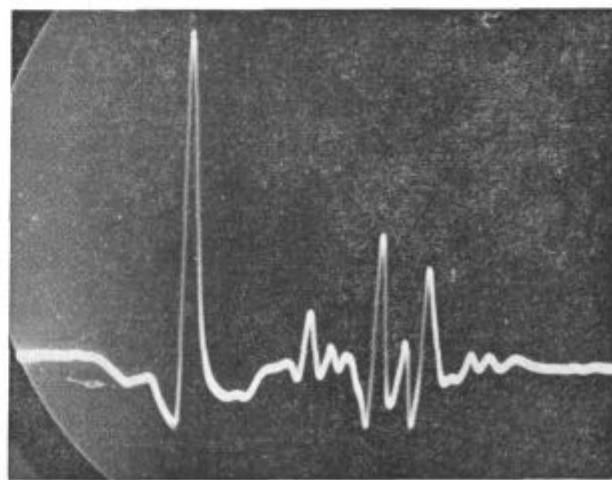
Slika 8

Magnetoskopski posnetek gredice z osamljenima dvema razpokama večje globine.



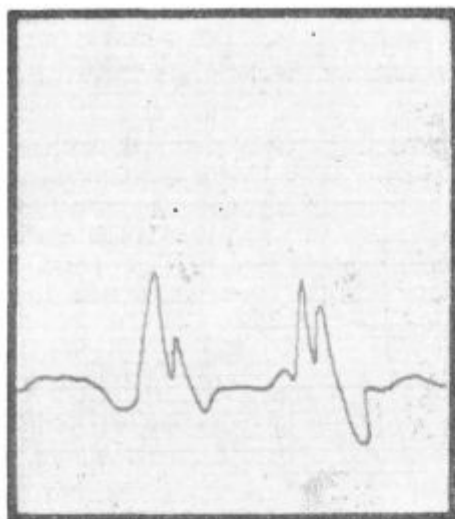
Slika 9

Magnetografski posnetek razpok na označenem mestu A-A gredice, prikazane na sliki 7.

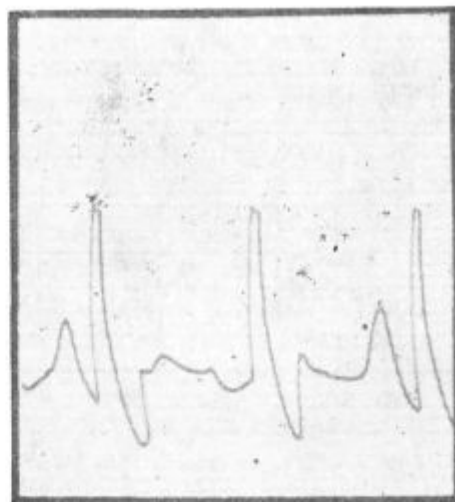


Slika 10

Magnetografski posnetek razpok na označenem mestu A-A gredice, prikazane na sliki 8.



Slika 11
Posnetek z VF sondo na označenem mestu gredice, prikazane na sliki 7.

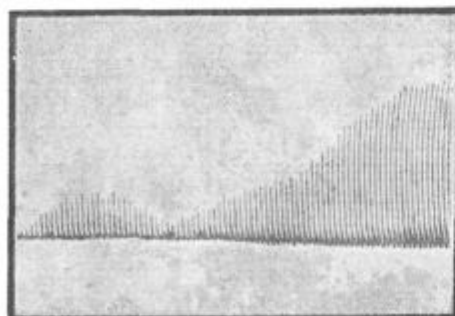
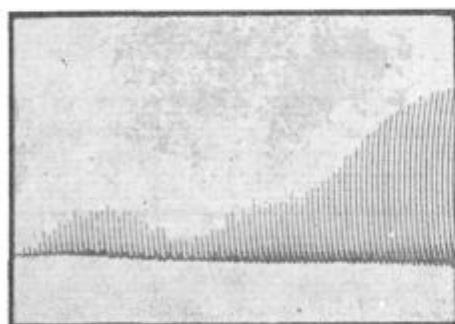


Slika 12
Posnetek z VF sondo na označenem mestu gredice, prikazane na sliki 8.

vrti in pomika naprej, nanjo pa prislonimo VF sondo lahko kvantitativno otipamo napake na površini.

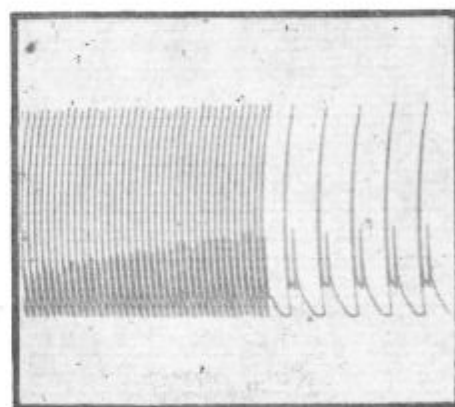
Tak primer je prikazan na registrogramu.

Slika 13 prikazuje dva enaka registrograma pri največji občutljivosti in oddaljenosti sonde 0,5 mm od površine. 1 mm globoka razpoka daje odklon 15 mm. Vidimo, da smo registrirali še razpoke pod 0,2 mm globine.



Slika 13
Registrogram napake na okrogli palici z VF sondo

Na naslednjem registrogramu (slika 14) vidimo, da se blizu prve pojavlja še druga razpoka, ki je bolj plitva. Na raztegnjenem registrogramu vidimo registrirano tudi drugo napako.



Slika 14
Registrogram iste palice s povečanim pojačanjem z VF sondo. Vidni sta dve razpoki, globlja 2 mm izkrmilni pojačalo, plitva polagoma raste 10 mm = 0,5 mm globlino razpoke

Pri tem se je palica vrtela, sonda pa je bila vpeta v suportu stružnice. Isti efekt dobimo, če se sonda vrti in palica vzdolžno potuje. Na ta način so grajene naprave za kontrolo brušenih, luščenih in vlečenih palic. Za surove valjane palice ta metoda zaradi slabe površine ni najbolj primerna. Za take namene so primernejše naprave na principu merjenja stresanega fluksa. Ta opis pa pada izven okvira tega članka.

Sonda ima izrazito usmerjeno karakteristiko, zato moramo imeti pravilno usmerjeno glede na vzdolžno smer razpoke. Najugodnejši naklon med

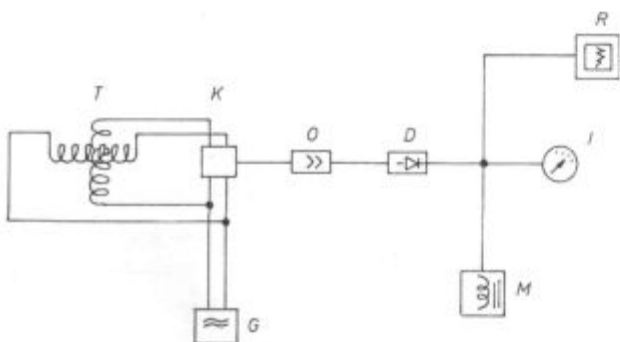
eno izmed križnih tuljav in smerjo razpoke znaša ca. 30°. S premikom sonde okoli svoje osi tedaj lahko zanesljivo ugotovimo tudi usmerjenost razpoke.

Na signal vplivajo tudi zaostala magnetna polja posebno pri hitrih premikih sode, zato moramo poskrbeti, da je preiskovani vzorec razmagnetan. To pa je slučaj pri predhodni ferofluks preiskavi z izmeničnim magnetenjem.

Nemagnetne — avstenitne gredice seveda ne moremo preiskovati s fluksanjem. Pomagamo si lahko le s penetranti, to pa le, če napake zares pridejo na površino, da niso prekrite s škajo itd. Zelo fine razpoke, ki včasih nastajajo na površini (npr. po brušenju) ali medkristalne razpoke, pa lahko odkrijemo le z dovolj dolgim potapljanjem v penetrantu in dolgim razvijanjem tudi do pol ure in dalje. Pri dovolj vestnem delu lahko odkrivamo tudi razpoke do 1/1000 mm.

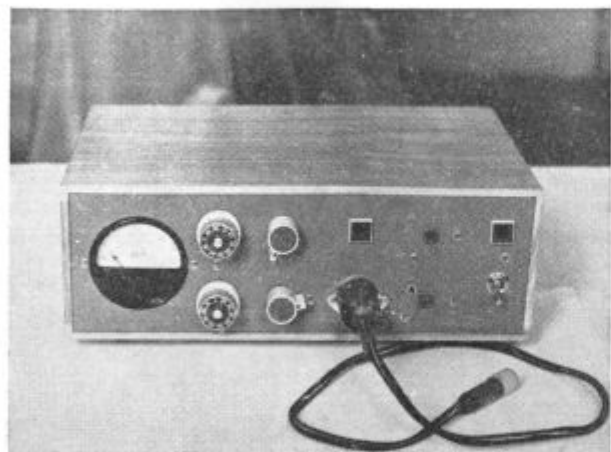
VF sonda se lahko uporabi tudi na nemagnetnih materialih, seveda jo je treba uglasiti na zdravem delu vzorca, občutljivost pa na testnem bloku iz enakega materiala.

Sliki 15 in 16 prikazujeta shemo in zunanji izgled VF sonde, konstruirane v Železarni Ravne.



Slika 15

Shema VF sonde, konstruirane v železarni Ravne. (T — sonda, K — konpenzator, O — ojačevalec, D — detektor, R — registrator, M — monitor, I — instrument, G — generator).



Slika 16

Zunanji izgled VF sonde z glavo, konstruirane v železarni Ravne

EKONOMIKA KONTROLE

Ekonomičnost različnih metod je odvisna od količine preiskanih gredic in od cene gredic. Magnetografska naprava pomeni ogromno investicijo, vzdrževanje pa je razmeroma enostavno, kvantitativnost zelo velika, delo je avtomatizirano, predpogoj pa je izvrstno kondicioniranje gredic, kar pa je tudi enkratna investicija.

Ferofluks metoda je v predlagani izvedbi razmeroma poceni investicija. Občutljivost ferofluks metode je celo večja kot pri magnetografiji, vendar pa je sigurnost registriranja in ocene velikosti napake vsaj za 20 % manjša kot pri magnetografiji, ker pač vpliva subjektivni faktor na rezultate. Človek se utruji, različne oči različno vidijo itd. Dobra pomoč pri oceni globine napake je VF sonda, ki eliminira dobršen del subjektivnih napak.

Penetranti so najdražja in najpočasnejša metoda, vendar so skoraj neizbežni pri nemagnetnih materialih. Postopek je mogoče tudi avtomatizirati v toliko, da potapljanje, razvijanje in podobne operacije delno mehaniziramo.

ZAKLJUČEK

V članku so opisane metode površinske kontrole gredic. Najbolj zanesljive rezultate daje magnetografska metoda, ki pa pomeni veliko investicijo in zahteva vzorno poravnane, prirezane in na površini peskane gredice.

Ferofluks metoda je zelo zanesljiva, z izmeničnim magnetenjem pa tudi poceni, ker odpade dovod toka velike jakosti. Gredica je lahko temna, delamo lahko s fluorescenčnim prahom in kontinuirno. Za merjenje globine risov uporabimo VF sondo, ki smo jo v ta namen razvili in je uporabna od 0,3 do 4 mm globine, tako na feromagnetnih kot na avstenitnih gredicah in na drugih oblikah npr. palice, cevi, fazonski izdelki.

Penetrantska metoda je počasna in se uporablja le v primeru ko druge metode niso uporabne npr. pri avstenitnih jeklih.

Literatura

1. Nondestructive testing Handbook. Mc. Master, N. Y. 1963.
2. Handbuch der Zerstörungsfreien Materialprüfung. E. A. W. Müller. Oldenburg, München 1960.
3. Magnetische und magnetinduktive Werkstoffprüfung. H. Heptner, H. Strobe. Leipzig 1965.
4. Magnetografija v metalurški praksi. Šipek Mitja, Železarski zbornik 1970/3, str. 189—200.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel ist ein Vorschlag für die Kontrolle der Oberflächenfehler am Knüppeln gegeben. Eine Ferroflux Methode mit einer Wechselstrommagnetisierung mit Polen und Fluoreszenzstaub stellt die billigste Variante dar. Die Empfindlichkeit ist aber mindest so gross wie bei der Magnetisierung mit Gleichstrom oder Wechselstrom.

Die Tiefe der entdeckten Risse quantitativ mit einer Hochfrequenzsonde, welche nach dem Prinzip des Wirbelstromes bei 170 kHz arbeiten, bestimmt werden. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass sie von der Oberfläche ziemlich weit abgerückt sein kann, und dass die Charakteristiken orientiert sind.

SUMMARY

A method for the control of surface defects of billets was proposed. The cheapest method is the Ferroflux method of alternating magnetisation with poles and fluorescent powder. The sensitivity of the method is at least the same as that of magnetisation with unidirectional or alternating magnetisation.

The depth of the revealed cracks can be quantitatively determined by VF probe which works on the principle of eddy currents at 170 kHz. The VF probe can be placed at a certain distance from the controlled surface and has the orientated characteristics.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предлагается метод определения пороков на поверхности заготовок при помощи ферро-флюкса (ferro-flux) способом переменным намагничиванием полюсов и употреблением флуоресцирующего порошка.

Это самый простой и самый дешёвый способ при чувствительность определения не менее чем при намагничиванием одина-

правленным или переменным током.

Глубину обнаруженных пороков можно определить количественно при помощи соны VF которая действует на принципе вихревого тока при 170 кГц., а отличается тем, что позволяет некоторое отступление от поверхности и имеет ориентированные характеристики.

Preiskava vzrokov poškodb na lopaticah parne turbine

Lopaticice so bile iz jekla z 0,20 % C in 13,3 % Cr. Razpoke so se pojavile ob stabilizacijskih čepih. S pomočjo mehanskih in metalografskih preiskav je bilo ugotovljeno, da je bilo vzrok nastanku razpok pregretje jekla pri lotanju čepov, mikrofraktografska preiskava pa je pokazala, da so se razpoke širile postopoma iz začetnih mikrorazpok.

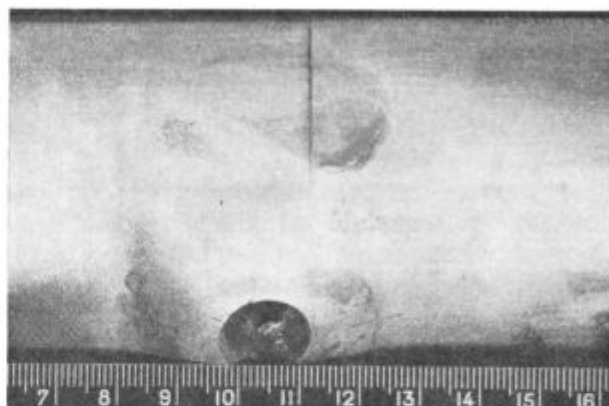
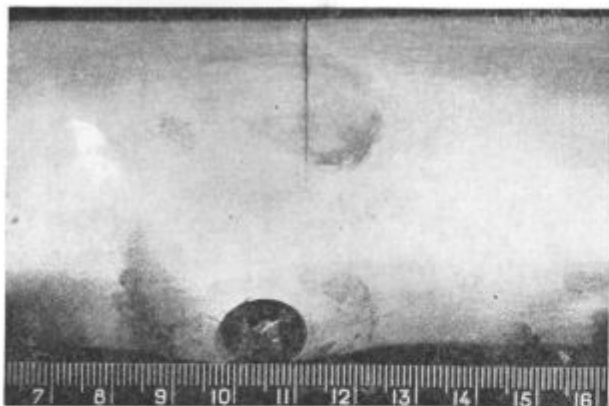
1. OPIS POŠKODBE IN MEHANSKE PREISKAVE JEKLA

Parna turbina je bila ustavljena zaradi prevelikih vibracij. Pri pregledu se je opazilo, da so na številnih lopaticah nizkotlačnega dela ob stabilizacijskih čepih razpoke pravokotno na os lopaticice (sliki 1 in 2). Potrebno je bilo dognati naravo in poreklo teh razpok. Po podatkih iz strokovne lite-

tudi zahtevane lastnosti. Mehanske lastnosti lopatic popolnoma ustrezajo predpisom.

Poprečna trdota, poprečje zelo številnih meritev na petih lopaticah, je bila 227 HV 10. Na dveh lopaticah smo izmerili trdoto po celi površini. Ta poskus je pokazal, da je trdota po vsej lopatici precej enakomerna, razen ob čepih z ali brez razpok. Tu je merjenje trdote po bolj gosti kvadratni mreži pokazalo močno lokalno povečanje trdote (slika 3). V primerjavi s trdoto preostalega dela lopaticice je bilo povečanje trdote mestoma večje od 100 %.

Jedkanje je pokazalo, da je na mestu povečane trdote makrostruktura jekla drugačna od makrostrukture normalnega dela lopaticice. To polje drugačne makrostrukture se je pokazalo pri vseh čepih približno na istem mestu, razlikovalo pa se je po velikosti.



Slika 1 in 2

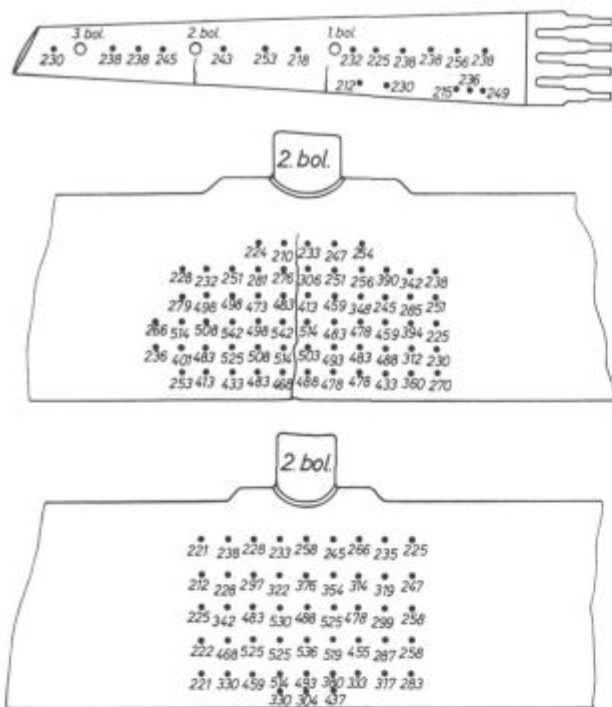
× 0,7. Makroskopsko jedkano. Razpoke na dveh lopaticah ob drugem čepu

ture se lopaticice izdelujejo iz legiranega kromovega jekla, ki ima po JUS standardih označbo Č. 4172, v katalogu naših železarn ima oznako Prokron 3, po DIN pa oznako X20Cr13. Predpisi zahtevajo, da ima to jeklo 0,17 do 0,22 % C, 12 do 14 % Cr in standardne vsebnosti drugih legirnih elementov in nečistoč. Kemijska analiza je pokazala, da so lopaticice iz jekla z 0,20 % C in 13,3 % Cr, to je, da sestava ustreza predpisom. Vzorci iz treh različnih lopatic so pokazali poprečje mehanskih lastnosti, ki je navedeno v tabeli 1, kjer so podane

2. METALOGRAFSKA PREISKAVA

Iz poškodovanih lopatic in iz neuporabljenih rezervnih lopatic smo izrezali vzorce za mikroskopsko preiskavo na različnih značilnih mestih. Dognali smo, da ima jeklo malo vključkov in mikrostrukture iz popuščenega martenzita, ki je na tanjših presekih nekoliko bolj fin kot na debelih (sliki 4 in 5).

Mikrostruktura na trših poljih ob čepih pa je bistveno drugačna in je sestavljena iz drobnozrna-

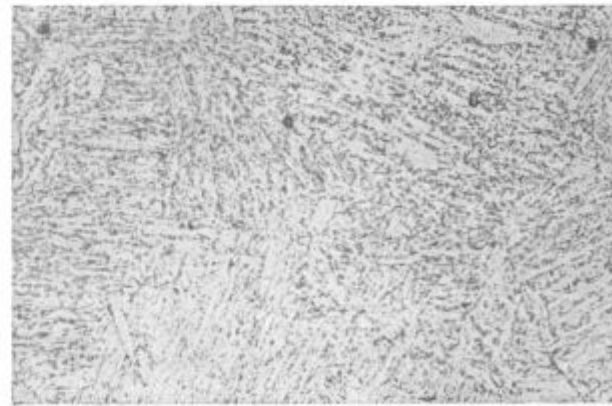
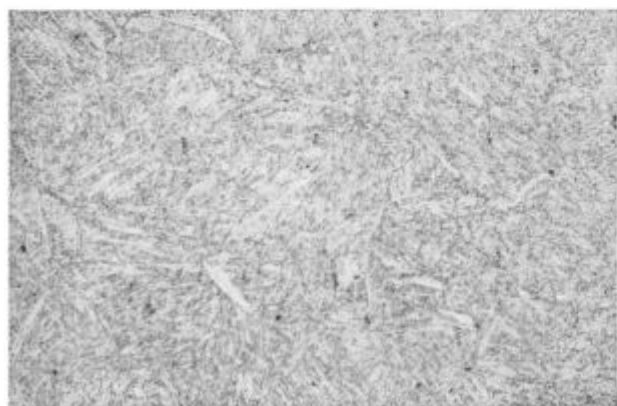


Slika 3

Trdota vzdolž osi lopatice (zgoraj) in na poškodovanih mestih ob čepih z razpoko (sredina) in brez nje (spodaj)

tega kalilnega martenzita, ki ima ob kristalnih mejah bolj ali manj razvito karbidno mrežo (sliki 6 in 7). V mikroskopu se je jasno videlo, da potekajo glavna razpoka in njene stranske veje prav po karbidni mreži.

Mikrostruktura iz kalilnega martenzita in karbidne mreže je zelo krhka, je metalurško nedopustna in očiten dokaz, da je nepravilno delo pokvarilo spočetka dobro jeklo. Taka struktura lahko nastane samo, če jeklo ogrevamo pri dovolj visoki temperaturi dovolj dolgo, da pride do transformacije martenzita in karbidov v avstenit in ga nato počasi ohlajamo ali pa zadržujemo pri nekoliko nižji temperaturi, da nastane karbidna mreža



Slika 4 in 5

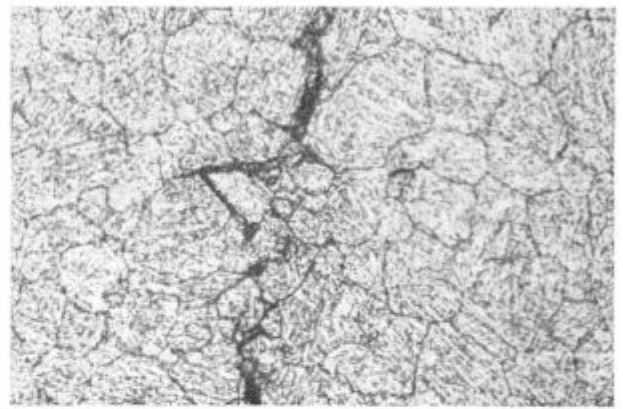
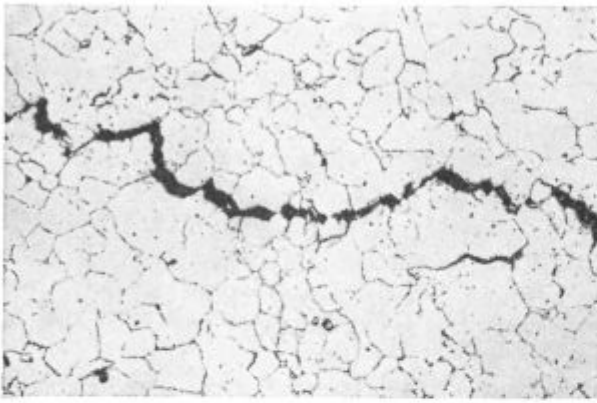
× 500. Mikrostruktura jekla na tanjšem in na debelejšem preseku lopatice

zaradi zmanjšane topnosti ogljika, nato pa jeklo ohladimo dovolj hitro, da pri ohlajanju nastane finoizrnati kalilni martenzit. Po faznem diagramu Fe-C-Cr je za jeklo Prokron 3 pričakovati premeno $\alpha - \gamma$ pri temperaturah med 850—900° C. Praktični preizkus na vzorcih jekla, izrezanih iz lopatic, pa je pokazal, da nastane karbidna mreža, če se jeklo počasi ohlaja v intervalu 800—850° C. To se ujema s preje omenjenim faznim diagramom, ki kaže, da je v tem temperaturnem intervalu trifazno področje obstojnosti ferita, avstenita in karbidov. Gotovo je zato, da je nastala karbidna mreža zaradi zadrževanja jekla približno v tem temperaturnem intervalu.

3. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH PODATKOV

Z metalografskimi preiskavami in merjenjem trdote je nedvomno dokazano, da je pri lotanju čepov na lopatice prišlo do nedopustnega lokalnega previsokega segrevanja jekla, kar je imelo za posledico nastanek krhke martenzitno-karbidne mikrostrukture. To pa je zvezano še z enim neprijetnim pojavom. Lokalno segrevanje in ohlajanje in nastanek martenzita povzročijo zaradi volumskih sprememb močne notranje napetosti. S pomočjo merilnih trakov je bilo eksperimentalno ugotovljeno, da so v zalotani nerazpokani lopatici ob robu polja termičnega vpliva natezne notranje napetosti. Ob robu lopatice, kjer so bile razpoke in približno paralelno z osjo lopatice, so bile izmerjene največje napetosti 14,3 kp/mm², na novi lopatici pa na istem mestu in v isti smeri pa le 2,9 kp/mm².

Lahko upravičeno predpostavimo, da so napetosti v mikroskopskem merilu še večje, saj volumske spremembe zaradi lokalnega ogrevanja, ohlajanja in transformacije, lahko povzročijo notranje napetosti, ki presegajo mejo plastičnosti jekla ali pa celo presegajo njegovo trdnost. Dokaz za to so kalilne razpoke.



Slika 6 in 7
 × 200. Karbidna mreža in razpoke na dveh lopaticah



Slika 8 in 9
 × 6000. Dvostopenjska replika: plastična snov — ogljje. Mikrofraktofske značilnosti prelomne površine.

Vse to kaže, da so razpoke nastale zato, ker je zaradi nepazljivega spajkanja čepov prišlo istočasno do nastanka velikih notranjih napetosti in krhke mikrostrukture.

Pojavilo pa se je vprašanje, kdaj so razpoke nastale, t. j. ali so nastale v praktično polni velikosti naenkrat zaradi trenutne anormalnosti v obratovanju turbine ali pa so se počasi širile iz začetne mikrorazpoke zaradi vibracij v obremenitvi med obratovanjem turbine in so zato utrujenostnega porekla. Na prelomnih površinah ni bilo mikroskopskih značilnosti na osnovi katerih bi lahko opredelili način širjenja razpok in dognali njihovo poreklo. Zato smo na prelomnih površinah napravili preiskavo z elektronskim mikrosko-

pom po mikrofraktofski metodi. Po tej metodi je mogoče na osnovi mikroskopskih značilnosti točno opredeliti način širjenja razpoke in s tem njeno naravo¹. To je seveda mogoče le v primeru, če korozija ni preveč poškodovala prelomnih površin. Tega se ni bilo treba bati, ker so lopatice iz nerjavnega jekla in so prišle v stik le z vodo in vodno paro. Z zaporednimi odtisi v zmehčani rodoid smo prelomno površino očistili, nato pa pripravili indirektno ogljene replike. Opazovanje v elektronskem mikroskopu je pokazalo na prelomni površini na posameznih mestih periodičnost v morfologiji preloma, kar je značilen znak, da je razpoka nastala s postopnim širjenjem, t. j., da je utrujenostnega porekla.

4. SKLEP

Na osnovi opisanih rezultatov preiskave smo lahko z gotovostjo oblikovali naslednji sklep:

Nepravilno ogrevanje pri spajkanju čepov je lokalno pokvarilo jeklo z dobrimi začetnimi lastnostmi in ustvarilo notranje napetosti ter krhko mikrostrukturo. Na posameznih mestih, kjer so

Tabela 1 — Mehanske lastnosti

	Predpis za X20Cr13	
Povprečje 3 lopatic	76,8	65—80
Trdnost (kg/mm ²)	60,8	najm. 45
Meja plastičnosti (kg/mm ²)	18	najm. 16
Raztezek (%)	64	
Kontrakcija (%)	7,6	najm. 4
Žilavost (kg/cm ²)	277	180—250

bile notranje napetosti največje, so se zato pojavile pri ohlajanju po lotanju ali pa zaradi vibracij med obratovanjem turbine drobne mikrorazpoke. Med obratovanjem turbine so se zaradi omenjenih vibracij razpoke širile po mehanizmu, ki je značilen za širjenje razpok utrujenostnega porekla.

Opisanih poškodb jekla Č.4172 ni mogoče popraviti z nobenim drugim posegom kot s ponovno termično obdelavo lopatic, kar je bilo nemogoče napraviti. Zato je bilo potrebno vse lopatice, ki so bile od spajkanja poškodovane, zamenjati z novimi, za lotanje pa uporabiti trdo spajko z nižjim tališčem, ki ne zahteva, da se pri delu z njo jeklo segreje na tako visoko temperaturo, da lahko pride do α - γ premene.

Literatura

1. L. Kosec in F. Vodopivec: »Uporaba metode mikrofraktografije«, Železarski zbornik, 3, marec 1969, 1—14.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Dampfturbinenschaufeln waren aus einem Stahl mit 0,20 % C und 13,3 % Cr hergestellt. Die Risse sind an Stabilisationszapfen entstanden. Die mechanischen und metallographischen Untersuchungen haben ergeben, dass die

Überhitzung beim Lötten der Grund für die Entstehung der Risse ist. Die mikrofraktographischen Untersuchungen zeigten, dass sich die Risse von der erst entstanden Mikrorissen stufenweise ausbreiteten.

SUMMARY

The vanes were made from steel with 0,20 % C and 13,3 % Cr. The cracks were observed in the vicinity of stabilizing corks. Mechanic and metallographic investigation revealed that the cause for cracking was overheating of

steel which occurred during the soldering of the corks. Microfractographic investigation showed that the cracks gradually propagated from the initial microcracks.

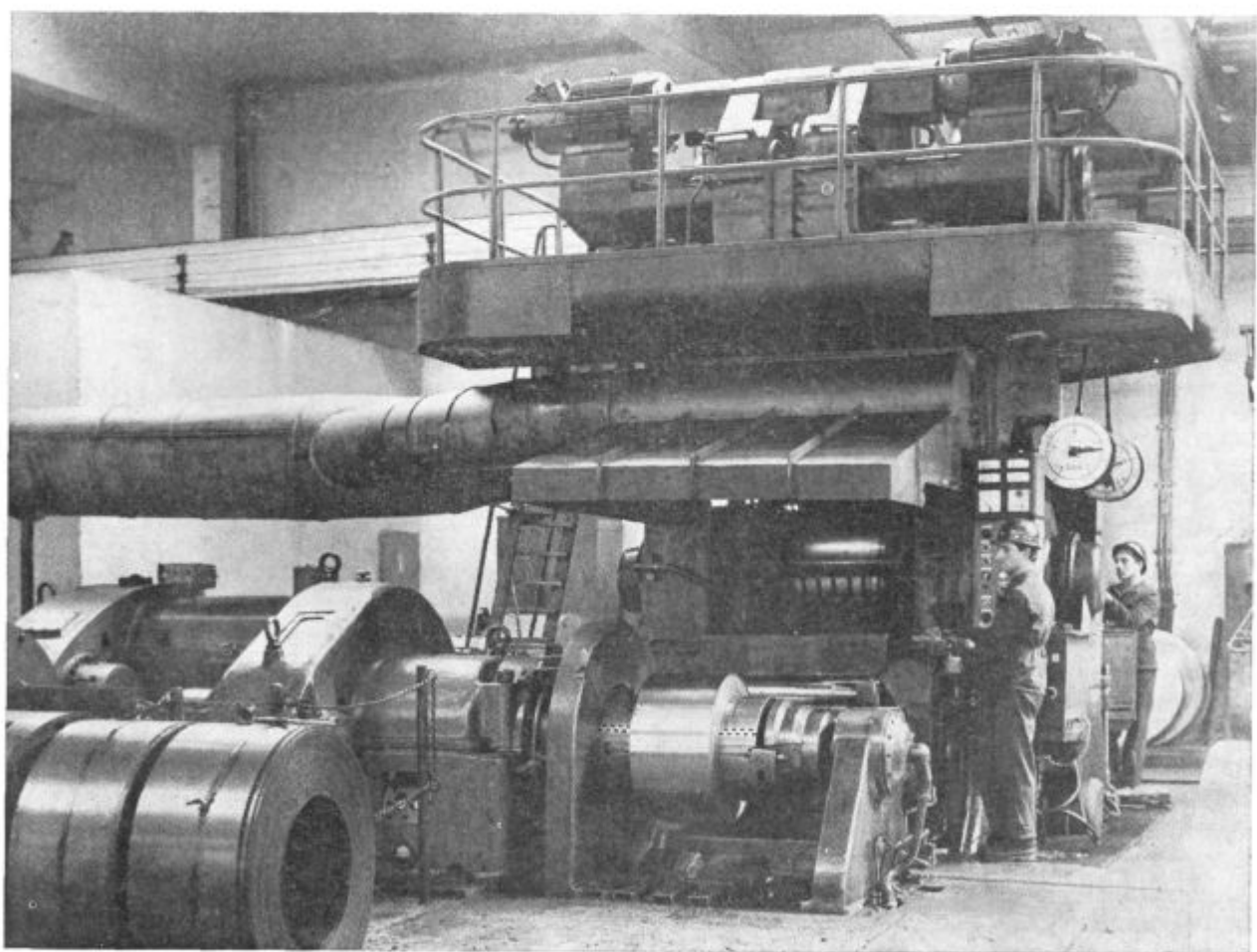
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лопатки турбины выработаны из легированной стали с содержанием 0,20 % C и 13,3 % Cr. Трещины обнаружены на поверхности стабилизационных пробок.

На основании механических и металлографических результа-

тов испытания пришли к заключению, что причина трещин перегрев стали во время пайки; микрофрактографическое испытание показало что появление трещин происходило постепенно начиная с возникновением микро-трещин.





SIEMAG valjčno ogrodje v hladni valjarni. Foto: Makovec



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