

ŽELEZARSKI ZBORNIK

| VSEBINA | Stran |
|--|-------|
| Smajić Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana TERMODINAMIČNE OSNOVE PROIZVODNJE NERJAVNEGA JEKLA, II. DEL | 57 |
| Todorović G., I. Lamut, V. Prešern — Metalurški inštitut Ljubljana M. Plahuta, I. Zapušek — Železarna Štore RAZŽVEPLANJE SIVEGA GRODLJA S KALCI- JEVIM KARBIDOM | 63 |
| Brudar Božidar — Železarna Jesenice RAČUNANJE ZAČETNIH POGOJEV PRI OGREVANJU BLOKOV V GLOBINSKIH PE- ČEH | 69 |
| Bratina Janez — Železarna Ravne ZANESLJIVOST PROIZVODNIH NAPRAV | 77 |
| TEHNIČNE NOVICE | |
| Grešovnik Ferdo — Železarna Ravne LASTNOSTI JEKLA Č 4574 (PROKRON 12 SP) IN JEKLENE LITINE Č 4574 | 85 |
| Pšeničnik Janez — Železarna Ravne TEŽKE KONICE, DLETA IN SEKAČI ZA HIDRAVLI- ČNA KLADIVA | 93 |

LETO 17 ŠT. 2 — 1983
ŽEZB BQ 17 (2) 57-76 (1983)



ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 17

LJUBLJANA

JUNIJ 1983

| Vseblina | Inhalt | Contents | Содержание |
|--|--|---|---|
| stran | Seite | Page | страница |
| Nijaz Smajić Termodinamične osnove proizvodnje nerjavnega jekla, II. del 57 UDK: 669.15 — 194.56: 669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1—73 | Nijaz Smajić Thermodynamische Grund- lagen der Erzeugung von nichtrostenden Stählen 2. Teil 57 UDK: 669.15 — 194.56: 669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1—73 | Nijaz Smajić Thermodynamic Principles of Manufacturing Stainless Steel, Part II 57 UDK: 669.15 — 194.56: 669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1—73 | Nijaz SMAJIC Термодинамические основы производства нержавеющей стали, II часть. 57 UDK: 669.15 — 194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1—73 |
| Gojko Todorović, I. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta, I. Zapušek Razžveplanje sivoga gro- dlja s kalcijevim karbidom 63 UDK: 669.162.275.1 ASM/SLA: D11n, AD-a | Gojko Todorović, I. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta, I. Zapušek Entschwefelung von Guss- eisen mit Kalziumkarbid 63 UDK: 669.162.275.1 ASM/SLA: D11n, AD-a | Gojko Todorović, I. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta, I. Zapušek Desulphurisation of Grey Pig Iron by Calcium Car- bide 63 UDK: 669.162.275.1 ASM/SLA: D11n, AD-a | Gojko TODOROVIC, I. LAMUT, V. PREŠEREN, M. PLAHUTA, I. ZAPUSEK Удаление серы из серого чу- гуна с карбидом кальция. 63 UDK: 669.162.275.1 ASM/SLA: D11n, AD-a |
| Božidar Brudar Računanje začetnih pogo- jev pri ogrevanju blokov v globinskih pečeh 69 UDK: 621.783.224.2: 621.78.01.6 ASM/SLA: F21b | Božidar Brudar Mathematische Bestim- mung der Anfangsbedin- gungen beim Erwärmen von Blöcken in Tiefofen 69 UDK: 621.783.224.2: 621.78.01.6 ASM/SLA: F21b | Božidar Brudar The Calculation of the Initial Conditions with the Heating of Ingots in So- aking Pits 69 UDK: 621.783.224.2: 621.78.01.6 ASM/SLA: F21b | Božidar BRUDAR Вычисление начальных усло- вий при нагреве блюмов в на- гревательных колодах. 69 UDK: 621.783.224.2:621.78.01.6 ASM/SLA: F21b |
| Janez Bratina Zanesljivost proizvodnih naprav 77 UDK: 658.274:621.797 ASM/SLA: T7f, A5, 18—71 | Janez Bratina Zuverlässigkeit der Pro- duktionsanlagen 77 UDK: 658.274:621.797 ASM/SLA: T7f, A5, 18—71 | Janez Bratina Reliability of Production Equipment 77 UDK: 658.274:621.797 ASM/SLA: T7f, A5, 18—71 | Janez BRATINA Надёжность производствен- ных устройств. 77 UDK: 658.274:621.797 ASM/SLA: T7f, A5, 18—71. |
| Tehnične novice 85 | Technische Nachrichten 85 | Technical News 85 | Технические новости 85 |

Termodinamične osnove proizvodnje nerjavnega jekla

UDK:669.15 — 194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS-e, 1-73

N. Smajčić

II. del: DUPLEKS POSTOPEK EOP — VOD

Opisane so termodinamične odvisnosti, ki uravnavajo potek oksidacijske faze pri izdelavi nerjavnega jekla po dupleks postopku elektroobločna peč — VOD ponovca. Analiziran je vpliv parcialnega tlaka CO, temperature taline, vsebnosti kroma in niklja ter aktivnosti Cr_2O_3 v žilindri na selektivno oksidacijo ogljika, tj. na premik izoterm ravnotežja $C — O$ in $C — Cr — O$. Algoritmi, izdelani na osnovi termodinamičnih zakonitosti, so osnova računalniškega programa, ki omogoča optimizacijo sodobne tehnologije izdelave nerjavnega jekla.

1. DUPLEKS POSTOPEK EOP — VOD

Sodobna tehnologija izdelave nerjavnih jekel temelji na dupleks postopku, po katerem taljenje vložka opravljamo v elektroobločni peči, medtem ko vse metalurške faze izvajamo v drugem agregatu, tj. v ponvi, v kateri talino istočasno oksidiramo in vakuumiramo (VOD), ali v konvertorju, v katerem oksidiramo z zmesjo kisika in inertnega plina (AOD ali CLU), oziroma vodne pare. Pri EOP — VOD dupleks postopku delno oksidiramo tudi v elektropeči v primeru velike vsebnosti ogljika in / ali silicija v vložku. VOD postopek namreč lahko uporabljamo le za oksidacijo vložka, ki ima manj kot približno 1,0 % C in 0,20 % Si. Po nekaterih podatkih iz literature (7) je vsebnost ogljika v vložku omejena na 0,8 — 1,3 % C, kar je odvisno od kapacitete vakuumske naprave in višine taline v ponvi.

Postopek uvajamo, oz. ga bomo uvedli tudi v slovenskih železarnah. VOD tehnologija je bila razvita v Edeltahlwerke Thyssen, in sicer v jeklarni

Witten leta 1967. Bistvo VOD postopka je oksidacija s plinastim kisikom ob istočasnem vakuumiranju in mešanju taline z uvajanjem argona skozi porozni »kamen«, vgrajen v dno ponve. Z vakuumiranjem odvajamo nastali CO, ki je produkt oksidacije ogljika, in tako premaknemo ravnotežje $C — O$ proti nižjim vsebnostim ogljika, tj. podaljšamo fazo selektivne oksidacije ogljika.

Vložek, ki že vsebuje ves potreben krom, npr. 18 % Cr, pri izdelavi jekla 18/8 stalimo v EO peči, če je to potrebno, ga delno oksidiramo na omenjeno maksimalno dopustno vsebnost ogljika, žilindro čimbolj skrbno odstranimo ter ponev s talino brez žilindre oksidiramo ob istočasnem vakuumiranju in mešanju z argonom. Podtlak med oksidacijo pada od približno 200 mbar v začetku oksidacije do 40 — 50 mbar ob koncu oksidacije. V zadnji fazi kisika ne pihamo, temveč poteka oksidacija z »lastnim« kisikom iz taline ob intenzivnem mešanju z argonom pod vakuumom.

Potek oksidacije kontroliramo z merjenjem parcialnega tlaka CO v plinih, ki jih odsesavamo, s pomočjo kisikove sonde. Med selektivno oksidacijo ogljika ustreza parcialni tlak CO tlaku, oziroma podtlaku, ki ga ustvarja vakuumiranje. Ko dosežemo ravnotežje $C — Cr — O$, tj. kritično koncentracijo ogljika, in se začne oksidacija kroma, kisikova sonda pokaže oster padec p_{CO} , kar pomeni, da lahko prenehamo pihati kisik, da bi preprečili oksidacijo kroma. V zadnji fazi oksidacije z lastnim kisikom pa se parcialni tlak CO ponovno zviša in na koncu zopet pade, ko se porabi večina zaostalega ogljika. Izdelava ELC kvalitet je povsem enostavna, saj lahko dosežemo npr. manj kot 0,01 % C pri

podtlaku od 1 — 3 mbar in temperaturi, ki ne presega 1700 °C. V tej fazi se preostali ogljik oksidira s kisikom iz Cr_2O_3 , MnO in FeO v žilindri.

Z dodatkom reducenta (FeSi), CaO in CaF_2 pri vakuumiranju in bolj intenzivnem mešanju z argonom reduciramo žilindro in opravljamo odžveplanje. Če je vsebnost žvepla razmeroma velika, reducirano žilindro lahko odlijemo, formiramo novo žilindro ter v 3 — 5 minutah dosežemo tudi manj kot 0,005 % S.

Obdelava taline po VOD postopku traja približno 150 minut in zato je VOD postopek glede na produktivnost manj ugoden kot AOD postopek izdelave nerjavnih jekel, kjer je dovolj cca 90 minut. Za razliko od AOD postopka po VOD tehnologiji lahko le del kroma v vložku dobimo iz cenejših virov kroma, tj. iz FeCr carbure in charge, sicer bi vsebnost ogljika in silicija v talini bila prevelika in bi morali talino prej oksidirati v elektropeči in nato reducirati žilindro, kar močno zmanjša produktivnost. So številne variante VOD postopka, npr. VOD — SS in VODK (SS — Strong Stirred, K — konverter), vendar se niso uveljavile. Čeprav ima VOD postopek nekatere prednosti pred AOD postopkom (boljša vzdržnost obloge, manjša delovna temperatura, ipd.), je AOD postopek brez dvoma boljši, vsaj za proizvodnjo nerjavnih jekel, te se zato danes skoraj 90 % nerjavnega jekla na Zahodu izdeluje po AOD postopku.

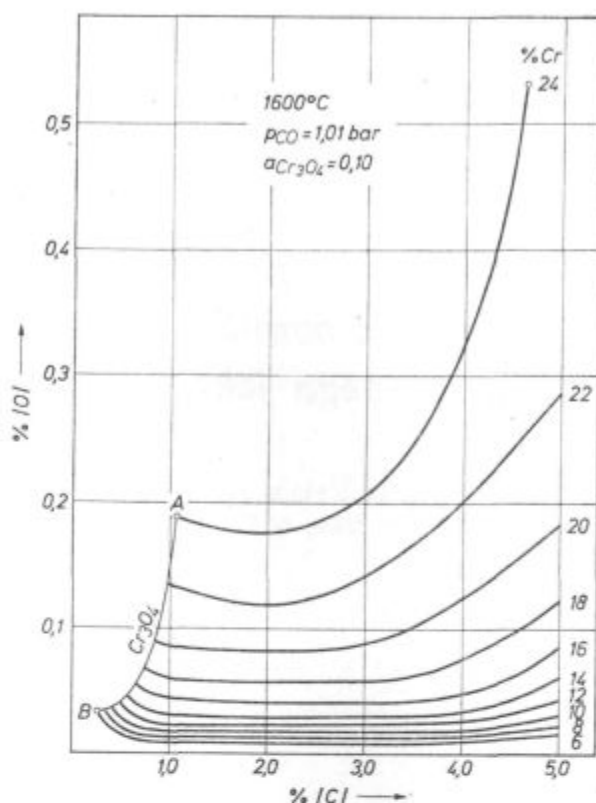
1.1 Priprava taline za oksidacijo

Priprava taline za oksidacijo obsega taljenje vložka, ki vsebuje ves potrebni krom v EO peči in delno oksidacijo v elektropeči, če je to potrebno, tj. če vsebnost ogljika in / ali silicija presega omejene dopustne vrednosti.

Diagram na sliki 1 kaže izoterme pri 1600 °C, ki predstavljajo ravnotežje C — O za taline, ki vsebujejo 6 — 24 % Cr. Vse izoterme se začnejo na desni strani diagrama in končajo na krivulji AB, ki predstavlja ravnotežje C — Cr — O.

S slike vidimo, kako se spreminja vsebnost kisika med selektivno oksidacijo ogljika v elektropeči pri 1600 °C. Slika jasno kaže, da imajo vse krivulje minimum pri cca 2,0 % C, ko dosežemo minimalno vsebnost kisika v talini pri dani vsebnosti kroma. Nadaljnja oksidacija ogljika poteka ob rahlem zvišanju vsebnosti kisika v talini vse do konca selektivne oksidacije ogljika, tj. do krivulje AB, ki ponazarja termodinamično ravnotežje C — Cr — O, ko se začne oksidacija kroma. Kot vidimo iz poteka krivulje AB, pada pri istočasni oksidaciji kroma in redukciji žilindre. Iz analize prvega preizkušanca, tj. po taljenju jeklar lahko ugotovi s pomočjo prikazanega diagrama, ali je

Diagram je pomemben za prakso, saj nam krivulja AB jasno kaže, kako moramo sestaviti vložek, oziroma do katere vsebnosti ogljika lahko predoksidiramo v elektropeči, če se želimo izogniti oksidaciji kroma in redukciji žilindre. Iz analize prvega preizkušanca, tj. po taljenju jeklar lahko ugotovi s pomočjo prikazanega diagrama, ali je



Slika 1

Ravnotežje C — O pri 1600 °C v odvisnosti od vsebnosti kroma. Značilni pogoji za elektroobložno peč.

Fig. 1

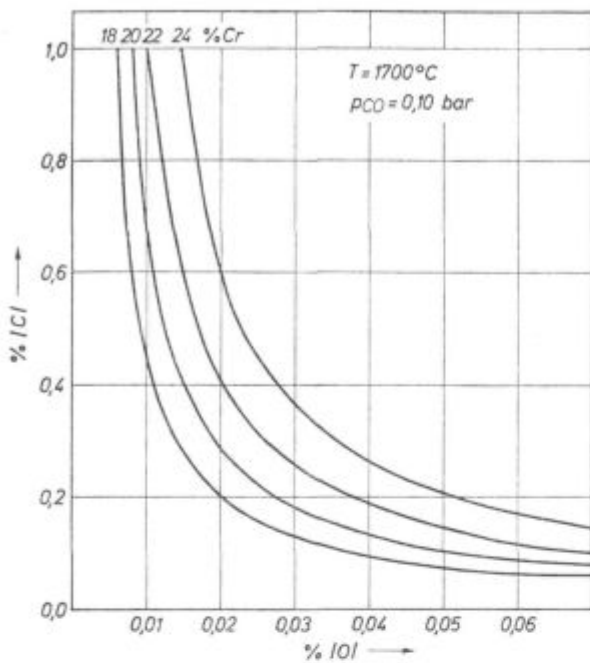
C — O equilibrium at 1600 °C depending on the chromium content. Conditions are characteristic for the electric arc furnace.

potrebna delna oksidacija že v elektropeči in do katere vsebnosti ogljika lahko oksidira talino brez nevarnosti, da bi prišlo tudi do oksidacije kroma, ter se tako izogne zamudni redukciji žilindre. Pri sestavah, ki jih kaže krivulja AB namreč žilindra vsebuje le 4 — 6 % Cr_2O_3 , kar pomeni, da je še dobro tekoča ter jo lahko odstranimo brez prekomernih izgub kroma. S tem seveda ne le povečamo produktivnost, tj. skrajšamo čas izdelave, temveč tudi znižamo porabo električne energije, ferosilicija, apna in jedavca.

1.2 Selektivna oksidacija ogljika po VOD postopku

Diagram na sliki 2 kaže termodinamično ravnotežje C — O za taline, ki vsebujejo 18 — 24 % Cr pri delovni temperaturi VOD postopka, tj. pri 1700 °C in podtlaku, oz. parcialnem tlaku CO od 0,10 bar. V celotnem področju diagrama poteka pri teh pogojih praktično povsem selektivna oksidacija ogljika. Lokalno, v coni neposredno pod kopjem, skozi katerega uvajamo kisik, zaradi močnih oksidacijskih pogojev delno oksidira tudi krom po reakciji:





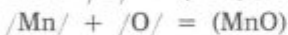
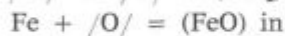
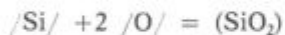
Slika 2

Ravnotežje C — O pri 1700°C in $p_{\text{CO}} = 0,10 \text{ bar}$ v odvisnosti od vsebnosti kroma. Značilni pogoji za VOD napravo.

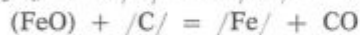
Fig. 2

C — O equilibrium at 1700°C and $p_{\text{CO}} = 0,10 \text{ bar}$ depending on the chromium content. Conditions are characteristic for the VOD set.

Istočasno potekajo tudi druge oksidacijske reakcije:



Tako nastali oksidi tvorijo tanko plast žlindre, ki jo curek kisika odriva na stran. Na medfazni površini zunaj oksidacijske cone pa poteka redukcija teh oksidov z ogljikom iz taline po naslednjih reakcijah:



Tako oksidacijske kot redukcijske reakcije potekajo zelo intenzivno in se vzpostavi dinamično ravnotežje, ki je veliko bližje termodinamičnemu ravnotežnemu stanju kot npr. v elektropeči ali v LD konvertorju, ker je intenzivnost mešanja bistveno večja zaradi vpihovanja argona in istočasnega vakuuiranja ter pihanja kisika. V začetku pihanja kisika prevladuje oksidacija Si iz taline v žlindro — pihanje kisika po VOD postopku začnemo približno pri 1600°C , z naraščajočo temperaturo pa se ravnotežje med ogljikom in silicijem, kromom in silicijem ter med kromom, ogljikom in silicijem premika proti višji vsebnosti silicija (3,8), kar stimulira redukcijo Si iz žlindre. Proti koncu oksida-

cije torej začne naraščati vsebnost Si v talini, vendar se kmalu vzpostavi termodinamično ravnotežje C — Cr — Si — O, kar ustavi naraščanje silicija, ki sedaj sodeluje v redukciji kroma iz žlindre po reakciji:



Reakcija je reverzibilna, tj. poteka v obe smeri. Naraščanje temperature premika njeno ravnotežje v levo stran, kar pomeni, da v redukciji silicija iz žlindre sodeluje poleg ogljika tudi krom. Vakuuiranje ne vpliva na to ravnotežje. Ogljik nima bistvenega vpliva na ravnotežje med silicijem in kromom, vendar se med oksidacijo ogljika ravnotežje postopoma in počasi premika v levo stran, tj. proti zvišanju vsebnosti Si v talini. To pomeni, da vsebnost Si v talini, ki je potrebna za zaščito kroma, pred oksidacijo raste z rastočo temperaturo in z znižanjem vsebnosti ogljika, tj. proti koncu oksidacije.

Iz tega lahko sklepamo, kako pomembno je, da dobro odstranimo žlindro, tj. da je talina v ponvi pred začetkom VOD oksidacije čista in brez žlindre. Iz enakega vzroka je še bolj pomembno, da ima talina čim nižjo vsebnost silicija. Zgornja dopustna meja za VOD postopek je 0,20 % Si. Potemtakem je delna oksidacija v elektropeči praktično vedno potrebna in neizogibna, če za sestavo vložka uporabljamo FeCr carbure. To seveda pomeni, da bo potrebno posebno skrbno sestaviti vložek in zagotoviti zadostno vsebnost ogljika, če se hočemo izogniti odgoru kroma med oksidacijo v elektropeči, ki je potrebna, da bi znižali silicij na dovolj nizko vrednost in se tako izognili poznejšim težavam med VOD oksidacijo in pri dolgotrajni redukciji žlindre v elektropeči.

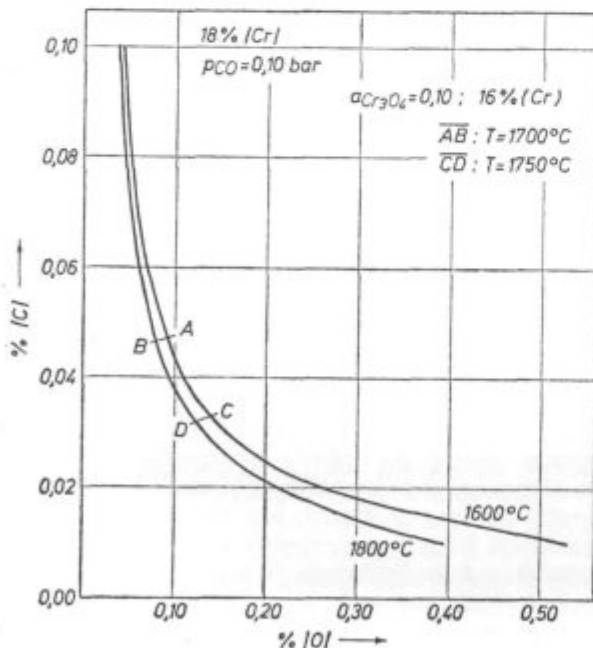
S slike 2 vidimo da talina z 18 % Cr in 0,07 % C pri 0,10 bar in 1700°C vsebuje 0,060 % kisika. Ta kisik zadošča za nadaljevanje oksidacije ogljika po reakciji $/ \text{C} / + / \text{O} / = \text{CO}$ in lahko veže 0,045 % C iz taline. To je tim. VCD (Vacuum Carbon Deoxidation) proces — dezoksidacija z lastnim ogljikom pod vakuumom. Pri izdelavi običajnih nerjavnih jekel tipa 18/8 lahko torej že pri 0,07 % C, tj. še v območju ravnotežja C — O, ustavimo pihanje kisika ter z intenziviranjem vakuuma in argoniziranja, kar še dodatno zniža parcialni tlak CO, teoretično znižamo ogljik do 0,025 % in obenem jeklo dezoksidiramo. Pri tem nismo upoštevali kisika iz kovinskih oksidov v žlindri, kar pomeni, da bo dezoksidacija jekla v tem primeru slabša, razoglicenje pa boljše od predvidenega. V tej fazi obdelave taline ima VOD postopek jasno prednost pred AOD postopkom, saj kombinira vakuum in uporabo argona za čim večje znižanje parcialnega tlaka CO in s tem ustvari večji premik ravnotežja C — O v desno stran reakcije $/ \text{C} / + / \text{O} / = \text{CO}$. V bistvu je torej VCD proces dezoksidacije identičen tistemu, kar jeklarji poznajo kot »izkuhanje«, le da ga z uporabo vakuuma in argoniziranja intenziviramo in podaljšamo do bistveno nižjih vsebnosti ogljika, kisika in ostalih plinov v jeklu.

1.3 Ravnotežje C — Cr — O ob koncu VOD oksidacije

Uporaba vakuuma tako kot uporaba visokih temperatur podaljša področje selektivne oksidacije ogljika proti nižjim vsebnostim ogljika. VOD postopek kombinira oba učinka tako kot AOD, vendar pri VOD lahko dosežemo nižje parcialne tlake CO in zato lahko delamo pri nižji maksimalni temperaturi. Razlika je približno 50 °C, tako da pri VOD zadošča temperatura 1700 °C, medtem ko AOD zahteva približno 1750 °C.

Pri VOD oksidaciji taline z 18 % Cr se selektivna oksidacija, tj. območje ravnotežja C — O podaljša do 0,046 % C, kot vidimo s slike 3. Vidimo, da poteka selektivna oksidacija ogljika po izotermah CO vse do krivulje AB, ko se pri 1700 °C vzpostavi ravnotežje C — Cr — O in se začne oksidacija kroma. Če zvišamo temperaturo na 1750 °C, se premakne selektivna oksidacija do krivulje CD. Na sliki sta narisani le izoterme CO za 1600 in 1800 °C, ostale izoterme za vmesne temperature ležijo vmes.

Ko dosežemo ravnotežje C — Cr — O, se začne oksidacija kroma, katere posledica je naglo znižanje vsebnosti kisika v talini, kot smo že videli na sliki 1. Da bi lahko potisnili ravnotežje C — Cr — O proti še nižjim vsebnostim ogljika, bi lahko uporabili močnejše črpalne agregate tj. nižji parcialni tlak CO, oz. zmanjšali intenziteto pihanja kisika in tako omogočili črpalnemu agregatu, da doseže nižji tlak. S tem bi seveda podaljšali traja-

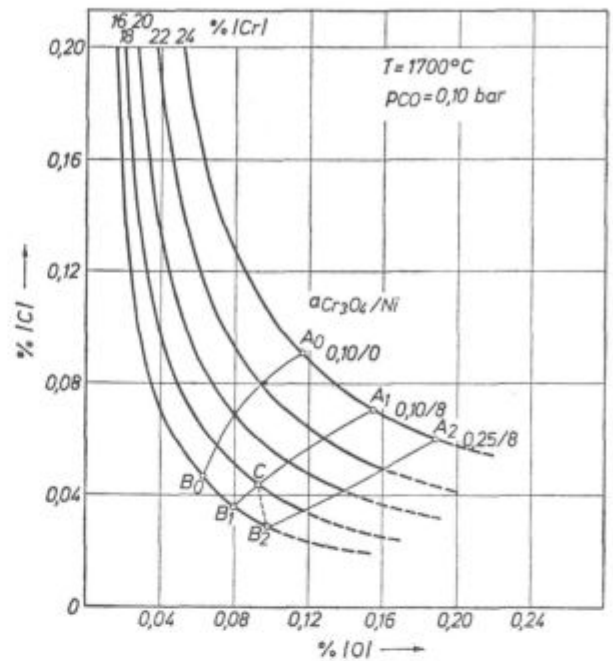


Slika 3

Pogoji ob koncu VOD oksidacije. Skrajne meje selektivne oksidacije ogljika pri 1700 °C (AB) in 1750 °C (CD) pri dovoljeni oksidaciji kroma od 2 %.

Fig. 3

Conditions at the end of oxidation in VOD. Limits of selective carbon oxidation at 1700 °C (AB) and 1750 °C (CD) at permissible chromium oxidation of 2 %.



Slika 4

Vpliv kroma ter vsebnosti Ni in aktivnosti Cr₃O₄ na skrajne meje selektivne oksidacije ogljika. Pogoji ob koncu VOD oksidacije.

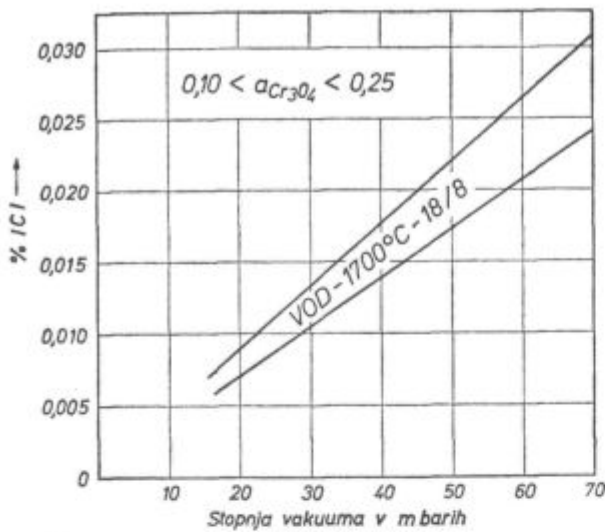
Fig. 4

Influence of chromium, nickel content, and Cr₃O₄ activity on the limits of selective carbon oxidation. Conditions at the end of oxydation in VOD.

nje oksidacije, ki pri VOD postopku sicer zahteva dalj časa in s tem zmanjšuje produktivnost glede na AOD postopek.

Uvajanje večje količine kisika v enoti časa pri omejeni kapaciteti črpalnega agregata pomeni zvišanje tlaka v sistemu in je zato intenzivnost oksidacije omejena s kapaciteto črpalnik. To je tudi osnovni vzrok, zakaj v VOD postopku ne moremo predelovati talin, ki vsebujejo več kot 0,8 — 1,3 % C. Manjša intenzivnost oksidacije pri VOD postopku pomeni tudi manjše segrevanje taline med oksidacijo. Zato mora imeti talina temperaturo 1600 °C pred začetkom oksidacije, medtem ko pri AOD postopku zadošča že 1550 °C. Na sliki 4 prikazujemo izoterme C — O za taline z 18 — 24 % C pri 1700 °C ter izoterme AB, ki ponazarjajo ravnotežje C — Cr — O, in sicer za taline brez Ni, tj. pri izdelavi feritnih jekel (krivulja A₀B₀), ter za taline, ki vsebujejo Ni, ko se ravnotežje C — Cr — O premakne z naraščanjem aktivnosti Cr₃O₄, tj. z odgorom kroma, od 0,10 na 0,25 iz lege A₁B₁ v lego A₂B₂.

Talino z 18 % Cr in 8 % Ni lahko torej oksidiramo po izoterme C — O za 18 % Cr vse do točke C, ko dosežemo ravnotežje C — Cr — O. Nadaljevanje oksidacije povzroča oksidacijo ogljika in kroma, pri tem raste aktivnost Cr₃O₄ v žilindri do cca 0,25, pri čemer odgori v žilindro cca 2 % Cr, tako da talina vsebuje sedaj le 16 % Cr. Proces poteka torej po krivulji CB₂ ob rahlem zvišanju vsebnosti kisika v talini.



Slika 5

Delovno območje VOD postopka. Potreben podtlak v odvisnosti od končne vsebnosti ogljika pri izdelavi jekla 18/8.

Fig. 5

Operating range of VOD process. Necessary vacuum depending on the final carbon content in manufacturing 18/8 stainless steel.

S tem smo končali analizo poteka VOD oksidacije. Preostane nam še odgovor na vprašanje, kakšno stopnjo vakuumu potrebujemo v končni fazi oksidacije, če želimo doseči predpisano vsebnost ogljika pri maksimalno dovoljeni temperaturi 1700 °C in še vedno dobro tekoči žlindre ($a_{Cr_3O_4} = 0,25$ max.)

Računalniški program, ki smo ga izdelali, upošteva tudi to zahtevo. Odgovor, ki nam ga posreduje računalnik, je seveda odvisen od vsebnosti kroma in niklja v talini. Tako slika 5 predstavlja odgovor na to vprašanje, če izdelujemo jeklo 18/8. S slike vidimo delovno območje VOD postopka. ELC kvaliteto (z max. 0,03 % C) lahko izdelujemo le če je vakuum boljši kot 70 mbar. Za navadne kvalitete 18/8 pa zadošča že 0,10 bar. Intenzivno argoniziranje pri npr. 0,04 bar brez pihanja kisika bi nam torej moralo omogočiti izdelavo jekla 18/8 z manj kot 0,03 % C. Parcialni tlak CO znotraj mehurčka argona, ki se naglo dviguje skozi talino, je zaradi argona nižji, vendar je treba upoštevati tudi ferostatični tlak, ki ga izvaja talina. Ob nekaterih dodatnih predpostavkah kaže izračun, da je

p_{CO} znotraj takega mehurčka v tem primeru cca 0,08 bar, kar po diagramu na sliki 5 komaj še zadošča za dosego 0,03 % C. Stopnja vakuumu mora biti torej še dosti boljša in po podatkih iz literature (7) pri izdelavi ELC jekel uporabljamo tudi vakuum od 1—5 mbar. S tem se doseže bolj intenzivno mešanje taline in se hitreje doseže predpisani ogljik, medtem ko na parcialni tlak CO znotraj mehurčka argona in CO to ne vpliva. Premakne pa se pri tem ravnotežje C—O proti nižji vsebnosti ogljika v talini, podaljša se torej vakuumska dezoksidacija z lastnim ogljikom in s tem doseže nižji ogljik.

2. ZAKLJUČKI

— Izvedeni se termodinamični proračuni vsebnosti kisika v odvisnosti od temperature, parcialnega tlaka CO in sestave taline in žlindre, oziroma aktivnosti Cr, C in Cr_3O_4 .

— Izdelan je matematični model in na njegovi osnovi ustrezen računalniški program za žilavenje krom vsebujočih talin po VOD postopku.

— Izdelan je računalniški program kot osnova za uvajanje računalniškega vodenja oksidacije po klasični in VOD tehnologiji izdelave nerjavnih jekel, vključno z jekli vrste ELC.

3. Literatura

- Smajić, N.: Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O, I. del, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 639, 1978
- Smajić, N.: Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O, II. del, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 734, 1979
- Smajić, N.: Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O, III. del, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 839, 1980
- Hilty, D. C. et al: Journal of the Iron and Steel Institute, June 1955, str. 116—128
- Crafts, W. in H. P. Rassbach: Journal of Metals, January 1952, str. 20—25
- Turkdogan, E. T.: Journal of the Iron and Steel Institute, November 1954, str. 278—283
- Meyer, H. et al: Stahl und Eisen, Nr. 23, 1979, str. 1315—1318
- Smajić, N.: Thermodynamics of Decarburisation of Chromium Containing Steel Melts, Proceedings of 5. CENIM Madrid, 6.—9. X. 1981

ZUSAMMENFASSUNG

Thermodynamische Voranschläge des Sauerstoffgehaltes in der Schmelze während der Oxydationsphase bei der Erzeugung der nichtrostenden Stähle nach dem Duplexverfahren Lichtbogenofen — VOD Anlage sind durchgeführt worden. Auf Grund der thermodynamischen Analyse ausgearbeiteten Algorithmen sind bei der Herstellung eines Rechenprogrammes, für die Anwendung eines Mikrorechners angewendet worden, was die Ausrechnung des Einflusses der Temperatur, des CO Partialdruckes, der Vakuumierungs-

intensität, der Gehalte von Chrom, Kohlenstoff und Nickel auf die selektive Oxydation von Kohlenstoff und den Sauerstoffgehalt in der Schmelze bei verschiedener Cr_2O_3 Aktivität in der Schlacke möglich macht.

Die Ergebnisse stellen die Grundlage für die Einführung der Rechnergesteuerten Oxydation bei der Erzeugung nichtrostender Stähle nach dem Duplex Verfahren dar.

SUMMARY

Thermodynamic calculations of oxygen content in the melt during the oxidizing phase in manufacturing stainless steel by the modern duplex process of electric arc furnace and VOD set were made. Based on thermodynamic analysis the algorithms were made and applied in preparing the computer program for a micro-computer. Thus the evaluation of influence of temperature, CO partial pres-

sure, ie. vacuum intensity, of chromium, carbon, and nickel contents on the selective oxydation of carbon, and oxygen content in the melt with varying Cr_2O_3 activity in the slag was enabled.

The obtained result represent the basis for introduction of the computer control in manufacturing stainless steel by the duplex process.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены термодинамические расчеты содержания кислорода в расплаве в течении окислительной фазы изготовления нержавеющей стали по современному дулекс способу: дуговая электропечь — ВРУ установка. На основании термодинамического анализа изготовленные алгоритмы послужили для разработки программы для вычислительной машины. Применение микросчетчика дает возможность выполнить расчет влияния температуры, углекислого давления CO отн. интенсивности вакуумирования, а

также влияние содержания углерода и легирующих элементов хрома и никеля на селективное окисление углерода и на содержание кислорода в расплаве при различной активности Cr_2O_3 в шлаке.

Результаты исследования служат как основа для введения программного управления окисления с вычислительной машиной при изготовлении нержавеющей стали дулекс способом.

Razžveplanje sivega grodlja s kalcijevim karbidom

UDK: 669.162.275.1

ASM/SLA: D11n, AD-a

Todorović G., J. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta
J. Zapušek

Čeprav je uporaba kalcijevega karbida kot razžvepevalca znana v svetovni strokovni literaturi že dalj časa, se pri nas samo delno uporablja za razžveplanje sivega grodlja. Za razžveplanje grodlja se uporabljajo različni postopki in različne granulacije kalcijevega karbida. Zato smo pri naših raziskavah uporabljali kalcijev karbid različne granulacije ter dva različna načina premešavanja, in sicer z mešalno napravo in polindustrijsko napravo za vpihovanje. Poskusi so opravljeni na elektroplavžu v Železarni Štore, tako da se rezultati lahko uporabijo v praksi.

UVOD

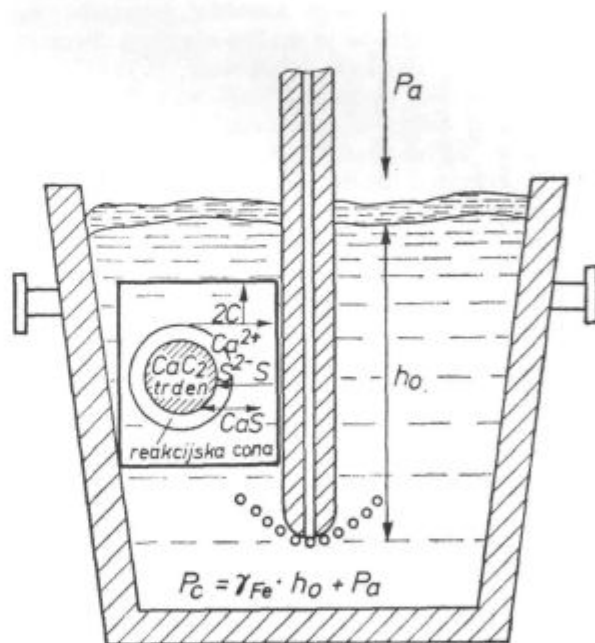
Grodlji, ki jih proizvajamo v plavžih in elektroredukcijskih pečeh, vsebujejo približno od 0,040 do 0,080 % žvepla pri bazičnosti žlindre $\text{CaO/SiO}_2 = 1,0 - 1,2$. Vsebnost žvepla v grodlju je lahko večja ali manjša, kar je odvisno od načina vodenja tehnologije. Vse več plavžev v svetu obratuje s kislimi žlindrami in povišano vsebnostjo žvepla v grodlju; posledica je povečanje storilnosti plavžev in zmanjšanje obratovalnih stroškov. Na ta način se lahko zmanjša vsebnost žvepla v grodlju na tisočinke odstotka. Zato so se v svetu razvili različni postopki razžveplanja grodlja zunaj proizvodnega agregata. Raziskave na tem področju potekajo zelo intenzivno. Usmerjene so v glavnem v osvajanje tehnologije razžveplanja grodlja ter iskanje ustreznega sredstva, ki je tehnološko najbolj ugodno in ekonomsko upravičeno. V najnovejših strokovnih publikacijah največkrat poročajo o uporabi pasiviziranega magnezija v obliki magnezijevega koks¹ in granula².

Pri nas poteka razžveplanje grodlja v Železarni Štore z mešalno napravo. Kot sredstvo za razžveplanje uporabljajo kalcijev karbid in kalcinirano sodo. Poskusi razžveplanja grodlja so izvršeni na mešalni ter polindustrijski napravi za vpihovanje. Kalcijev karbid je imel granulacijo 0,3—0,7 mm in 0—1,0 mm. Raziskave na tem področju se nadaljujejo v iskanju optimalnih pogojev razžveplanja na osnovi kalcijevega karbida kot osnovnega sredstva v sintetičnih mešanich.

OPIS POSKUSOV

Na voljo so številni postopki in oprema, ki uporabljajo različne reagente. Da bi lahko dosegli zadostno mešanje trdnih reagentov s tekočim grodljem, se v novejšem času uporabljata predvsem dva načina premešavanja grodlja:

a) sredstvo za razžveplanje pride v kontakt s tekočim grodljem z vpihovanjem skozi posebno



P_a - atmosferski pritisk

P_c - celotni pritisk

h_0 - globina vpihovanja

γ_{Fe} - gostota Fe

Slika 1

Shematski prikaz razžveplanja grodlja pri vpihovanju kalcijevega karbida

Fig. 1

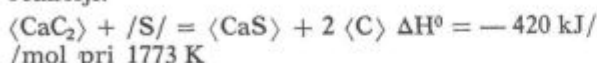
Schematic representation of desulphurisation of pig iron by injection of calcium carbide

kopje, pri čemer je nosilni, oziroma mešalni plin dušik ali suhi zrak;

b) uporaba posebnega mešala za premešavanje tekočega grodlja.

Omenjena postopka smo uporabljali pri razžveplanju grodlja.

Trdni karbid, ki ga damo v tekoči grodelj, reagira z v grodlju raztopljenim žveplom po naslednji reakciji:



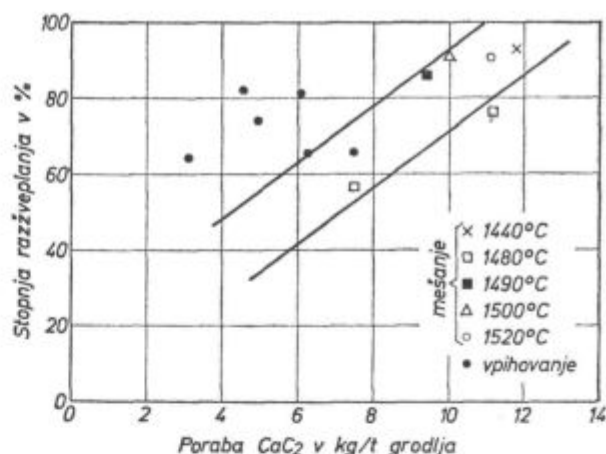
Reakcija razžveplanja je eksotermna, pri čemer nastane trdni CaS in prosti atomarni ogljik. Reakcija kalcija z žveplom je ena od reakcij z najnižjo prosto entalpijo in zato je nastali CaS zelo stabilen in netopen v grodlju, ter prehaja v žlindro. Reagenta v reakciji, to je CaC₂ in žveplo prideta z difuzijo v reakcijsko cono.

Rekcijska cona (sl. 1) leži okrog trdnega zrna karbida, oziroma fazna meja je tudi istočasno reakcijska cona. Žveplo se nahaja v tekoči fazi in je zato njegova difuzija večja kot trdnega CaC₂.

Vpihovanje kalcijevega karbida³ povzroča turbulenco taline, tako da je močno olajšana difuzija. Po drugi strani moramo upoštevati, da poteka reakcija kalcijevega karbida z žveplom samo na poti od izstopa iz kopja za vpihovanje do vrha taline in je zato termodinamično ugodnejša uporaba čimbolj drobnega karbida, kar pospešuje reakcijo razžveplanja. Zato je razumljivo, da je za uspešen potek reakcije razžveplanja zaželen čim bolj zdrobljen karbid, ki ga vpihujemo. V začetku vpihovanja CaC₂ v tekoči grodelj je reakcija med kalcijem in žveplom zelo burna.

Intenzivnost reakcije se počasi zmanjšuje in po desetih minutah vpihovanja postaja zelo počasna, ker je že reagiralo približno 80 % žvepla, ki ga vsebuje grodelj.

Pri razžveplanju grodlja na mešalni napravi smo dali kalcijev karbid v ponovco na površino taline, nato pa vključili mešalec za premešavanje. Reakcija je v začetku zelo burna, vendar malo počasnejša, ker se ne doseže taka turbulenca taline kot pri vpihovanju. Gibanje molekul in atomov, ki



Slika 2

Razžveplanje sivoga grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije 0,3–0,7 mm z mešalno in vpihovalno napravo

Fig. 2

Desulphurisation of grey pig iron by 0.3 to 0.7 mm calcium carbide in mixer and by injection

sodelujejo v reakciji je v glavnem po plasti ob površini, čeprav tudi ioni žvepla iz notranjosti taline difundirajo v reakcijsko cono in na ta način reagirajo s kalcijevimi ioni.

Po razžveplanju grodlja je potrebno posneti žlindro, ki v glavnem sestoji iz CaS in atomarnega ogljika.

DISKUSIJA REZULTATOV

Sivi grodelj, ki smo ga razžveplali z vpihovanjem kalcijevega karbida, je vseboval od 1,52 % do 1,96 % silicija in 0,7 % mangana ter 0,054 % do 0,130 % žvepla. Temperaturna grodlja v izlivnem žlebu je bila med 1395 in 1490 °C, medtem ko je pri posnemanju žlindre padla za približno 100 °C in po vpihovanju za manj kot 50 °C. Pri vpihovanju CaC₂ je zelo važna granulacija.

Pokazalo se je, da je granulacija 0–1,0 mm neprimerna za vpihovanje, kar potrjujejo tudi literaturni podatki⁴. Zato smo vpihovali CaC₂ granulacije 0,3–0,7 mm, ki je najbolj primerna za vpihovanje in razžveplanje. Rezultati poskusov so

Tabela 1: Vpihovanje CaC₂ v sivi grodelj

| Štev. poskusa | Teža grodlja v kg | Merjene temperature v °C | | | Poraba CaC ₂ | | Stopnja razžveplanja v % |
|---------------|-------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|----------|--------------------------|
| | | v sredini preboda | v začetku vpihovanja | po končanem vpihovanju | kg | kg/t gr. | |
| 1 | 16.500 | 1490 | 1380 | 1305 | 100 | 6,1 | 81,7 |
| 2 | 15.000 | 1470 | 1320 | 1310 | 75 | 5,0 | 74,7 |
| 3 | 16.000 | 1395 | 1280 | 1275 | 120 | 7,5 | 66,2 |
| 4 | 16.000 | 1420 | — | — | 100 | 6,3 | 66,2 |
| 5 | 16.000 | 1460 | 1340 | 1320 | 50 | 3,1 | 64,7 |
| 6 | 15.000 | 1470 | 1360 | 1310 | 70 | 4,7 | 83,3 |

Tabela 2: Razžveplanje grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije od 0,3—0,7 mm na mešalni napravi

| Št. poskusa | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Teža grodlja v tonah | 17 | 20 | 16 | 18 | 18 | 15 |
| Temperatura grodlja v °C | 1440 | 1480 | 1490 | 1480 | 1520 | 1500 |
| Vsebnost žvepla v grodlju pred razžveplanjem S_z v % | 0,107 | 0,108 | 0,054 | 0,099 | 0,090 | 0,082 |
| Vsebnost žvepla v grodlju po razžveplanju S_k v % | 0,007 | 0,047 | 0,007 | 0,020 | 0,009 | 0,007 |
| Masa žvepla, ki je odpravljena iz grodlja ΔS v % | 0,100 | 0,061 | 0,047 | 0,077 | 0,081 | 0,075 |
| Dodatek CaC_2 v ponovco v kg | 200 | 150 | 150 | 200 | 200 | 150 |
| Čas mešanja v min. | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 8 |
| Posnemanje žindre v min. | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| Stopnja razžveplanja grodlja v % | 93,5 | 56,5 | 87,0 | 77,8 | 90,0 | 91,5 |
| Poraba CaC_2 v kg po toni grodlja | 11,8 | 7,5 | 9,4 | 11,1 | 11,1 | 10,0 |

zbrani v tabeli 1 in grafično predstavljeni na sliki 2. Iz slike je razvidno, da so dosežene stopnje razžveplanja okrog 80 % pri porabi med 5 in 7 kg CaC_2 /t grodlja.

Razžveplanje grodlja na mešalni napravi smo izvršili s kalcijevim karbidom granulacije 0,3—0,7 mm in 0—1,0 mm. Rezultati razžveplanja grodlja so prikazani v tabeli 2 in na sliki 2. Zaradi primerjave rezultatov smo vrisali na isti sliki rezultate razžveplanja sivega grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije 0,3—0,7 mm, z vpihovano in mešalno napravo. Rezultati vpihovanja so nekoliko višji zaradi večje kinetike reakcij med reaktanti, ki jo povzroča močna turbulenca taline. Temperatura ima velik vpliv na razžveplanje, tako so doseženi boljši rezultati pri višjih temperaturah.

Pri izdelavi specialnih grodljev⁵ z nizko vsebnostjo žvepla, fosforja, mangana in oligoelementov

je uporaba kalcijevega karbida kot razžveplevalca slabša, zaradi nižje temperature grodlja in vsebnosti mangana.

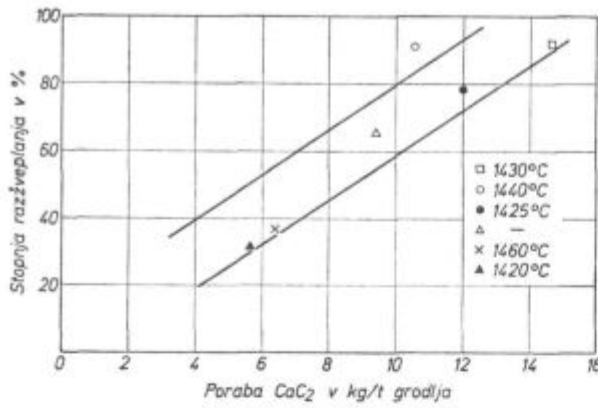
Razžveplanje grodlja s kalcijevim karbidom granulacije od 0—1,0 mm je izvršeno samo na mešalni napravi, ker je vpihovanje prahu (ki ga je pri tej granulaciji kar precej) zelo slabo. Rezultati razžveplanja so zbrani v tabeli 3 in grafično prikazani na sliki 3.

Dodajali smo različne količine karbida, tj. od 5 do 14 kg/t grodlja ter dobili stopnje razžveplanja od 32,3 do 92,3 %.

Če primerjamo rezultate razžveplanja grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije od 0,3—0,7 mm in od 0—1,0 mm, je videti očitno razliko. To pomeni, da je potrebno dodati večjo količino kalcijevega karbida, granulacije od 0—1,0 mm za približno 2—4 kg/t grodlja, da bi dosegli enako sto-

Tabela 3: Razžveplanje grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije od 0—1,0 mm na mešalni napravi

| Št. poskusa | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Teža grodlja v tonah | 16 | 17 | 19 | 15 | 16 | 16 |
| Temperatura grodlja v °C | — | 1430 | 1440 | 1425 | 1460 | 1420 |
| Vsebnost žvepla v grodlju pred razžveplanjem S_z v % | 0,110 | 0,130 | 0,130 | 0,043 | 0,041 | 0,065 |
| Vsebnost žvepla v grodlju po razžveplanju S_k v % | 0,037 | 0,010 | 0,011 | 0,009 | 0,026 | 0,044 |
| Masa žvepla, ki je odpravljena iz grodlja S v % | 0,073 | 0,120 | 0,119 | 0,034 | 0,015 | 0,021 |
| Dodatek CaC_2 v ponovco v kg | 150 | 250 | 200 | 180 | 100 | 90 |
| Čas mešanja v min. | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 6 |
| Stopnja razžveplanja grodlja v % | 66,4 | 92,3 | 91,5 | 79,1 | 36,6 | 32,3 |
| Poraba CaC_2 v kg po toni grodlja | 9,4 | 14,7 | 10,5 | 12,0 | 6,3 | 5,6 |



Slika 3

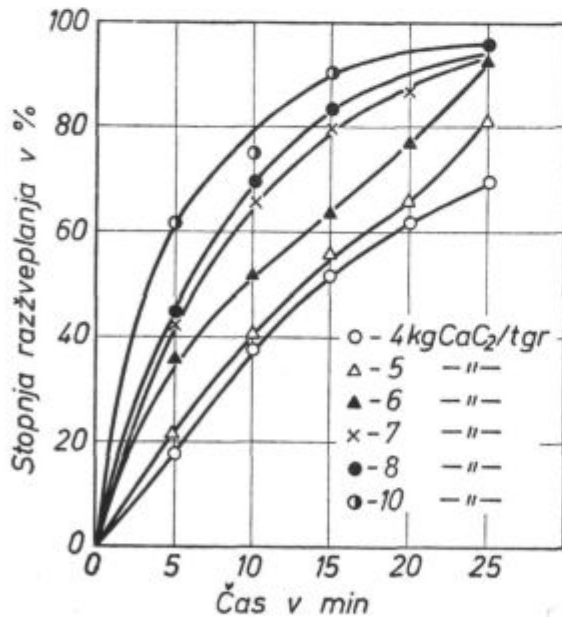
Razžveplanje sivoga grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije od 0-1,0 mm z mešalno napravo

Fig. 3

Desulphurisation of grey pig iron with 0 to 1.0 mm calcium carbide in mixer

pnjo razžveplanja. Čeprav so dosežene nekoliko nižje stopnje razžveplanja, lahko rečemo, da je možno to granulacijo uporabljati, toda pri proizvajalcih karbidov pa predstavlja težave.

Poskuse razžveplanja grodlja s kalcijevim karbidom sta delala tudi R. P. Singh in S. P. Pednekar⁶. Grodelj in karbid sta premešavala z mešalnikom, ki se je vrtel z različno hitrostjo. Na slikah 4 in 5 sta prikazala vpliv časa in hitrosti vrtenja mešalnika ter količine kalcijevega karbida na stopnjo razžveplanja. S povečanjem hitrosti vrtenja in časa se povečuje tudi stopnja razžveplanja.

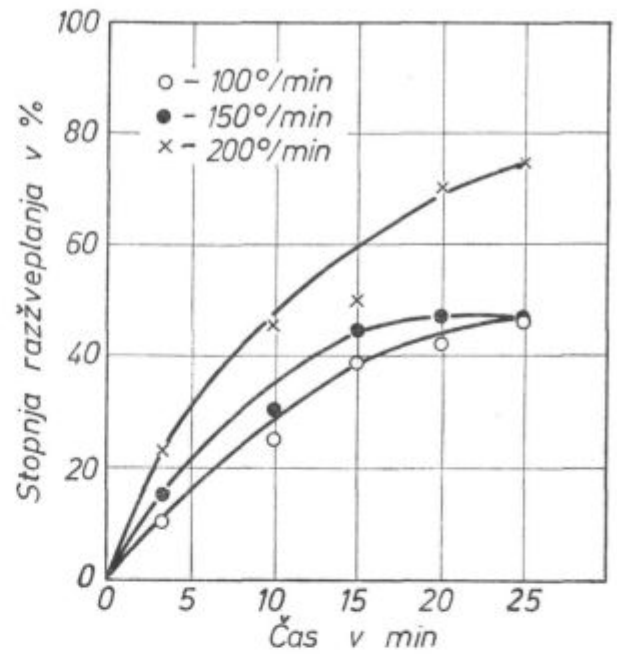


Slika 4

Vpliv porabe CaC₂ na stopnjo razžveplanja grodlja pri temperaturi 1350°C in hitrosti mešanja 200°/min

Fig. 4

Influence of CaC₂ consumption on the desulphurisation degree at 1350°C and stirring velocity 200 r. p. m.



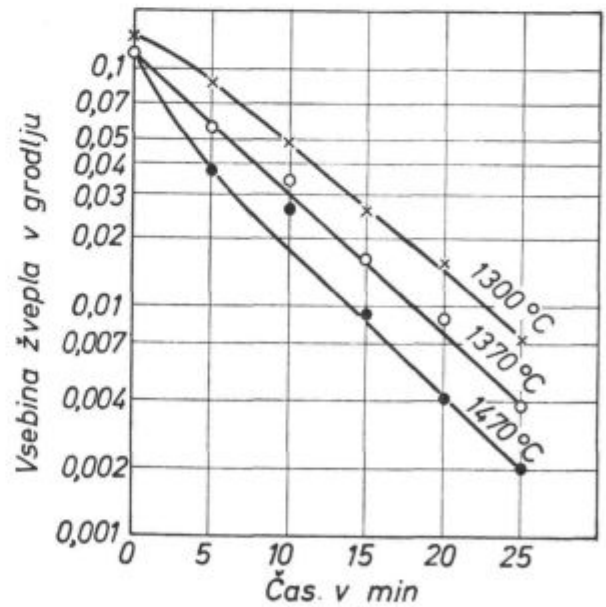
Slika 5

Vpliv hitrosti premešavanja grodlja na stopnjo razžveplanja pri temperaturi 1350°C in porabi 4 kg CaC₂/t grodlja

Fig. 5

Influence of stirring velocity on the desulphurisation degree at 1350°C and consumption of 4 kg CaC₂/t pig iron

Razžveplanje traja približno 15 do 25 minut. Temperatura in sestava grodlja močno vplivata na razžveplanje grodlja, kar je tudi razvidno iz slike 6 in 7.

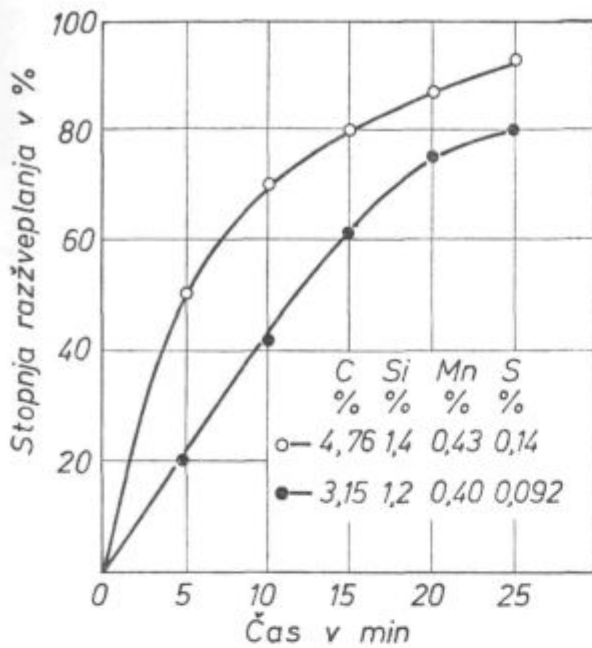


Slika 6

Vpliv temperature na stopnjo razžveplanja pri porabi 10 kg CaC₂/t grodlja in hitrosti mešanja 200°/min

Fig. 6

Influence of temperature on the desulphurisation degree at the consumption of 10 kg CaC₂/t pig iron and stirring velocity 200 r. p. m.



Slika 7

Vpliv sestave grodlja na stopnjo razžveplanja pri porabi 7 kg CaC₂/t grodlja, temperaturi 1350 °C in hitrosti mešanja 200 1/min

Fig. 7

Influence of the pig iron composition on the desulphurisation degree at the consumption of 7 kg CaC₂/t pig iron at 1350 °C and stirring velocity 200 r. p. m.

Da bi imeli čim boljši prikaz razžveplanja grodlja s kalcijevim karbidom, smo prikazali tudi vpliv prenekaterih drugih dejavnikov^{7, 8, 9} kot so temperatura, hitrost mešanja, sestava grodlja in druge.

ZAKLJUČKI

Porazdelitev žvepla med žlindro in grodljem je odvisna od koncentracije kisikovih ionov v žlindri, tj. bazičnosti žlindre, nasprotno proporcionalno pa koncentraciji kisika, ki je raztopljen v grodlju, in

koeficienta aktivnosti žvepla v grodlju. Zato je pri proizvodnji grodlja s kislimi žlindrami povečana vsebnost žvepla v grodlju, ki ga je potrebno razžveplati zunaj plavža. Razžveplanje sivega grodlja s kalcijevim karbidom, granulacije od 0,3—0,7 mm in od 0—1,0 mm, je izvršeno z vpihovalno in mešalno napravo.

Zaradi boljšega premešavanja taline so rezultati razžveplanja nekoliko boljši pri vpihovanju. Granulacija karbida 0,3—0,7 mm je bolj ugodna za razžveplanje kot 0—1,0 mm, posebno pri vpihovanju. Razžveplanje je bolj učinkovito pri visokih temperaturah in v reduktivni atmosferi ter pri hitrejšem premešavanju taline. Močan vpliv na razžveplanje grodlja s kalcijevim karbidom ima tudi sestava grodlja, ker mangan, silicij in ogljik pospešujejo reakcijo med ioni kalcija in žvepla v talini.

Literatura

1. H. Sandberg: Ironmaking and Steelmaking, 1977, No. 5, str. 280—284
2. A. A. Šokal, D. F. Barbakadze: Stal, 1980, No. 5, str. 360 do 361
3. G. Todorović, V. Prešern, M. Plahuta, N. Čobanović, J. Zapušek: Razžveplanje grodlja s kalcijevim karbidom I in II del, Poročila MI, 1980, 1981
4. J. Takada, K. Nakanisi: Iron and Steel Japan 1977, No. 4 str. 118
5. G. Todorović: Izdelava specialnih grodljev s posebnim poudarkom na vsebnosti žvepla in fosforja. Poročila MI, 1981
6. R. P. Singh, S. P. Pednekar: Transactions Indian Inst. Metals 1976, No. 2, str. 140—143
7. H. Schenck, M. G. Froberg: Archiv für Eisenhüttenwesen 1961, No. 2, str. 63—66
8. V. S. Kočo, V. A. Eroščenko, E. P. Drjanik: Črnaja Metalurgija, 1968, No. 8, str. 50—55
9. S. L. Levin: Metalurgija i koksohimija, 1968, No. 14, str. 3—8

ZUSAMMENFASSUNG

Der Schwefelgehalt im Roheisen ist abhängig vor allem von der in das Erzeugungsgregat mit dem Möller eingebrachten Schwefelmenge und von der Technologie der Roheisenherstellung. Mehr und mehr Hochöfen in der Welt arbeiten mit saueren Schlacken und einem erhöhten Schwefelgehalt im Roheisen, was eine Vergrößerung der Hochofenleistung und eine Verminderung des spezifischen Koksverbrauches zur Folge hat. Aus diesem Grunde sind in der Welt verschiedene Entschwefelungsverfahren und verschiedene Entschwefelungsmitteln für die Entschwefelung von Roheisen ausserhalb des Hochofens entwickelt worden. Auf diese Weise kann der Schwefelgehalt im Roheisen bis auf einige tausendstel prozent erniedrigt werden.

Bei uns wird hauptsächlich mittels einer Mischanlage mit Soda und Kalziumkarbid entschwefelt. Wir haben uns bei der Entschwefelung von Gusseisen mit Kalziumkarbid von einer Kornzusammensetzung von 0,3—0,7 mm und 0—1,0 mm für eine Misch- und Einblaseanlage entschlossen. Bei der Entschwefelung von Gusseisen mit Kalziumkarbid der Körnung von 0,3—0,7 mm sind hohe Entschwefelungsgrade und zwar von 73—85 % bei einem CaC_2 Verbrauch von 7—10 kg/t beim Einblasen, und etwa 90 % beim Verbrauch von 10—11 kg CaC_2 /t Gusseisen auf der Mischanlage erhalten worden. Schlechtere Ergebnisse sind bei der Kornzusammensetzung von CaC_2 von 0—1,0 mm erreicht worden, da diese für das Einblasen wegen des hohen Staubanteiles nicht geeignet ist.

SUMMARY

Sulphur content in pig iron depends mainly on the amount of sulphur which comes from the burden and on the control of the pig-iron production process. The number of blast furnaces operating with acid slag and thus with higher sulphur contents in pig iron is increasing in the world since it increases the output of the furnace and reduces the coke consumption. Thus various procedures and various synthetic mixtures for desulphurisation of pig iron outside the furnace were developed. They enable to reduce the sulphur content in the pig iron to few thousands of per cent.

In our plants the desulphurisation of pig iron is done in mixers with calcined soda and calcium carbide. Nevertheless, the desulphurisation of pig iron with calcium carbide of 0.3 to 0.7 mm and 0 to 1.0 mm sizes in a mixer and by injection was investigated. Application of 0.3 to 0.7 mm calcium carbide gives high degrees of desulphurisation, i. e. 73 to 85 %, and consumption of 7 to 10 kg CaC_2 /t pig iron in the injection process, and approximately 90 % and consumption of 10 to 11 kg CaC_2 /t pig iron in the mixer. Not so good results were obtained with 0 to 1.0 mm CaC_2 which is not suitable for the injection process due to high amount of dust.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание серы в чугуна зависит главным образом от количества серы, которое вводится в производственный агрегат с шихтой, и от способа технологического процесса производства чугуна. Большая часть мировых доменных печей из-за увеличения производительной мощности и уменьшения удельного расхода кокса работают с кислыми шлаками. Это повлечает собой повышение содержания серы в чугуна. Поэтому всюду развиты различные способы при применении различных синтетических смесей для удаления серы вне производственного агрегата. Таким образом можно уменьшить содержание серы в чугуна на тысячную процентную долю.

В описанной работе рассмотрен способ удаления серы из чугуна в смешанной установке с карбонатом кальция и карбидом кальция. Но преимущественное значение получила способ удаления серы из серого чугуна при применении карбида кальция грануляцией 0,3—0,7 мм и 0—1,0 мм в смешанной и продувочной установках. При удалении серы из чугуна с карбидом кальция грануляцией от 0,3—0,7 мм получена высокая степень десульфурации, которая при дувании 7—10 кг CaC_2 на тону расплава составляла 73 до 85 %, а при добавке 10—11 кг CaC_2 /т расплавленного чугуна в смешанном устройстве даже 90 %.

Менее успешные результаты получены с применением CaC_2 грануляцией 0—1,0 мм. Эта грануляция менее подходящая для продувания из-за содержания большого количества пыли.

Računanje začetnih pogojev pri ogrevanju blokov v globinskih pečeh

UDK: 621.783.224.2:621.78.01.6
ASM/SLA: F 21 b

Božidar Brudar

UVOD

Tehnologija ogrevanja blokov v globinskih pečeh je predvsem odvisna od tega, koliko toplote prinese s seboj blok iz jeklarne. To upoštevamo na ta način, da razdelimo bloke na vroče, tople in hladne in jih glede na začetno toplotno vsebnost tudi različno ogrevamo. Kako pomembni so začetni pogoji, pove dejstvo, da na primer vroči bloki prinesejo s seboj iz jeklarne tudi do 80 % toplote, ki je potrebna za valjanje.¹⁾

Začetno temperaturno porazdelitev in s tem tudi začetno toplotno vsebnost v bloku ob zalažanju v globinsko peč pa lahko določimo na več načinov.

Vroče bloke lahko postavimo na tla ob pečeh, da se hladijo na zraku. Nato pa merimo, kako se s časom spreminja temperatura na površini bloka. Iz teh podatkov nato izračunamo začetno temperaturno porazdelitev. Predpostavljamo namreč, da gre za ohlajanje s sevanjem v prostor s konstantno temperaturo. Če na primer predpostavljamo, da pada začetna temperatura v prerezu bloka po paraboli 2. reda, lahko iz tega izračunamo tudi temperaturo v sredini prereza. Ta izračun pa seveda temelji na predpostavki, da se je blok ohlajal s sevanjem in da je začetna temperatura v prerezu razmeroma enostavna funkcija koordinat.

Pri višjih temperaturah taka predpostavka v glavnem ustreza, pri nižjih (okrog 500 °C in manj) pa konvekcije ne bi smeli zanemariti. Posledica tega je, da so začetne temperature, izračunane s predpostavko, da gre za sevanje, v takem primeru nekoliko napačne. Da bi se temu izognili, smo razvili posebno metodo, kjer s pomočjo regresijske analize določimo začetne temperature, ne da bi bilo treba vedeti, za kakšne vrste izmenjave toplote pri tem gre.

Zaenkrat praktičnih meritev še ni bilo dovolj. Pomagali smo si z izračunanimi vrednostmi, tako da smo si izmislili neko začetno temperaturno porazdelitev in študirali ohlajanje s sevanjem s

pomočjo matematičnega modela. (Računalniški program za ta model je katalogiziran pod oznako ARO 15). Izračunali smo, kako se spreminjajo temperature na površini.

Nato pa smo po posebnem postopku poskušali iz tako dobljenih temperatur na površini nazaj izračunati začetno temperaturno porazdelitev po prerezu.

Metoda je zanimiva predvsem zato, ker z njo določimo začetne pogoje, ne da bi poznali robne pogoje. Z drugimi besedami povedano: računalnik sam poišče najbolj ustrezne robne in začetne pogoje.

ENODIMENZIONALNI PRIMER

Za začetek smo si izbrali preprost primer, iz katerega se vidi osnovna ideja za računanje nazaj.

Predpostavljamo, da imamo opraviti z dvostranskim ohlajanjem neskončne plošče. Debelino smo razdelili na 8 enakih delov z dolžino 1. Imamo torej opraviti z 9 mrežnimi točkami, začetna temperatura naj bo povsod 1000 °C. Toplotno enačbo rešujemo numerično z metodo končnih diferenc. Temperaturo v posameznih mrežnih točkah zapišemo v obliki $T(I, J)$, pri čemer pomeni I mrežno točko, J pa zaporedno številko časovnega koraka.

Predpostavljamo, da je časovni korak izbran tako, da je temperatura v točki nekje v sredini plošče ob nekem času enaka aritmetični sredini temperatur v sosednjih točkah v predhodnem koraku:

$$T(I, J + 1) = \frac{1}{2} \cdot [T(I - 1, J) + T(I + 1, J)] \quad (1)$$

Po tem predpisu lahko izračunamo temperature v notranjih točkah ob diskretnih časih, ki se ločijo med seboj za 1 časovni korak, ki naj bo tudi enak 1.

Na robu naj se toplota ves čas izmenjuje z okolico s temperaturo 0 °C s konvekcijo s konvekcijskim koeficientom 1. Mislimo si, da so vse enačbe že zapisane v brezdimenzijski obliki in tudi brezdimenzijska toplotna prevodnost naj bo 1. Temperaturni gradient zapišemo v enostavni obliki:

$$\text{grad } T(I, J) = T(2, J) - T(1, J) \quad (2)$$

dr. Božidar Brudar je vodja razvoja matematičnih raziskav v Železarni Jesenice

Če upoštevamo omenjene predpostavke, lahko trdimo, da je:

$$T(2, J) - T(1, J) = T(1, J) \quad (3)$$

oziroma:

$$T(1, J) = \frac{1}{2} T(2, J) \quad (4)$$

Po teh predpisih lahko za omenjeni primer izračunamo temperature v vsaki točki ob določenih časih.

Tabela I. prikazuje, kako takšno računanje poteka v času naprej. Vsaka vrstica v tabeli I. predstavlja temperature v posameznih časovnih korakih.

Poskušajmo sedaj obdelavo obrniti nazaj!

Mislimo si, da natančno poznamo robne vrednosti ($I = 1$ ali $I = 9$) in poskusimo izračunati začetne vrednosti.

Če vemo, da je na robu ohlajanje s konvekcijo z $\alpha = 1$ v prostor s temperaturo 0°C , vemo tudi, da je temperatura v točkah, ki so za 1 mrežno razdaljo pod površino ($I = 2$ in $I = 8$) v tem primeru enaka dvakratni temperaturi na površini.

$$T(2, J) = 2 \cdot T(1, J) \quad (5)$$

Tako dobimo v naši shemi na levi in na desni po 2 stolpca. Iz formule (1) pa lahko izrazimo tudi:

$$T(I + 1, J) = 2 \cdot T(I, J + 1) - T(I - 1, J) \quad (6)$$

Če začnemo tako računati od točke na robu v zadnjem časovnem koraku ($J = 10$), lahko postopno določimo temperaturo v točki, ki je za 1 časovni korak prej in 1 krajevni korak bliže sredini. Na ta način zgradimo v obratni smeri celotno shemo števil iz tabele I.

Natančnost žepnega kalkulatorja zadošča.

Manjka nam le sredina pri končnih korakih ($J \geq 8$). Če želimo na ta način izračunati začetno temperaturo ($J = 0$) v vseh točkah, moramo očitno imeti zadosti izmerjenih temperatur na površini, da pridejo enkrat do izraza na površini tudi temperature v najbolj notranjih točkah. V našem primeru bi potrebovali vsaj 3 časovne korake. Zanimivo je, da s takim računanjem dobimo popolnoma enake vrednosti, kot so zapisane v tabeli I nad lomljeno črto.

Če torej natančno poznamo robni pogoj, lahko iz tega izračunamo prave začetne vrednosti. Če pa bi začeli z napačnimi robnimi pogoji, bi postopek seveda enako potekal, le v stolpcu v sredini ($I = 5$) bi dobili dvoje vrednosti temperatur, z leve in z desne strani, za katere pa toplotna enačba ne bi bila izpolnjena. To bi bilo tudi znamenje, da z robnim pogojem nekaj ni v redu. Robni pogoj je treba izbrati tako, da je tudi v stičnih točkah izpolnjena toplotna enačba.

Naše raziskave so potekale v tej smeri.

Prva težava, ki se je pojavila, je bila v natančnosti robnih temperatur. Če temperature na robu zaokrožimo na celo stopinjo in uporabimo opisani postopek za računanje temperatur v času nazaj, pridemo do rezultatov, ki jih prikazuje tabela II. Razlike med tabelo I in II so očitne, saj se temperature v stolpcu 5 razlikujejo tudi za več kot 20°C od pravih vrednosti v tabeli I. To je razumljivo, če si ogledamo formulo (6). Ko namreč računamo temperature v notranjih točkah, se napaka, ki smo jo pri zaokrožitvi naredili na robovih, samo še večja. Druga težava je v tem, ker v splošnem ne poznamo robnih pogojev.

Če zadosti natančno poznamo vrednosti na robovih, lahko izračunamo začetne temperature dokaj točno.

TABELA I.

| J/I | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 1 | 500 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 500 |
| 2 | 375 | 750 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 700 | 375 |
| 3 | 343,75 | 687,5 | 875 | 1000 | 1000 | 1000 | 875 | 687,5 | 343,75 |
| 4 | 304,6875 | 609,375 | 843,75 | 937,50002 | 1000 | 937,50002 | 843,75 | 609,375 | 304,6875 |
| 5 | 287,109375 | 574,21875 | 773,43751 | 921,87501 | 937,50001 | 921,87501 | 773,43751 | 574,21875 | 287,10937 |
| 6 | 265,13672 | 530,27344 | 748,04688 | 855,46876 | 921,87500 | 855,46876 | 748,04688 | 530,27344 | 265,13672 |
| 7 | 253,2959 | 506,5918 | 692,8711 | 834,96094 | 855,46882 | 834,96094 | 692,8711 | 506,5918 | 253,2959 |
| 8 | 236,54175 | 473,0835 | 670,77637 | 774,16996 | 834,96094 | 774,16996 | 670,77637 | 473,0835 | 236,54175 |
| 9 | 226,82953 | 453,65906 | 623,62673 | 752,86865 | 774,16996 | 752,86865 | 623,62673 | 453,65906 | 226,82953 |
| 10 | 212,614065 | 425,22813 | 603,26385 | 698,8983 | 752,86850 | 698,8983 | 603,26385 | 425,22813 | 212,61406 |

Postopek računanja nazaj smo poskušali izpolniti s tem, da smo predpostavljali, da velja na robu v splošnem:

$$T(2, J) - T(1, J) = a_1 \cdot T(1, J) + a_2 \cdot T^2(1, J) + a_3 \cdot T^3(1, J) \quad (7)$$

Uporabili smo robne vrednosti, zapisane v tabelah I in II. V enačbah (5) in (6) smo upoštevali nastavek (7). Tako smo postopoma izračunali temperature v stolpcu (5), izražene s koeficienti a_1 , a_2 in a_3 . Nato pa smo zahtevali, da morajo biti a_1 , a_2 in a_3 takšni, da je toplotna enačba izpolnjena. Trdili smo, da mora veljati, da je vsota kvadratov razlik (S) med $T(5, J+1)$ in $T(4, J)$ minimalna:

$$S = \sum_{J=1}^6 [T(5, J+1) - T(4, J)]^2$$

Veljati morajo tudi enačbe:

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_2} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_3} = 0$$

Tako smo dobili 3 enačbe za 3 neznanke a_1 , a_2 in a_3 . V primeru, ko smo upoštevali robne temperature iz tabele I, smo dobili pravi rezultat:

$$a_1 \approx 1, a_2 = a_3 = 0.$$

V primeru zaokroženih vrednosti robnih temperatur iz tabele II, pa so bili rezultati $a_1 \neq a_2 \neq a_3 \neq 0$ in tudi napaka v začetnih vrednostih temperature je bila več kot 20 %.

Očitno je, da zaradi naraščajoče napake pri računanju nazaj ni mogoče zadosti dobro ugotoviti

začetnih pogojev. Robne temperature bi morale biti izredno natančno poznane.

Ker v praktičnih primerih ni možnosti, da bi merili temperature na robovih tako natančno, smo metodo iskanja začetnih pogojev nekoliko spremenili.

V večini primerov, ki nas v praksi zanimajo, navadno vemo, kakšna je v grobem začetna porazdelitev temperature. Pri vročih blokkih na primer, ki jih pripeljemo v valjarno, že vemo, da gre za vroče jedro, oziroma da je v središču temperatura najvišja in da potem pada proti površini bloka po bolj ali manj komplicirani funkciji oddaljenosti od središča. Poleg tega navadno vemo tudi, da gre pri tem na površini za ohlajanje in da je toplotni tok na površini neka funkcija temperaturnih razlik med površino in okolico.

DOLOČANJE ZAČETNIH IN ROBNIH POGOJEV PRI ENODIMENZIONALNEM PRIMERU

Uporabili smo robne vrednosti za temperature, ki smo jih izračunali za prvih 10 korakov, zaokroženo na stopinje. Ker je problem s tabele II simetričen, smo študirali le eno polovico, t. j. od prvega do petega stolpca.

Predpostavili smo, da lahko začetno temperaturo zapišemo v obliki:

$$T(I, 0) = a_1 + a_2 \cdot (5 - I) + a_3 \cdot (5 - I)^2 \quad (8)$$

Pri tem so koeficienti a_1 , a_2 in a_3 še neznan. Za začetne temperature v notranjih točkah dobimo naslednje izraze:

$$T(5, 0) = a_1$$

$$T(4, 0) = a_1 + 1 \cdot a_2 + 1 \cdot a_3$$

$$T(3, 0) = a_1 + 2 \cdot a_2 + 4 \cdot a_3$$

$$T(2, 0) = a_1 + 3 \cdot a_2 + 9 \cdot a_3$$

TABELA II.

| J/I | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1004 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 1 | 500 | 1000 | 1000 | 1002 | 1004 | 1002 | 1000 | 1000 | 500 |
| 2 | 375 | 750 | 1001 | 1002 | 995 | 1002 | 1001 | 750 | 375 |
| 3 | 344 | 688 | 876 | 998 | 996 | 998 | 876 | 688 | 344 |
| 4 | 305 | 610 | 843 | 936 | 997 | 936 | 843 | 610 | 305 |
| 5 | 287 | 574 | 773 | 920 | 947 | 920 | 773 | 574 | 287 |
| 6 | 265 | 530 | 747 | 860 | 925 | 860 | 747 | 530 | 265 |
| 7 | 253 | 506 | 695 | 836 | 857 | 836 | 695 | 506 | 253 |
| 8 | 237 | 474 | 671 | 776 | | 776 | 671 | 474 | 237 |
| 9 | 227 | 454 | 625 | | | | 625 | 454 | 227 |
| 10 | 213 | 426 | | | | | | 426 | 213 |

Temperature na površini ($I = 1$) so pa znane vrednosti, konstantne, in jih ne izražamo s parametri a_1, a_2 in a_3 . Temperature v naslednjih vrsticah ($J > 0$) pa izrazimo s pomočjo formule (1), podobno kot smo zgradili tabelo I. Temperature, ki jih tako dobimo v notranjih točkah naše sheme, se v splošnem izražajo kot linearna kombinacija parametrov a_1, a_2 in a_3 ter robnih vrednosti temperatur ($I = 1$).

V splošnem bi lahko zapisali temperaturo na mestu (I, J) v obliki:

$$T(I, J) = n_1(I, J) \cdot a_1 + n_2(I, J) \cdot a_2 + n_3(I, J) \cdot a_3 + n_4(I, J) \cdot 1$$

V $n_4(I, J)$ se skrivajo robne temperature $T(1, J)$.

Neznanke a_1, a_2 in a_3 bomo določili iz pogoja, da je toplotni tok na površini neka še neznan funkcija površinske temperature in da velja pri $J > 0$:

$$T(2, J) - T(1, J) = a_4 \cdot T(1, J) + a_5 \cdot T^2(1, J) + a_6 \cdot T^3(1, J) \quad (10)$$

$$n_1(2, J) \cdot a_1 + n_2(2, J) \cdot a_2 + n_3(2, J) \cdot a_3 + n_4(2, J) \cdot 1 - T(1, J) = a_4 \cdot T(1, J) + a_5 \cdot T^2(1, J) + a_6 \cdot T^3(1, J),$$

oziroma

$$T(1, J) - n_4(2, J) = n_1(2, J) \cdot a_1 + n_2(2, J) \cdot a_2 + n_3(2, J) \cdot a_3 - a_4 \cdot T(1, J) - a_5 \cdot T^2(1, J) - a_6 \cdot T^3(1, J) \quad (11)$$

Takih izrazov (11) lahko zapišemo J .

Parametre a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 in a_6 je treba izbrati tako, da bo to ustrezalo sistemu J enačb s 6 neznankami.

Pomagamo si z multiplo linearno regresijo²⁾

Leve strani enačb so odvisne spremenljivke, na desni pa so zapisane neodvisne: $n_1(2, J), n_2(2, J), n_3(2, J), T(1, J), T^2(1, J), T^3(1, J)$. Parametri a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 in a_6 , ki nas zanimajo, so pa regresijski koeficienti.

Tabela III.

| J | X_1 $n_1(2, J)$ | X_2 $n_2(2, J)$ | X_3 $n_3(2, J)$ | X_4 $n_4(2, J)$ | $X_5 \cdot 10^1$ $n_5(2, J)$ | $X_6 \cdot 10^0$ $n_6(2, J)$ | X_7 $T(1, J) - n_4(2, J)$ |
|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0,5 | 1 | 2 | 375 | 250 | 1250 | 0 |
| 2 | 0,5 | 1 | 2,5 | 344 | 141 | 527 | 125 |
| 3 | 0,375 | 0,5 | 1,0 | 305 | 118 | 407 | 31,5 |
| 4 | 0,375 | 0,625 | 1,375 | 287 | 93 | 284 | 70,5 |
| 5 | 0,3125 | 0,375 | 0,750 | 265 | 82 | 236 | 25,125 |
| 6 | 0,3125 | 0,5 | 1,0625 | 253 | 70 | 186 | 47,25 |
| 7 | 0,26563 | 0,3125 | 0,625 | 237 | 64 | 162 | 12,0625 |
| 8 | 0,26563 | 0,42188 | 0,890625 | 227 | 56 | 133 | 29,6875 |
| 9 | 0,226563 | 0,265625 | 0,531250 | 213 | 52 | 117 | -0,32812 |
| 10 | 0,226563 | 0,359375 | 0,757813 | 204 | 45 | 97 | 14,28125 |

Izraz (11) je v bistvu regresijska enačba, v kateri je konstantni člen (preseka) enak nič.

Zato poiščemo pri vseh 63 možnih kombinacijah neodvisnih spremenljivk tisto regresijsko formulo, pri kateri je preseka²⁾ minimalen. Robne vrednosti smo vzeli iz tabele II. V tabeli III. so navedene odvisne in neodvisne spremenljivke (X) po formuli (11) za ta primer za prvih 10 korakov:

Iščemo torej odvisnost X_7 ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$). Pri tem upoštevamo vse možne kombinacije neodvisnih spremenljivk. Najboljša je tista regresijska kombinacija, pri kateri je vsota absolutnih vrednosti preseka in standardne napake ocene minimalna.

$$S = |\sigma_E| + |\text{preseka}|$$

Standardna napaka ocene, ki predstavlja odstopanje od regresijske formule, se manjša z naraščajočim številom neodvisnih spremenljivk. Najboljša kombinacija, tista, pri kateri je S minimalen, je X_7 (X_1, X_4).

V tabeli IV. so navedeni regresijski koeficienti (r. k.) za najboljše kombinacije s pripadajočimi vrednostmi $t_{r. k.}$

Izboljšava, ki v regresijski analizi nastopi, ko zajamemo več spremenljivk, navadno nima statističnega pomena (nizke vrednosti t). Zato je edina prava rešitev X_7 (X_1, X_4) z regresijskima koeficientima $a_1 = 1000$ in $a_4 = 1$, kar odlično ustreza izbranim začetnim pogojem. Začetno temperaturno porazdelitev lahko zapišemo v skladu z enačbo (8) in z upoštevanjem vrednosti t takole:

$$T(I, 0) = (1000,70 \pm 5,15)$$

Tudi če bi upoštevali katero drugo selekcijo iz tabele IV, bi prišli do praktično enakih pogojev.

Na ta način s pomočjo računalnika iz vrednosti na površini izračunamo temperaturno porazdelitev in poiščemo tudi pravi robni pogoj. V našem primeru sta spremenljivki 5 in 6 praktično odpadli.

Tabela IV.

| | S = 1,05 X ₁ (X ₁ , X ₂) | | S = 1,79 X ₂ (X ₁ , X ₂ , X ₃) | | S = 1,59 X ₃ (X ₁ , X ₂ , X ₃) | | S = 2,02 X ₄ (X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄) | |
|----------------|---|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|---|--------------------|
| | regresijski koeficient | t _{r. k.} | r. k. | t _{r. k.} | r. k. | t _{r. k.} | r. k. | t _{r. k.} |
| a ₁ | 1000,70 | 194 | 994,16 | 111 | 994,19 | 87 | 1002,02 | 66 |
| a ₂ | | | 2,39 | 0,90 | | | 10,52 | 0,87 |
| a ₃ | | | | | 0,71 | 0,65 | 3,29 | 0,69 |
| a ₄ | 1,002 | 167 | 1,001 | 163 | 0,999 | 129 | 1,012 | 58 |
| a ₅ | | | | | | | | |
| a ₆ | | | | | | | | |

DOLOČANJE ZAČETNIH IN ROBNIH POGOJEV PRI DVODIMENZIONALNEM PRIMERU

Izbrali smo si primer, ko študiramo ohlajanje četrtine pravokotnika (9 × 5 mrežnih točk) z začetno temperaturno porazdelitvijo, ki jo prikazuje tabela V: Temperatura vzdolž simetrale pravo-

Tabela V.

| I/J | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 1 | 570 | 640 | 690 | 720 | 730 |
| 2 | 633 | 703 | 753 | 783 | 793 |
| 3 | 688 | 758 | 808 | 838 | 848 |
| 4 | 735 | 805 | 855 | 885 | 895 |
| 5 | 773 | 842 | 892 | 923 | 933 K = 0 |
| 6 | 802 | 872 | 922 | 952 | 962 |
| 7 | 823 | 893 | 943 | 973 | 983 |
| 8 | 836 | 906 | 956 | 986 | 996 |
| 9 | 840 | 910 | 960 | 990 | 1000 |

Tabela VI.

| K/I | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 570 | 633 | 688 | 735 | 773 | 802 | 823 | 836 | 840 |
| 1 | 642 | 642 | 688 | 727 | 758 | 782 | 798 | 808 | 812 |
| 2 | 642 | 642 | 684 | 721 | 750 | 773 | 788 | 797 | 801 |
| 3 | 640 | 641 | 681 | 715 | 743 | 764 | 780 | 788 | 792 |
| 4 | 637 | 638 | 677 | 710 | 737 | 757 | 772 | 781 | 784 |
| 5 | 634 | 635 | 673 | 705 | 731 | 751 | 765 | 774 | 776 |
| 6 | 630 | 632 | 669 | 700 | 726 | 745 | 759 | 767 | 769 |
| 7 | 627 | 629 | 665 | 696 | 721 | 740 | 753 | 760 | 763 |
| 8 | 624 | 625 | 660 | 691 | 716 | 734 | 747 | 755 | 757 |
| 9 | 621 | 622 | 657 | 686 | 710 | 729 | 742 | 749 | 752 |
| 10 | 617 | 618 | 653 | 682 | 705 | 724 | 737 | 744 | 747 |
| 11 | 614 | 615 | 649 | 678 | 701 | 719 | 731 | 739 | 741 |

kotnika pada po paraboli 2 reda od začetnih 1000 °C v središču (I = 9, J = 5) na 730 °C (J = 5), oziroma 840 °C (I = 9).

Ta primer bi ustrezal ohlajanju jeklene gredice z dimenzijami 0,530 × 0,285 m (ρ = 7850 kgm⁻³, λ = 21 Wm⁻¹ K⁻¹, Cp = 714 Jkg⁻¹ K⁻¹) s sevanjem (ε = 1) v prostor, ki ima stalno temperaturo 0 °C. Če si izberemo takšen krajevni korak, znaša časovni korak 1 min. Ohlajanje zasledujemo 11 minut.

S pomočjo računalniškega programa ARO 15 smo izračunali temperature na robu pravokotnika v posameznih časovnih korakih K. V tabelah VI. in VII. je prikazano, kako se s časom spreminjajo temperature vzdolž posameznih robov pravokotnika (Stopinje so zaokrožene na cele vrednosti).

Na podlagi vrednosti iz tabel VI. in VII. smo poskušali najti začetne temperature v prerezu pravokotnika.

Podobno kot pri enodimenzionalnem primeru smo tudi tu zapisali začetno temperaturno porazdelitev v obliki:

$$T(I, J, 0) = a_1 + a_2 \cdot (9 - I) + a_3 \cdot (9 - I)^2 + a_4 \cdot (5 - J) + a_5 \cdot (5 - J)^2 + a_6 \cdot (9 - I) \cdot (5 - J) \quad (12)$$

Tabela VII.

| K/J | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 570 | 640 | 690 | 720 | 730 |
| 1 | 642 | 641 | 683 | 708 | 716 |
| 2 | 642 | 641 | 677 | 701 | 709 |
| 3 | 640 | 639 | 673 | 695 | 701 |
| 4 | 637 | 635 | 668 | 688 | 696 |
| 5 | 634 | 632 | 664 | 683 | 690 |
| 6 | 630 | 629 | 660 | 679 | 685 |
| 7 | 627 | 626 | 656 | 674 | 680 |
| 8 | 624 | 623 | 652 | 669 | 676 |
| 9 | 621 | 620 | 648 | 665 | 670 |
| 10 | 617 | 616 | 644 | 661 | 666 |
| 11 | 614 | 613 | 639 | 657 | 662 |

Temperature na robovih $T(1, J, K)$ in $T(I, 1, K)$ so konstantne in se ne izražajo s parametri $a_1 - a_6$. V dveh dimenzijah naj formuli (1) ustreza formula (13):

$$T(I, J, K + 1) = \frac{1}{4} \cdot [T(I + 1, J, K) + T(I - 1, J, K) + T(I, J + 1, K) + T(I, J - 1, K)] \quad (13)$$

Podobno kot pri enodimenzionalnih primerih dobimo v splošnem za temperaturo v mrežni točki (I, J, K) naslednji izraz:

$$T(I, J, K) = n_1(I, J, K) \cdot a_1 + n_2(I, J, K) \cdot a_2 + n_3(I, J, K) \cdot a_3 + n_4(I, J, K) \cdot a_4 + n_5(I, J, K) \cdot a_5 + n_6(I, J, K) \cdot a_6 + n_7(I, J, K) \cdot 1 \quad (14)$$

V spremenljivki $n_7(I, J, K)$ se skrivajo vrednosti na robovih, ki jih po K korakih »potegnemo« v notranjost formula (13).

Neznanke $a_1 - a_6$ bomo določili iz pogoja, da je toplotni tok na površini neka še neznan funkcija površinske temperature in da velja pri $K > 0$:

$$\begin{aligned} -3 \cdot T(1, J, K) + 4 \cdot T(2, J, K) - T(3, J, K) = \\ = a_7 \cdot T(1, J, K) + a_8 \cdot T^2(1, J, K) + a_9 \cdot T^3(1, J, K) + a_{10} \cdot [T(1, J, K) + 273]^4 \quad (15) \end{aligned}$$

oziroma:

$$\begin{aligned} -3 \cdot T(I, 1, K) + 4 \cdot T(I, 2, K) - T(I, 3, K) = \\ = a_7 \cdot T(I, 1, K) + a_8 \cdot T^2(I, 1, K) + a_9 \cdot T^3(I, 1, K) + a_{10} \cdot [T(I, 1, K) + 273]^4 \quad (16) \end{aligned}$$

Tabela VIII

| S | Spremenljivke | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 | a_7 | a_8 | a_9 | a_{10} |
|-------|-------------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-------|-------|-------|-----------------|
| 2,38 | 1, 3, 5, 10 | 997,49 (435) | | -4,19 (133) | | -9,86 (85) | | | | | -159,17 (56) |
| 3,86 | 1, 2, 3, 5, 10 | 997,44 (188) | -0,07 (0) | -4,18 (32) | | -9,85 (35) | | | | | -159,09 (24) |
| 7,30 | 1, 2, 3, 4, 5, 10 | 997,42 (88) | -0,08 (0) | -4,16 (14) | -1,41 (0) | -9,43 (3) | | | | | -158,11 (10) |
| 8,55 | 1, 3, 4, 5, 10 | 997,49 (71) | | -4,18 (20) | -1,44 (0) | -9,44 (2) | | | | | -158,19 (8) |
| 9,47 | 1, 3, 5, 9 | 995,14 (717) | | -4,15 (218) | | -9,78 (138) | | | | | -391,61 (90) |
| 10,90 | 1, 2, 3, 5, 9 | 995,24 (226) | +0,21 (0) | -4,18 (38) | | -9,81 (41) | | | | | -392,30 (28) |
| 13,97 | 1, 3, 5, 6, 10 | 984,16 (38) | | -3,95 (9) | | -8,85 (5) | -0,34 (1) | | | | -146,66 (5) |
| 16,16 | 1, 2, 3, 4, 5, 9 | 995,26 (72) | 0,19 (0) | -4,16 (12) | -2,23 (0) | -9,14 (2) | | | | | -388,59 (8) |
| 16,41 | 1, 3, 4, 5, 6, 10 | 984,10 (27) | | -3,94 (6) | -0,10 (0) | -8,84 (2) | -0,34 (0) | | | | -146,64 (4) |
| 16,99 | 1, 3, 4, 5, 9 | 995,18 (66) | | -4,13 (18) | -2,29 (0) | -9,11 (2) | | | | | -387,70 (7) |
| 18,57 | 1, 3, 4, 10 | 991,16 (286) | | -3,88 (88) | -30,66 (54) | | | | | | -129,84 (33) |
| 19,17 | 1, 2, 3, 4, 10 | 990,97 (214) | -0,69 (1) | -3,79 (35) | -30,42 (39) | | | | | | -129,37 (24) |
| 19,65 | 1, 3, 4, 5, 6, 9 | 984,33 (41) | | -3,94 (10) | -1,19 (0) | -8,60 (3) | -0,27 (0) | | | | -364,20 (6) |

Če v izrazih (15) in (16) upoštevamo nastavek (14), lahko zapišemo na primer izraz (15) v taki obliki:

$$\begin{aligned} & -3 \cdot T(1, J, K) + 4 \cdot n_7(2, J, K) - n_7(3, J, K) = \\ & = a_1 \cdot [-4 \cdot n_1(2, J, K) + n_1(3, J, K)] + \\ & + a_2 \cdot [-4 \cdot n_2(2, J, K) + n_2(3, J, K)] + \\ & + a_3 \cdot [-4 \cdot n_3(2, J, K) + n_3(3, J, K)] + \\ & + a_4 \cdot [-4 \cdot n_4(2, J, K) + n_4(3, J, K)] + \\ & + a_5 \cdot [-4 \cdot n_5(2, J, K) + n_5(3, J, K)] + \\ & + a_6 \cdot [-4 \cdot n_6(2, J, K) + n_6(3, J, K)] + \\ & + a_7 \cdot T(1, J, K) + a_8 \cdot T^2(1, J, K) + a_9 \cdot \\ & \cdot T^3(1, J, K) + a_{10} \cdot [T(1, J, K) + 273]^4 \end{aligned} \quad (17)$$

Namesto izraza (16) bi dobili nekaj podobnega.

$$\text{Takih enačb (17) lahko zapišemo } [(5-1) + (9-1)] \cdot K.$$

Odločili smo se za $K = 10$ in prišli na ta način do sistema 120 enačb z 10 neznankami. (ARO 03)

Iščemo torej takšno regresijsko odvisnost, pri kateri je standardna napaka ocene minimalna in obenem tudi minimalen presek. Zasedovali smo vsoto absolutnih vrednosti: $S = |\sigma_E| + |\text{presek}|$

Možnih kombinacij neodvisnih spremenljivk je nekaj čez 1000.

(Če bi namesto absolutnih vrednosti računali vsoto kvadratov, bi dobili minimum pri istih selekcijah). V tabeli VIII. so zapisane samo tiste selekcije, pri katerih je $S < 20$. Obenem so navedeni regresijski koeficienti, ki pripadajo posameznim spremenljivkam. V oklepajih so navedene pripadajoče vrednosti t . Najboljša selekcija je seveda prva v tabeli VIII. Tudi zaradi nizkih vrednosti t pri raznih dodatnih spremenljivkah ostanemo pri prvi selekciji.

Če upoštevamo še standardne napake regresijskih koeficientov, zapišemo rezultat takole:

$$T(I, J, 0) = (997,49 \pm 2,29) - (4,19 \pm 0,03) \cdot (9 - I)^2 - (9,86 \pm 0,12) \cdot (5 - J)^2 \quad (18)$$

Zanimivo je primerjati vrednosti iz tabele V. z vrednostmi, ki bi jih izračunali po formuli (18).

Tabela IX.

| I/J | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 572 (2) | 641 (1) | 690 | 719 (1) | 729 (1) |
| 2 | 634 (1) | 703 | 753 | 782 (1) | 792 (1) |
| 3 | 689 (1) | 758 | 807 (1) | 837 (1) | 847 (1) |
| 4 | 735 | 804 (1) | 853 (2) | 883 (2) | 893 (2) |
| 5 | 773 | 842 | 391 (1) | 921 (2) | 930 (3) |
| 6 | 802 | 871 (1) | 920 (2) | 950 (2) | 960 (2) |
| 7 | 823 | 892 (1) | 941 (2) | 971 (2) | 981 (2) |
| 8 | 836 | 905 (1) | 954 (2) | 983 (3) | 993 (3) |
| 9 | 840 | 909 (1) | 958 (2) | 988 (2) | 997 (3) |

V tabeli IX. so zapisane izračunane temperature, zaokrožene na stopinjo.

V oklepaju so podane absolutne vrednosti razlik temperatur med tabelama V. in IX.

Povprečno odstopanje temperatur v mrežnih točkah od pravih vrednosti znaša 1,6 K.

Tako smo torej s tem postopkom tudi za dvo-dimenzionalni model poiskali pravilen začetni pogoj.

Poskušali smo s kombinacijami več spremenljivk od $X_7 - X_{10}$, vendar se to ni obneslo zaradi tega, ker programa za multiplo regresijo in postopno regresijo ne dasta enakih točnosti pri izračunu regresijskih koeficientov.

Zanimiv je tudi regresijski koeficient $a_{10} = 159,2 \pm 2,8$. Iz tega bi lahko določili Stefanovo konstanto sevanja

$$\sigma = \frac{a_{10} \cdot \lambda}{2 \cdot R}, \text{ kar bi dalo v našem primeru vrednost}$$

$$\sigma = 5,58 (1 \pm 0,018) \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

ZAKLJUČEK

Z opisano metodo reševanja toplotne enačbe v obratni smeri je torej mogoče z dokaj veliko natančnostjo izračunati začetne pogoje in robne pogoje.

Prednost te metode je v tem, ker ne izhajamo iz predpostavk o sevanju črnega telesa¹⁾.

Tudi najbolj ustrezeni robni pogoj izračunamo, čeprav ga morda niti ne bi mogli opredeliti z znanimi fizikalnimi zakoni o prevajanju toplote. To pa nič ne škodi.

Blok sam je neke vrste računalnik in s toplotno enačbo, ki jo rešujemo v notranjosti, odloča o tem, kakšni so bili začetni in kakšni robni pogoji, da se je hladil tako, kot smo izmerili.

Metoda je pomembna za določanje začetne toplotne vsebnosti v blokih, ki jih ogrevamo v globinskih pečeh.

Zelo uporabna bi bila tudi pri spremljanju EPŽ postopka. Temperature na površini bloka namreč lahko zelo natančno merimo in nato po opisani metodi izračunamo temperaturno porazdelitev v notranjosti, tudi v tistem delu bloka, ki se nahaja v kristalizatorju.

Literatura

1. B. Brudar: Izdelava matematičnega modela za ogrevanje jekla v industrijskih pečeh, *Železarski zbornik* 8, (1974) št. 4, str. 223-234
2. IBM Scientific Subroutine Package (360 A - CM - 03 X) Version III., str. 404-407

ZUSAMMENFASSUNG

Die Zeit die nötig ist dass sich ein stählerner Block im Tiefen auf die Walztemperatur erwärmt ist vor allem von den Anfangsbedingungen abhängig. Da die gegossenen Blöcke, noch heiss und ungestrippt zusammen mit den Kokillen, aus dem Stahlwerk ins Walzwerk transportiert werden, ist die anfängliche Temperaturverteilung nicht bekannt. Wenn aber ein Block aus der Kokille gezogen wird und an der Luft abkühlt, können aus den Abkühlungskurven die Anfangstemperaturen ausgerechnet werden. Es wird dabei allgemein angenommen, dass es sich um eine Abkühlung durch Strahlen handelt, und auf diesem Grund werden dann die Parametern ausgerechnet, mit welchen die anfängliche Temperaturverteilung in der Mitte des Querschnittes beschrieben werden kann. Diese Parametern

werden so bestimmt, dass der ausgemessene und ausgerechnete Zeitverlauf der Temperatur an der Blockoberfläche möglichst gut übereinstimmen.

In diesem Artikel werden mit Hilfe mathematisch statischer Methoden die Anfangsbedingungen ausgesucht, ohne voraussetzen um was für Arten der Randbedingungen sich dabei handelt. Auch diese werden nämlich durch unbekannte Parametern beschrieben. Danach werden mit Hilfe des Rechners optimale Anfangs und Randbedingungen zugleich ausgesucht. Die Rechnung beruht auf dem Temperaturverlauf der Oberfläche die gemessen werden kann. Die Methode ist sehr erfolgsversprechend vor allem bei der Simulierung des ESU Verfahrens.

SUMMARY

The time of heating of a steel ingot in a soaking pit to the temperature necessary for hot rolling strongly depends on the initial conditions. In our case the initial temperature distribution is not known because the hot ingots are transferred in moulds from the steel plant to the rolling mill. If the ingot is stripped and left to cool in the air the initial temperatures could be calculated from the time dependence of the surface temperatures. Usually the radiative boundary condition is supposed and the parameters characterizing the initial temperature in the crosssection are calculated. These parameters are chosen so that the

experimental and the calculated time dependence of the surface temperatures agree as much as possible.

In this article using the methods of mathematical statistics the initial conditions are found without knowing the type of the boundary conditions. They are namely also described by the unknown parameters. By means of the computer the optimal initial and boundary conditions are found simultaneously taking in to account the temperatures measured on the surface.

The method seems to be very promising with the mathematical simulations of the ESR procedure.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Время, которое необходимо, чтобы брус согрелся в нагревательном колоде на температуру, которая соответствует прокатки зависит главным образом от начальных условиях. Так как брусы вместе с изложницами доставаются из сталеплавильного цеха в прокатный цех ещё в горячем состоянии мы ещё не знаем начальные температурные распределения. Если же мы брус вытянем из изложницы и оставим, чтобы он охладился на воздухе, мы имеем возможность из кривых охлаждения вычислить начальные температуры. При этом мы обыкновенно предполагаем, что охлаждение происходит излучением теплоты, и на этом основании мы вычисляем параметры, с которыми определяем начальное температурное распределение в середине разреза. Эти параметры мы

определим таким образом, чтобы отмеренный и вычисленный временный температурный ход на поверхности бруса между собой чем больше согласовался.

В статье приведено, что нам надо при помощи математической статистики определить начальные условия не взяв во внимание виды окончных условий на которые это относится. Также и эти мы опиши с неизвестными параметрами. Затем мы, при применении счетчика определим одновременно оптимальные начальные и окончные условия. При этом мы берем во внимание температурный ход на поверхности, которого мы имеем возможность измерять. Этот метод много обещает в особенности при симулировании способа ЭСП-а.

Zanesljivost proizvodnih naprav

DK: 658.274:621.797

ASM/SCA: T 7 f, A 5, 18-71

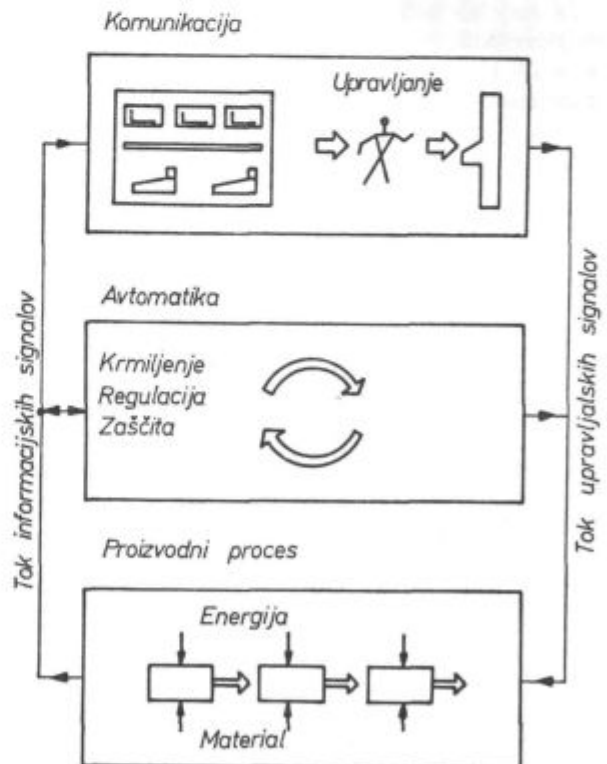
Janez Bratina

Važen parameter proizvodnih tehniških sistemov je njihova razpoložljivost, tj. delež časa, ko so naprave sposobne obratovati; razpoložljivost je ekonomski parameter, pa tudi merilo tehniške opremljenosti in proizvodne organiziranosti. Odvisna je od zanesljivosti, oz. od pričakovane življenjske dobe elementov, iz katerih je proizvodna naprava sestavljena, od načina gradnje teh naprav ter od vrste ukrepov in potrebnih opravil posluževalnega in vzdrževalnega osebja. Okvare, ki prekinjajo proizvodnjo, povzročajo škodo zaradi zastojev v proizvodnji in zaradi stroškov popravil. Poznavanje vzrokov okvar in zakonitosti, s pomočjo katerih se dajo zgraditi proizvodne naprave z večjo stopnjo razpoložljivosti, je pri današnji, vedno bolj kompleksni in avtomatizirani proizvodnji važno za vodenje in planiranje proizvodnje, pa tudi za gradnjo teh naprav in njih vzdrževanje.

Poostreni ekonomski odnosi, ki so posledica vedno višjih cen surovin in energije, kakor tudi vedno večjih naložb kapitala v proizvodne naprave ter postroje in njihovega usodnega vpliva na človekovo okolje, postavljajo za zanesljivost, oz. optimalno izkoriščanje teh naprav vedno ožje in ostrejšje zahteve. Vsaka proizvodna naprava, oz. postroj je kompromis med tehniškimi možnostmi in ekonomsko upravičenostjo: hiter razvoj novih tehnologij zahteva gradnjo naprav s kratko ekonomsko življenjsko dobo, oz. gradnjo naprav z določeno življenjsko dobo, v kateri se dosegajo maksimalni efekti ob največji izkoriščenosti materiala in energije. Specifične obremenitve se premikajo vedno bližje mejnim vrednostim: ti premiki so posledica naraščajočih stroškov materiala, pa tudi popolnejše konstrukcije in skrbnejših izračunov. Razvoj proizvodnih naprav k vedno kompleksnejši avtomatizaciji pa povzročajo večjo povezanost proizvodnih enot v proizvodne sisteme, hkrati pa vedno bolj onemogoča človeku neposreden vpliv na proizvodni proces (sl. 1). Količina proizvodnje in kvaliteta sta z rastočo avtomatizacijo vedno manj odvisna od posluževalca: programsko krmiljeni stroji, mikroprocesorske vodene proizvodne linije in produkcijski roboti to dokazujejo. Tudi proizvodnja

in prenos energije je z vedno večjimi potrebami in z zahtevo, da mora proizvodnja biti v vsakem trenutku enaka porabi, že davno prešla v tako obsežno avtomatizacijo, da smo lahko le še presenečeni in nemočni opazovalci, ko nepredvidljivi dogodki podirajo obratovalne sisteme. Nepredvideni dogodki so predvsem okvare elementov proizvodnih sistemov pred predvidenim potekom njihove pričakovane življenjske dobe in človeške napake. Vzroke okvar, ki prekinjajo normalni obratovalni cikel, lahko delimo v tri skupine:

1. Sistemske tehnične napake, tj. napake v konstrukciji, v izračunu, v izdelavi ali montaži.
2. Napake v eksploataciji, tj. zaradi staranja, obrabe, prevelikega segrevanja, itd.
3. Napake zaradi nepravilnega upravljanja in nepravilnega vzdrževanja.



Slika 1

Upravljanje proizvodnega procesa

Fig. 1

Operation of the production process

Janez Bratina, diplomirani inženir elektrotehnike je ravnatelj TOZD Elektrotehniške storitve v Železarni Ravne

Na podlagi statističnih podatkov nekaterih zahodnih zavarovalniških družb (Alianz Versicherung) lahko za skupino električnih strojev, postroj in napeljav ugotovimo, da se pogostost navedenih napak giblje v razmerju 45:45:10, da pa je razpored njihove materialne škode v razmerju 75:15:15. Presenečajo predvsem zelo pogoste in materialno zelo boleče sistemske tehnične napake. Domače izkušnje govore o bolj enakomerni porazdelitvi navedenih napak, kar je posledica večje pogostosti napak v eksploataciji, pa tudi večje starosti proizvodnih naprav, saj se sistemske napake pojavljajo predvsem pri zagonu, oz. na začetku obratovanja. Ne gre pa le za škodo, ki na napravah in napeljavah nastane zaradi okvar. Količina proizvodnje in kvaliteta sta odločilno odvisni od stanja naprav, stroški proizvodnje pa so sorazmerni izpadu obratovanja teh naprav. Dokler proizvodnja poteka na več paralelno delujočih strojih z rezervnimi proizvodnimi kapacitetami, je izpad stroja zaradi okvare le motnja v proizvodnji in dodaten proizvodni strošek za popravilo stroja. Pri visoko avtomatizirani in integrirani proizvodnji pa je zaradi velikih stroškov in zaradi velikih proizvodnih zmogljivosti vsak izpad proizvodnje tako vpliven na gospodarnost (ali varnost), da je potrebno obratovalno zanesljivost obravnavati z vseh vidikov te posebne tehnične discipline: z vidika merjenja, ocenjevanja, s potrebo po napovedovanju in optimiranju obratovalne zanesljivosti.

Če naj bo naš cilj preventivno preprečevanje nepredvidenih dogodkov na proizvodnih napravah, postrojih in napeljavah, katerih posledica je izpad proizvodnje in nastanek škode, je potrebno predvsem ugotavljati njihove zakonitosti in analizirati vzroke.

1. SISTEMSKE TEHNIČNE NAPAKE

Prično se pri načrtovanju, konstruiranju in projektiranju. Nastajajo zaradi subjektivnih slabosti (napak, neznanja), najpogosteje pa zaradi premajhnega poznavanja zahtev in razmer, ki bodo v eksploataciji nastale. V vsakem primeru je osnova načrtovanja analiza zahtev in presoja delovnih razmer. Premalo nam je v zavesti, da je polovica projekta razčiščena projektna naloga in da predstavlja projekt sintezo danih vhodnih količin s predvidenimi izhodnimi efekti. Izbira zaščitnih tehničnih in varnostnih sistemov lahko bistveno vpliva na obratovalno zanesljivost. Gradnja sistemov za upravljanje, ki loči različne nivoje krmiljenja (ročno, avtomatsko, računalniško), lahko omogoča normalno proizvodnjo tudi ob izpadu enega ali več nivojev. Gradnja merilno regulacijske opreme mora biti stopenjska, tako da so v osnovni stopnji kljub defektom še vedno delujoči elementi, ki skrbijo za signalizacijo in varnost. Integrirna vezja omogočajo vrsto rezerv v krmilnoregulacijskih zankah (statična, dinamična, hibridna, modularna

redundanca), ki za več velikostnih redov zvečujejo obratovalno zanesljivost naprave.

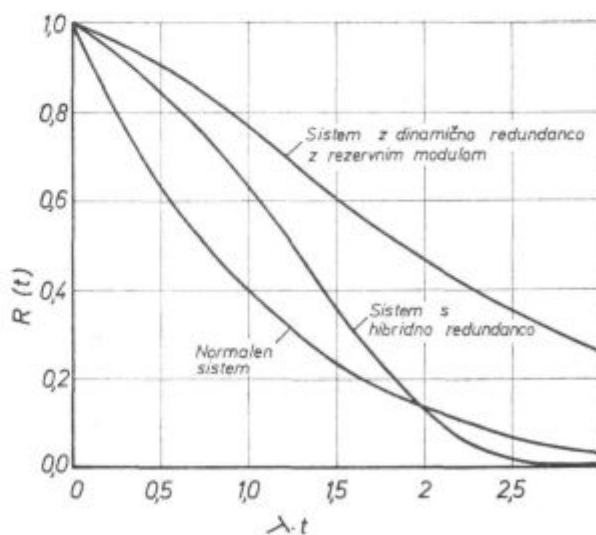
Pri obravnavi sistemskih napak moramo imeti pred očmi dejstvo, da predstavlja vsaka naprava ali postroj organski sistem, ki je sestavljen iz elementov omejenega trajanja, oz. iz ustrezne količine uporabljivosti. Ta količina se s časom zmanjšuje, stroj postaja star, vedno manj uporaben. Življenjsko dobo elementov merimo s povprečnimi obratovalnimi urami, s številom operacij, manevrov, ki jih element zdrži, itd. Merilo za obratovalno zanesljivost sistema je tako imenovani srednji čas do pojava napake MTTF (mean time to failure), oz. njegova recipročna vrednost λ , ki se imenuje faktor izpada. Če je faktor izpada časovno neodvisen, dobi zanesljivost sistema znano eksponentialno funkcijo.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Razvidno je, da obratovalna zanesljivost s časom pada in da je po preteku časa življenjske dobe enega elementa obratovalna zanesljivost sistema le še 36,7 %, če ne bi drugače ukrepali (sl. 2). Predpostavka o konstantnem MTTF času, oz. o konstantnem faktorju izpada λ pa ne drži povsem, niti za vse elemente niti za celoten opazovani čas. Če opazujemo večje število enot (in le tako dobimo verjetne zakonitosti) skozi daljše časovno obdobje, ugotovimo, da je pogostost pojavljajočih se napak porazdeljena po karakteristični krivulji, ki nosi zaradi svoje oblike ime »krivulja kopalne kadi« (sl. 3). Na njej ločimo tri območja:

— začetno področje je območje otroških boleznih (burn in), ko se napake pojavljajo v prvih nekaj obratovalnih urah, v poizkusnem obratovanju ali v garancijskem času;

— srednje ali zrelo področje najboljše obratovalne zanesljivosti (najmanjši λ), ki nastopi po pre-

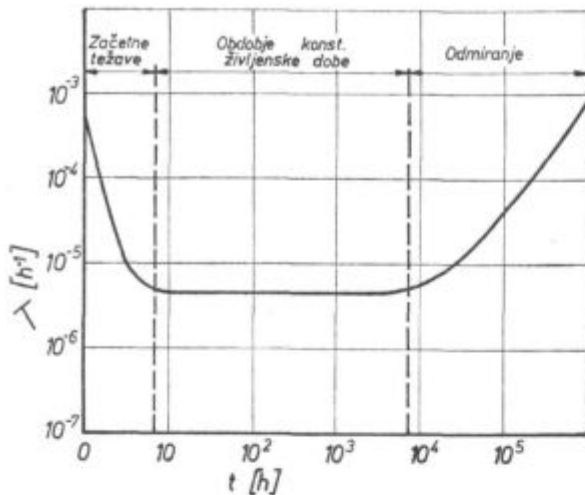


Slika 2

Zanesljivost tehniških sistemov: λ — faktor izpada

Fig. 2

Reliability of technical systems: λ -factor of failure



Slika 3
Krivulja kopalne kadi: faktor izpada λ (h) kot funkcija časa t (h)

Fig. 3

Curve of bath tube: factor of failure λ (h) as function of time t (h)

bolelih otroških boleznih; λ je v tem področju konstantna in je uporabna za račun zanesljivosti;

— področje odmiranja (burn out) nastopi, ko se prično vrednosti za λ ponovno večati: nastopa vedno več defektov; to je primeren čas za odpis odprave.

Zanesljivost elementa kot funkcijo časa $R(t)$ lahko okarakteriziramo tudi kot verjetnost, da ta element preživi določen čas. Iz zgornje enačbe torej sledi, da obstaja le 36,7 % verjetnost, da bo neki element doživel svojo povprečno življenjsko dobo (MTTF). Če opazujemo množico elementov N , ki imajo konstanten faktor izpada λ , dobimo verjetnost, da bo iz elementov N izpadlo v času t v celoti x delov kot kumulativno Poissonovo porazdelitev:

$$F(x/\gamma) = \exp(-\gamma) \sum_{i=0}^x \frac{\gamma^i}{i!},$$

pri čemer je γ — srednje število izpadov

$$\gamma = N \cdot \lambda \cdot t$$

Težko uporabne tabelarične pregledne navedene funkcije dobro ponazarja Thorndikeov diagram (sl. 4), ki je za običajne izračune dovolj primeren. S pomočjo diagrama lahko:

— iščemo verjetnost $F(x/\gamma)$, če so dani: N , λ , x , t

— iščemo faktor izpada λ , če so dani:

$F(x/\gamma)$, N , x , t

— iščemo število izpadov x , če so dani:

$F(x/\gamma)$, N , λ , t

N. pr.: 20 elementov s faktorjem izpada $\lambda = 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ mora obratovati 1000 h. Kakšna je verjetnost, da v tem času ne bo nobenega izpada?

$$\gamma = N \cdot \lambda \cdot t = 20 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 = 0,20$$

$$x = 0 \text{ Iz slike 4 sledi } F(x/\gamma) = 0,82$$

Glede na srednjo življenjsko dobo v proizvodnih sistemih uporabljenih funkcionalnih elementov le-te grupiramo v štiri razrede:

a) srednja življenjska doba 10^7 obratovalnih ur (1150 let) — zelo majhna verjetnost napake;

b) srednja življenjska doba od 10^5 do 10^7 obratovalnih ur (11,5 do 1150 let) — majhna verjetnost napake;

c) srednja življenjska doba 10^4 do 10^5 obratovalnih ur (1,15 do 11,5 let) — srednja verjetnost napake;

d) srednja življenjska doba do 10^4 obratovalnih ur (do 1,15 let) — velika verjetnost napake.

Če želimo neki sistem analizirati glede na obratovalno zanesljivost, moramo poleg predvidene pogostosti defektov na posameznih elementih (Failer Effect) upoštevati še, kako vsaka taka napaka vpliva na zanesljivost sistema (Failer Mode). Prav ta vpliv na zanesljivost sistema je pogosto mnogo lažje oblikovati s premišljenimi samokontrolnimi in redundantnimi podsistemi, sestavljenimi iz kvarljivih elementov, kot pa za vsako ceno segati po elementih, ki zagotavljajo izjemno življenjsko dobo.

Vplive napak na sistem delimo podobno kot same napake glede omejenega trajanja prav tako na štiri razrede:

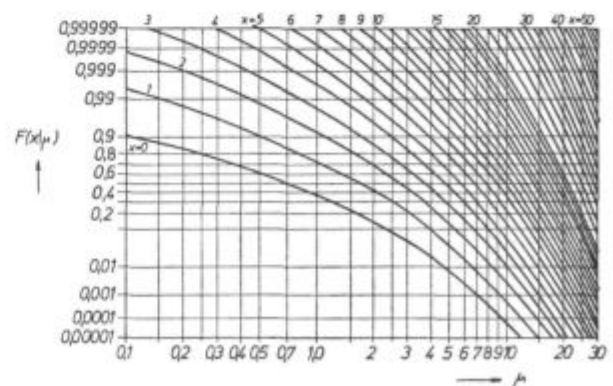
a) napaka nima vpliva,

b) vpliv napake je neznamen, mogoče ga je kompenzirati;

c) vpliv napake je kritičen, samo izredni posegi preprečujejo nevarnosti;

d) vpliv napake je katastrofalen, sistem ob tej napaki razpade.

Tako zgrajena logična shema vzrokov in posledic, ki nam jo da metoda, ki se imenuje drevo napak (Fault Tree), se da matematično zajeti po pravilih Boolove algebre. Kritično pot predstavlja veriga dogodkov, ki da največjo vsoto verjetnosti nastanka katastrofalnega dogodka. Pri tem predstavljajo členi »ali« (vrata »ali«) vsoto posameznih verjetnosti, členi »in« pa produkt posameznih ver-



Slika 4

Thorndike-ov diagram: verjetnost $F(x/\gamma)$ v odvisnosti od srednjega števila izpadov γ

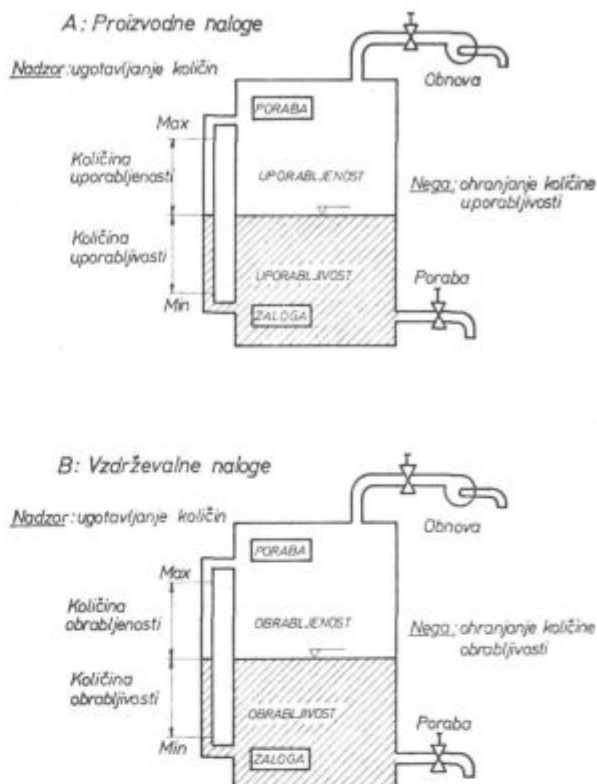
jetnosti. Nastanek kritičnega dogodka je ob »in« verigi dogodkov manj verjeten od verjetnosti posameznih dogodkov, saj morajo ti za realizacijo posledice nastopiti istočasno. Pri »ali« verigi dogodkov pa je verjetnost kritičnega dogodka večja od verjetnosti zatajitve posameznega člana, saj se verjetnosti enostavno seštevajo.

Predaleč bi nas zanesla tako obsežna matematična obdelava obratovalne zanesljivosti neke naprave, saj se tudi v praksi takšne verjetnostne analize redko izdelujejo. Kljub temu pa nam že same zakonitosti o povečanju ali zmanjšanju verjetnosti nastopanja napak govore, na kaj je potrebno pri snovanju proizvodnih sistemov paziti, da se jim povečuje obratovalna zanesljivost.

Varnostni verižni sistemi in samozaščitne blokade pri krmiljenju obdelovalnih strojev, stiskalnic, dvigalnih napravah zagotavljajo tudi po nastanku okvar na posameznih elementih še vedno normalno obratovanje ali pa nevarno zaustavitev obratovanja. Prednostni cilj je seveda delovna varnost, ki pa se skoraj vedno dosega z visoko obratovalno zanesljivostjo. Napotki, ki nam jih daje verjetnostna analiza obratovalne zanesljivosti, so duhovito strnjeni v vse premalo poznanem in upoštevane Morphijevega zakonu, ki pravi: Če je kakršnakoli možnost, da lahko gre kaj napak, bo zagotovo šlo. (If anything can go wrong it will).

2. NAPAKE V EKSPLOATACIJI

so zelo raznolike; sem uvrščamo izpade in poškodbe zaradi okvare zaščitnih in varnostnih naprav, zaradi obrabe, erozije staranja, ali pa so posledice zaradi delovanja škodljivih zunanjih vplivov, kot so poškodbe, deformacije, prenapetosti, vlaga, temperatura. S pričetkom eksploatacije proizvodne naprave postane zanesljivost obratovanja odvisna od upravljalca stroja in njegovega vzdrževalca, saj je v tem trenutku količina (zaloga) uporabljivosti stroja, oz. količina (zaloga) obrabljivosti največja. Na sl. 5 je prikazan model obrabljanja, oz. model vzdrževanja proizvodnih naprav, kakršen sledi iz DIN 31051, po katerem je vzdrževanje celota ukrepov določanja in obnavljanja željenega stanja in ugotavljanja ter vrednotenja dejanskega stanja; glavni cilj je ugotavljanje dejanskega stanja, tj. zasledovanje obratovalnih parametrov (pritisk, temperatura, tok, napetost, vibracije, čas), ki se morajo gibati znotraj nazivnih vrednosti in pogojev obratovanja (mazanje, hlajenje). Potrebno je občasno in stalno ali samodejno nadzorovati merne regulacijske in zaščitne naprave; pregledovati v rednih časovnih intervalih vse elemente, ki se starajo ali obrabljajo; zasledovati in ugotavljati dotrajanost komponent, kar pomeni predčasno odkrivanje slabih mest.



Slika 5
Model vzdrževanja
Fig. 5
Maintenance model

3. NAPAKE ZARADI NEPRAVILNEGA POSLUŽEVANJA

in nepravilnega vzdrževanja vnašajo v vedno bolj zapleten upravljalško-regulacijski proizvodni cikel s svojimi posledicami boleča spoznanja o omejeni zanesljivosti človeka, ki ostaja še vedno kritičen element v delovnem procesu. Če bi ga obravnavali ergonomsko (Human Factor Engineering) s stališča sistemskih napak, bi ugotovili, da ima glede na svoje obratovalne ure (80.000 ur) srednjo verjetnost za nastanek napake, da pa je njegov vpliv na zanesljivost proizvodnega sistema resnično katastrofalen. To najbolj izpričuje statistika okvar na strojih z ročno obdelavo materiala, kjer je delež okvar zaradi napačnega upravljanja 75 % vseh nastopajočih okvar. Napake zaradi nepravilnega upravljanja in vzdrževanja izvirajo iz pomot, malomarnosti in neznanja, zato je eno izmed vodilnih načel sodobnega koncipiranja proizvodnih naprav predvsem v težnji, kako iz sistema izključiti nezanesljivi element — človeka ali pa njegovo nezanesljivost kar najbolj zmanjšati. Na področju zanesljivega sporazumevanja med človekom in strojem so zadnja desetletja razvoja elektronike, mikroprocesorske tehnike in računalništva prinesle nove rešitve, ki gredo predvsem v smeri humanizacije dela in delovnega mesta. Od enostavnih ročnih ukazov za posamezen gib je potekal razvoj

tako, da pomeni določen ukaz že skupino logično med seboj povezanih operacij, ki so med seboj in vsaka zase nadzorovane. Ustrezne signalizacije javljajo nevarna stanja, oz. stanja zunaj dovoljenih limit. Te prijeme obravnava avtomatizacija delovnih procesov, ki združuje zakonitosti krmiljenja in regulacijske tehnike. Nadaljnjo osvoboditev človeka od stroja ter istočasno povečanje proizvodne zmogljivosti in izboljšanje kvalitete pomeni uvedba mikroprocesorjev in procesnih računalnikov v sisteme vodenja. Komaj pričeti proces uvažanja teh novih pripomočkov omogoča uporabo prostoprogramiranega krmiljenja in regulacije, upravljanja po modelu, adaptivnega vodenja in regulacije ter gradnje najzahtevnejših po kibernetičkih principih vodenih tehničnih sistemov.

Tudi sam sistem upravljalca stroja ali vzdrževalca stroja — stroj je kibernetičsko zaključen upravljalni krog s povratno vezavo. Pri proizvodni nalogi upravljalca stroja ugotavlja še preostale količine uporabljivosti stroja ter jo z ustrežno nego ohranja, pri vzdrževalni nalogi pa vzdrževalca ugotavlja količino obrabljenosti in jo po potrebi z obnovo nadomešča. Kljub temu, da sta si pojma uporabljivost in obrabljenost ekvivalentna, sta bistveno različna. Upravljalca stroja določa potrebno količino uporabljivosti stroja, saj ta odgovarja za izdelek, vzdrževalca stroja pa ugotavlja količino obrabljenosti in minimum te količine, ki ne sme biti prekoračena, saj ta odgovarja za sposobnost in varnost obratovanja stroja. Količina uporabljivosti je n. pr. dana s toleranco, s katero stroj lahko izdeluje strojne dele, ali z zmogljivostjo zavor.

Toleranco izdelkov in zmogljivost zavor mora nadzirati uporabnik; ta s tem sprotno ugotavlja še preostalo količino uporabljivosti. Vzdrževalca pa z nadzorom (s preizkusom, z meritvijo) ugotavlja izrabljenost, dotrajanost in s tem preostalo količino uporabljivosti. Količina uporabljivosti in količina preostale obrabljenosti sta vrednosti, ki nimata le različnih nivojev, ampak se s časom tudi različno hitro zmanjšujeta — tako pri strojih kot pri ljudeh.

Z avtomatizacijo proizvodnje prihaja do vedno bolj enakovredne delitve dela med proizvodnjo in vzdrževanjem. Določanje in ugotavljanje stopnje (količine) uporabljivosti strojev in naprav je dolžnost proizvodnje, medtem ko je določanje in ugotavljanje preostale količine obrabljenosti naloga vzdrževalcev. Tak pristop obravnavanja proizvodne zanesljivosti omogoča izpeljavo nalog sodobnega vzdrževanja:

a) Ugotavljanje in nadziranje dejanskega in želenega stanja; nadzor je osnovni vir informacij, ki dajejo pregled nad stanjem naprav.

b) Ohranjanje želenega stanja naprav zahteva vrsto različnih dejavnosti: čiščenje, mazanje, zamenjava obrabljivih delov, skratka, nega. Ta dejavnost je skupna naloga vzdrževalcev in upravljalcev.

c) Obnova strojev in naprav je potrebna v določenih časovnih obdobjih, ko pade količina obrabljenosti na minimum.

Model vzdrževanja, prikazan na sl. 5, dokazuje vse premalo upoštevanje dejstva, da na »zalogo obrabljenosti«, oz. na »zalogo uporabljivosti« proizvodne naprave vplivata tako upravljalca stroja kot njegov vzdrževalca. Končni cilj, tj. čimbolj nemotena proizvodnja, je isti, le opravila so specifična in imajo v različno opremljenih obratih različno težo.

Dosedanja razmišljanja o obratovalni zanesljivosti proizvodnih naprav in sistemov ter pristop k ohranjanju obratovalnih sposobnosti teh naprav in sistemov so imela cilj doseči njihovo čimvečjo proizvodno razpoložljivost, tj. da so le-ti čimveč proizvodni namenjeni ur pripravljeni za obratovanje. Razpoložljivost proizvodnih kapacitet neke proizvodne enote ni samo zanimiv ekonomski dejavnik, temveč je tudi merilo tehnične opremljenosti in proizvodne organiziranosti. Razpoložljivost proizvodnih zmogljivosti pa ni odvisna le od njihove obratovalne zanesljivosti, temveč tudi od vrste dejavnikov, ki smo jih sicer združevali pod imenom vzdrževanje, pa zaslužijo osvetlitve, posebno še, ker omogočajo analitski pristop k pojmu razpoložljivost. Če je nasprotna vrednost razpoložljivosti (R) — nerazpoložljivost (NR), lahko pišemo, da je:

$$NR = 1 - R$$

Če predpostavljamo, da imamo tehnični sistem sestavljen iz n identičnih enot, od katerih ima vsaka enota

faktor izpada: $\lambda = 1/\text{življenjska doba}$, da imamo m rezervnih enot, za zamenjavo vsake enote je karakterističen:

faktor zamenjave $\nu = 1/\text{čas zamenjave}$ in za popravilo vsake enote pa:

faktor popravila $\mu = 1/\text{čas popravila}$, lahko enostavno pišemo:

$$NR = n\lambda/\nu \quad \text{za } m > 0$$

Nerazpoložljivost sistema, (tj. zastoj) je neposredno odvisna od faktorja izpada elementa (λ) in obratno sorazmerno od faktorja zamenjave, če imamo dovolj rezervnih delov ($m > 0$). Če pa rezervnih delov ni ($m = 0$), dobi navedeni izraz obliko:

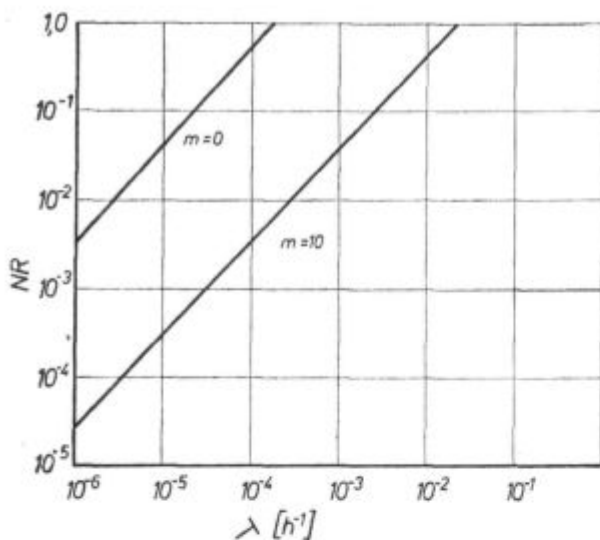
$$NR = n\lambda/\mu$$

V tem primeru je nerazpoložljivost sistema sorazmerna faktorju izpada in obratno sorazmerna faktorju popravila.

Zgornji relaciji sta prikazani na sl. 6 in predstavljata najenostavnejši mejni vrednosti ($m = 0, m > 0$).

V vsakem primeru pa je nerazpoložljivost sistema v najširšem območju proporcionalna faktorju izpada. Maksimalno vrednost doseže nerazpoložljivost pri $NR = 1$ v primeru, da je

$$\lambda = m \cdot \mu$$



Slika 6

Nerazpoložljivost NR kot funkcija faktorja izpada λ pri $\nu = 0,1 \text{ h}^{-1}$ in $\mu = 0,001 \text{ h}^{-1}$ za $n = 5$

Fig. 6

Non-availability, NR , as the function of the factor of failure λ at $\nu = 0.1 \text{ h}^{-1}$ and $\mu = 0.001 \text{ h}^{-1}$ for $n = 5$

kar pomeni, da so vse rezervne komponente v popravilu in da je okvara naslednje komponente usodna. Iz sl. 6 je tudi razvidno, da je $NR = 1$ tudi v primeru, da je $n \cdot \lambda = \nu$, kar pomeni, da po vsaki zamenjavi elementa odpove naslednji element, oz. tudi v primeru, da je $n \cdot \lambda = \mu$, kar pomeni, da po vsakem popravilu elementa odpove naslednji element.

Poleg teh enostavnih relacij pa je važno spoznanje, da za vse prej obravnavane faktorje obstaja za vsak n neko optimalno število rezervnih enot m . Nobeno povečanje števila rezervnih enot nad to vrednostjo ne vpliva več na NR . Podobno se da dobiti tudi optimalno število popravilalcev elementov, oz. zamenjevalcev elementov.

Funkcija vzdrževanja se od splošnih nalog in spoznanj konkretizira na potrebne čase za zamenjavo pokvarjenih elementov, na potrebne čase za popravilo pokvarjenih elementov ter na optimiranje zalog rezervnih delov. S tem postane vzdrževanje s svojo zahtevo po kadrovski strukturi, ki je sposobna opraviti našete naloge, s svojo zahtevo po tehnični opremljenosti, ki omogoča opravljanje nalog, in z zalogami materialov specifična proizvodna organizacija z zahtevno organizacijo dela. Poleg že omenjenih zahtev za zasnovo in gradnjo proizvodnega sredstva morata zagotoviti kupec in dobavitelj posebne obveznosti pri postavitvi, zagonu in eksploataciji naprave. Poleg splošnih zahtev za postavitev (okolje, varnost) mora biti zagotovljen čas za zagon in čas za poizkusno obratovanje stroja; opravlja se pod nadzorom dobavitelja in to je skrajni čas, ko se s strojem morajo spoznati upravljalci — neposredni uporabniki in vzdrževalci. Pri zahtevnejših napravah je potrebno na posebnih proizvajalčevih tečajih omogočiti tem

delavcem potrebna specifična znanja. Zagon nove proizvodne naprave je delikatno osvajanje ne samo novih proizvodov, ampak tudi novih opravil delavcev, ki z njimi upravljajo in jih vzdržujejo. Poizkusno obratovanje mora dokazati, da so dosežene dogovorjene vrednosti za proizvodnost in kvaliteto, da so pri tem bile obremenitve stroja v normalnih mejah in da ni pripomb ne na funkcionalnost in ne na delovno varnost. Vzdrževalci se morajo seznaniti s tehnično dokumentacijo, z meritvami nazivnih vrednosti, z nastavitvami zaščit, regulatorjev, merilnih instrumentov, s karakterističnimi mejnimi vrednostmi. Izdelani morajo biti sezname vgrajenega materiala, v skladišču morajo biti rezervni deli, ki jih priporoča dobavitelj. V času obratovanja stroja se morajo vodilni delavci občasno seznanjati s proizvodnimi dosežki ter z drugimi posebnostmi, kot n. pr. ali se v eksploataciji uporabljajo obratovalna in vzdrževalna navodila in kakšne posledice nastajajo, če se jih posluževalci in vzdrževalci ne drže. Pri današnjem stanju vedno večje tehnološke integracije postaja proizvodnja vedno bolj neodvisna od neposrednega posluževanja, dobiva pa vzdrževanje takih proizvodnih naprav večjo važnost in pomen za proizvodnjo. Tako se n. pr. za nekatere zahodnonemške industrijske panoge ugotavlja, da je že 40 % vseh škodnih primerov — okvar posledica nepravilne nege in vzdrževanja. Ko smo torej zaradi nezanesljivosti človeka temu odvzeli neposredno vodenje proizvodnih procesov, nam ista nezanesljivost moti proizvodnjo in povzroča škodo pri vzdrževalnih opravilih. Ne menjajo se torej le proizvodne tehnologije in ne stopamo le v naslednjo revolucijo gradnje proizvodnih naprav, temveč se z njo menja in spreminja tudi tehnologija vzdrževanja. Generacije proizvodnih naprav se menjajo in zastarijo v dveh, petih letih. Pri takem razvoju ni mogoče govoriti o kaki večji tipizaciji elementov in naprav v proizvodnih postrojih. Nove, popolnejše, bolj domišljene, bolj avtomatizirane in produktivnejše delovne naprave izpodrivajo popolne, domišljene in produktivne. Tipizacijo elementov nadomešča modularna gradnja, ki omogoča zamenjavo kompletnih ali delnih proizvodnih celic; krmilja dobivajo samodiagnostiko, informatiko in mikroproceorska tehnika humanizirata proizvodno delo. »Uporabi in zavrzi« postaja tudi na področju proizvodnih naprav neizprosno geslo tržišča. S tem pa funkcija vzdrževanja preneha biti le reparatura proizvodnih strojev, vzdrževalčevo poznavanje naprav in delovne izkušnje z eksploatacijo teh naprav ga postavljajo v funkcijo poznavalca, ki ve, kaj v proizvodnih sistemih zamenjati in kaj zavreči, kako izboljšati delovno zanesljivost in varnost in kdaj pristopiti k obnovi le-teh.

ZAKLJUČEK

Z vedno večjo avtomatizacijo postaja integrirana tehnološka proizvodnja vedno bolj neodvisna od neposrednega posluževanja. Važen ekonomski

dejavniki proizvodnje postaja tako imenovana razpoložljivost naprav, tj. del časa, ko so naprave sposobne proizvajati. Okvare zmanjšujejo razpoložljivost, povzročajo škodo zaradi zastojev v proizvodnji, pa tudi zaradi stroškov za popravilo. Okvare, ki nastajajo, so:

— okvare zaradi sistemskih napak, ki so posledica neupoštevanja fizikalnih zakonitosti in razmer, neupoštevanja življenjske dobe elementov in vpliva defektov na zanesljivost proizvodne naprave;

— okvare zaradi eksploatacije, ki nastajajo zaradi obrabe, staranja in nepazljivega nadziranja količin uporabljivosti in obrabljivosti strojev in naprav ter zaradi preslabe nege;

— okvare zaradi nepravilnega posluževanja in vzdrževanja so moderna bolezen; naloge vzdrževanja so izpeljane iz zakonitosti o razpoložljivosti proizvodne naprave, ki ni odvisna le od obratovne zanesljivosti, temveč tudi od časov zamenjav

in časov popravila pokvarjenih elementov, od zalog rezervnih delov, kadrovske strukture vzdrževalcev in njihove organizacije dela.

Seznam literature

1. Messerschmidt-Bölkow-Blomm, Technische Zuverlässigkeit, Springer Verlag 1977
2. Allianz Versicherungs — AG, Handbook of Loss Prevention Springer Verlag 1978
3. Joachim Kund, Optimierung des Arbeitskräfteeinsatzes in der Instandhaltung VEB DVG Leipzig 1971
4. Hans Fery, Hohe Verfügbarkeit komplexer technischer Systeme durch geplatne Ersatz und Reparaturstrategie ETZ 12, 1980
5. Friedrich Ruf, Aspekte bei der Zuverlässigkeit integrierter Schaltungen, Elektronik 23, 1980
6. P. Müller, E. Schwarz, Zuverlässigkeitssicherung Siemens 1982
7. DIN 31051 Instandhaltung (Begriffe)

ZUSAMMENFASSUNG

Mit immer grösser werdenden Automatisierung wird die integrierte technologische Produktion immer mehr unabhängiger von der unmittelbaren Bedienung. Wichtiger ökonomischer Faktor der Produktion ist die sogenannte Verfügbarkeit der Anlagen, das ist der Teil der Zeit in dem die Anlagen produktionsfähig sind. Beschädigungen vermindern die Verfügbarkeit, verursachen Schaden, so wegen der Stockung in der Produktion wie auch wegen des Reparaturaufwandes. Die entstanden Schaden können wie folgt unterteilt werden:

— Schaden wegen der Fehler im System die eine Folge der Nichtberücksichtigung der physikalischen Gesetzmässigkeiten und der Umstände sind, weiter Nichtberücksichtigung der Lebenslänge der Elemente und der Ein-

flüsse der Defekte auf die Zuverlässigkeit der Produktionsanlagen;

— Schaden wegen der Ausbeutung die eine Folge der Abnutzung, der Alterung, und der achtlosen Verfolgung der Grössen der Anwendbarkeit und der Abnutzung der Maschinen und Anlagen, und der schlechten Wartung sind;

— Schaden wegen der unrichtigen Bedienung und Wartung sind moderne Krankheit; die Wartungsaufgaben sind ausgeführt aus den Gesetzmässigkeiten über die Verfügbarkeit der Produktionsanlagen die nicht nur von der Betriebszuverlässigkeit abhängig ist sondern auch von den Umtausch und Wartungszeiten der beschädigten Teile, von den Reserveteilen am Lager, der Struktur der Instandhaltungsleute und deren Arbeitsorganisation.

SUMMARY

The increased degree of automation makes the integrated technological production process less dependant on the direct manipulation. Important economic parameter of the production process is the so called availability of the set, i. e. portion of time when the equipment can operate. The breaks reduce the availability, cause the damage due to the interrupted process, and cause the repair costs. The breaks are:

— due to system faults as the consequence of disregarding physical laws and conditions, life of constituents, and influence of defects on the reliability of the production set,

— in exploiting due to wear, ageing, uncareful control of applicability and wear parameters of machines and set, and due to bad attendance,

— due to uncorrect manipulation and maintenance which is a modern disease; maintenance tasks are deduced from the rules on the availability of the production set which does not depend only on the operating reliability but also on time of replacing or repairing broken parts, on stock of spare parts, professional structure of maintainers, and their organization of maintenance.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С существенным увеличением применения автоматизации становится интегрирующее технологическое производство всё более независимо от непосредственного обслуживания. Крупный экономический фактор производства становится возможность пользования устройств т. е. доля времени в течении которого устройства способны выполнять работу. Дефекты уменьшают работоспособность устройств, причиняют ущерб не только вследствие простоев в производстве и выстоев отдельных механизмов, а также вследствие ремонтных расходов.

Дефекты, которые могут получиться следующие:

— неисправности вследствие систематических прогрешностей, которые представляют собой последние несоблюдения долговечности физических закономерностей и соотношений несоблюде-

ния долговечности отдельных элементов и влияние дефектов на надёжность производственного устройства;

— неисправности при эксплуатации, которые происходят вследствие износа, старения, из-за небрежного надзора над времени применимости и износа механизмов и приспособлений, а также из-за невнимательного технического обслуживания.

Неисправности вследствие неправильного обслуживания и содержания представляют собой можно сказать современный болезненный симптом. Обязанности, которые касаются содержания выданы из закономерности возможности пользования производственного устройства, которое не зависит только от эксплуатационной надёжности, но также от промежутков времени замены и починки неисправных элементов, от наличия запасных деталей, от состава кадра для обслуживания и от организации их работы.

Tehnične novice

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

Zelezarna Ravne

Ferdo Grešovnik

UVOD

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

Smerni kemični sestavi:

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

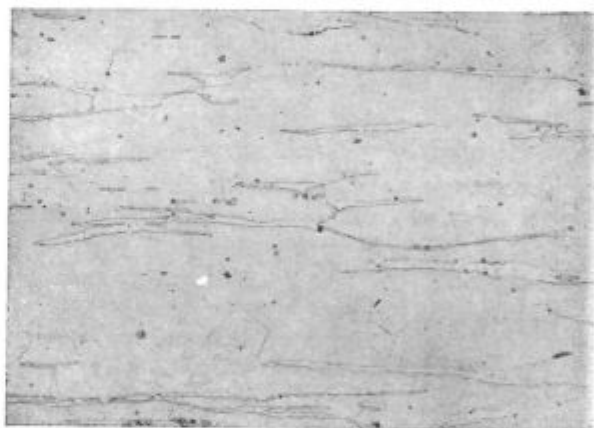
1. INTERVAL STRJEVANJA

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

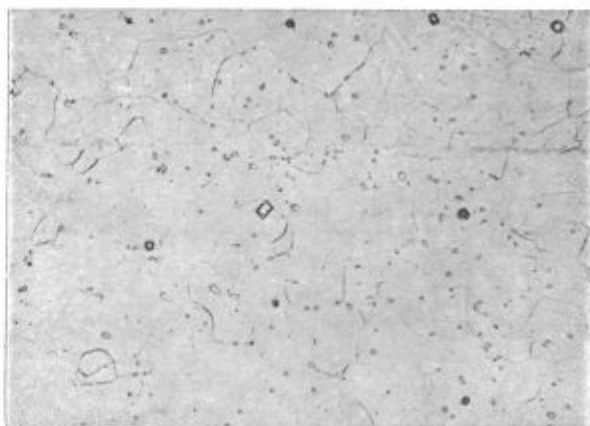
2. STRUKTURA

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

raztopom osnovne mase jekla izoliramo in nato izolat analiziramo z rentgensko strukturno analizo. Jeklena litina ČL. 4574 vsebuje okrog 0,5 % karbidov vrste NbC in okrog 0,05 % faze σ , če je gašena s temperature 1050 °C. V surovem stanju je karbidov nekoliko manj, faze σ pa več. Če povečamo temperaturo gašenja, faza σ povsem izgine. Temperature gašenja nad 1100 °C niso priporočljive, ker začne oksidirati krom — v izolatu dobimo Cr₂O₃. Na rentgenogramu izolata je mogoče identificirati še reflekse sulfidnih vključkov.

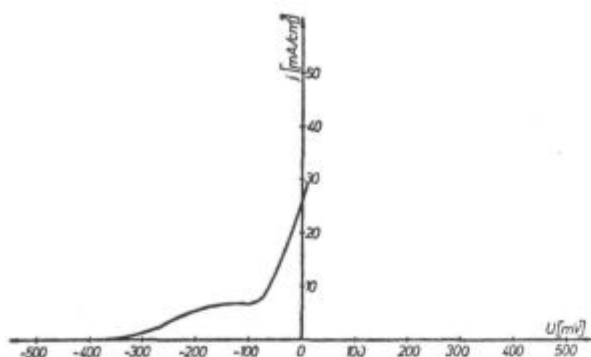


Slika 1
Posnetek vzdolžnega obrusa iz gredice 150 mm × 150 mm;
jeklo Č. 4574 (pov. 100 ×)



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

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



Slika 3

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

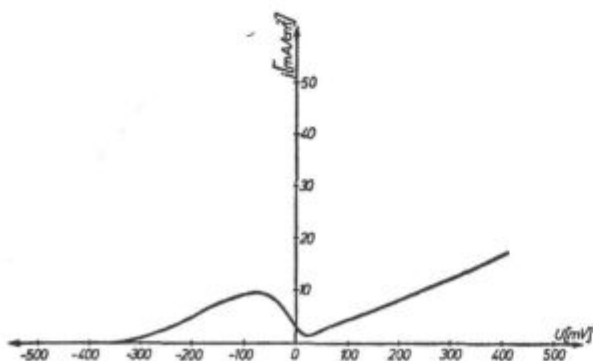
Jeklo Č. 4574 vsebuje v gašenem stanju okrog 0,3 % titanovega karbonitrida Ti C, N. Faze σ tu skoraj nikoli ne najdemo.

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

3. KOROZIJSKA ODPORNOST

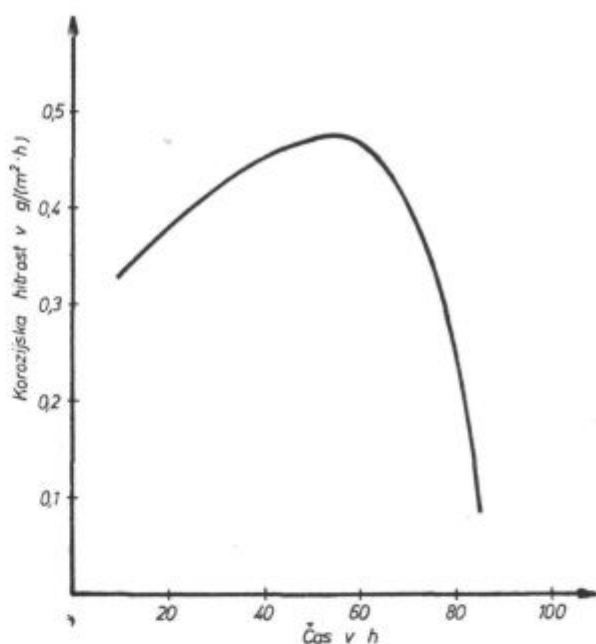
To je ena izmed najvažnejših lastnosti materiala za nerjavne ventile. Preizkušamo jo na tri načine:

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



Slika 4

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

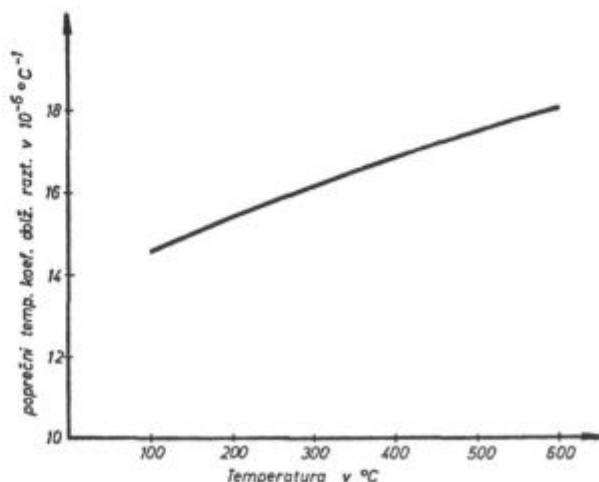


Slika 4 a

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

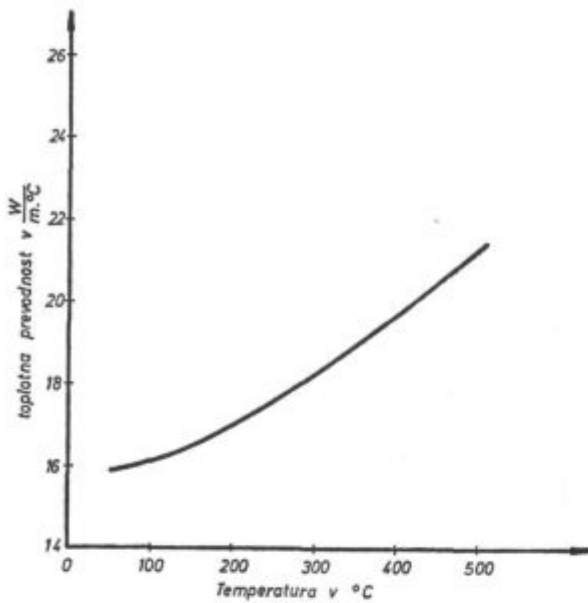
b) Z ugotavljanjem odpornosti proti interkristalni koroziji. Preizkušane položimo na bakrene ostružke in vse skupaj preplavimo z raztopino 160 g bakrovega sulfata in 100 ml koncentrirane žveplene kisline v 1000 ml vode. Preizkus traja 24 ur, raztopina mora vreti. Na koncu preizkušane prepognemo za 90°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

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



Slika 5

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



Slika 6

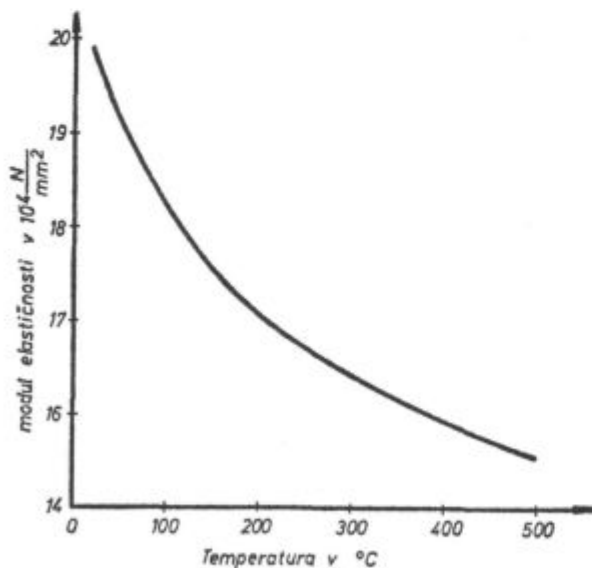
Spreminjanje toplotne prevodnosti jekla C.4574 s temperaturo

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

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

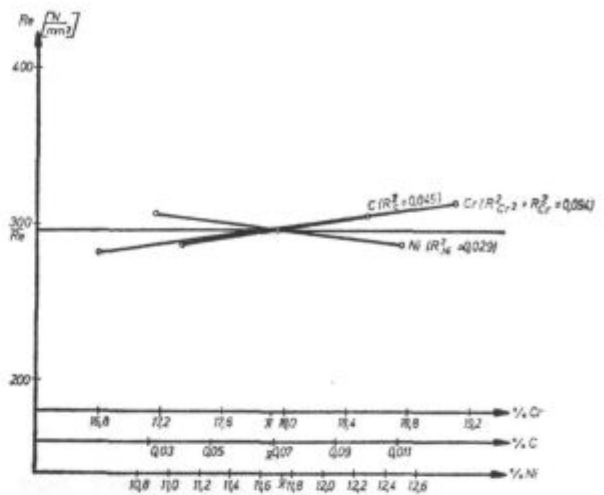
4. FIZIKALNE LASTNOSTI

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



Slika 7

Spreminjanje modula elastičnosti jekla C.4574 s temperaturo



Slika 8

Peč 5

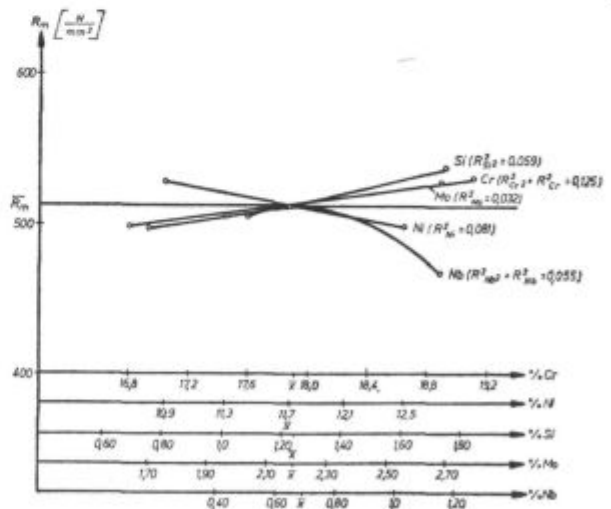
Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980
 Obdelava 503305, enačba št. 1, korak 4
 N = 551 P. EN. > 99,9% R² = 0,168 R = 0,41
 1,96 Sxy = 27,2 N/mm²

Tudi po različnih načinih toplotne obdelave se bistveno ne spremeni. Navadno damo poprečno vrednost temperaturnega koeficienta dolžinskega raztezka med sobno in določeno temperaturo T, to je $\bar{\alpha}_T$, ki je definiran takole:

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

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

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



Slika 9

Peč 5

Prokron 12 sp. L, gašeno v lab. kal. v letu 1980
 Obdelava 503305, enačba št. 2, korak 7
 N = 551 P. EN. > 99,9% R² = 0,352 R = 0,59
 1,96 Sxy = 21,1 N/mm²

Tabela 1

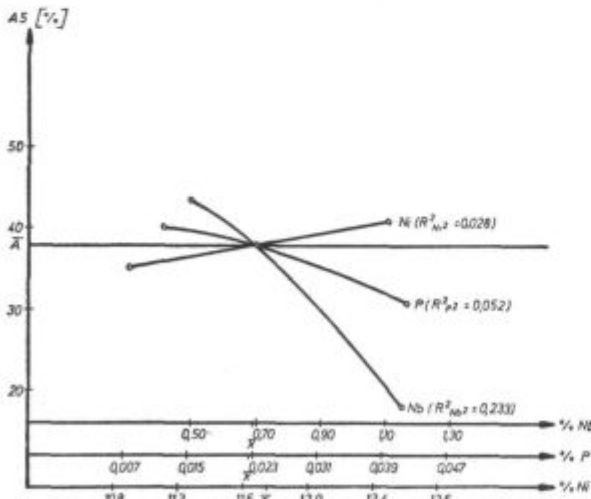
| lastnost | Č 4574 | | ČL 4574 | |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| | aritmetična srednja vrednost | standardni odklon | aritmetična srednja vrednost | standardni odklon |
| R_c v $\frac{N}{mm^2}$ | 295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

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

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

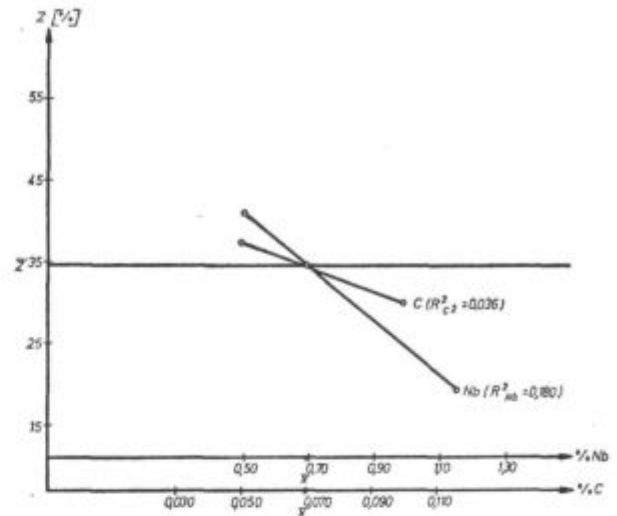
Odvisnost toplotne prevodnosti od temperature je prikazana na sl. 6 in je skoraj enaka za Č. 4574 in ČL. 4574.

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



Slika 10
Peč 5

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



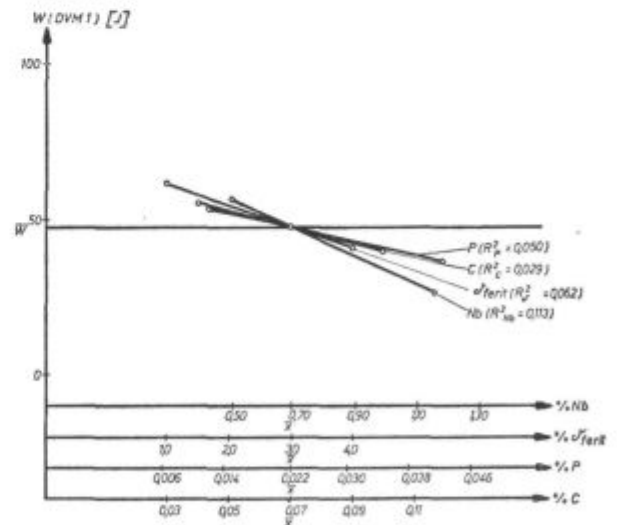
Slika 11
Peč 5

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

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

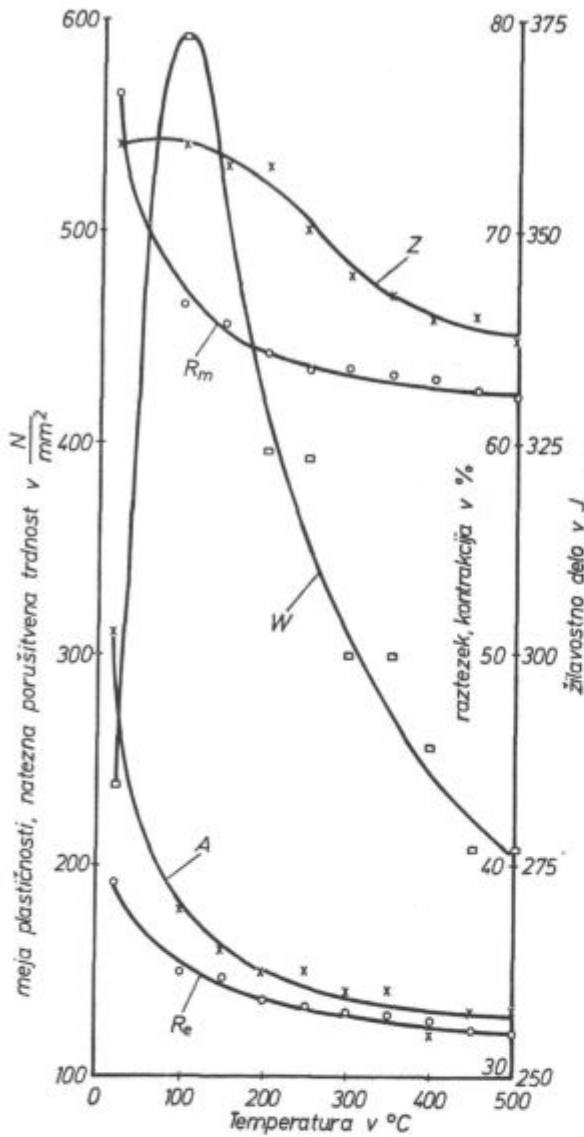
5. MEHANSKE LASTNOSTI

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



Slika 12
Peč 5

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



Slika 13

Spreminjanje mehanskih lastnosti jekla Č. 4574 s temperaturo

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

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

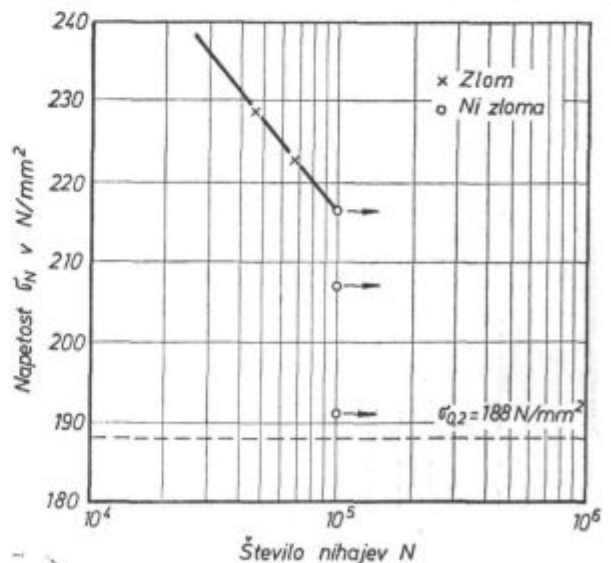
b) Rezultati meritev mehanskih lastnosti jekla Č. 4574 (talina 18500 z 0,04 % C) pri povišanih temperaturah so prikazani na sl. 13. Trajni statični preizkus istega jekla pri temperaturi 450 °C je pokazal, da se raztezek med 1000-urno obremenitvijo

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

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

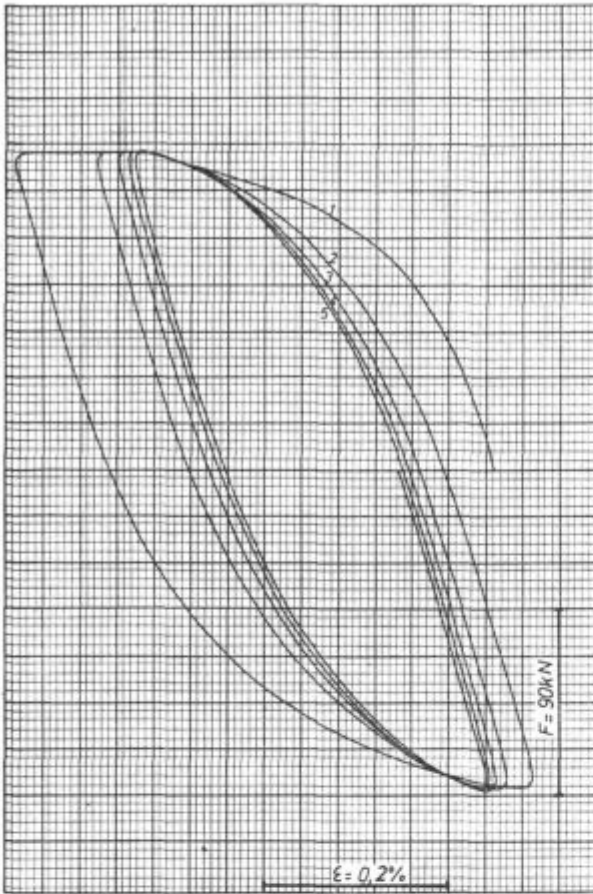
Na sl. 14 je prikazana odvisnost števila zdržanih nihajev od amplitude napetosti pri čistem izmeničnem nihanju. Znak x pomeni, da se je preizkušavec zlomil, znak o → pa, da je preizkušavec vzdržal 10⁵ nihajev. Vidimo, da je časovna dinamična trdnost za 10⁵ nihajev 216 N/mm², kar je za okrog 15 % več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

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



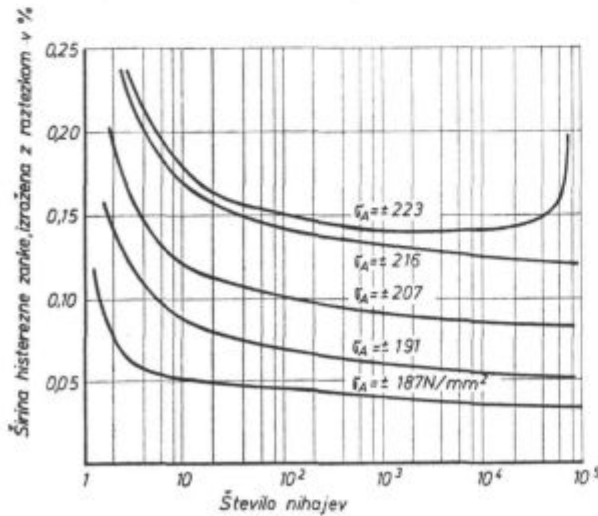
Slika 14

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

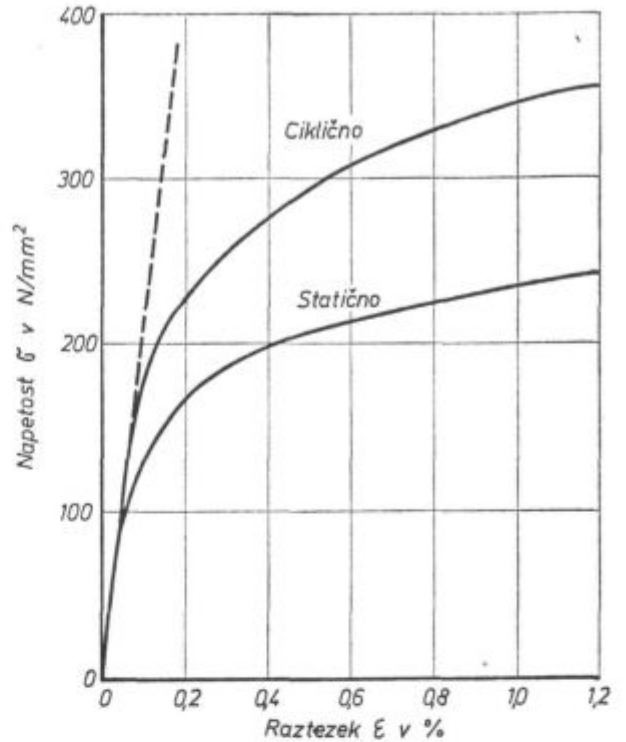


Slika 15
Zapis prvih petih nihajev pri amplitudi napetosti 216 N/mm²

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

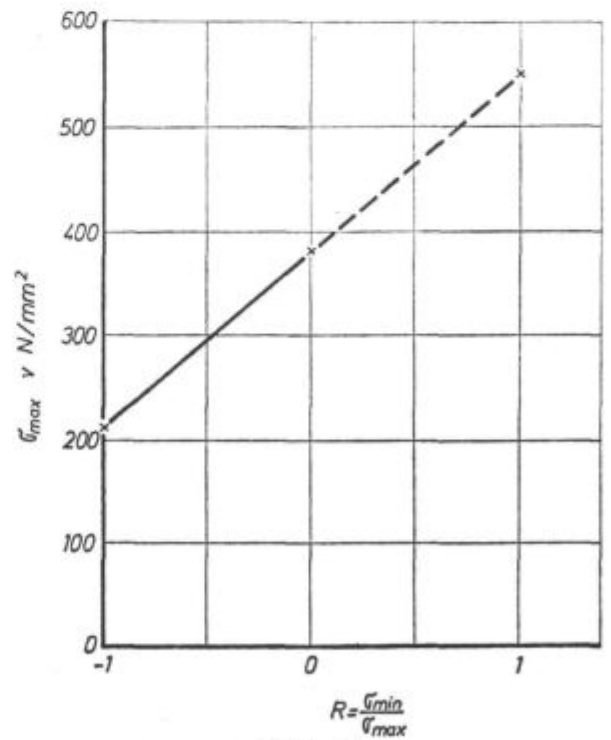


Slika 16
Širina histerezne zanke v odvisnosti od amplitude napetosti in števila nihajev



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

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



Slika 18
Diagram utrjevanja po Mooru, Kommerusu in Jasperju za jeklo Prokron 12 sp.

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

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

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

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

Težke konice, dleta in sekači za hidravlična kladiva nov proizvod Železarne Ravne s področja finalnih izdelkov

Železarna Ravne

Jože Pšeničnik

Za nadomestitev proizvodov iz uvoza smo se v Železarni Ravne lotili osvajanja visokokvalitetnega Ni-Cr-Mo jekla za poboljšanje, ki bi zadostilo zahtevam visokih dinamičnih upogibnih in drugih obremenitev, za izdelavo zahtevnih strojnih delov, kot so dleta, konice in sekači za hidravlična razbijalna kladiva. Doseženo kakovost nam je omogočila sodobna metalurška tehnologija po EPŽ postopku, sodobna predelava in toplotna obdelava.

Sodobno gradbeništvo in druge veje industrije se opremljajo z vedno bolj storilnimi stroji, z montiranimi hidravličnimi kladivi z 200 do 1000 udarci na minuto, z udarno energijo od 450 do 4500 J. Uporaba teh strojev ima zelo široko paleto uporabnosti, v glavnem v gradbeništvu in na drugih področjih:

- v kamnolomih za drobljenje skal različnih velikosti in trdot;
- za izdelavo temeljev pri novogradnjah na kamnitih terenih, za izdelavo cestnih tras;
- pri komunalnih delih za kopanje rovov, za polaganje vodovodnih cevi, telefonskih in elektro kablov;
- v črni in barvni metalurgiji za rušenje peči in prebijanje skorje v aluminijški industriji;
- pri delih v industriji stekla, rudnikih in drugih podobnih delih.

Za visoko storilnost so potrebna visokokvalitetna hidravlična kladiva, ki so prilagojena posamezni veji industrije po hitrosti udarjanja, rušilni moči, kakor tudi po obliki konice.

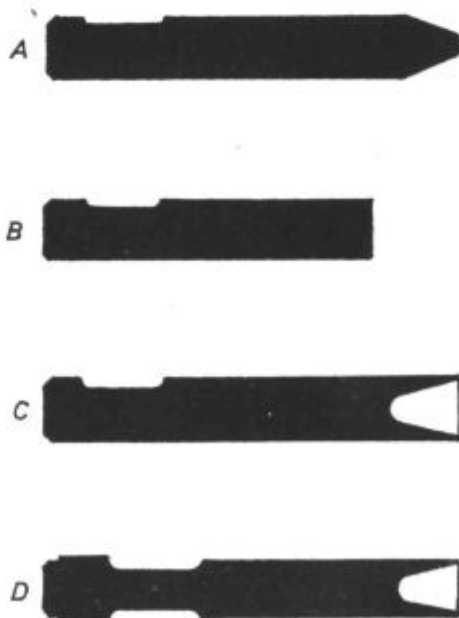
V Jugoslaviji uporabljajo veliko tipov teh kladiv na zelo različnih področjih. Železarna Ravne se tudi na tem področju vključuje, saj smo že razvili hidravlično odkopno kladivo tipa RRH 30, v kratkem pa se bomo lotili tudi osvajanja težjih hidravličnih kladiv teže 36, 200, 750 kg.

Najpomembnejši člen v verigi uspešnega dela s hidravličnimi kladivi je vzdržljivost orodja, ki je direktno izpostavljeno dinamičnim upogibnim in drugim obremenitvam, saj obdelava kamenin v svojih mnogovrstnih oblikah in trdotah zahteva orodja, ki morajo premagati vse te ovire, obenem

pa morajo zdržati korak z razvojem visoko storilnih strojev in vedno večjimi zahtevami. Za zelo obsežno področje izdelave orodij uporabljamo novo Ni-Cr-Mo EPŽ jeklo z oznako 35 NCD 16 za poboljšanje. Ker je standardizacija orodij na tem področju zaradi različnih tipov uvoženih strojev otežena, sprejemamo individualna naročila po dostavljenih načrtih. Nekateri kupci, kot so PAP Ljubljana, GRADIS Ljubljana, Primorje Ajdovščina, TGA Kidričevo, Ingrad Celje, PTT Ljutomer in drugi, so se že prepričali o odlični kvaliteti naših orodij, ki so enakovredna ali celo prekašajo vzdržljivost orodij, uvoženih od vodilnih evropskih firm.

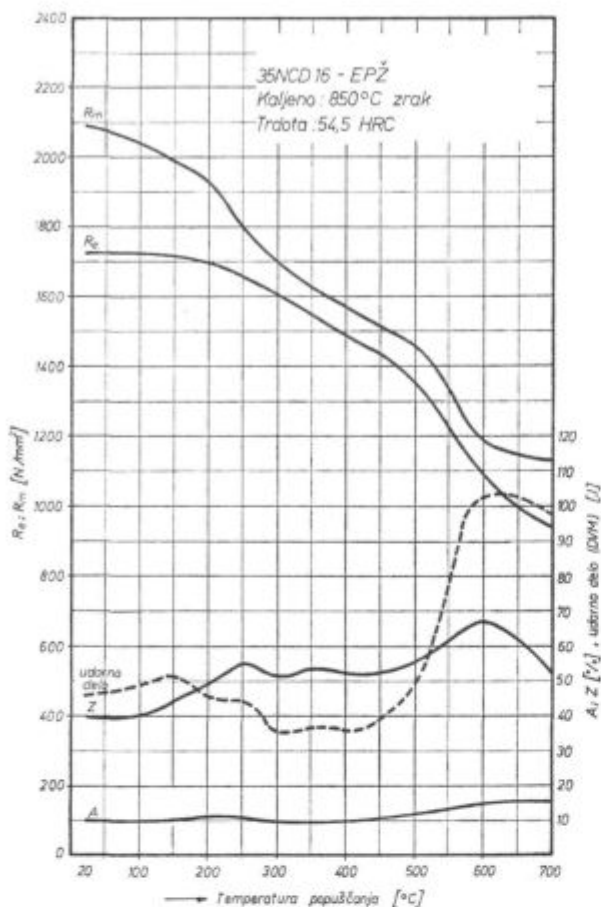
Izdelujemo konice, dleta in sekače raznih oblik, od premera 80 do 150 mm, kot kaže slika 1.

Konice za območje manjših in srednjih premerov v glavnem izdelujemo iz jekla Č 1942 in Č 6444. Pri kaljenju jekla Č 1942 dosežemo maksimalno globino kaljene plasti 2,5 mm z žilavim jedrom, vendar to jeklo pri večjih premerih po toplotni



Slika 1

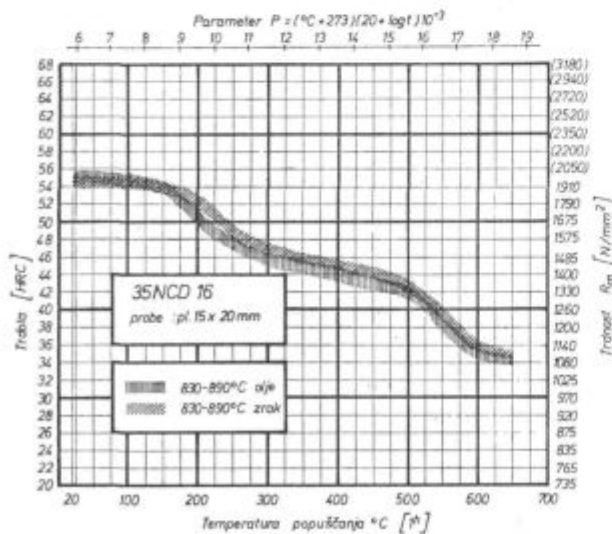
RAZNE OBLIKE konic za hidravlična kladiva



Slika 2

MEHANSKE LASTNOSTI za jeklo 35NCD — 16 — EPZ

obdelavi doseže premajhne globine kaljene plasti. Jeklo Č 6444 pri izdelavi konic večjih premerov prav tako ni pokazalo zadovoljivih rezultatov, ker so nastajali utrujenostni lomi. Zato smo razvili



Slika 3

Popuščni diagram za jeklo 35NCD — 16 za kaljenje v olju in na zraku



Slika 4

Težka konica montirana na delovni stroj »rovokopač« pri delu v kamnolomu

visokolegirano Ni-Cr-Mo EPŽ jeklo z nizko vsebnostjo žvepla in nečistoč, oznake 35 NCD 16, ki zaradi kompleksnega legiranja dosega visoke mehanske lastnosti (slika 2) in odpornosti proti dinamičnim obremenitvam, zadovoljuje vse pogoje, ki jih je pred nas postavila sodobna strojna industrija.

Zaradi zahtevne toplotne obdelave, ki mora biti zelo skrbno izvedena, smo se odločili, da izdelujemo le finalne izdelke po zahtevah načrtov, v trdotah od 45—50 HRC po diagramu (slika 3).

Uporaba naših orodij za hidravlična kladiva je zelo široka, saj jih lahko uporabljamo pri delovnih pogojih od minus 60 °C do plus 250 °C, ker se mehanske lastnosti v tem območju le minimalno spreminjajo.



Slika 5

Detajl razbijanja skal v kamnolomu s pomočjo »težke konice«

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani dr. Jože Rodič, dipl. inž., Franc
Mlakar, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž.,
Darko Bradaškja, tehnični urednik

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341
int. 800 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj

VSEBINA

UDK: 669.15 — 194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS-e, 1—73

Metalurgija — vakuumška metalurgija — termodinamika

N. Smajić

Termodinamične osnove proizvodnje nerjavnega jekla, II. del

Železarski zbornik 17 (1983) 2 S 57—62

Delo obravnava problem selektivne oksidacije ogljika med oksidacijsko fazo izdelave nerjavnega jekla po sodobnem duplex postopku elektro obločna peč — VOD naprava.

Avtorski izvleček

UDK: 669.162.275.1

ASM/SLA: D11n, AD-a

Metalurgija — železarstvo

G. Todorović, J. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta, J. Zapušek

Razžveplanje sivlega grodlja s kalcijevim karbidom

Železarski zbornik 17 (1983) 2 S 63—68

Opisano je razžveplanje sivlega grodlja s kalcijevim karbidom granulacije od 0,3—0,7 mm in 0—1,0 mm. Poskusi so narejeni v praksi in sicer z vpihovalno in mešalno napravo. Pri obeh vrstah poskusov so bile plavžne žilindre kisle (CaO/SiO_2 približno 0,8). Preiskave so pokazale, da se pri vpihovanju kalcijevega karbida granulacije od 0,3—0,7 mm doseže stopnja razžveplanja med 73 in 85 % pri probi 7 do 10 kg CaC_2 /t grodlja. Višje stopnje razžveplanja so dosežene pri razžveplanju sivlega grodlja z mešalno napravo, zaradi večje porabe kalcijevega karbida na tono grodlja. Toda, pri isti porabi razžvepevalca so boljši rezultati doseženi z vpihovanjem

Avtorski izvleček

UDK: 621.783.224.2:621.78.01.6

ASM/SLA: F21b

Metalurgija — globinske peči — ogrevanje blokov — začetni pogoji

B. Brudar

Računanje začetnih pogojev pri ogrevanju blokov v globinskih pečeh

Železarski zbornik 17 (1983) 2 S 69—76

Pred zalaganjem v globinsko peč, blok izvlečemo iz kokile in ga pustimo, da se hladi na zraku. Začetno temperaturno porazdelitev v notranjosti bloka navadno izberemo tako, da se izračunani in izmerjeni časovni potek temperature na površini čim bolj ujemata. Pri tem izhajamo iz predpostavke, da je robni pogoj znan. V članku pa je opisan postopek, kako rešimo ta problem, če so tudi robni pogoji neznan. Navedena sta dva primera v eni in dveh dimenzijah.

Avtorski izvleček

UDK: 658.274:621.797

ASM/SLA: T7f, A5, 18—71

Proizvodne naprave — zanesljivost — vzdrževanje — tehniški sistemi

J. Bratina

Zanesljivost proizvodnih naprav

Železarski zbornik 17 (1983) 2 S 77—84

Važen parameter proizvodnih tehniških sistemov je njihova razpoložljivost, tj. delež časa, ko so naprave sposobne obratovati; razpoložljivost je tako ekonomski parameter kakor tudi merilo neke tehniške opremljenosti in proizvodne organiziranosti. Odvisna je od zanesljivosti oz. od pričakovane življenjske dobe elementov, iz katerih je proizvodna naprava sestavljena, od načina gradnje teh naprav ter od vrste ukrepov in potrebnih opravil posluževalnega in vzdrževalnega osebja. Okvare, ki prekinjajo proizvodnjo, povzročajo škodo zaradi zastojev v proizvodnji in zaradi stroškov popravil. Poznavanje vzrokov okvar in zakonitosti, s pomočjo katerih se dajo zgraditi proizvodne naprave z večjo stopnjo razpoložljivosti, je pri današnji vedno bolj kompleksni in avtomatizirani proizvodnji važno tako za vodenje in planiranje proizvodnje, kakor tudi za gradnjo teh naprav in njih vzdrževanje.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 669.162.275.1

ASM/SLA: D11n, AD-a

Metallurgie — Roheisengewinnung — Entschwefelung

G. Todorović, J. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta, J. Zapušek

Entschwefelung von Gusseisen mit Kalziumkarbid

Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 S 63—68

Die Entschwefelung von Gusseisen mit Kalziumkarbid der Korngrösse von 0,3–0,7 mm und 0–1,0 mm wird beschrieben. Die Versuche sind im Betrieb mit einer Einblase und einer Mischanlage durchgeführt worden. Bei den beiden Versuchsreihen ist mit saurer Schlacke (CaO/SiO₂ ungefähr 0,8) gefahren worden. Die Untersuchungen zeigten, dass beim Einblasen von Kalziumkarbid der Korngrösse von 0,3–0,7 mm ein Entschwefelungsgrad zwischen 73 und 85 % bei einem Verbrauch von 7 bis 10 kg CaC₂/t Gusseisen erhalten worden ist. Höhere Entschwefelungsgrade sind bei der Entschwefelung von Gusseisen mit einer Mischanlage erhalten worden, vor allem weil der Verbrauch von Kalziumkarbid pro Tonne Gusseisen grösser war. Jedoch sind bei derselben Entschwefelungsmittelmenge bessere Ergebnisse mit dem Einblasen von CaC₂ erreicht worden.

Auszug des Autors

UDK: 669.15 — 194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS-e, 1—73

Metallurgie — Vakuummetallurgie — Thermodynamik

N. Smajić

Thermodynamische Grundlagen der Erzeugung von nichtrostenden Stählen 2. Teil

Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 S 57—62

Im Artikel wird das Problem der selektiven Oxydation von Kohlenstoff während der Oxydationsperiode bei der Erzeugung der nichtrostenden Stähle nach dem Duplexverfahren Lichtbogenofen — VOD Anlage behandelt.

Auszug des Autors

UDK: 658.274:621.797

ASM/SLA: T7f, A5, 18—71

Produktionsanlagen — Zuverlässigkeit — Wartung — technische Systeme

J. Bratina

Zuverlässigkeit der Produktionsanlagen

Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 S 77—84

Ein wichtiger Parameter der technischen Produktionssysteme ist deren Verfügbarkeit, dass ist der Teil der Zeit in dem die Anlagen produktionsfähig sind. Die Verfügbarkeit ist demnach sowohl ein ökonomischer Parameter und ein Mass der Organisationsfähigkeit. Sie ist abhängig von der Zuverlässigkeit bzw. von der erwarteten Lebensdauer der Elemente an welchen die Produktionsanlage zusammengesetzt ist, von der Bauart und einer Reihe von Massregeln und der nötigen Arbeiten des Bedienungs und Wartungspersonals. Beschädigungen die Produktion unterbrechen, verursachen Schaden sowohl wegen der Stockung in der Produktion wie auch wegen des Reparaturaufwandes. Die Kenntnis der Schadensursachen und der Gesetzmässigkeiten mit Hilfe welcher die Produktionsanlagen mit grösserem Verfügbarkeitsgrad gebaut werden können ist bei der heutigen immer mehr komplexer und automatisierter Produktion wichtig, sowohl für die Führung und Produktionsplanung, wie auch für den Anlagenbau und deren Wartung.

Auszug des Autors

UDK: 621.783.224.2:621.78.01.6

ASM/SLA: F21b

Metallurgie — Tiefofen — Erwärmen von Blöcken — Anfangsbedingungen.

B. Brudar

Mathematische Bestimmung der Anfangsbedingungen beim Erwärmen von Blöcken in Tiefofen

Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 S 69—76

Vor dem Einsetzen in den Tiefofen wird der Block aus der Kokille gezogen und kühlt an der Luft ab. Die anfängliche Temperaturverteilung im inneren des Blockes wird üblicherweise so ausgewählt, dass der ausgerechnete und ausgemessene Zeitverlauf der Temperatur an der Oberfläche möglichst gut übereinstimmen. Dabei wird vorausgesetzt dass die Randbedingung bekannt ist. Im Artikel wird ein Verfahren beschrieben wie das Problem zu lösen ist wenn auch die Randbedingungen nicht bekannt sind. Zwei Beispiele werden angegeben, in einer und zwei Dimensionen.

Auszug des Autors

CONTENTS

UDK: 669.15 — 194.56:669.187.2
ASM/SLA: SS-e, 1-73

Metallurgy — Vacuum metallurgy — Thermodynamics

N. Smajić

Thermodynamic Principles of Manufacturing Stainless Steel Part II
Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 P 57-62

The paper treats the problem of selective oxidation of carbon during the oxidation phase of manufacturing stainless steel by the modern duplex process of electric arc furnace and VOD set.

Author's Abstract

UDK: 669.162.275.1
ASM/SLA: D11n, AD-a

Metallurgy — Ferrous Metallurgy

G. Todorović, J. Lamut, V. Prešeren, M. Plahuta, J. Zapušek
Desulphurisation of Grey Pig Iron by Calcium Carbide
Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 P 63-68

Desulphurisation of grey pig iron with calcium carbide of grain sizes 0.3 to 0.7 mm and 0 to 1.0 mm is described. Experiments were made in industrial conditions applying injection and mixing equipment. In both experiments the blast-furnace slags were acid (CaO/SiO₂ ratio approximately 0.8). The investigations showed that desulphurisation degree of 73 to 85 % was achieved when 0.3 to 0.7 mm calcium carbide was injected while its consumption was 7 to 10 kg CaC₂/t pig iron. Higher desulphurisation degrees were obtained with the mixing equipment due to higher carbide consumption per ton pig iron. At the same consumption of desulphurising agent the injection of CaC₂ gives better results.

Author's Abstract

UDK: 621.783.224.2:621.78.01.6
ASM/SLA: F21b

Metallurgy — Soaking Pits — Heating of Ingots — Initial Conditions

B. Brudar

The Calculation of the Initial Conditions with the Heating of Ingots in Soaking Pits
Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 P 69-76

Before charging into a soaking pit the ingot is stripped and left outside to cool in the air. The initial temperature distribution inside the ingot is usually chosen so that the calculated and the measured time dependence of the surface temperature agree as much as possible. For all that the boundary condition is supposed to be known. In the article a special procedure is described how to solve this problem if also boundary conditions are not known. There are two examples given in one and in two dimensions.

Author's Abstract

UDK: 658.274:621.797
ASM/SLA: T7f, A5, 18-71

Production Equipment — Reliability — Maintenance — Technical Systems

J. Bratina

Reliability of Production Equipment
Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 P 77-84

Important parameter of production technical systems is their availability, i. e. portion of time when equipment can operate; the availability is thus an economical parameter and also the measure of being technically equipped and how the production process is organized. It depends on the reliability or on the expected life of components in the production set, on the construction of the equipment, and on the variety of measures and necessary manipulations of operators and maintainers. Breaks interrupt the production process thus causing costs due to idling and due to repairs. Knowledge of reasons of breaks and of rules which enable to construct production sets with a higher degree of availability is in modern complex and automatized production cycle important for operating and planning of the production process, and also for constructing the equipment and its maintenance.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 669.162.275.1
ASM/SLA: D11n, AD-a

Металлургия — черная металлургия

G. Todorović, J. Lamut, V. Prešern, M. Plahuta, J. Zarušek

Удаление серы из серого чугуна с карбидом кальция.
Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 С 63—68

Приведено описание процесса удаления серы из серого чугуна с применением карбида кальция грануляцией 0,3—0,7 мм и 0—1,0 мм. Исследование было выполнено промышленным способом с применением смесительной и продувочной установок. В обоих вариантах опытов кислотность шлака CaO/SiO_2 составляла прибл. 0,8. Исследования показали, что при вакуумации карбида кальция грануляции 0,3—0,7 мм в количестве 7 до 10 кг на тону чугуна степень десульфурации была между 73 и 85%. Более высокую степень десульфурации серого чугуна в смесительной установке получена с увеличенным количества карбида кальция. Но при расходе одинакового количества десульфураторов результаты с вакуумацией CaC_2 лучше.

Автореф.

UDK: 669.15 — 194.56:669.187.2
ASM/SLA: SS-e, 1—73

Металлургия — вакуумная металлургия — термодинамика.

N. Smajić

Термодинамические основы производства нержавеющей стали, II часть.
Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 С 57—62

В работе рассмотрен вопрос селективного окисления углерода во время действия окислительной фазы изготовления нержавеющей стали по современному дуплекс-процессу: дуговая электропечь-BPV установка.

Автореф.

UDK: 658.274:621.797
ASM/SLA: T7f, A5, 18—71

Производственные устройства — надёжность — содержание — технические системы.

J. Vratina

Надёжность производственных устройств.

Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 С 77—84

Существенный параметр производственных технических систем является возможность пользования ими, т. е. доля времени работоспособности устройства. Возможность пользования устройством представляет не только экономический параметр, но является также как оценка технического оборудования и производственной организованности. Возможность пользования производственных устройств зависит также от надёжности относительно от предвиденной долговечности элементов из которых производственное устройство составлено, от исполнения конструкции этих устройств, а также от целого ряда мер со стороны обслуживающего и ремонтного персонала, что касается технического обслуживания и необходимых ремонтов. Дефекты, вследствие которых наступает остановка производственного процесса причиняет ущерб в производстве и вследствие ремонтных расходов.

Познание причины дефектов и закономерностей при помощи, которых есть возможность выполнить конструкцию производственных устройств с более высокой степени использования имеет большое значение при теперешней все более комплексном и автоматизированном производстве, что весьма существенно не только при управлении и планировании производства, но также при сооружении и содержании этих устройств.

Автореф.

UDK: 621.783.224.2:621.78.01.6
ASM/SLA: F21b

Металлургия — нагревательные колодцы — нагрев блоков — начальные условия.

B. Brudar

Вычисление начальных условий при нагреве блоков в нагревательных колодцах.

Zelezarski zbornik 17 (1983) 2 С 69—76

До загрузки блока в нагревательный колодец его надо вытянуть из изложницы и охладить на воздухе. Начальное температурное распределение во внутренности блока обыкновенно выбирается так, чтобы вычисленный и отмеренный временный температурный ход на поверхности блока между собой чем больше согласовались. При этом мы исходим из предположения, что нам оконочное условие известно.

В статье дано описание способа, как разрешить этот вопрос, если оконечные условия неизвестны. Приведены два примера в одном и в двух размерах.

Автореф.

