

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Todorovič Gojko, J. Lamut — Metalurški inštitut Ljubljana, L. Šketa, M. Tolar — Železarna Jesenice STUDIJSKA REDUKCIJA SILICIJA IZ ŽELEZOVH RUD	1
Vodopivec Franc, M. Torkar, N. Sma- jič — Metalurški inštitut Ljubljana RAZISKAVA VPLIVA ALUMINIJA NA STRJEVALNO STRUKTURO IN ZAČETNO PLASTIČNOST KONTILI- TIH GREDIC	7
Koselj Anton — Železarna Jesenice ELEKTROOBLOČNA PEČ, NJEN VPLIV NA ELEK- TROENERGETSKI SISTEM IN KOMPENZACIJA JA- LOVE MOČI V JEKLARNI 2 V ŽELEZARNI JESENICE	17
Bratina Janez — Železarna Ravne GOSPODARJENJE Z ELEKTRIČNO ENERGIJO V SLOVENSkih ŽELEZARNAH	27
Tehnične novice Rodič Jože — Metalurški inštitut Ljubljana AACHENSKI JEKLARSKI KOLOKVIJ »ASK« — PO- MEMBEN SHOD PROIZVAJALCEV IN PREDELO- VALCEV	31
Povzetki XXXVIII. Posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih, Portorož, 6. in 7. oktober, 1988	41

LETO 23 ŠT. 1 — 1989

ŽEZB BQ 23 (1) 1 — 44 (1989)

ŽELEZARSKI ZBORNIK

Izdajajo skupno Železarne Jesenice, Ravne, Štore in Metalurški inštitut Ljubljana

UREDNIŠTVO

Glavni in odgovorni urednik: J. Arh

Uredniški odbor: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Tehnični urednik: J. Jamar

Lektor: R. Razinger

Prevodi: A. Paulin, N. Smajić (angleški jezik), J. Arh (nemški jezik), P. Berger (ruski jezik)

NASLOV UREDNIŠTVA: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Yugoslavia

TISK: TK Gorenjski tisk, Kranj

IZDAJATELJSKI SVET:

prof. dr. M. Gabrovšek (predsednik), Železarna Jesenice
dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

prof. dr. V. Čižman, Univerza v Ljubljani

prof. dr. D. Drobnjak, Univerza v Beogradu

prof. dr. B. Koroušič, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. L. Kosec, Univerza v Ljubljani

prof. dr. J. Krajcar, Metalurški inštitut Sisak

prof. dr. A. Križman, Univerza v Mariboru

dr. K. Kuzman, Univerza v Ljubljani

dr. A. Kveder, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. A. Paulin, Univerza v Ljubljani

prof. dr. Z. Pašalić, Železarna Zenica

prof. dr. C. Pelhan, Univerza v Ljubljani

prof. dr. V. Prosenc, Univerza v Ljubljani

prof. dr. B. Sicherl, Univerza v Ljubljani

dr. N. Smajić, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. J. Sušnik, Zdravstveni dom Ravne

dr. L. Vehovar, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. F. Vodopivec, Metalurški inštitut Ljubljana

Published jointly by the Jesenice, Ravne and Štore Steelworks, and The Institute of Metallurgy Ljubljana

EDITORIAL STAFF

Editor: J. Arh

Associate Editors: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Production editor: J. Jamar

Lector: R. Razinger

Translations: A. Paulin, N. Smajić (English), J. Arh (German), P. Berger (Russian)

EDITORIAL ADDRESS: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Yugoslavia

PRINT: TK Gorenjski tisk, Kranj

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

prof. dr. M. Gabrovšek (Chairman), Iron and Steel Works, Jesenice

Dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

Prof. Dr. V. Čižman, University of Ljubljana

Prof. Dr. D. Drobnjak, University of Belgrade

Prof. Dr. B. Koroušič, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. L. Kosec, University of Ljubljana

Prof. Dr. J. Krajcar, Institute of Metallurgy, Sisak

Prof. Dr. A. Križman, University of Maribor

Dr. K. Kuzman, University of Ljubljana

Dr. A. Kveder, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. A. Paulin, University of Ljubljana

Prof. Dr. Z. Pašalić, Iron and Steel Works, Zenica

Prof. Dr. C. Pelhan, University of Ljubljana

Prof. Dr. V. Prosenc, University of Ljubljana

Prof. Dr. B. Sicherl, University of Ljubljana

Dr. N. Smajić, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. J. Sušnik, Health Centre, Ravne

Dr. L. Vehovar, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. F. Vodopivec, Institute of Metallurgy, Ljubljana

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 23

LJUBLJANA

MAREC 1989

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	Страница
G. Todorovič, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Študij redukcije silicija iz železovih rud UDK: 669.094.2:669.046.543:622.-341.1 ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52	G. Todorovič, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Studie der Reduktion von Silizium aus Eisenerzen UDK: 669.094.2:669.046.543:622.-341.1 ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52	G. Todorovič, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Study of Silicon Reduction from Iron Ores UDK: 669.094.2:669.046.543:622.-341.1 ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52	Содержание Страница G. Todorovič, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Исследование восстановления кремния из руд содержащийся железо. UDK: 669.094.2:669.046.543:622.-341.1 ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52
F. Vodopivec, M. Torkar, N. Smajić Raziskava vpliva aluminija na strjevalno strukturo in začetno plastičnost kontilnih gredic UDK: 621.74.047:539.214:669.786 ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp	F. Vodopivec, M. Torkar, N. Smajić Untersuchungen über den Einfluss von Aluminium und Stickstoff auf die Erstarrungsstruktur und die Anfangsverformungsfähigkeit von stranggegossenen Knüppeln UDK: 621.74.047:539.214:669.786 ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp	F. Vodopivec, M. Torkar, N. Smajić Investigation of the Influence of Aluminium and Nitrogen on the Solidification Structure and Initial Workability of Continuously Cast Billets UDK: 621.74.047:539.214:669.786 ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp	F. Vodopivec, M. Torkar, N. Smajić Исследование влияния алюминия на структуру затвердения и на начальную пластичность непрерывно отлитых заготовок. UDK: 621.74.047:539.214:669.786 ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp
A. Koselj Elektroobločna peč, njen vpliv na elektroenergetski sistem in kompenzacija jalove moči v jeklarni 2 v Železarni Jesenice UDK: 621.365.2:621.3.018 ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f	A. Koselj Der Lichtbogen-Schmelzofen, dessen Einfluss auf das elektroenergetische System und die Kompensation der Blindleistung im Stahlwerk 2 des Hüttenwerkes Jesenice UDK: 621.365.2:621.3.018 ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f	A. Koselj Electric Arc Furnace, its Influence on the Electric Energy Supply Network, and the Compensation of Reactive Power in Steel Plant 2 of Jesenice Steelworks UDK: 621.365.2:621.3.018 ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f	A. Koselj Электрическая дуговая печь, ее влияние на электротенергическую систему и компенсация яловой мощности в сталеплавильном цехе 2 металлургического завода Железарна Есенице. UDK: 621.365.2: 621.3.018 ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f
J. Bratina Gospodarjenje z električno energijo v Slovenskih železarnah UDK: 669.187.2:621.365.003.1 ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f	J. Bratina Bewirtschaftung mit elektrischer Energie in slowenischen Hüttenwerken UDK: 669.187.2:621.365.003.1 ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f	J. Bratina Economizing Electric Energy in Slovene Steelworks UDK: 669.187.2:621.365.003.1 ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f	J. Bratina Хозяиничанье с электрической энергией в Словенских металлургических заводах. UDK: 669.187.2:621.365.003.1 ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f
Tehnične novice	Technische Nachrichten	Technical News	Технические новости



99301046



Študij redukcije silicija iz železovih rud

G. Todorović*, J. Lamut*, L. Šketa**, M. Tolar**

UDK: 669.094.2:669.046.543:622.341.1
ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si 10—52

Oksidacija in redukcija silicija imata pri različnih metalurških procesih zelo pomembno vlogo. Na porazdelitev silicija med talino in žlindro vplivajo koncentracije ostalih elementov, kot so mangan, ogljik in žveplo. Ostali dejavniki, ki zelo močno vplivajo na vsebnost silicija v talini, so: volumen plavža, bazičnost žlindre, temperatura in čas taljenja, kvaliteta koksa in drugi.

V tem članku bomo obdelali vpliv bazičnosti žlindre, temperature in časa taljenja ter nekaterih drugih dejavnikov na porazdelitev silicija med talino in žlindro.

1.0 UVOD

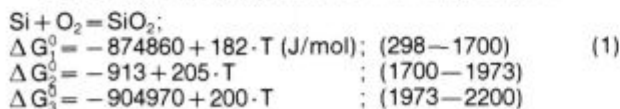
Silicij prihaja v plavž z rudo, talili in pepelom koksa v obliki SiO₂ ali v kompleksnih spojinah s CaO, MgO, Al₂O₃ in FeO. V glavnem je odstotek SiO₂ v rudah znatno višji kot CaO, tako da je jalovina močno kislja. V plavžu se poleg redukcije oksidov železa reducirajo tudi drugi elementi iz svojih spojin in se raztapljajo (razen svinca) v železu.

V odvisnosti od vsebnosti posameznih elementov v grodju je odvisna tudi njegova kvaliteta. Čeprav je v strokovni literaturi na razpolago veliko publikacij o obnašanju silicija v oksidativni in redukativni atmosferi, še vedno dobivamo nove informacije in konkretne preiskovalne rezultate. Zato bomo v tem članku obdelali oksidacijo silicija v nodularni litini, termodinamične odvisnosti in porazdelitev silicija med žlindro in talino pri redukciji sintrov različne bazičnosti, ki so izdelani na osnovi ljubijskega limonita in različnih dodatkov manganove rude. Reducirali smo jih s koksom v Tammannovi peči pri različnih temperaturah in časih trajanja poskusov. Obdelali smo tudi proces redukcije v plavžu, pri čemer je ugotovljeno, da se SiO₂ zelo zgoraj reducira, in sicer prej kot mangan.

2.0 OKSIDACIJA SILICIJA

Dolgo časa so mislili, da silicij tvori samo oksid SiO₂. Odkritje Mendelejevega periodnega sistema in ugotovitve, da se silicij nahaja v skupini z ogljikom in svincem, je usmerilo raziskave k iskanju nižjih oksidov silicija, ki nastajajo kot produkt redukcije SiO₂. Literaturni podatki kažejo¹, da silicij tvori samo en nižji oksid SiO, čeprav so s sintezo dobljeni v laboratoriju Si₃O₄ in Si₃O₂.

Oksidacija silicija² poteka po naslednji enačbi:



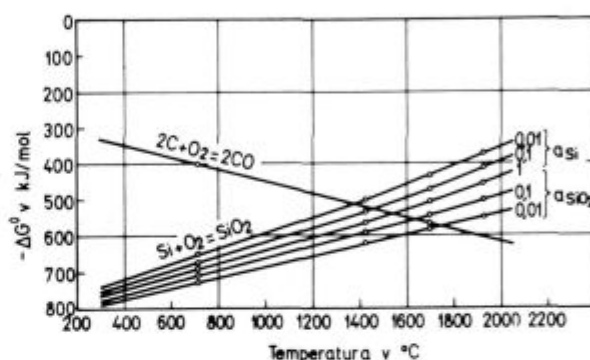
* Metalurški inštitut Ljubljana

** Železarna Jesenice

*** Originalno objavljeno: ŽŽB 23 (1989) 1

**** Rokopis prejet: oktober, 1988

Na osnovi te enačbe lahko sklepamo, da reakcija poteka od leve k desni strani pri nižjih temperaturah. Redukcija SiO₂ poteka pri visokih temperaturah v močno redukativni atmosferi s koksom, ker je SiO₂ zelo stabilen oksid (slika 1).



Slika 1

Diagram $\Delta G^0 - T$ oksidacije silicija.

Fig. 1

Diagram $\Delta G^0 - T$ for oxidation of silicium

2.1 Oksidacija silicija v talini

Da bi dobili grodelj z nizkim odstotkom silicija, je potrebno voditi proces pri nižjih temperaturah in z bazično žlindro. Pri že majhnem nihanju sestave vložka je precej težav pri procesni tehniki. Za oksidacijo silicija iz taline rabimo kisik. Nastali SiO₂ gre v žlindro, kjer se veže na CaO in železove okside.

Znižanje vsebnosti silicija v talini lahko dosežemo tudi s sodo:



Pri tej reakciji se sprošča toplota in sicer 1250 kJ/kg silicija, oziroma 2333 kJ/kg sode. Pri oksidaciji silicija s sodo nastane tudi 2 Na₂O · SiO₂ po naslednji reakciji:



Pri kontaktu sode s talino potekajo tudi druge redukcije in nastajajo različni reakcijski produkti. Žlindre, ki nastajajo pri reakcijah s sodo, imajo nizke viskoznosti. Reakcije oksidacije silicija pri uporabi sode so ekso-termne, če je izkoristek sode visok. Pri nižjih izkoristkih bo treba upoštevati poleg ogretja sode na delovno temperaturo, disociacijo in redukcijo, kar povzroča endo-termne učinke. Praktični rezultati³ kažejo, da pri uporabi sode pade temperatura za 5 do 6 °C na kilogram sode in tona taline.



Desiliciranje taline uspešno poteka s pomočjo sintetičnih žlinder na osnovi železovega oksida in kalcijevega oksida ter dodatkov talil. Železovi oksidi služijo kot oksidanti, CaO pa veže nastali SiO₂.

Talila, predvsem CaF₂, pa znižuje tališče žlinder in s tem povečuje reakcijsko sposobnost. Namesto čistih komponent sistema CaO-FeO_n-CaF₂ uporabljajo v železarnah za znižanje vsebnosti silicija v grodlju sekundarne surovine, kot so škaja, razni prahovi in tudi sinter.

3.0 REDUKCIJA SiO₂

Obnašanje silicija v plavžu in njegova porazdelitev med žlindro in talino je precej odvisno od fizikalnih in kemičnih lastnosti plavžnega vsipa. Če vsip vsebuje kisle, slabo reduktivne rude ali sinter, tedaj se pri temperaturah nastanka primarne žlindre večji del železa nahaja v obliki wüstita, tako da se zaradi prisotnih lahko topljivih železovih silikatov ustvarja zelo zgodaj tekoča kislina žlindra. Apnenec zelo malo sodeluje pri tem procesu. Iz take, lahko topljive kisle žlindre se lahko reducira SiO₂ z ogljikom iz koksa, pri čemer kovinsko železo zelo močno raztaplja silicij. Ta proces je močno izražen, če so kosi apnenca večje granulacije, ker je težji njihov razkroj, tako da zelo pozno prihaja do nastanka bazične žlindre. Preizkušanci, ki so vzeti iz obratovalnih plavžev, so potrdili take trditve. Vsebnost silicija v grodlju v višjih conah plavža je znašala okrog 2 % več, kot v grodlju pri prebodu. To pomeni, da je železova kovinska faza obogatena s silicijem že v conah, ki ležijo iznad cone nastanka primarne bazične žlindre.

Vzporedno je zelo močna termična disociacija apnenca, tako da se z večjimi količinami raztopljenega apnenca v žlindri zmanjšuje vsebnost silicija v grodlju, ker SiO₂ z apnencem tvori stabilne spojine. Pri tem se grodelj, ki je bogat s silicijem, zadržuje z že reduciranim železom in se odstotek silicija v grodlju postopoma zmanjšuje.

V plavžu se SiO₂ reducira pri relativno visokih temperaturah. V teh conah potekajo poleg redukcije med trdno in plinsko fazo še reakcije, v katerih nastopajo tudi tekoče faze. Železo se zaradi raztopljenega ogljika začne taliti pri nekoliko nižjih temperaturah. Primarno bazična žlindra je že nastala in ostanek trdnega vsipa v glavnem sestoji iz apnenca in koksa. Iz teh razlogov lahko pričakujemo, da bo reakcija v teh conah pretežno med tekočo in trdno fazo, ki so počasnejše od heterogenih reakcij, v katerih sodeluje plinska faza. Proces redukcije SiO₂ je endotermen in se s povišanjem temperature pospešuje.

Če plavžni vsip vsebuje lahko reduktivne rude, bo ruda relativno hitro reducirana. Primarna žlindra, ki ne vsebuje zadostne količine nereduciranega FeO, se bo tvorila pri višjih temperaturah in bo vsebovala zadostne količine apna. Zaradi tega bo stopnja redukcije SiO₂ znatno manjša, kar pomeni, da bo odstotek silicija v talini manjši.

Če plavžni vsip vsebuje bazične ali pa samohodne rudne surovine, potem bo razlika v sestavi primarne in končne žlindre zelo majhna. Pri tem ne moremo pričakovati, da se bo zmanjšala stopnja redukcije SiO₂, temveč samo železo naogljjiči. Ko gre za vpliv SiO₂ iz koksa na tvorbo žlindre, je znatno odvisen od SiO₂, ki prihaja z jalovino in dodatki ter tiste količine, ki prihaja s koksom. Če predvidimo, da 70 % SiO₂ iz koksa prihaja v talino pred pihalnicami in če je specifična poraba koksa 650 kg/t grodlja, potem se bazičnost žlindre CaO/SiO₂ = 1,38 v sedlu zmanjša na 1,16 v talilniku plavža. Vendar je pri procesu proizvodnje grodlja s kislimi žlindrami (kot je to

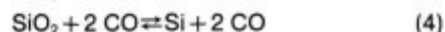
bilo pri proizvodnji sivega grodlja na štorskem elektroplavžu) ta sprememba bazičnosti žlindre znatno manjša, in sicer od 0,76 do 0,72. Na osnovi tega lahko zaključimo, da je vpliv SiO₂ iz pepela koksa znatno večji pri proizvodnji grodlja z bazičnimi žlindrami.

Pri izdelavi livarskega grodlja s povečano vsebnostjo silicija bo treba voditi proces s kislimi žlindrami, čeprav se s povečano vsebnostjo silicija povečuje tudi vsebnost žvepla v grodlju. Zato je potrebno razžveplanje grodlja izvršiti zunaj proizvodnega agregata. Kislina žlindra je težko tekoča in zmanjšuje aktivnosti SiO₂, tako da je potrebno dodajati Al₂O₃, ki v tem primeru deluje kot bazni oksid. Če dodajamo Al₂O₃ v bazično žlindro, potem se povečuje aktivnost SiO₂ in tvori spojine, ki so bolj stabilne kot kalcijev silikat.

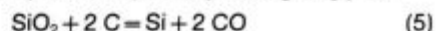
Količina žlindre tudi vpliva na vsebnost silicija v grodlju. Če je količina žlindre večja, je tudi odstotek silicija v grodlju večji, ker se vsebnost SiO₂ v žlindri zelo malo spreminja pri isti vsebnosti silicija v grodlju.⁴ Večja količina žlindre zahteva večjo porabo goriva, zato se pri proizvodnji livarskega grodlja zahteva večji odstotek silicija in večja količina goriva.

Silicij se reducira direktno z ogljikom iz koksa, zato je potrebna visoka temperatura v talilniku plavža. Temperatura v talilniku je tem večja, čim večja je temperatura predgretega zraka. Predgreti zrak, ki je obogaten s kisikom, močno povečuje temperaturo v talilniku in vsebnost silicija v grodlju.

Reakcija redukcije SiO₂ v plavžu s CO:

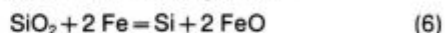


ne more potekati, ker je konstanta ravnotežja zelo majhna in znaša pri temperaturi 1500 °C približno 10⁻¹⁰. Redukcija v glavnem poteka s pomočjo trdega ogljika:



Reakcija je endotermna in zahteva veliko toplote in visoke temperature, ker je SiO₂ zelo stabilna spojina. Raziskave so pokazale, da je odstotek reduciranega SiO₂ s trdnim ogljikom na 1300 °C komaj 7 %, na 1400 °C 21 % in na 1500 °C 50 %. Železo pri redukciji SiO₂ služi kot katalizator in zmanjšuje temperaturo redukcije na 1050 °C, kar razlagamo z raztapljanjem silicija v tekočem grodlju.

Belo surovo železo vsebuje približno od 0,30 do 1,0 % silicija in predvidevamo, da v plavžu redukcija silicija poteka tudi z železom in manganom:

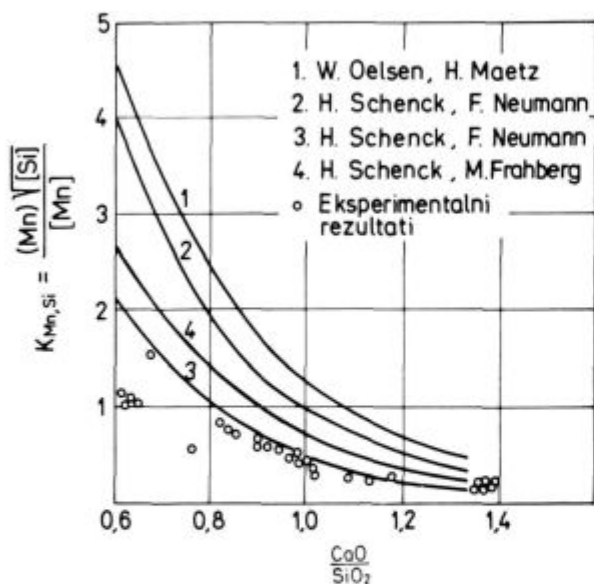


Obe reakciji sta endotermni in se s povečanjem temperature pospešuje hitrost redukcije SiO₂. S termodinamičnega stališča so pogoji v plavžu bolj ugodni za potek reakcije redukcije SiO₂ z manganom. Iz plavžne prakse je že znano, da se iz vložka z majhno vsebnostjo mangana dobi grodelj z majhnim odstotkom silicija.

W. Oelsen in sodelavci⁵ pa so raziskovali obnašanje SiO₂ v plavžni atmosferi in ugotovili, da se SiO₂ zelo zgodaj reducira, in sicer v jašku in sedlu plavža, celo prej kot mangan, tako da silicij reducira mangan. Zato je reakcija (7) reverzibilna. Konstanta ravnotežne reakcije (7) se lahko zapiše v naslednji obliki:

$$K_{\text{Mn, Si}} = \frac{(\text{MnO})}{\text{Mn}} \sqrt{[\text{Si}]} \quad (8)$$

Odvisna je od sestave žlindre in temperature (slika 2). Numerična vrednost konstante ravnotežja K_{Mn, Si} se zmanjšuje, če bazičnost žlindre CaO/SiO₂ narašča, vendar bo treba upoštevati tudi vsebnosti MgO in Al₂O₃. Če je žlindra kislina, potem poteka redukcija SiO₂ hitreje



Slika 2
 Odvisnost $K_{Mn, Si}$ od bazičnosti.

Fig. 2
 Variation of $K_{Mn, Si}$ with the basicity

kot MnO, toda pri bazični žilindri se lažje reducira MnO kot SiO₂. To pomeni, da je od bazičnosti žilindre odvisno, ali mangan iz taline reducira SiO₂ iz žilindre ali pa silicij reducira MnO iz žilindre do vzpostavitve ravnotežja, ki je določeno z numerično vrednostjo $K_{Mn, Si}$.

Povečanje vsebnosti silicija v jeklarskem grodlju je odvisno od specifične porabe koksa, kar so pokazali poskusi na manjših in velikih plavžih v SSSR. Na osnovi podatkov⁶, s katerimi razpolagamo, je povečanje odstotka silicija v grodlju za 0,1 % v območju od 1,0 do 2,0 % na plavžu volumna 930 m³ potrebno povečati specifično porabo koksa za 3,02 kg/t; na plavžu volumna 1386 m³ za 5,86 kg/t in na plavžu volumna 2000 m³ kar za 10,70 kg/t grodlja. Iz tega je razvidno, da je potrebna večja poraba

koksa pri večjih volumnih plavža pri proizvodnji grodlja z enakim odstotkom silicija.

4.0 EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Izdelali smo kisle in bazične sintre, ki so se razlikovali samo po vsebnosti mangana.⁷ V mešanico za sintranje smo dodajali do 4,5 % manganove rude, da bi ugotovili vpliv mangana, bazičnosti in temperature na porazdelitev silicija med žilindro in talino. Kemične analize sintrov so prikazane v tabeli 1.

Redukcijo sintrov smo delali v grafitnih lončkih v Tammannovi peči. V grafitni lonček smo dali spodaj polovico zatehte koksa, v srednjo plast sinter in na vrh drugo polovico koksa. Razmerje med sintrom in koksom je bilo 3:1, kar ustreza praktičnim razmeram koks-sinter pri taljenju vsipa v plavžu. Pretaljevanje smo opravili pri temperaturah 1500, 1550 in 1600 °C. Čas trajanja poskusov je bil 30 in 60 minut.

Pri kisljih sintrih je ves CaO vezan na SiO₂, tako da je ostanek prostega SiO₂ vezan na ostale bazne okside, kot so MnO in FeO, medtem ko je pri bazičnih sintrih ves SiO₂ vezan na CaO. Iz različne vezave SiO₂ sledi tudi različna stopnja redukcije silicija. Povsem je razumljivo, da je lažja redukcija silicija pri kisljih kot pri bazičnih sintrih.

Rezultati poskusov (tabela 2 in 3) kažejo, da temperatura, bazičnost sintra in čas trajanja poskusov močno vplivajo na stopnjo redukcije silicija. Redukcija silicija je endotermen proces, tako se s povečanjem temperature povečuje tudi stopnja redukcije, toda začetna temperatura redukcije je nižja pri manjši aktivnosti silicija (slika 1). Pri redukciji kisljih sintrov je vsebnost silicija v grodlju 0,28 % na 1500 °C in 1,56 % 1600 °C pri trajanju poskusa 30 minut. Vendar se je znatno povečal odstotek silicija v grodlju, ko smo čas trajanja poskusov povečali na 60 minut. Pri temperaturi 1500 °C je znašal 1,28 % in na 1600 °C pa 4,40 % (slika 3).

Čeprav je redukcija silicija iz bazičnih sintrov znatno manjša, se potrjuje prejšnja ugotovitev, da je stopnja redukcije silicija odvisna od temperature, bazičnosti sintra in časa trajanja redukcije (slika 4).

Tabela 1: Kemična analiza sintra

Vrsta sintra	Kemična analiza sintra v ut. %										Bazičnost sintra CaO/SiO ₂	
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MnO	S	Fe _{kov.}		Fe _{cel.}
kisli sinter	14,27	29,54	35,90	7,55	1,77	5,72	0,25	3,08	0,052	—	48,1	0,53
bazični sinter	9,38	19,91	50,20	13,18	2,30	2,19	0,29	2,38	0,053	0,74	51,37	1,41

Tabela 2: Kemične analize grodljev pri pretaljevanju kisljih in bazičnih sintrov

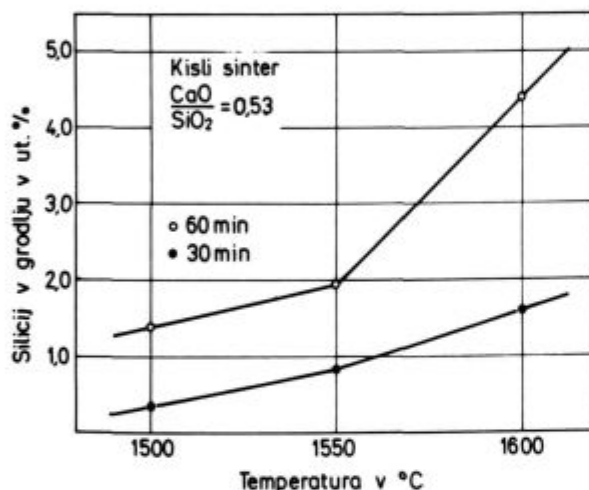
Vrsta sintra	Temp. °C	Čas min.	Kemična analiza v ut. %				(S)	(Si)
			C	Si	Mn	S	[S]	[Si]
kisli sinter	1500	30	4,53	0,28	1,08	0,125	2,8	72,8
	1550	30	4,30	0,85	1,80	0,086	5,0	24,9
	1600	30	5,52	1,56	2,20	0,078	7,8	11,9
	1500	60	5,04	1,28	1,98	0,066	5,0	16,2
	1550	60	4,49	1,98	2,54	0,043	9,8	10,1
	1600	60	4,30	4,40	2,06	0,051	11,0	3,2
bazični sinter	1500	30	5,26	0,02	2,37	0,007	54,3	789,6
	1550	30	5,21	0,04	2,89	0,006	97,7	403,0
	1600	30	5,33	0,24	3,72	0,005	118,0	66,6
	1500	60	5,20	0,04	2,72	0,006	83,3	391,4
	1550	60	5,30	0,25	3,12	0,002	270,0	62,5
	1600	60	5,16	0,76	3,00	0,005	124,0	20,7

Tabela 3: Kemične analize žlinder, dobljenih pri redukciji kislih in bazičnih sintrov

Vrsta sintra	Temp. °C	Čas min.	Kemična analiza žlindre v ut. %							CaO	
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	S	SiO ₂	
Kisli sintri	1500	30	23,00	43,36	15,84	6,82	5,52	4,31	0,36	0,53	
	1550	30	23,70	45,07	15,67	6,46	4,25	3,59	0,43	0,53	
	1600	30	24,25	39,50	17,50	6,90	2,45	4,67	0,45	0,61	
	1500	60	24,46	44,23	18,60	6,11	3,50	1,43	0,33	0,55	
	1550	60	27,34	42,40	19,26	5,50	2,48	1,79	0,42	0,64	
	1600	60	16,68	29,95	13,27	4,39	2,00	14,37	0,50	0,56	
bazični sintri	1500	30	47,10	33,60	8,36	7,37	2,43	1,43	0,38	1,40	
	1550	30	45,20	34,30	8,31	8,70	1,96	1,07	0,55	1,32	
	1600	30	47,38	34,00	8,77	7,96	1,06	0,89	0,59	1,39	
	1500	60	47,66	33,31	7,90	7,20	1,58	2,33	0,50	1,43	
	1550	60	48,08	33,27	8,31	7,04	0,95	2,15	0,54	1,45	
	1600	60	47,66	33,43	9,05	7,04	0,73	1,79	0,62	1,43	

Silicij močno vpliva na razžveplanje grodlja, saj je pri kislih žlindrah (S)/[S] med 2,8 in 11,0 ter pri bazičnih znatno višji, in sicer od 54,3 do 270,0. Za razžveplanje

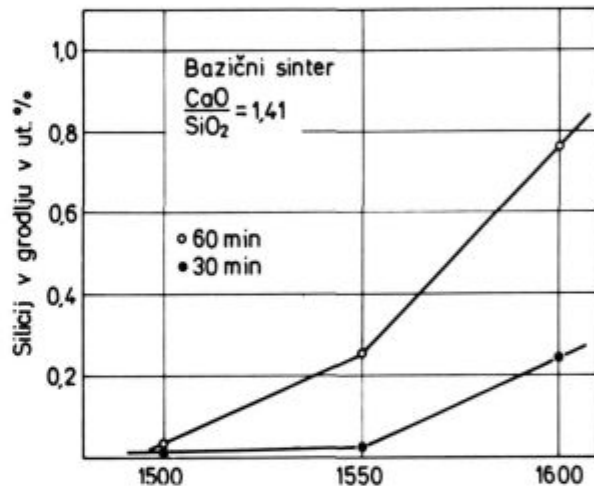
more naogljčiti. Zato začne potekati naogljčenje za del železa, ki je vezano na žveplo šele, ko železo razžvepla-mo.

**Silika 3**

Odvisnost vsebnosti silicija v grodlju od temperature in časa pri redukciji kislih sintrov.

Fig. 3

Relation between the silicon content in pig iron and the temperature and duration of reduction of acidic sinters

**Silika 4**

Odvisnost vsebnosti silicija v grodlju od temperature in časa pri redukciji bazičnih sintrov.

Fig. 4

Relation between the silicon content in pig iron and the temperature and duration of reduction of basic sinters

grodlja je potrebno zagotoviti visoko temperaturo, reduktivno atmosfero in bazično žlindro. Pri kislih žlindrah je večja redukcija silicija in slabše razžveplanje, pri bazičnih pa boljše razžveplanje in slabša redukcija silicija. Po dosedanjih znanih podatkih je ugotovljeno,⁸ da aktivnosti silicija in ogljika z naraščajočo vsebnostjo žvepla rasteta, kar pomeni, da višja vsebnost žvepla vpliva tako, da koncentraciji ogljika in silicija padata. Če naraste vsebnost žvepla več, kot so njegove normalne vsebnosti v grodlju, pade vsebnost ogljika še močneje. To pomeni, da med žveplom in ogljikom obstaja fizikalno-kemični odnos, tako, da žveplo znižuje topnost ogljika v železu in nasprotno, ogljik povečuje aktivnost žvepla v železu ter s tem pospešuje proces razžveplanja. Laboratorijski poskusi so pokazali, da se s povečanjem vsebnosti silicija v talini zmanjšuje odstotek ogljika, pri čemer moramo upoštevati tudi vsebnosti žvepla, mangana in fosforja. Pri industrijskih poskusih proizvodnje sivnega grodlja ni močno izražen vpliv silicija na naogljčenje zaradi visoke vsebnosti žvepla.⁹ Železo, ki je vezano na žveplo, se ne

5.0 ZAKLJUČKI

Silicij se vedno pojavlja v železovih rudah v obliki SiO₂ ali v kompleksnih spojinah s CaO, MgO, Al₂O₃ in FeO. V glavnem je vsebnost silicija v rudah znatno višja kot CaO, tako je jalovina močno kislja.

Silicij se reducira v plavžu z ogljikom iz koksa pri relativno visokih temperaturah. Če je pri redukciji SiO₂ prisotno kovinsko železo, deluje kot katalizator in znižuje temperaturo začetka redukcije na 1050 °C. Redukcija SiO₂ je endoterem proces, tako da povečanje temperature pospešuje redukcijo. Pri proizvodnji sivnega grodlja s povečano vsebnostjo silicija je potrebno voditi proces s kislimi žlindrami CaO/SiO₂ = 0,8—0,9.

Laboratorijski poskusi redukcije kislih in bazičnih sintrov s povečano vsebnostjo mangana s koksom v Tammannovi peči pri temperaturah 1500, 1550 in 1600 °C so pokazali, da bazičnost sintra, temperatura in čas trajanja poskusov močno vplivajo na porazdelitev silicija med žlindro in talino.

Tudi mangan vpliva na vsebnost silicija v grodlju. Iz plavžarske prakse je že znano, če je v vložku nizek odstotek mangana, se proizvaja grodelj z nizkim odstotkom silicija.

Silicij močno vpliva na razžveplanje grodlja, saj je pri kislih žlindrah (S)/[S] med 2,8 in 11,0 ter pri bazičnih znatno višji, in sicer od 54,3 do 270,0.

Laboratorijski poskusi so pokazali, da se s povečanjem vsebnosti silicija v talini zmanjšuje odstotek ogljika, pri čemer moramo upoštevati tudi vsebnosti žvepla, mangana in fosforja.

LITERATURA

1. P. V. Geld, O. A. Esin: *Procesi visokotemperaturno vstajenja*. 1957, 345—518
 2. B. Marinček: *Prilog sistematični termodinamiki metalurških procesa*, Metalurgija, 1977, 3, 3—16

3. J. Lamut, F. Mlakar, V. Tucić: *Znižanje silicija v talini za trde valje*, Poročilo FNT, VTO Montanistika odsek za metalurgijo, 1984.
 4. K. H. Peters, E. Beppler, B. Gerstenberg, U. Janhsen: *Stahl und Eisen*, 1986, 17, 51—57
 5. W. Oelsen, O. Oelsen: *Archiv für Eisenhüttenwesen*, 1964, 6, 487—494
 6. S. P. Košelev, B. N. Žerebin, P. P. Mišin, A. E. Parenkov, V. S. Švedov: *Metalurgija čuguna*, 1978, 3, 19—22
 7. G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar, A. Valant: *Študij redukcije silicija iz železovih rud*, Poročila Metalurškega inštituta, Ljubljana 1987
 8. J. S. Jusfin, M. A. Alter, P. P. Mišin, G. I. Urbanovič, T. V. Miškina, V. A. Šaltov: *Metalurg*, 1982, 11, 10—12
 9. G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, J. Kramer, J. Zapušek, B. Sedlar, A. Valent: *Naogljčenje grodlja med redukcijo*, Poročila Metalurškega inštituta, Ljubljana 1985.

ZUSAMMENFASSUNG

Silizium kommt in dem Hochofen mit dem Eisenerz, mit den Flussmitteln und mit der Koksasche in Form von SiO₂ oder durch komplexe Verbindungen mit CaO, MgO, Al₂O₃ und FeO. Es gibt hauptsächlich immer mehr SiO₂ in den Erzen als CaO so, dass das Nebengestein stark sauer ist. Wenn der Hochofenmöhler aus saueren schlecht reduzierbaren Erzen oder Sinter zusammengesetzt ist, dann befindet sich bei der Temperatur der Bildung von Primärschlacke der grösste Teil von Eisen in Form von Wüstit so, dass wegen der Anwesenheit leicht schmelzender Eisensilikate schon sehr früh flüssige saure Schlacke gebildet wird. Aus solcher Schlacke wird SiO₂ durch Kohlenstoff aus Koks reduziert wobei metallisches Eisen Silizium sehr stark in sich auflöst.

Laboratorische Versuche der Reduktion von saueren und basischen Sintern mit erhöhtem Mn Gehalt mit Koks

im Tamman Ofen bei Temperaturen 1500, 1550 und 1600 °C zeigten, dass die Basizität des Sinters, die Temperatur und die Dauer des Versuches stark die Verteilung von Silizium zwischen der Schlacke und Bad beeinflussen. Auch Mangan beeinflusst den Siliziumgehalt im Roheisen. Aus der täglichen Praxis der Roheisengewinnung ist bekannt, wenn im Möller ein niedriger Mangan-gehalt ist wird Roheisen mit niedrigem Siliziumgehalt erzeugt. Bei höherem Siliziumgehalt in der Schmelze wird der Kohlenstoffgehalt kleiner, wobei auch der Gehalt von Schwefel, Mangan und Phosfor berücksichtigt werden müssen. Silizium hat einen grossen Einfluss auf die Entschwefelung von Roheisen, den das Verteilungsverhältnis (S)/[S] bei den saueren Schlacken ist zwischen 2,8 und 11,0 gegenüber den basischen, wo es beträchtlich höher ist und zwar zwischen 54,3 und 270,0.

SUMMARY

Silicion arrives into blast furnace with ore, fluxes and coke ash in form of SiO₂ or complex compounds with CaO, MgO, Al₂O₃, and FeO. In general, SiO₂ content in ores is essentially higher than that of CaO, thus the gangue is acidic. If the blast-furnace burden consists of acidic low-reducible ore or sinter the majority of iron is still in form of wustite in the temperature range of formation of primary slag. Thus a low-melting acidic slag is formed due to presence of low-melting iron silicates. SiO₂ from such a slag can be reduced by carbon from coke, and metallic iron dissolves great amounts of silicon.

Laboratory experiments of reduction of acidic and basic sinters with increased content of manganese with

coke in Tammann furnace at 1500, 1550, and 1600 °C showed that the sinter basicity, the temperature and duration of experiments have a great influence on the silicon distribution between slag and metallic melt. Also manganese has influence on the silicion content in pig iron. It is known from the blast-furnace practice that low percentage of manganese in burden enables to manufacture low-silicion pig iron. Increased silicion content in the melt reduces the amount of carbon, but simultaneously also contents of sulphur, manganese, and phosphorus must be taken in account. Silicion highly influences the desulphurisation of pig iron since in acidic slags the (S)/[S] ratio is between 2.8 and 11.0 while it is much higher in basic slags where rations from 54.3 to 270.0 were achieved.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кремний поступает в доменную печь с рудой, с флюсами и с пелелом кокса в форме SiO₂ или же в форме комплексных соединений с CaO, MgO, Al₂O₃ и FeO. Процент SiO₂ составляет главным образом самую большую долю пустой породы в железных рудах, тако что пустая порода очень кислая. Если колоша домы содержит кислые, плохо восстанавливаемые железные руды или агломерат, то при температурах образования первичного шлака большая часть железа находится в форме вюстита так, что, вследствие присутствия легко плавких железосодержащих силикатов образуется очень рано жидкий кислый шлак. Из такого шлака легко восстанавливается SiO₂ с углеродом из кокса, причём металлическое железо сильно растапливает кремний.

Лабораторные опыты восстановления кислых и основных агломератов с повышенным содержанием марганца с ко-

ксом в печи по Тамману при температурах 1500, 1550 и 1600 °C показали, что основность агломератов, температура и время длительности опытов сильно влияет на распределение кремния между шлаком и расплавом. Марганец также влияет на содержание кремния в чугуна. Из практики выполнения доменного процесса известно, что если в колоши доменной печи низкий процент марганца, то получается чугун с низким процентом кремния. Увеличенное содержание кремния в расплаве уменьшает процент углерода, при чём надо иметь во внимании содержание серы, марганца и фосфора. Кремний сильно влияет на обессеривания чугуна и содержание серы в кислых шлаках (S)/[S] находится между 2,8 и 11,0, а при основных шлаках гораздо выше т. е. от 54,3 до 270,0.

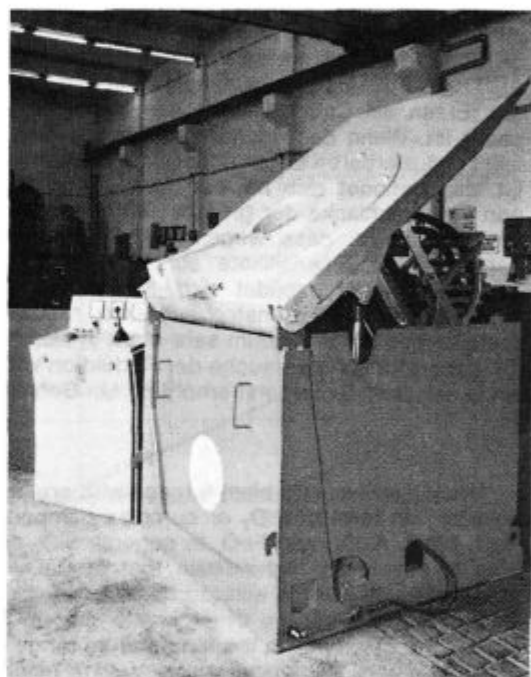
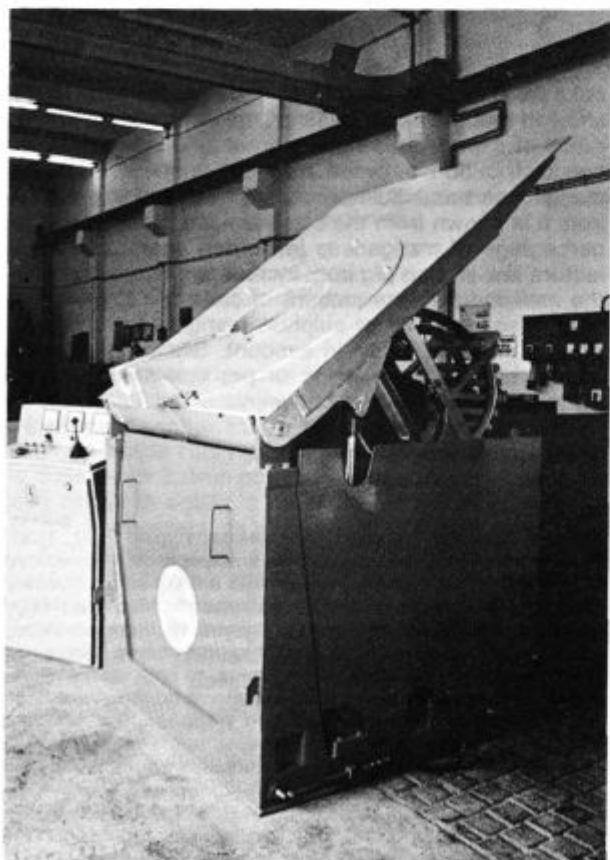
П. Бергер/Целье



SLOVENSKE ŽELEZARNE

ŽELEZARNA ŠTORE

63220 ŠTORE - BRZOJAV ŽELEZARNE ŠTORE - TELEFON 063/27 411, 28 411 - TELEX 33518 YU ZELSTR



Indukcijske peči

Pri proizvodnji ulitkov iz železnih in barvnih zlitin se vedno bolj uporabljajo indukcijske peči. Pri teh pečeh se električna energija pretvarja v toplotno v samem taljencu, oziroma talini. Prenos energije se vrši s pomočjo izmeničnega magnetnega polja, ki povzroča v talini inducirani električni tok, ta pa segreva talino do željene temperature. Temperatura taline je omejena samo z vzdržnostjo obzidave same peči.

V osnovi imamo dva tipa peči, ki se uporabljajo za taljenje raznih kovin in kanalske peči, ki se uporabljajo v livarnah kot zbiralniki železove taline, v katerih se talina vzdržuje na določeni temperaturi, v livarnah barvnih kovin pa se uporabljajo tudi kot talilni agregat.

Raziskava vpliva aluminija in dušika na strjevalno strukturo in začetno plastičnost konti litih gredic

F. Vodopivec*, M. Torkar* in N. Smajič*

UDK: 621.74.047:539.214:669.786

ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp

Rezultati preiskave izcej in nekovinskih vključkov na preseku gredic 140 × 140 mm iz jekla z 0,14 % C in 0,004 do 0,076 % Al.

Predloženo je več hipotez o mehanizmu vpliva aluminija na stjevalno strukturo jekla.

UVOD

Slovenske železarne, v njihovem imenu pa Metalurški inštitut, sodelujejo v skupnem evropskem raziskovalnem projektu »Casting and Solidification«¹ že četrto leto s temo: Raziskava vpliva aluminija in dušika na strjevalno strukturo in začetno plastičnost jekel z ogljikom v razpnu peritektika. Ideja je bila najprej razvita v tezi za doktorat (1), nato pa je bil izvršen industrijski poizkus vliivanja jekla z 0,14 % C na kontinuirni napravi v Štorah. Aluminij smo dodajali v eno od žil z injekcijo žice. Dosedaj smo na sestankih mednarodnega tima, ki se ukvarja s projektom, poročali že trikrat; enkrat o programu, drugič o laboratorijskih poizkusih in tretjič o industrijskem poizkusu. Prvi del rezultatov dela smo tudi predstavili na mednarodni konferenci: Residuals in Iron and Steel (2), in je bil kasneje v dopolnjenem obsegu objavljen (3).

V tem sestavku na kratko povzemamo značilnosti strjevalne strukture jekla in njegove začetne plastičnosti, ki so povezane z naraščanjem količine aluminija v jeklu 0,004 % na 0,076 %, ter predstavljamo rezultate raziskav izcenjanja in vključkov v teh jeklih.

1. IZHODIŠČE

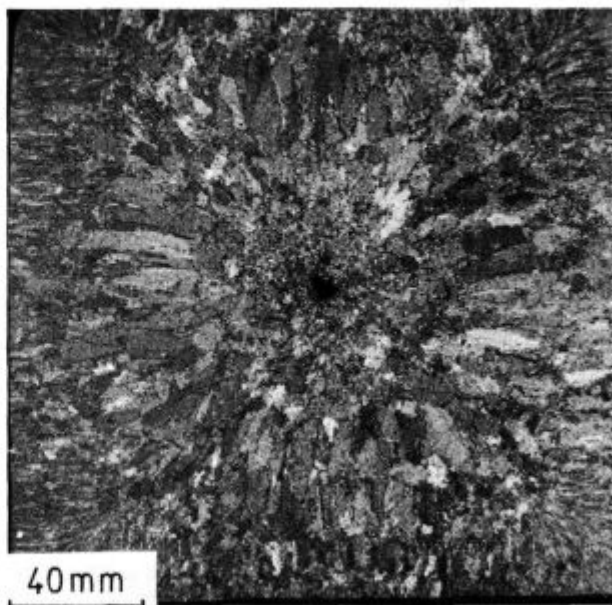
Na slikah 1 in 2 je prikazana strjevalna struktura jekla z 0,004 in z 0,04 % Al, kontinuirno vlitega v gredico s presekom 140 × 140 mm, ki je bila po strjenju ohlajena na zraku. Na sliki 3 vidimo makrostrukturo jekla, ki je bilo po strjenju na zraku ohlajeno do temperature ambienta, segreto na 1050 °C, držano 1 uro in ohlajeno na zraku.

Primerjava slik pokaže, da povečanje količine aluminija od 0,014 % na 0,04 %, kar je blizu vsebnosti aluminija v mnogih konstrukcijskih jeklih, bistveno spremeni strjevalno sturkturo jekla. Pri matičnem aluminiju najdemo na preseku gredice tri značilne zone: globulitično drobnozrnato skorjo, področje stebrastih zrn in v sredini znova globulitično polje, vendar so zrna tu večja, kot so v globulitični skorji gredice. Pri 0,04 % Al najdemo na vsem preseku gredice le stebrasta zrna, ki so nekoliko manjša tik ob površini kot v notranjosti gredice. Po segrevanju ohlajenih gredic na 1050 °C, ki ustreza segrevanju pred valjanjem, je makrostruktura po celem drugačna od strjevalne. Zrna so drobna, enake oblike in velikosti po vsem preseku in nič, ne v velikosti in ne v obliki zrn, ne spominja na bazaltno strukturo po strjeva-

nju. Velja torej, da ohladitev po strjenju in ponovno segrevanje pred valjanjem popolnoma spremeni morfolgijo strjevalne strukture.

Razlika v strjevalni strukturi se izraža tudi v številu površinskih napak na površini lamel 26 × 70 mm, ki so bile iz gredic izvaljane v strjevalni vročini (slika 4). Napak je tem več, čim bolj je bila strjevalna struktura bazaltna in čim večja so bila strjevalna zrna ob površini gredice. Jeklo, izvaljano po ponovnem segrevanju, torej jeklo z makrostrukturo pred začetkom valjanja podobno tisti na sliki 3, se je izvaljalo praktično brez površinskih napak. To je očiten znak, da ohlajanje gredic po kontinuirnem litju in ponovno segrevanje na temperaturo valjanja, ki spremeni obliko in velikost zrn, odpravi krhkost površine, katere poreklo je v obliki strjevalne strukture jekla.

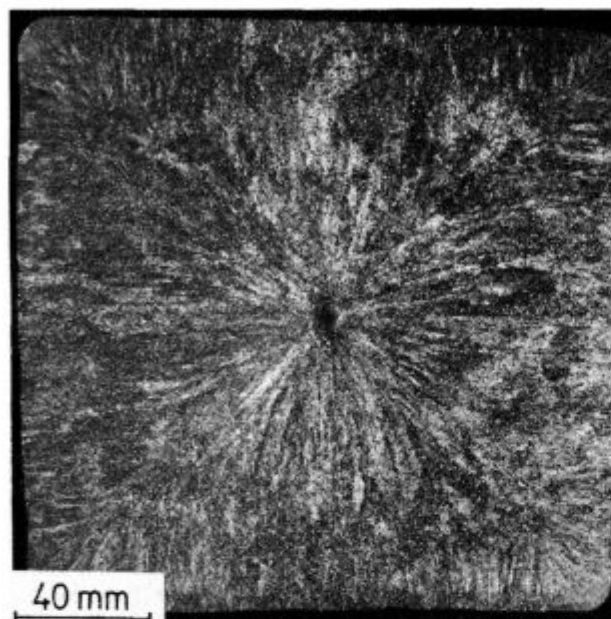
Literaturni viri često navajajo kot možen vzrok za vročo krhkost pri povišanem aluminiju oblogo aluminijeva nitrida po kristalnih mejah. S hladnim upogibom smo pri jeklu z 0,004 % Al, ki je bilo po valjanju praktično brez napak, in pri jeklu z 0,04 % Al, ki je imelo po valjanju največ napak, odprli interkristalno površino v podaljšku vročih interkristalnih razpok. Površina je bila po morfolgiji v obeh jeklih identična in brez obloge AlN, ki bi lahko toliko zmanjšala trdnost zveze med zrn, da bi se pri vroči deformaciji odprle interkristalne razpoke. To in dejstvo, da je bilo v povprečju po rezultatih mokre kemične analize največ AlN v jeklu, ki je bilo izvaljano po ponovnem segrevanju, ko površinskih napak praktično ni bilo, sta zadosten dokaz za sklep, da krhkost in površinske napake niso povezane z vplivom AlN na vročo preoblikovalnost jekla.



* Metalurški inštitut Ljubljana

** Originalno objavljeno: ŽZB 23 (1989) 1

*** Rokopis prejet: oktober 1988



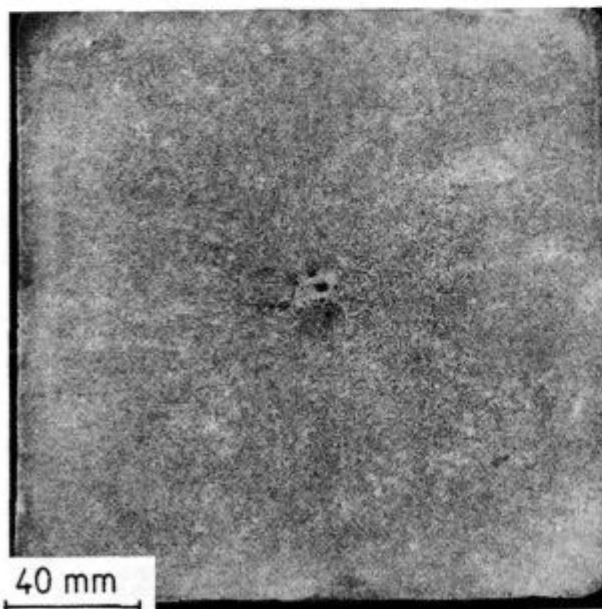
Slika 1 in 2

Strjevalna struktura gredic iz jekla z 0,014 in 0,04 % aluminija. Gredici sta bili po strjenju ohlajeni na zraku.

Fig. 1 and 2

Solidification structure in billets made of steel with 0.014 and 0.04 % aluminium. After solidification the billets were cooled in air.

Natančnejše opazovanje je dalje pokazalo, da je oblika razpok na jeklu, ki nastanejo pri vročem nategu površine gredic, drugačna na jeklu z 0,004 % Al, kot na jeklu z 0,04 % Al. V prvem primeru so razpoke številne in imajo topo dno, v drugem pa so globoke in ostre (slika 5 in 6). Oboje razpoke so interkristalne, zato je mehanizem

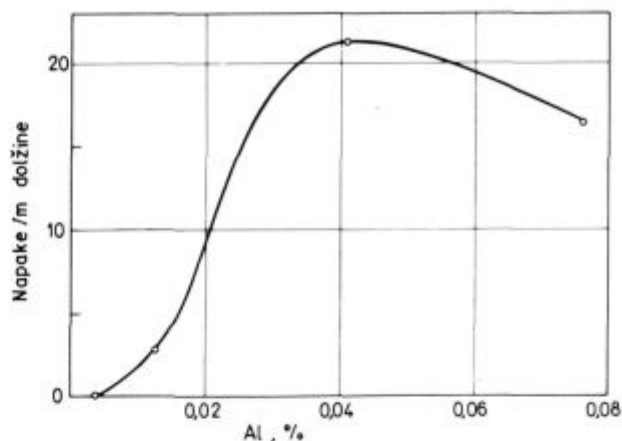


Slika 3

Makrostruktura jekla s slike 2. Gredica je bila segreti 1 uro pri 1050 °C in ohlajena na zraku.

Fig. 3

Macrostructure of steel from Fig. 2. The billet was annealed 1 hour at 1050 °C and cooled in air.

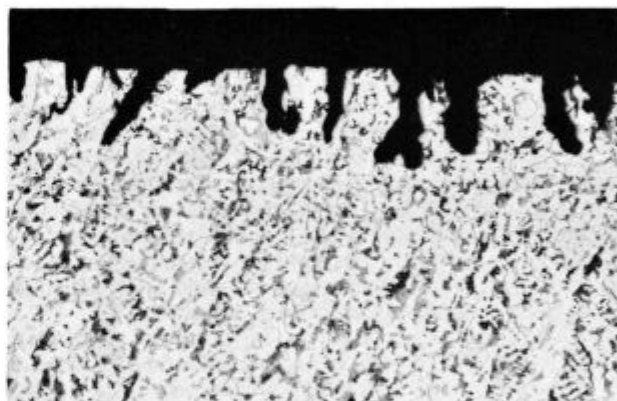


Slika 4

Število površinskih napak na lamelah, ki so bile izvaljane v strjevalni vročini v odvisnosti od količine aluminija.

Fig. 4

Number of surface defects on the lamellae rolled in solidification heat in relation to the amount of aluminium.

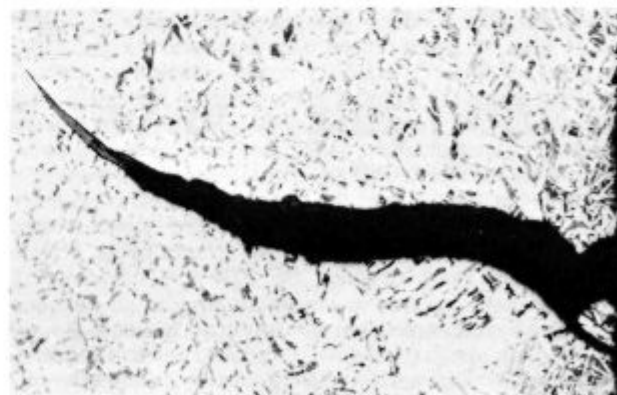


Slika 5, pov. 100 × .

Vzdolžni presek od reza upognjene površine gredice iz jekla z 0,004 Al.

Fig. 5

Magn. 100 × . Longitudinal section on the bent surface where billet of steel with 0.004 Al was cut.



Slika 6, pov. 50 × .

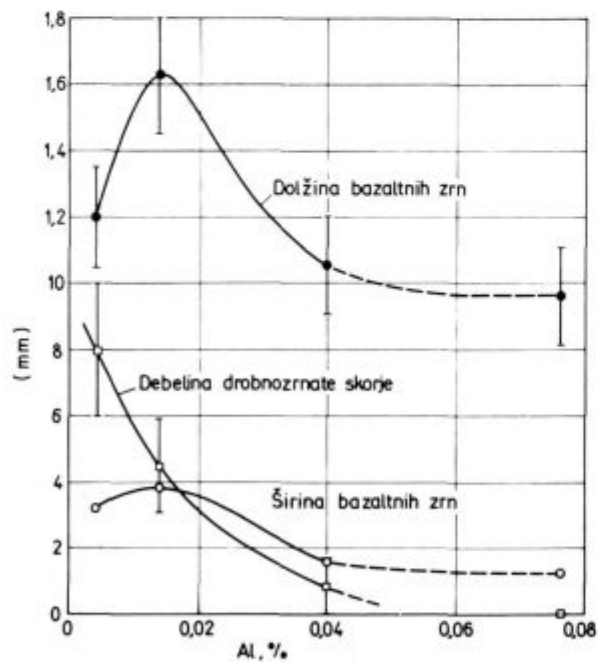
Podobno kot sl. 5 na gredici iz jekla z 0,04 Al.

Fig. 6

Magn. 50 × . Like in Fig. 5, on the billet of steel with 0.04 % Al.

iniciacije identičen, pač pa so pogoji propagacije odvisni od velikosti zrn ob površini jekla. Razpoke se odprejo na zrnih, katerih meje ob površini so pokončne na smer podaljška jekla pri valjanju in ne prenesejo deformacije. Ko naleti razpoka na naslednjo mejo zrna, se napredovanje ustavi, če je lega nove meje taka, da lahko prenese deformacijo. V tem primeru se vrh razpoke otopi. Če pa je zrno veliko, razpoka napreduje v notranjost gredice, na površini pa se povezujejo z drugimi manjšimi v daljše razpoke. Plitve razpoke se v nadaljevanju valjanja zagladijo, globlje in daljše razpoke pa se preoblikujejo v površinske napake. V jeklu z makrostrukturo iz velikih zrn se napredovanje razpoke ustavi le, če se struktura spremeni zaradi rekristalizacije med deformacijo. Tudi v tem primeru so drobnozrnata jekla v prednosti pred jeklom z večjimi zrni. Statična rekristalizacija pri vročem valjanju se začne namreč pri drobnozrnatem avstenitu že pri manjši deformaciji kot v grobnozrnatem avstenitu (4). Torej se struktura spremeni na boljše hitreje v jeklu, ki ima že po naravi boljšo predelovalnost. Izkušnje kažejo, da se izboljšanje preoblikovalnosti zaradi rekristalizacije pokaže šele v drugem valjalniškem vtiku, če je bila stopnja deformacije pri prvem vtiku zadostna za statično rekristalizacijo avstenita, torej najmanj okoli 12 % (4).

Meritve na industrijskem jeklu so pokazale zvezo med količino aluminija v jeklu in debelino drobnozrnate skorje ob površini na **sliki 7**. Podobne rezultate so pokazali preizkusi na jeklih, ki so bila ulita v laboratoriju v pesek v bloke s presekom do 60 × 60 mm (1). S povečanjem količine aluminija postaja drobnozrnata skorja tanjša in pri 0,04 % aluminija te skorje ni več zaznati na prevladujočem delu površine gredice s presekom 140 × 140 mm. Količina aluminija vpliva tudi na velikost bazaltnih zrn. Ta so v gredicah 140 × 140 mm največja pri 0,014 % aluminija.



Slika 7

Vpliv vsebnosti aluminija na debelino skorje drobnih zrn ter na širino in dolžino stebrašnih zrn kontinuirno ulite gredice ohlajene na zraku.

Fig. 7

Influence of aluminium content on the thickness of globulitic shell, and on the width and length of columnar crystals in continuous cast billet cooled in air.

Na osnovi podatkov v viru 1 je pričakovati, da bo zmanjšanje začetne plastičnosti zaradi povečane vsebnosti aluminija izrazitejše pri višjem dušiku. To potrjujejo tudi industrijske izkušnje (5). Pri visokem aluminiju (nad ca. 0,025 %) je vroča krhkost mnogo močnejša v elektrojeklih kot v jeklih, izdelanih v Siemens Martinovi peči. V prvih najdemo blizu 0,01 % dušika, v drugih pa le nekaj nad polovico te vrednosti.

2. EKSPERIMENTALNO DELO

Raziskava je bila izvršena na industrijskem jeklu, ki je bilo uporabljeno za oceno strjevalne makrostrukture in začetne plastičnosti in o katerem govorijo ugotovitve, ki so bile pravkar povzete. Sestava jekla je bila naslednja: 0,14 C, 0,6 Mn, 0,25 Si, 0,0095 N in od 0,004 do 0,076 Al. Jeklo je bilo vilito v gredico s presekom 140 × 140 mm v železarni Štore, aluminij pa dodan z injekcijo žice v eno od žil v razponu od matične vrednosti 0,004 % do 0,0076 %. Iz gredic, ki so bile po strjenju ohlajene na zraku, so bili pripravljani vzorci za mikroskopske preiskave in vzorce za kemične analize. Za preiskave smo izbrali tri tipična mesta, ki se dobro razločijo na preseku gredic iz jekla z 0,004 % Al, torej iz globulitične skorje, iz sredine bazaltnega področja in iz globulitične sredine gredice. Iz gredice iz jekel z 0,04 in 0,076 % aluminija smo preizkušance izrezali na ustreznih mestih.

Avtomatična naprava za analizo slike, ki je na voljo, ne dovoljuje, da bi razločili med sulfidnimi in silikatnimi oz. oksidnimi krogljčastimi vključki, ker se taki vključki razlikujejo samo po barvi v optičnem mikroskopu. Zato je bil premer krogljčastih sulfidnih vključkov izmerjen ročno v optičnem mikroskopu pri povečavi 1000 ×. Na vsakem vzorcu je bilo izmerjeno preko 500 vključkov, zato so rezultati statistično zanesljivi (6). Vsebnost najvažnejših legirnih elementov na vseh treh mestih je bila določena po standardnih postopkih mokre kemične analize. Žveplo, ki ni bilo vezano v sulfidnih vključkih, ki se razločijo v optičnem mikroskopu, zato predpostavljamo, da je bilo v trenutku strjenja jekla v trdni raztopini v avstenitu (2,3), je bilo določeno z analizo v elektronskem mikroanalizatorju po metodi, ki zagotavlja sprejemljivo natančnost tudi pri količinah par deset ppm (7).

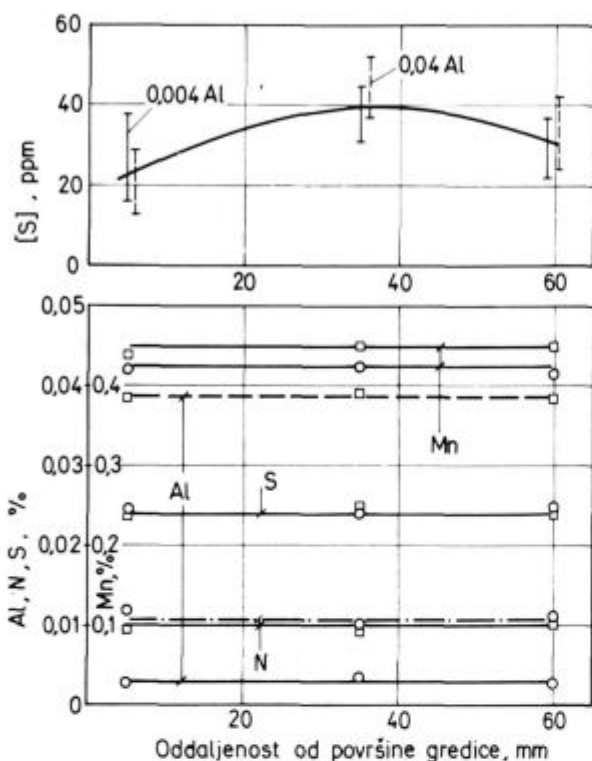
3. REZULTATI

3.1 Kemična homogenost jekla

Na **sliki 8** je prikazana količina mangana, dušika in žvepla na treh značilnih mestih preseka gredic iz jekel z 0,004 in 0,04 % aluminija. V razponu analitske natančnosti je vsebnost vseh elementov na preseku gredic povsod enaka, torej v gredici ni izcejanja teh elementov. Zgornji del slike kaže količino žvepla, ki je bila zadržana v trdni raztopini pri strjenju jekla, torej žvepla, ki ni vezano v sulfidne vključke, ki jih razločimo v optičnem mikroskopu. Tega žvepla je nekoliko več na mestu, ki ustreza sredini bazaltna plasti v jeklu z 0,004 % aluminija. Količina tega žvepla je enaka v obeh jeklih, ne glede na to, ali ima globulitično skorjo ali je nima, zato razlika ni povezana s strjevalno strukturo jekla.

Na **sliki 9a** je prikazana vsebnost ogljika na treh značilnih mestih preseka gredice v jeklih z naraščujočim aluminijem. Največ ogljika najdemo v jeklu z matičnim aluminijem, v vseh drugih precej manj, pri čemer pa je razlika med jekloma z 0,014 in 0,04 % aluminija majhna, vendar sistematična v prid prvega. Jeklo je bilo izlito iz

peči z 0,14 % C in zadosti predesoksidirano s silicijem (0,25 %) in aluminijem, da ni bilo več reakcije $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$, zato se zdi upravičena domneva, da izvira ogljik iz olja za mazanje kokile. Da je reakcija med tem oljem in talino včasih zelo močna, je dokaz **slika 9b**, na

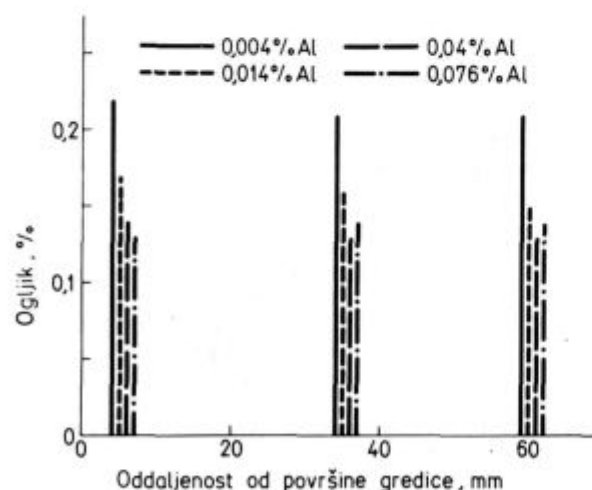


Slika 8

Vsebnost topnega žvepla, mangana in dušika na preseku gredic s presekom 140×140 mm iz jekel z 0,004 in z 0,04 % aluminija.

Fig. 8

Amount of soluble sulphur, manganese, and nitrogen on the cross section of 140×140 mm billets made of steels with 0.004 and 0.04 % aluminium.

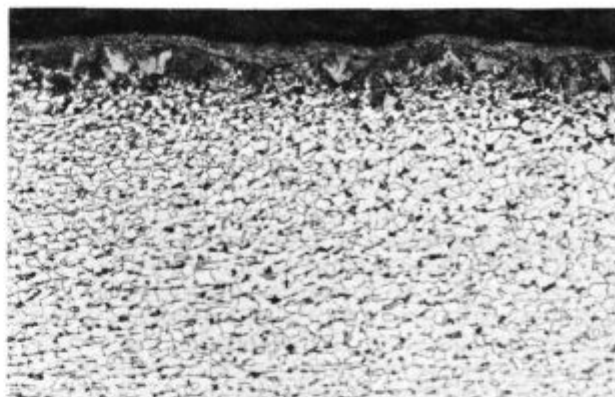


Slika 9a

Vsebnost ogljika na preseku gredic iz 4 jekel z različno vsebnostjo topnega aluminija.

Fig. 9a

Carbon content on the cross section of billets of 4 steels with various contents of soluble aluminium.

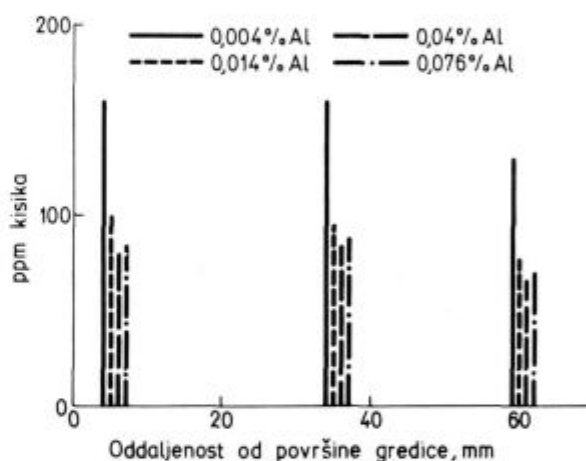


Slika 9b, pov. $100 \times$.

Jeklo z 0,014 % Al. Naogljčena plast ob površini gredice.

Fig. 9b

Magn. $100 \times$. Steel with 0.014 % Al. Carburised layer at the billet surface.



Slika 9c.

Celokupna vsebnost kisika na preseku gredic iz 4 jekel enake sestave in različno vsebnostjo topnega aluminija.

Fig. 9c

Total oxygen content on the cross section of billets of 4 steels of the same composition and with various contents of soluble aluminium.

kateri vidimo, da je tik ob površini nastal zvezen sloj z mikrostrukturo iz čistega lamelnega perlita, v katerem je najmanj 0,6 % ogljika. Kaže, da se sposobnost taline, da absorbira ogljik, med vlivanjem zmanjšuje, ko raste količina aluminija do določene meje.

Na sliki 9c je prikazana vsebnost kisika na treh značilnih mestih v gredicah iz vseh 4 jekel. V treh jeklih, v katera je bil aluminij dodan z injekcijo žice v kokilo, najdemo nekoliko več kot polovico kisika, kot v matičnem jeklu. To razliko lahko razlagamo na tri načine. Eden predpostavlja da pri daljšem zadržanju izplava iz jekla več oksidnih vključkov, zato je manj kisika v gredicah, ki so bile ulite kasneje. Te razlage ne potrjuje dejstvo, da ni razlike med jekli s povečanim aluminijem, ki so bila ulita z večjim časovnim razponom od tistega med jekloma z 0,004 in 0,014 % aluminija. Realnejša se nam zdi razlaga, da med odprtih vlivanjem jeklo posrka nekaj silikatne žlindre s površine taline v tundishu ali v kokilu. Vključki te žlindre in silikatni vključki, ki jih je talina prinesla od izdelave, se med strjevanjem slabše izločajo iz taline, zato je

matično jeklo bogato z vključki. Ko se poveča količina aluminija v talini, se silikatni vključki pretvorijo v vključke aluminijevega oksida, ki iz taline izplavajo v večjem obsegu, zato imajo jekla s povečanim aluminijem manj kisika. Isto razlago bi lahko uporabili tudi za pojasnilo, zakaj najdemo v vseh jeklih v sredini gredice manj kisika kot ob površini in v coni bazaltnih zrn. Tretja razlaga izhaja iz različne temperature taline. Pri nižji temperaturi je desoksidacija popolnejša, zato ima jeklo manj kisika, čim nižja je bila temperatura vliivanja. Velja še omeniti, da je razlika med količino kisika v centru gredic mnogo manjša v jeklih z dodatkom aluminija kot v matičnem. Razpravo na tem mestu lahko prekinemo z ugotovitvijo, da ni razlike med vsebnostjo kisika in ogljika v različnih jeklih in na različnih mestih preseka gredic, ki bi jo lahko povežali s strjevalno strukturo.

3.2 Količina in oblika nekovinskih vključkov

Tik ob površini gredic je oblika sulfidnih vključkov praktično enaka v vseh jeklih. So krogličaste oblike in dokaj enakomerno porazdeljeni v jeklu (slika 10). Na od-



Slika 10, pov. 200 × .

Sulfidni in silikatni vključki tik ob površini gredice iz jekla z 0,004 % Al.

Fig. 10

Magn. 200 × . Sulphide and silicate inclusions close at the surface of billet of steel with 0.004 % Al.

daljenosti nad 10 mm od površine gredice postaja vidna razlika v porazdelitvi sulfidnih vključkov med jeklom z 0,004 % in jekli z več aluminija. V prvem ostaja v bazaltni coni še mnogo vključkov enakomerno porazdeljenih in se najdejo le posamične skupine v stičiščih treh strjevalnih zrn. V jeklih z 0,014 % in več aluminija pa so zgostitve pogoste. V sredini gredice pa je v vseh jeklih večina sulfidnih vključkov v skupinah ali nizih po mejah strjevalnih zrn (slika 11). V notranjosti gredice oblika vključkov ni več krogličasta, temveč elipsoidna ali nepravilna (slika 12). Včasih se vidi, da v delu večjih vključkov prevladuje manganov, v delu pa železov sulfid, zato je ta del značilne rumenkaste barve in na mikroposnetku svetlejši od dela, bogatega z manganovim sulfidom. Te vrste zraščene sulfidne vključke smo našli le v jeklu z 0,004 % aluminija. Razlaga je, da je v teh jeklih več mangana vezano s kisikom, zato ga je manj za vezavo vsega žvepla. V jeklih z 0,14 % in več aluminija nismo našli silikatnih vključkov, temveč le vključke aluminijevega oksida. Po večini so bili nepravilne oblike in včasih zbrani v grozde (slika 13).

Na sliki 14 je prikazana gostota sulfidnih vključkov (število vključkov na enoto površine obruška) na treh značilnih mestih gredice. Gostota vključkov je večja v jeklu z 0,04 % aluminija, kot v jeklu z 0,004 % aluminija,

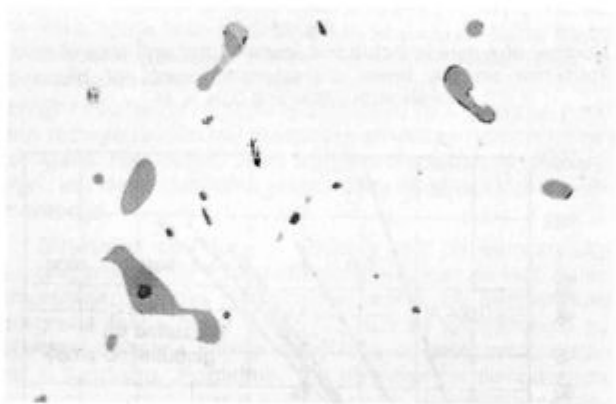


Slika 11, pov. 100 × .

Sulfidni vključki v notranjosti gredice iz jekla z 0,04 % Al.

Fig. 11

Magn. 100 × . Sulphide inclusions in the center of billet of steel with 0.04 % Al.

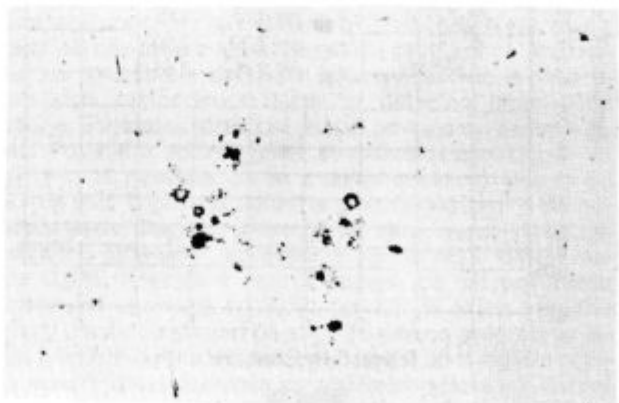


Slika 12, pov. 500 × .

Sulfidni vključki v notranjosti gredice iz jekla z 0,004 % Al.

Fig. 12

Magn. 500 × . Sulphide inclusions in the center of billet of steel with 0.004 % Al.



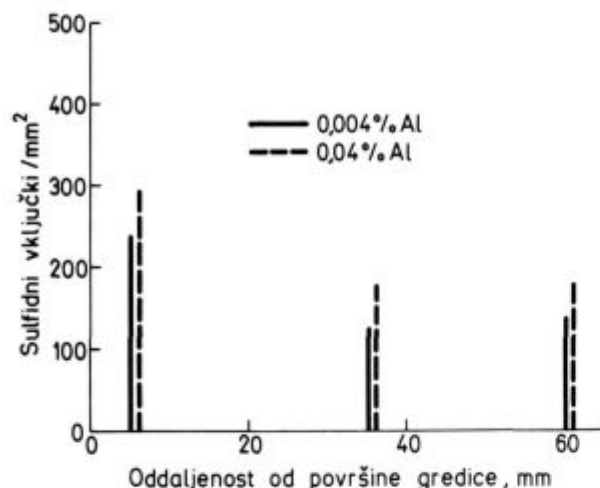
Slika 13, pov. 100 × .

Grozde vključkov Al_2O_3 v notranjosti gredice iz jekla z 0,04 % Al.

Fig. 13

Magn. 100 × . Cluster of Al_2O_3 inclusions in the center of billet of steel with 0.04 % Al.

kljub temu da je v obeh jeklih enaka količina žvepla, enako pa tudi količina žvepla, ki je bilo ob strjenju zadržano v trdni raztopini v avstenitu. Razlaga razlike je enostav-

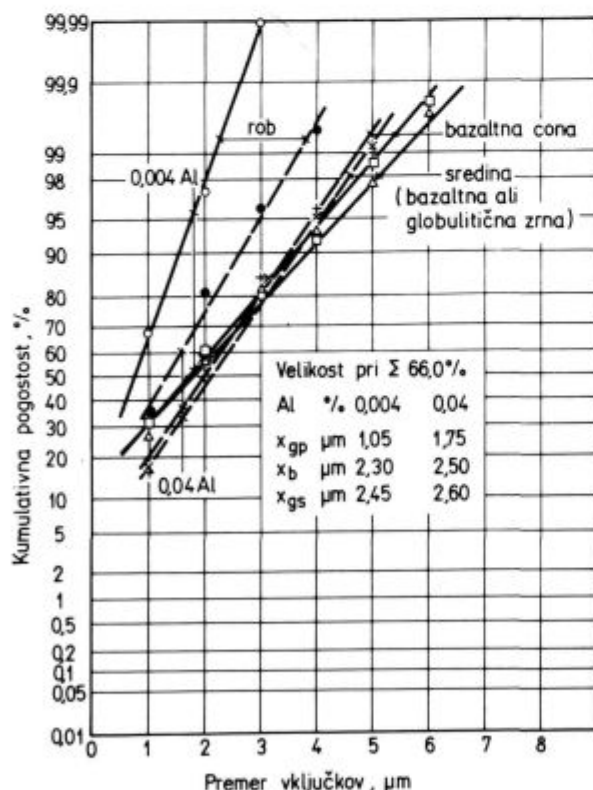


Slika 14

Število sulfidnih vključkov (gostota) na enoto površine obruska na treh značilnih mestih gredic iz jekel z 0,004 in 0,04 % Al.

Fig. 14

Number of sulphide inclusions (density) per unit area of micro specimen on the three characteristic points of billets of steels with 0.004 and 0.04 % Al.



Slika 15

Velikostna porazdelitev sulfidnih vključkov na treh značilnih mestih preseka gredic iz jekla z 0,004 in 0,04 % Al.

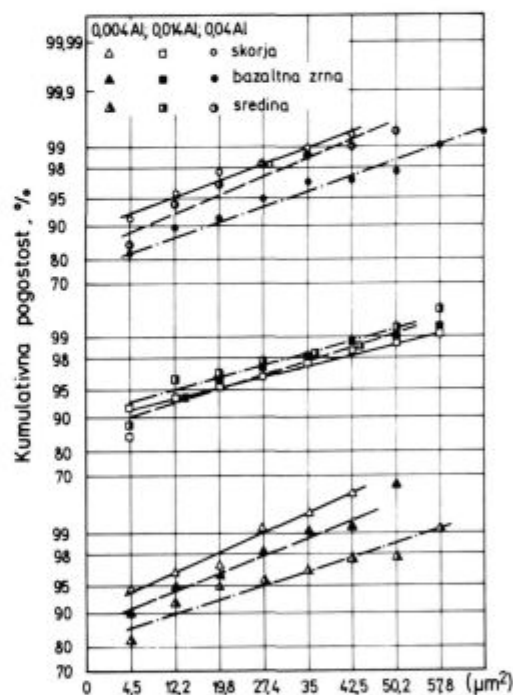
Fig. 15

Size distribution of sulphide inclusions on the three characteristic points on the cross section of billets of steel with 0.004 and 0.04 % Al.

na: v jeklu z nizkim aluminijem najdemo del sulfida tudi v silikatnih vključkih, ki pri meritvah niso bili upoštevani. Gostota vključkov je v obeh jeklih večja ob površini kot v bazaltni plasti in v sredini, med tema mestoma pa praktično ni razlike.

Na sliki 15 je prikazana porazdelitev sulfidnih vključkov po velikosti v jeklih z 0,004 in z 0,04 % aluminija. V obeh jeklih so vključki v središču in v bazalnem področju zelo podobni. Razlika je le v tem, da so drobni vključki nekoliko bolj pogosti v jeklu z matičnim aluminijem. V obeh jeklih, posebno pa v jeklu z nizkim aluminijem, so sulfidni vključki mnogo bolj drobni ob površini kot v notranjosti gredice, posebno so majhni v jeklu z nizkim aluminijem. V notranjosti skoraj ni razlike, zato sklepamo, da so vključki ob površini manjši zaradi hitrejšega strjenja jekla, ne pa zaradi nižjega aluminija. Bolj drobni vključki so poleg globulitične strukture dodaten dokaz, da je bilo ob površini gredic hitrejšo strjevanje jekla z 0,004 % Al.

Poleg sulfidnih vključkov smo našli v jeklu z 0,004 % Al še številne krogljčaste silikatne vključke (slika 10), v jeklih z 0,014 % aluminija in več pa vključke aluminijevega oksida, pogosto v grozdih (slika 13). Silikatni vključki so bili drobnejši ob površini kot v notranjosti gredice, oksidni vključki pa so bili podobne velikosti po celem preseku gredic in v vseh jeklih z 0,014 % in več



Slika 16

Velikostna porazdelitev oksidnih vključkov na treh značilnih mestih preseka gredic na sliki 1: ob površini, na mestu največjih stebrašnih zrn in v sredini.

Fig. 16

Size distribution of oxide inclusions on the three characteristic points on the cross section of billets in Fig. 1: at the surface, in the area of the biggest columnar crystals, and in the center.

	Skorja			Bazaltna zrna			Sredina		
	s	d	O ₂	s	d	O ₂	s	d	O ₂
0,004 Al	5,5	363	160	6,2	363	157	8,0	278	129
0,014 Al	6,6	319	99	7,0	216	94	6,6	269	75
0,04 Al	5,9	286	77	8,4	269	82	6,7	259	66

s - poprečna velikost oks. vključkov (µm²); d - gostota oks. vključkov (mm²); O₂ - vsebnost kisika, ppm

aluminija. Tik ob površini smo našli tudi v jeklu z 0,04 % aluminija krogličaste vključke aluminijevega oksida, ki so značilni za jeklo, ki je bilo strjeno zelo hitro po dodatku aluminija (8).

Na **sliki 16** so prikazani rezultati analize velikosti oksidnih vključkov v treh jeklih z naraščajočim aluminijem. Upoštevani so vključki v grozdih in posamični vključki. V jeklih z 0,014 in 0,04 % Al so le vključki aluminijevega oksida, v jeklu z 0,004 % Al pa tudi vključki silikatne narave. V vseh vzorcih je porazdelitev vključkov log. normalna. V jeklu z nizkim Al se večja povprečna velikost od površine proti sredini preseka gredice, v jeklu z 0,014 % Al ni med tremi točkami preseka razlike, ki bi presejala metodološko napako. V jeklu z 0,04 % Al pa so vključki aluminijevega oksida najbolj drobni ob površini in v sredini ter nekoliko večji na mestu preseka gredice, ki ustreza največjim stebrastim zrnom na preseku gredice z 0,004 % Al. Strjevalna struktura je na preseku gredice iz jekla z 0,04 % Al bolj drobna tik ob površini, vključki pa so praktično **enaki kot dalje v notranjosti**, kjer so stebrasta zrna mnogo večja. Upravičen je torej sklep, da strjevalne strukture jekla ni mogoče povezati z neke vrste heterogeno nukleacijo, ki bi bila v zvezi z velikostjo in gostoto nekovinskih vključkov. Zato v nadaljevanju te razprave različne v strjevalni strukturi ne povezujemo s heterogeno nukleacijo pri strjenju jekla.

4. PREDLOG ZA RAZLAGO VPLIVA MEHANIZMA ALUMINIJA NA STRJEVALNO STRUKTURO

4.1. Strjevanje pri konti litju jekla, kratek pregled literature

Povečanje količine aluminija v jekleni talini, ki se strjuje, spremlja zmanjšanje in končno kompletno eliminiranje drobnostne skorje ob površini in globulitične cone v centru konti gredec s presekom 140×140 mm. Podobnost vpliva aluminija v obeh primerih navaja na sklep, da je v obeh primerih posredi podoben ali enak vplivni dejavnik, ki je povezan z aluminijem, raztopljenim v jekleni talini. Mehanizem nastanka globulitične skorje se razlikuje od mehanizma nastanka centralne globulitične cone. Globulitična in drobnostna skorja nastane s strjenjem v sloju kovine ob površini gredice, ki je podhlajen zaradi intenzivnega odvajanja toplote v hladno steno kokile, s katero je talina v kontaktu. Globulitično strjevanje je mogoče zato, ker postanejo v podhlajeni talini učinkovite številne kali, predvsem homogene, in je mogoče odvajanje toplote v vseh smereh, čeprav je seveda zelo močno tudi ohlajanje proti steni kokile. Ko končno prevlada vpliv gradienta temperature od taline proti kokili in postane odvajanje toplote praktično enosmerno, se začne ne bazalna rast strjevalnih zrn.

Globulitično strjevanje se lahko nadaljuje, dokler se temperatura podhlajenega jekla ne dvigne do tališča zaradi sproščanja strjevalne toplote (zaradi te bi se teoretično lahko dvignila temperatura jekla za ca. 365°C) in dotoka toplote iz pregrete taline. Če je podhladitev premajhna ali je premajhno odvajanje toplote v steno kokile, se lahko del nastale skorje znova raztali.

Literatura navaja tri razlage nastanka centralne globulitične cone (9). Po eni (10) je rezultat konstitucijske podhladitve; nastane torej na podoben način kot globulitična skorja ob površini gredec. Pogoji je, da je podhladitev zadostna, da se proces globulitičnega strjevanja ne ustavi zaradi dviga temperature zaradi sproščanja strjevalne toplote in se tako znova nadaljuje bazalna rast.

V raziskanih gredicah nismo našli izcejanja, ki bi ga pričakovali v nazadnje strjeni talini, ne poroča se tudi, da bi ga našli v podobnih konti gredicah (11). Zato kaže, da ta razlaga v našem primeru ne drži. Po drugi razlagi (12) nastane centralna globulitična cona s sedimentacijo vrhov bazaltnih zrn, ki so se odlomili ali kako drugače ločili, mogoče zaradi tokov v talini. Trdni delci imajo večjo specifično težo, zato se usedajo. Dva argumenta govorita v prid tej razlagi. Eden je že omenjena odsotnost segregacij v notranjosti gredec. Drugi argument v prid tej razlagi je dejstvo, da se centralna globulitična cona poveča, če v talino vnesemo mehansko gibanje, na primer če med strjevanjem talino elektromagnetno mešamo ali tresemo (13, 14). Tretja razlaga predpostavlja heterogeno nukleacijo, pri čemer naj bi bile kali oksidni vključki. Po viru 9 raste nukleacijski potencial vključkov od silikatov preko aluminijevega oksida do oksidov redkih zemelj. Poglejmo, ali lahko naša opazovanja uskladimo s heterogeno nukleacijo v centralni globulitični zoni. Ta cona je nastala v jeklih z 0,004 in 0,014 % aluminija in je ni v jeklih z 0,040 in 0,076 % aluminija. V jeklu z 0,004 % aluminija so vključki silikatni po celem preseku gredice, v vseh ostalih jeklih pa iz aluminijevega oksida. V jeklu z 0,014 % aluminija je velikost vključkov aluminijevega oksida v merah natančnosti določanja v optičnem mikroskopu enaka kot v jeklu z 0,04 % aluminija. V obeh primerih najdemo v jeklu zelo podobno količino kisika. To pove, da je zelo podobna tudi količina oksidne mase in podobna gostota oksidnih vključkov. Kljub temu je strjevalna struktura drugačna, fino zrnata pri 0,014 % aluminija in bazalna pri 0,04 % aluminija. To seveda ne potrjuje razlage različnosti strjevalne strukture na osnovi heterogene nukleacije. Zato bomo v nadaljevanju razpravljali, kot da je centralna globulitična plast nastala s sedimentacijo.

Strjevalna struktura je odvisna tudi od temperature pregretja jekla. Vir 15 prinaša diagram, kjer se vidi, da se zmanjšuje debelina globulitične skorje, ko temperatura pregretja taline raste do 15°C , nad to temperaturo pa postane debelina skorje neodvisna od temperature taline v tundishu. Poglejmo, ali sprememba temperature med vlivanjem ni imela tudi pri naših preizkusih nekontroliranega vpliva na strjevalno strukturo. Likvidus temperature jekla, ki je bilo uporabljeno za preizkus, znaša okoli 1520°C , temperatura taline v tundishu na začetku vlijanja je znašala 1588°C , ob koncu pa 1560°C . Pregretje je bilo 40 do 68°C , kar je nad nivojem, kjer bi po diagramu v viru 15 lahko pričakovali pomemben vpliv temperature taline na debelino globulitične skorje. Poleg tega so bila jekla z aluminijem vliata proti koncu preizkusa, kar seveda pomeni, da bi lahko pričakovali le nasproten vpliv temperature taline na debelino globulitične skorje. Strjevalna struktura je tudi odvisna od sestave jekla. Podatki o vplivu ogljika so nekoliko protislojni. Vira 14 in 16 navajata, da se z rastjo vsebnosti ogljika od 0,1 na 0,25 % poveča debelina globulitične skorje ob površini jekla. Diagram v viru 17 pa kaže, da se povečuje bazalno strjevanje, ko količina ogljika raste od 0,1 na 0,6 %. Izsledki v viru 14 kažejo, da pri povečanju vsebnosti aluminija od 0,001 na 0,01 % širina bazalne plasti zraste na dvojno pri strjenju močno pregretega jekla z 0,17 % ogljika. Nasprotno pa pri 0,35 % ogljika ni bilo opaziti vpliva aluminija na strjevalno strukturo. Avtorji so mnenja, da je vpliv aluminija težko razložiti. Talina pri njihovih preizkusih je bila dobro desoksidirana na okoli 20 ppm kisika. Zato se ta element ni mnogo znižal z dodatkom aluminija, s tem pa se tudi ni znižala površinska napetost med talino in trdno fazo, ki po teoriji močno vpliva na morfologijo strjevanja.

Vir 14 navaja, da je bila strjevalna struktura laboratorijskih blokov s presekom 140×140 mm pri 0,032 % cerija popolnoma bazaltna. V viru 10, ki prinaša ugotovitve o strjevalni strukturi slabov z debelino 250 mm iz jekla, pomirjenega z aluminijem, najdemo diagram, ki kaže, da raste centralna globulitična cona, ko raste količina redkih zemelj do ca. 0,04 %. Še večja vsebnost redkih zemelj je brez vpliva. Razliko s podatkom iz vira 14 razlagamo z razliko v pogojih vlivanja in strjevanja jekla.

Lahko na tem mestu razpravo zaključimo z ugotovitvijo, da se naša ugotovitev o vplivu aluminija na strjevalno strukturo potrjuje s podatki iz literature. Odlika našega dognanja je, da je vpliv aluminija nedvoumno potrjen in ovrednoten na kontinuirno vliem industrijskem jeklu.

4.2 Mehanizem vpliva aluminija na globulitično strjevanje jekla

Na osnovi podatkov iz te raziskave in podatkov iz literature lahko za razlago vpliva aluminija na strjevalno strukturo, še posebej pa na izoblikovanje globulitične skorje, postavimo 4 hipoteze:

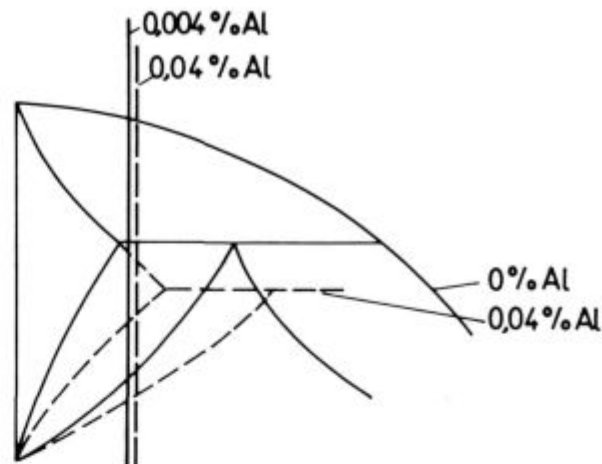
a) zaradi dodatka aluminija se poveča reža med žilo in kokilo, zmanjša se hitrost prehoda toplote in ni pogojev za podhladitev taline. Ta hipoteza ni sprejemljiva. Z dodatkom aluminija se lahko samo poveča količina δ ferita, pri strjenju v to fazo pa je skrček taline manjši, kot pri strjenju v avstenit. Torej je lahko reža le manjša, ohlajanje hitreje in zato večja verjetnost, da bi ob zagotovljenih drugih pogojih prišlo do nastanka globulitične skorje.

b) S povečanjem količine aluminija se zmanjša količina kisika, ki je v raztopini v jekleni talini med strjevanjem in to se odraža na podhladitvi, ki je potrebna za nastanek globulitične skorje. Jeklo z 0,004 % aluminija ima pri 1600°C 10 ppm kisika v raztopini, ustrezni vrednosti za jeklo z 0,014 in 0,04 % aluminija sta 5 in 2,5 ppm (18). V teoretičnem modelu homogene nukleacije je hitrost tvorbe kali $I = f(\exp(-K\sigma^3))$ s σ površinsko napetostjo (19). Kisik zmanjšuje površinsko napetost taline. Med talino z 10 in 2,5 ppm kisika je razlika v površinski energiji pod 5 % (20). To je pod vrednostjo, od katere lahko pričakujemo, da bo povzročila bistveno spremembo strjevalne strukture.

Tudi oblika zrn v obpovršinski plasti na jeklu z 0,04 % aluminija indirektno kaže, da vpliva aluminija ni mogoče razložiti z vplivom kisika, ki je raztopljen v talini v trenutku strjenja. V tem jeklu ne najdemo skorje oziroma diskontinuitete v procesu strjevanja na meji ev. podhlajene plasti. Bazaltna zrna segajo praktično do površine, njihova velikost pa postopoma raste od površine proti notranosti gredice. To pomeni, da ni bilo pogojev za nukleacijo v podhlajeni talini ali da je bila podhladitev omejena na zelo ozek sloj ob površini gredice, ki ga ni mogoče natančno opredeliti, oz. da je bila podhladitev majhna in se je ev. nastala globulitična plast raztalila zaradi sproščanja strjevalne toplote.

Zato lahko razpravo v tej točki zaključimo s sklepom, da ni znakov, da je do spremembe strjevalne strukture prišlo zaradi spremembe v količini kisika, ki je bil v raztopini v jekleni talini v trenutku strjenja.

c) Za pojav globulitičnega strjevanja ob površini gredic je odločilna rast v podhlajeni talini, za globulitično strjevanje v sredini gredic pa viskoznost taline. Diagram v viru 19 kaže, da se podhladitev taline iz čistega železa zmanjša več kot 10 krat po dodatku aluminija. Podoben, vendar manjši je vpliv silicija in večji je vpliv redkih zemelj. Po podatkih v viru 21 povečanje koncentracije ele-



Slika 17

Shema spremembe peritektičnega kota v linearnem diagramu Fe-C pri dodatku aluminija in strjevanju jekla brez in z dodatkom aluminija.

Fig. 17

Scheme of the change of peritectic corner in the linear Fe-C diagram with addition of aluminium, and solidification of steel with and without addition of aluminium.

mentov, ki imajo alfagen učinek (X), znižuje peritektično temperaturo in širi obstojnost δ ferita v sistemu Fe-C-X. Od alfagenih elementov, ki so v substitucijski raztopini, se obravnavajo silicij, krom, molibden in titan, ni pa podatkov za aluminij. Tudi ta element povečuje stabilnost ferita; zato pričakujemo, da ima podoben vpliv na peritektičen del sistema Fe-C, kot preje naštetni elementi. Lahko predvidevamo, da se proces strjevanja pri povečani količini aluminija spremeni podobno, kot je prikazano na sliki 17. Temperatura strjenja je nižja in večja je tendenca k tvorbi δ ferita, kot prve trdne faze. To bi poleg homogene nukleacije lahko razložilo manjšo sposobnost za podhladitev pri talini, ki vsebuje aluminij. Manjša podhladitev pa zmanjša možnost nastanka globulitične finostrukture skorje oz. jo napravi manj obstojno proti segrevanju zaradi sproščanja strjevalne toplote. Če sprejmemo razlago, da je centralna globulitična cona produkt sedimentacije, lahko zmanjšanje te cone pri naraščanju količine aluminija v talini razlagamo s tem, da je viskoznost taline večja pri nižji temperaturi, zato tudi manjše gibanje v njej in manj lomljenja vrhov bazaltnih zrn, zato postane mogoča njihova rast do simetralne gredice.

d) Po podatkih v viru 22 so lahko atomi dušika v jekleni talini stabilizirani podobno kot v feritu. Substitucijski legirni elementi, na primer krom in vanadij, so lahko pasti za atome dušika, ki v talini tako niso več svobodni. Takega vpliva nimajo močni nitridotvorci, na primer titan, ker se vežejo v stabilne faze že pri zelo nizkih koncentracijah dušika. Po nitridotvornem potencialu spada aluminij med titan in vanadij oz. krom. Izkušnje iz jeklene litine kažejo, da nastaja AlN iz taline z okoli 0,01 % dušika, šele ko prekorači vsebnost aluminija ca. 0,1 % (23), zato predvidevamo, da nastajajo v jekleni talini metastabilni kompleksi, kjer so dušikovi atomi ujeti na aluminijeve in se tako pojavi neke vrste bližnja ureditev taline. Lahko pričakujemo, da ima taka talina manjšo sposobnost za podhladitev in večjo viskoznost kot talina, v kateri atomi niso povezani v metastabilnih kompleksih. Pričakovati je zato, da se bo strjevanje v taki talini začelo pri manjši podhladitvi, torej bo manj možnosti za nastanek globuli-

tične skorje in bo manj gibanja v talini v centru gredic, zato tudi manj usedanja odlomljenih delov bazaltnih zrn.

Sodeč po virih 1 in 5 je pri istem aluminiju manj globulitičnega strjenja in je manjša začetna plastičnost, če je v jeklu več dušika. Aluminij in dušik torej učinkujeta sinergistično. To lahko vzamemo kot indirektni dokaz v prid zadnji razlagi vpliva aluminija na strjevalno strukturo jekla.

ZAKLJUČEK

Izvršene so bile preiskave homogenosti in vključkov v jeklih, ki so bila izdelana na isti kontinuirni žili in so imela različno strjevalno strukturo z globulitično skorjo in globulitično centralno cono ali brez njiu. Jeklo z 0,04 % in več aluminija je bilo brez globulitične cone ob površini in notranjosti gredic. Rezultati kažejo, da v jeklih ni izcejanja elementov, ne glede na strjevalno strukturo. Izjema je kisik, ki ga je manj v sredini vseh gredic, ne glede na količino aluminija v jeklu. Velikost sulfidnih vključkov je

je kisik, ki ga je manj v sredini vseh gredic, ne glede na količino aluminija v jeklu. Velikost sulfidnih vključkov je identična v notranjosti gredic, ne glede na to, ali je bila strjevalna struktura bazalna ali globulitična, pač pa so razlike v porazdelitvi sulfidnih vključkov. Tik ob površini so vključki v vseh jeklih manjši, najmanjši pa prav v jeklih z globulitično skorjo.

Upoštevaajoč rezultate preiskav in različne podatke iz literature, predlagamo več razlag, zakaj povečanje količine aluminija v jeklu zmanjšuje najprej debelino globulitične skorje ob površini in jo nato popolnoma odpravi. Razpoložljivi podatki kažejo, da sta dve od predloženih hipotez konsistentni z rezultati dosedanjih raziskav in s podatki iz literature; ena bazira na povečanju obstojnosti δ ferita in znižanju peritektične temperature, druga pa na strukturi taline, v kateri so atomi dušika ujeti na atome aluminija. Za obe predloženi razlagi je tudi značilno, da bazirata na domnevi, da se z dodatkom aluminija zniža podhladitev taline, kar zmanjša možnost globulitičnega strjevanja ob površini gredic.

LITERATURA

1. M. Torkar: Disertacija na Univerzi v Ljubljani, 1987.
2. F. Vodopivec in M. Torkar: Zbornik Residuals in Iron and Steel, Metalurški Institut v Ljubljani, 1986, 159—173.
3. F. Vodopivec, M. Torkar in M. Jakupovič: Material Science and Technology, Jakupovič 3, 1987, 372—377.
4. I. Kozasu, C. Ouchi, T. Sampei in T. Okita. Microalloying 75, Union Carbide Corporation, New York, 1977, 120—135.
5. J. Arh in F. Vodopivec: Železarski Zbornik 4, 1970, 259—264.
6. F. Vodopivec in M. Jakupovič: Železarski Zbornik 13, 1979, 69—76.
7. F. Vodopivec: 5. Jugoslovanski simpozij o elektronski mikroskopiji, Plitvice, junij 1986, Zbornik del, 23—29.
8. F. Vodopivec, B. Koroušič, J. Arh in B. Ralič: Železarski Zbornik 13, 1979, 19—22.
9. Y. Nuri, T. Ohashi, T. Hiramoto in O. Kitamura: Transactions ISIJ 17, 1977, 262—270.
10. K. A. Jackson in al. Trans. AIME 236, 1966, 149. Loc. cit. vir 12.
11. H. Jakobi in K. Wünnenberg: Stahl und Eisen 97, 1977, 1075—1081.
12. N. T. Mills in R. W. Joseph: Iron Making and Steel Making, 1977, št. 3, 181—189.
13. H. Iwata, K. Jamada, T. Fujita in K. Hayashi: Transactions of ISIJ 16, 1970, 374—381.
14. P. Stadler, K. Hagen, P. Hammerschmid in K. Schwerdfeger: Stahl und Eisen 102, 1982, 451—459.
15. K. Wünnenberg in H. Jakobi: Stahl und Eisen 101, 1981, 874—882.
16. T. Ohashi in T. Osano: The 2nd Japan-Germany seminar, april 1976, Tokyo, Loc. cit. vir 14.
17. D. J. Hurtuk in A. A. Tsavaras: Journal of Metals, 1982, št. 2, 40—45.
18. E. T. Turkdogan: Archiv für das Eisenhüttenwesen 54, 1983, 1—10.
19. T. Ohashi, H. Fuji, Y. Nuri in K. Osano: Transactions ISIJ 17, 1977, 262—270.
20. A. Kasama, A. McLean, W. A. Miller, Z. Morita in M. J. Ward: Canadian Metallurgical Quarterly 22, 1983, 9—17.
21. A. Kagawa in T. Omamoto: Materials Science and Technology 2, 1986, 997—1008.
22. N. Shohoji: Materials Science and Technology 3, 1987, 43—48.
23. F. Vodopivec, S. Lenasi, A. Rodič, E. Štručl, V. Strahovnik in D. Kmetič: Železarski Zbornik 12, 1978, 109—118.

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil dieser Untersuchungen wurde gezeigt, daß sich mit der Vergrößerung des Aluminiumgehaltes von 0,014 bis 0,04 % die Erstarrungsstruktur bei dem stranggegossenem Stahl Č1221 und 140 x 140 mm stark ändert, die Anfangsverformungsfähigkeit wird schlechter und die Zahl der Oberflächenfehler am Stahl das bei der Erstarrungstemperatur gewalzt wurde wird grösser. Aluminium ist ohne Einfluß wen die Knüppel nach der Abkühlung bis zu der Raumtemperatur und Wiedererwärmung gewalzt werden, wobei der Stahl die Erstarrungsstruktur verliert. Es ist bewiesen worden, daß die Verminderung der Warmverformbarkeit nicht mit der Bildung von AlN verbunden ist sondern nur mit der Form der erstarrten Körner die im Stahl mit hohem Aluminiumgehalt bis zu der Oberfläche der Knüppel aus Stengelgefüge bestehen.

Im zweiten Teil der Untersuchungen hat man festgestellt, daß in den Knüppeln unabhängig von der Erstarrungsstruktur keine Seigerungen der Elemente festzustellen sind. Eine Ausnahme ist Sauerstoff. Es gibt weniger Sauerstoff in der Mitte der Knüppel bei allen Aluminiummengen im Stahl. Die Größe der Sulfideinschlüsse ist in der Mitte der Knüppel gleich bei allen Stählen, unabhängig vom Aluminiumgehalt und von der

Erstarrungsstruktur ob die Stengelartig oder globulitisch ist, jedoch gibt es Unterschiede in der Verteilung von Einschlüssen. Nahe der Oberfläche sind Sulfideinschlüsse bei allen Stählen kleiner, am kleinsten sind die Einschlüsse in Stählen die an der Oberfläche der Knüppel eine globulitische Schicht aufweisen.

Mit der Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse und der Literaturangaben werden einige Hypothesen für die Erklärung vorgeschlagen, wozu bei grösser werdender Aluminiumkonzentration die Neigung von Stahl zur Bildung globulitischen Schicht an der Knüppeloberfläche und eines globulitischen Kernes in der Mitte kleiner wird. Von den möglichen Erklärungen sind zwei in Konsistenz mit den Literaturangaben und den Versuchsergebnissen. Die eine Hypothese erklärt den Einflussmechanismus von Aluminium durch die Ausbreitung des Beständigkeitsbereiches von δ Ferrit, die Andere durch die Entstehung in der Schmelze assoziierten Paaren von Aluminium-Stickstoff Atomen. Für beide Erklärungen ist charakteristisch, daß mit dem Zusatz von Aluminium die Fähigkeit von Stahl zur Unterkühlung kleiner wird wodurch auch die Möglichkeit für die Entstehung globulitischen Schicht an der Oberfläche von Knüppeln kleiner wird.

SUMMARY

The first part of investigation showed that the solidification structure of Č. 1221 steel being continuously cast into a billet of cross section 140 x 140 mm is strongly changed with the increased aluminium content from 0.014 % to 0.04 %. Simultaneously the initial workability is reduced, and the number of surface defects in steel being rolled in the solidification heat was increased. Aluminium has no influence if billets are rolled after cooling to room temperature and subsequent heating when the solidification structure of steel disappears. It was proved that reduced hot workability is not connected to the formation of AlN but only to the shape of grains formed in solidification which is columnar up to the surface of billet if aluminium content in steel is high.

In the second part of investigation it was found that there were no segregations in billets regardless to the solidification structure. Only oxygen is an exception. Its concentration in the center was lower regardless to the amount of aluminium in steel. The size of sulphide inclusions in the center of billets is the same in all steels regardless to the aluminium content and

irrespective of the solidification structure being columnar or globulitic, but the distribution of inclusions varied. Close to the surface the sulphide inclusions in all steels are finer, and they are the finest in steel where layer of equiaxed crystals is formed at the surface of billets.

Taking in account the results of the investigation and the reference data, some hypotheses on mechanism why the increased aluminium content reduces the susceptibility of steel to form equiaxed crystals in a layer at the surface and in core of billets were proposed. Two of them are consistent with the data in references and the findings of the investigation. The first one suggests that aluminium widens the region of existence of δ ferrite, the second one suggests the formation of association of aluminium and nitrogen atoms in the melt. The characteristic of both explanations is that addition of aluminium reduces the ability of steel to undercooling which reduces the possibility of formation of globulitic layer at the surface of billets.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи исследования показали, что с увеличением количества алюминия с 0,014 % до 0,04 % существенно изменяется структура затвердения стали С. 1221, которое было отлито в заготовки сечения 140 x 140 мм, уменьшается первоначальная пластичность и увеличивается число поверхностных пороков в стали, которое было прокатано в тепловом затвердении. Алюминий не оказывает влияние если прокатка заготовок ведётся после охлаждения до комнатной температуре и вторичном согреву, когда сталь теряет структуру затвердения. Доказано, что уменьшение деформирования не находится в связи с образованием AlN а с формой затвердевших зёрен, которые имеют столбчатую форму до поверхности заготовок в стали с высоким содержанием алюминия.

Во второй части работы мы определили, что в заготовках не обнаружено зейгерование элементов, несмотря на структуру затвердения. Исключение представляет кислород, которого находим при всех количествах содержания алюминия в стали. Величина сульфидных включений в середине заготовки всюду одинакова при всех сталях несмотря на содержа-

ние алюминия и несмотря на то структура затвердения базальтная или глобулярная, разница только в распределении включений. Вплоть поверхности все сульфидные включения при всех сталях по величине малые. Самые малые включения, которые имеют при поверхности заготовок глобулярную корку.

Имея во внимании исследования и данные из литературы предлагается для объяснения несколько гипотез почему с увеличением содержания алюминия уменьшается склонность стали к образованию глобулярной коры при поверхности заготовок и глобулярной структуры в ядре середины заготовок. Среди возможных разъяснений более всего существенны два с данными из литературы и результатов исследования. Одна гипотеза объясняет механизм влияния алюминия с расширением области присутствия δ феррита, другая же гипотеза с образованием в расплаве ассоциативных паров алюминий — азот атомов. Типично для обоих объяснений, что с добавкой алюминия уменьшается способность стали к переохлаждению, что уменьшает возможность образования глобулярной коры при поверхности заготовок.

Elektroobložna peč, njen vpliv na elektroenergetski sistem in kompenzacija jalove moči v jeklarni 2 v železarni Jesenice

Anton Koselj*

UDK: 621.365.2:621.3.018
ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f

UVOD

Težnja za povečano storilnostjo in zmanjšanjem stroškov je vodila razvoj k novim oblikam in sredstvom za uporabo električne energije. Po drugi strani so se porabniki številčno vedno bolj večali, modernizirali, pa tudi moč posameznih porabnikov je vedno bolj rasla. Tako se vedno bolj pogosto srečujemo z uporabo tiristorjev ter vedno večjim številom in močmi elektroobložnih peči. Raba teh porabnikov pa nosi s seboj negativne povratne vplive na elektroenergetski sistem in jih vsiljuje tudi drugim porabnikom, ki so priključeni na isti elektroenergetski sistem. Valjarniški pogoni, ki so napajani preko velikih tiristorovskih pretvornikov, zlasti pa elektroobložne peči, katerim bo posvečen pretežni del tega članka, povzročajo najmočnejše in najbolj opazne povratne vplive na elektroenergetski sistem.

RAST PROIZVODNJE ELEKTROJEKLA IN SPREMLJAJOČI POJAVI

V državah, članicah mednarodne zveze za elektrotploto (UIE International Union for Electroheat) (1) ter mednarodne zveze proizvajalcev in distributerjev električne energije (UNIPED — International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy) je znašala skupna proizvodnja surovega jekla leta 1952 $271 \cdot 10^6$ t, od tega $24,6 \cdot 10^6$ t ali 9,1 % elektrojekla.

Leta 1968 se je ta odnos spremenil in je znašala skupna proizvodnja $516 \cdot 10^6$ t, od tega $70 \cdot 10^6$ t ali 13 % elektrojekla. V tem obdobju je splošen trend porasta proizvodnje jekla. Evidentno pa je, da v vseh državah raste proizvodnja elektro jekla.

Pretežni del povečanja proizvodnje elektrojekla je doseženo s povečanjem moči proizvodnih agregatov po moči in le manjši del na račun povečanja števila peči. Moči elektroobložnih peči so postale tako velike, da njihovih povratnih vplivov na elektroenergetske sisteme ni bilo mogoče več spregledati. V elektroenergetskih sistemih so se med obratovanjem peči pojavljale tako velike motnje, da so jih čutili porabniki, ki so bili priključeni na isto električno omrežje. Motnje so imele več pojavnih oblik. Te si bomo natančneje ogledali kasneje.

Motnje so postajale vedno bolj pogoste. Analiza tega pojava je pokazala, da je razvoj velikih električnih obložnih peči prehitel razvoj elektroenergetskega sistema. Zaradi tega elektroenergetski sistem ni bil več v stanju zagotoviti obratovanja električnih obložnih peči brez nesprejemljivih spremljajočih motenj ostalih porabnikov v točki skupnega priključka. (Point of Common Coupling — PCC). Vedno bolj je naraščala potreba po informacijah o pretekli praksi in izkušnjah. Tako nastanejo prve nacionalne študije že v petdesetih letih. Leta 1970 je izdalo angleško elektrogospodarstvo znana priporočila P 7/2 (2). To so v bistvu standardi, ki jih je treba upoštevati pri priključevanju novih elektropeči na električno omrežje. Osnovni kriterij teh standardov je, da mora biti 1padeč napetosti v točki skupnega priključka ob kratkem stiku v peči manjši od 2 %. Ta pogoj zagotavlja, da porabniki, ki so priključeni v PCC, ne bodo čutili motenj zaradi obratovanja peči.

Leta 1973 je bila na pobudo UIE in UNIPED izdelana mednarodna študija (1), ki je dala nove ideje in smernice za tehnične in ekonomske poglede na:

- projekt, konstrukcijo in obratovanje elektropeči,
- priključek peči na visokonapetostni sistem,
- uporabo naprav za dušenje motenj.

Pri tej študiji so sodelovali dobavitelji električne energije, uporabniki električnih peči in izdelovalci elektropeči.

Študija je analizirala 187 peči v Evropi in Aziji. Rezultati študije so prikazani v obliki diagrama. Glede na kratkostično moč v PCC in nazivno moč peči je iz diagrama možno razbrati, ali bo peč povzročala motnje v PCC ali ne.

Leta 1976 je angleško elektrogospodarstvo izdalo priporočilo G. 5/3 (3). V njem so definirani standardi višjiharmonskih komponent napetosti in tokov, ki se še smejo pojaviti v omrežju. Popačenje napetostne sinusoida zaradi višjiharmonskih komponent je definirano s faktorjem distorzije FD.

$$FD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}$$

Skupni FD za 132 kV omrežje po teh priporočilih sme znašati 1,5 %, za posamezne višjiharmonske komponente pa 1 % za lihe in 0,5 % za sode.

* Železarna Jesenice

** Originalno objavljeno: ŽZB 23 (1989) 1

*** Rokopis prejet: oktober 1988

DINAMIKA ELEKTROPEČI V OBRATOVANJU

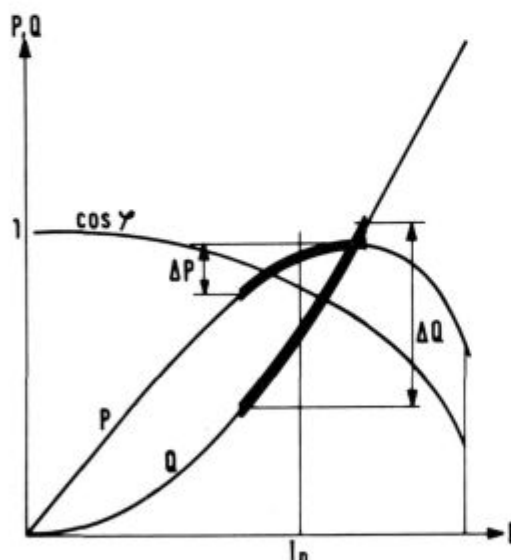
Običajna delovna karakteristika elektroobložne peči je prikazana na sliki 1 (4). Slika 1a pa prikazuje stvarno dinamiko odzema delovne in jalove moči elektropeči v jeklarni 2 železarne Jesenice med obratovanjem.

Značilen pojav med obratovanjem so trofazni kratki stiki v peči. To se zgodi v primerih, ko elektrode med taljenjem prodrejo že globoko v taljeni vložek in se vložek okrog elektrod zruši na elektrode. Točke a, b, c in d na sliki 1a ponazarjajo take primere. V teh točkah delovna moč pade praktično na nič, jalova pa močno naraste, kajti vrednost jalove moči je $P_j = 3 \times J^2$. Grafično se to dobro vidi na sliki 1. V teh primerih običajno kratkostična zaščita peč izklopi.

V normalni delovni točki med taljenjem, to je pri $\cos \varphi$ okrog 0,7, bo nihanje toka zaradi nestabilnosti tokovnega loka imelo za posledico veliko nihanje jalove moči, ki jo rabi peč. Dejansko je nihanje jalove moči mnogo večje kot delovne. Nihanje jalove moči lahko pojasnimo na sliki 2. To je enopolna shema električne peči, ki je priključena na električno omrežje v točki skupnega priključka z drugimi porabniki električne energije.

Na sliki 2 je prikazan opis s kazalčnim diagramom. Iz tega se da s pomočjo trigonometričnih funkcij izračunati padec napetosti na kritičnih zbiralkah, ko peč potegne tok obremenitve.

$$\Delta U = IX_n \sin \varphi + IR_n \cos \varphi = IX_n \left(\sin \varphi + \frac{R_n}{X_n} \cos \varphi \right) \quad (1)$$



Slika 1.

Obremenilni diagram elektroobložne peči

I	— Tok v elektrodi	ΔQ	— Nihanje jalove moči
P	— Delovna moč	$\cos \varphi$	— Faktor delavnosti
Q	— Jalova moč	I_n	— Tok v delovni točki
ΔP	— Nihanje delovne moči		

Fig. 1

Load diagram of electric arc furnace

I	— current in electrode	ΔQ	— fluctuation of reactive power
P	— active power	$\cos \varphi$	— power factor
Q	— reactive power	I_n	— load current
ΔP	— fluctuation of active power		

V normalnem električnem omrežju je reaktanca X_n mnogo večja od upornosti R_n , to je $R_n \ll X_n$. Zato drugi člen v enačbi 1 lahko zanemarimo in pišemo

$$\frac{\Delta U}{\sqrt{3}} = IX_n \sin \varphi \quad (2)$$

Nadalje reaktanco omrežja lahko izrazimo kot

$$X_n = \frac{U_0^2}{S_k} \quad (3)$$

Jalovo moč, ki jo zahteva peč, lahko napišemo

$$Q = I U_0 \sqrt{3} \sin \varphi \quad (4)$$

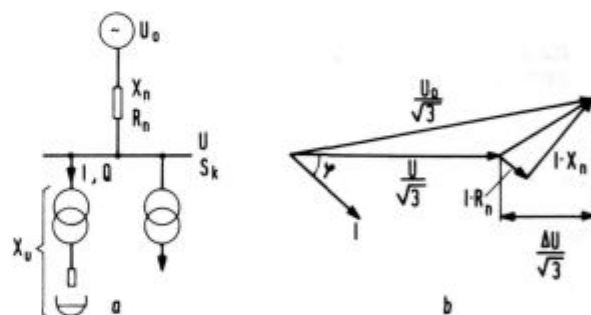
Če nesemo enačbi 2 in 3 v enačbo 4, dobimo

$$\frac{\Delta U}{U_0} \approx \frac{Q}{S_k} \quad (5)$$

Posebni primer padca napetosti, ki se pojavi med praznim tekom peči in trifaznim kratkim stikom med konicami elektrod, lahko zapišemo

$$\frac{\Delta U}{U_0} \approx \frac{Q \max}{S_k} = \frac{X_n}{X_n + X_u} \quad (6)$$

Nekaj splošno ugotovljenih pravil nam lahko pomaga oceniti, ali bodo porabniki električne energije, ki so priključeni na kritične zbiranke v PCC, zaradi priključitve električne peči moteni ali ne.



Slika 2.

Enopolna shema in kazalčni diagram električne mreže z obremenilnim tokom elektro peči

a: Enopolna shema	b: Kazalčni diagram
I — Tok elektrode	ΔU — Padec napetosti v PCC
Q — Jalova moč peči	U_0 — Napetost praznega teka el. mreže
R_n — Upornost el. mreže	X_n — Reaktanca el. mreže
S_k — Kratkostična moč v PCC	X_u — Reaktanca peči
U — Napetost v PCC	φ — Fazni kot

Fig. 2

Single-pole scheme and vector diagram of electric network with load current of electric arc furnace

a: single-pole scheme	b: vector diagram
I — electrode current	ΔU — voltage drop in PCC
Q — reactive power of furnace	U_0 — voltage of network stand-by
R_n — network resistance	X_n — network reactance
S_k — short-circuit power in PCC	X_u — furnace reactance
U — voltage in PCC	φ — phase angle

Glede na ugotovitve študije UIE in UNIPEDE, ki je raziskovala motenje domačih porabnikov na področjih elektroobložnih peči, ni pričakovati motenj oziroma pritožb zaradi flickerjev, če relativni padec napetosti, izračunan po enačbi 6 ne preseže 1,8 % (4). Motnje oziroma pritožbe se bodo verjetno pojavile, če bo ta napetost presegla 2,0 %.

Maksimalna jalova moč, ki jo potegne peč med trifaznim kratkim stikom v peči, je približno enaka

$$Q_{max} \approx \sqrt{2} S \quad (7)$$

pri čemer je S maksimalna navidezna moč peči. Iz zgoraj omenjenega pravila

$$\frac{\Delta U}{U} < 1,8 \% \text{ sledi}$$

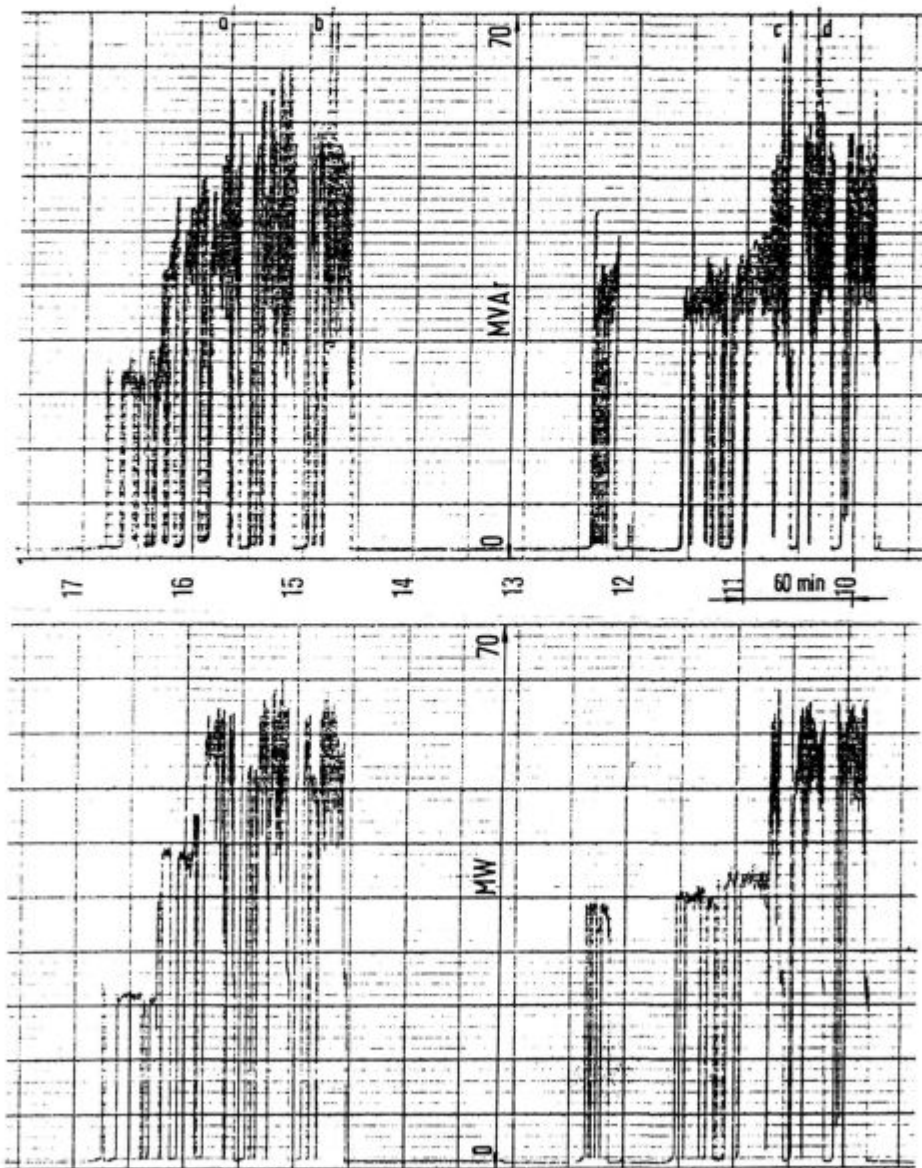
$$\frac{Q_{max}}{S_k} \approx \frac{\sqrt{2} S}{S_k} = 0,018$$

ali

$$S_k \frac{\sqrt{2} \cdot S}{0,018} = 79 S$$

Z besedami to pravilo pravi: Da bi se izognili opisanim pojavnim oblikam motenj na zbiralnicah v PPC, mora kratkostična moč na teh zbiralnicah doseči vrednost 79-kratne maksimalne navidezne moči peči. To pa so vrednosti, ki jih mnogokrat ni možno doseči.

Kadar je iz navedenih pravil možno sklepati na to, da bo peč povzročala motnje v omrežju, je iz enačbe 6 mo-



Slika 1a.

Diagram odvzema delovne in jalove moči

Fig. 1a

Load diagram of active and reactive power

žno sklepati o naslednjih ukrepih za izboljšanje stanja v mreži:

— Povečati je treba reaktanco peči X_w . S tem se zmanjša jalova moč, ki jo zahteva peč. Za dano peč to seveda pomeni ekvivalentno zmanjšanje delovne moči. V primerih zelo mehke mreže se ta ukrep pogosto izvaja s tem, da se pred pečni transformator vgradi dušilka. Ta se v času taljenja vklopi, v času rafinacije pa izklopi.

— Reaktanco napajalnega visokonapetostnega omrežja je treba zmanjšati s tem, da se ojača električno omrežje. S tem se poveča kratkostična moč S_k . Jačanje napajalnega omrežja je seveda tudi zelo drago. Vendar se tudi to v določenih primerih izvaja, če družbenoekonomski interes to opravičuje.

— Nihanje jalove energije, ki jo peč vleče iz omrežja, je možno zmanjšati s tem, da se ob peči zgradi naprava za kompenzacijo jalove energije.

Pojavne oblike motenj, ki jih povzročata obratovanje elektropeči

Elektropeč je po svoji naravi zelo nemiren, dinamičen porabnik električne energije. Prav zaradi svoje dinamike povzroča neprijetno povratno delovanje na elektroenergetski sistem, na katerega je priključena. Razlikujemo naslednje pojave povratnega delovanja:

Poslabšanje $\cos\varphi$

Sekundarni tokokrog od niskonapetostnih spenk pečnega transformatorja do konic elektrod predstavlja 75 % do 85 % celotne reaktance od PCC do konic elektrod (6). Peč je zaradi tega velik porabnik jalove energije. Jalova moč v primerjavi s čisto delovno močjo povzroča dodatne izgube v proizvodnih agregatih in prenosnih napravah. Slab $\cos\varphi$ pa ni sprejemljiv tudi za elektrogospodarstvo, ki zahteva, da je $\cos\varphi \geq 0,95$.

Sprememba napetosti zaradi jalove moči

Zelo pomembno je povratno delovanje jalove moči glede na njeno velikost in hitrost spreminjanja. V nasprotju z delovno močjo, deluje jalova moč v celoti na spremembo napetosti napajalnega omrežja. Impedanco napajalnega omrežja predstavlja pretežno reaktanca. Zato je padec napetosti ΔU sorazmeren prenašani jalovi moči ΔQ , kot smo ugotovili že v enačbi 5.

$$\Delta U = U \frac{Q}{S_k}$$

Padec napetosti povzroča neprijetne posledice za lastne in zunanje porabnike, ki so priključeni na isto električno omrežje. Izraža se v naslednji obliki:

- moč motorjev pada linearno z napetostjo
- izgube bakra v motorjih in razdelilnih napravah pri nespremenjeni moči rastejo kvadratno s padcem napetosti
- moč elektropeči in drugih termičnih porabnikov pada kvadratno z napetostjo.

Flickerji

Flickerji so za ljudi moteča svetlobna migotanja. Najbolj se opazijo na svetlobnih telesih z žarilno nitko. Povzročajo pa jih nihanje napetosti v frekvenčnem področju približno 0 do 30 Hz. Taka napetostna nihanja se poja-

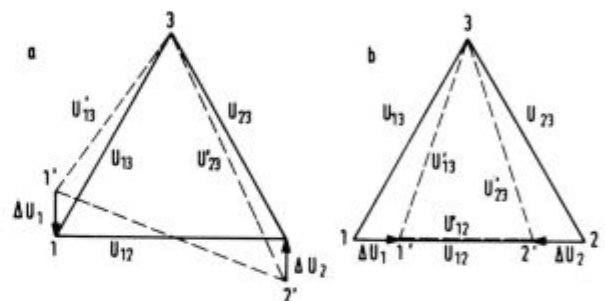
vljajo zaradi nihanja jalove moči v glavnem zaradi neenačmernega in nekontroliranega tokovnega loka v pečeh. Ta so najbolj izrazita v fazi topljenja.

Za meritve in oceno flickerjev obstajajo nacionalna in mednarodna priporočila. Za mednarodno priznani instrument za meritve flickerjev je specifikacijo izdelal tudi komite za povratne vplive na električno omrežje pri UIE.

Nesimetrična obremenitev mreže

Nesimetrična, to je neenaka obremenitev treh faz nastane zaradi enofaznih porabnikov ali popolnoma nekontroliranih različnih impedanc trofaznih elektroobložnih peči. Nesimetrija v obremenitvi povzroči različne padce napetosti na reaktancah električnega omrežja in s tem neenake medfazne napetosti na mreži.

Enofazna delovna moč le ne bistveno spremeni vrednost medfazne napetosti v obremenjeni fazi. Vpliva pa na zmanjšanje oziroma povečanje ostalih dveh medfaznih napetosti — **slika 3a**. Nasprotno pa je posledica enofazne jalove obremenitve bistveno povečan padec napetosti v obremenjeni fazi in majhen padec napetosti v ostalih dveh medfaznih napetostih — **slika 3b**.



Slika 3.

Nesimetrična obremenitev el. mreže

- a: Vpliv obremenitve z delovno močjo na medfazno napetost U_{12} el. mreže
 b: Vpliv obremenitve z jalovo močjo na medfazno napetost U_{12} el. mreže

Fig. 3

Asymmetric load of electric network

- a: influence of load with active power on the network line voltage U_{12}
 b: influence of load with reactive power on the network line voltage U_{12}

Nesimetrično obremenitev je treba simetrirati tako, da se v referenčni točki spet vzpostavi enakostraničen napetostni trikotnik.

Višje harmonski tokovi (7)

Obstaja cela vrsta porabnikov, ki so izvor visokofrekvenčnih tokov. Ti povzročajo na reaktancah napajalnih električnih omrežij padce napetosti in razcefrajo sinusno obliko mrežne napetosti. Višje harmonski tokovi povzročajo poleg tega še dodatne izgube na elektroenergetskih napravah. Visoko harmonske komponente lahko motijo občutljive elektronske in telekomunikacijske naprave.

Nacionalna in mednarodna priporočila zaradi škodljivih vplivov postavljajo meje višjim harmonskim komponentam, ki se smejo pošiljati v omrežje.

Elektropeči proizvajajo ves zvezni spekter višjih harmonskih tokov. V njem so najbolj izrazite lihe in sode višje harmonske komponente. Med njimi se pojavljajo tudi podharmonske. Amplitude višje harmonskih komponent v povprečju padajo približno s

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \quad (5)$$

Za višje harmonski spekter so odgovorni nestabilni obratovalni odnosi treh obločnih lokov in nelinearna U-I karakteristika. Od vseh povratnih vplivov na elektroenergetski sistem je najtežje obvladovati prav višje harmonske tokove in napetosti, kajti njih izvori se med obratovanjem spreminjajo in prav tako impedance oziroma kratkostične moči elektroenergetskega sistema. Tej dinamiki pa tudi kompenzacijska naprava ne more v celoti slediti.

KOMPENZACIJA JALOVE MOČI V ŽELEZARNI JESENICE

Železarna Jesenice po svojem geoelektričnem položaju leži na koncu 110 kV kraka, kar pomeni, da je napajana enostransko. Dve elektro-peči s pečnimi transformatorji po 18,75 MVA (LM) in 18 MVA (ASEA) sta bili do izgradnje jeklarne 2 napajani po enem 110 kV daljnovodu iz 60 km oddaljene RTP Kleče pri Ljubljani. 110 kV zbiralnica v Klečah so bile skupna točka peči in ostalih porabnikov v Ljubljani in na Gorenjskem. Kadar sta obratovali obe peči hkrati v fazi taljenja, so v večernih urah njuno delovanje čutili vsi porabniki razsvetljave z žarnicami na žarilno nitko. Luči so močno utripale, v Ljubljani in na Gorenjskem. Na ta račun je bilo slišati nemalo pritožb.

Ko smo v sedemdesetih letih na Jesenicah pričeli razmišljati o gradnji nove jeklarne 2 z UHP pečjo s transformatorjem 60 MVA, elektrogospodarstvo Slovenije prav zaradi motenj, ki jih bo taka peč povzročala na elektroenergetskem sistemu, o njenem priključku ni hotelo nič slišati. Zahtevalo je predhodno izdelavo študije, ki naj bi pokazala vse vplive in motnje, ki jih bo peč povzročala

na elektroenergetskem sistemu, ter ukrepe, ki jih je treba izvesti, da se motnje preprečijo.

Študija (8) je pokazala, da je za priključitev jeklarne 2 na elektroenergetski sistem Slovenije treba predhodno izvesti naslednje ukrepe:

- V 25 km oddaljenem Okroglo (Kranj) je treba zgraditi novo transformatorsko postajo 400/110 kV.
- Točka skupnega priključka jeklarne 2 in drugih porabnikov je na 110 kV zbiralkah v RTP Okroglo 400/110 kV.
- Od 110 kV zbiralk v RTP Okroglo do 25 km oddaljene jeklarne 2 je treba zgraditi dvosistemski 110 kV daljnovod, ki bo napajal vse sunkovite porabnike v Železarni, to je elektropeči v jeklarni 1 in jeklarni 2.
- V jeklarni 2 je treba zgraditi dinamično napravo za kompenzacijo jalove moči.

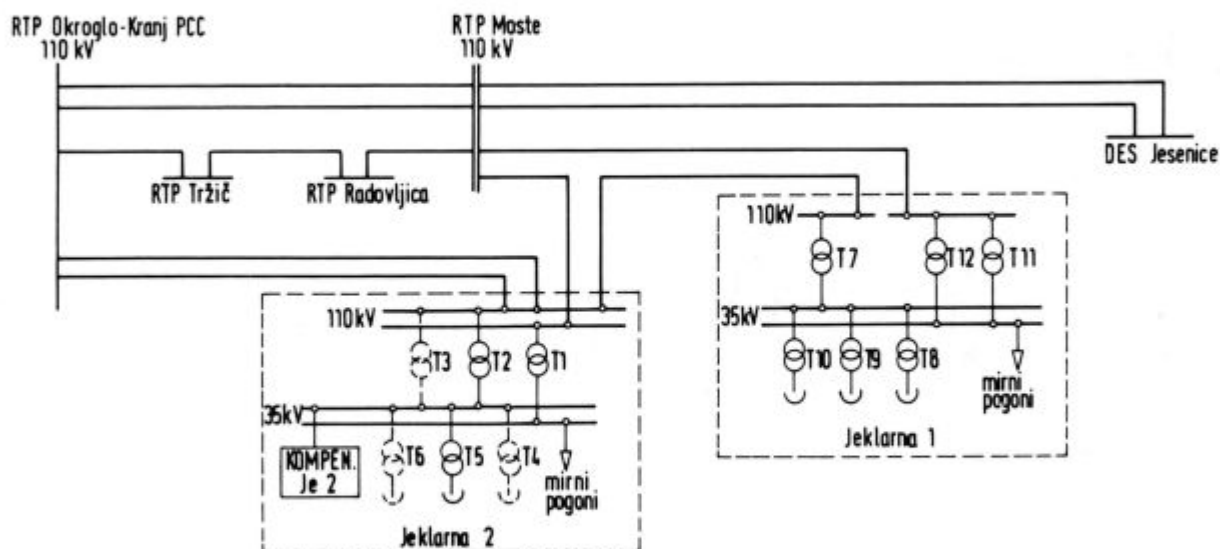
Pred začetkom obratovanja jeklarne 2 so bili vsi ti objekti zgrajeni (slika 4).

RTP Okroglo 400/110 kV je gradilo elektrogospodarstvo Slovenije s finančno soudeležbo železarne Jesenice. V njej je vgrajen transformator 300 MVA, 400/110 kV. S tem smo dosegli na 110 kV zbiralkah v RTP Okroglo kratkostično moč v višini 3600 MVA. Ta kratkostična moč je bistveno prispevala k zmanjšanju motenj elektropeči v elektroenergetskem sistemu.

Peč v času taljenja vleče jalovo moč v višini okrog 60 MVAR; v konicah, ko nastajajo v peči kratki stiki, pa tudi 70 MVAR in več. Tedaj se pojavljajo padci napetosti v RTP Okroglo.

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{Q}{S_x} = \frac{70}{3600} \text{ 0,0194 ali 1,94 \%}$$

Pri nekoliko večjem nihanju jalove moči ali pri nekoliko zmanjšani kratkostični moči zaradi trenutnega obratovalnega stanja daljnovodov (9) in proizvodnih agregatov, padec napetosti oziroma nihanje napetosti lahko doseže vrednosti znatno preko 2 %. To pa so tiste vrednosti, ki v elektroenergetskem sistemu povzročajo nesprijemljive motnje za vse potrošnike, ki so priključeni v



Slika 4. 110 kV sistem daljnovodov za napajanje jeklarne 1 in jeklarne 2

Fig. 4 110 kV supply network for steel plants 1 and 2

— amplitude napetostnih motenj, katerih frekvence so manjše od 16 Hz, ne smejo presegati 2 % amplitude osnovne harmonske komponente v napetosti.

Ti pogoji so v skladu s tehničnimi normami in standardi, ki se danes v splošnem uporabljajo v svetu, kadar imajo opraviti s podobnim porabnikom, kot je jeklarne 2. To je bil tudi prvi primer v Jugoslaviji, ko so bile postavljene pred uporabnike tako ostre zahteve za izpolnjevanje pogojev, ki bodo preprečili onesnaževanje elektroenergetskega sistema.

Vsi kriteriji elektroenergetskega soglasja so bili po stavitvi jeklarne 2 v obratovanje verificirani z meritvami (10), ki jih je izvedlo elektrogospodarstvo Slovenije s sodelovanjem elektroinštituta »Milan Vidmar« Ljubljana, predstavnikov ASEA in železarne Jesenice. Meritve so bile izvršene v točki skupnega priključka RTP Okroglo 400/110 kV.

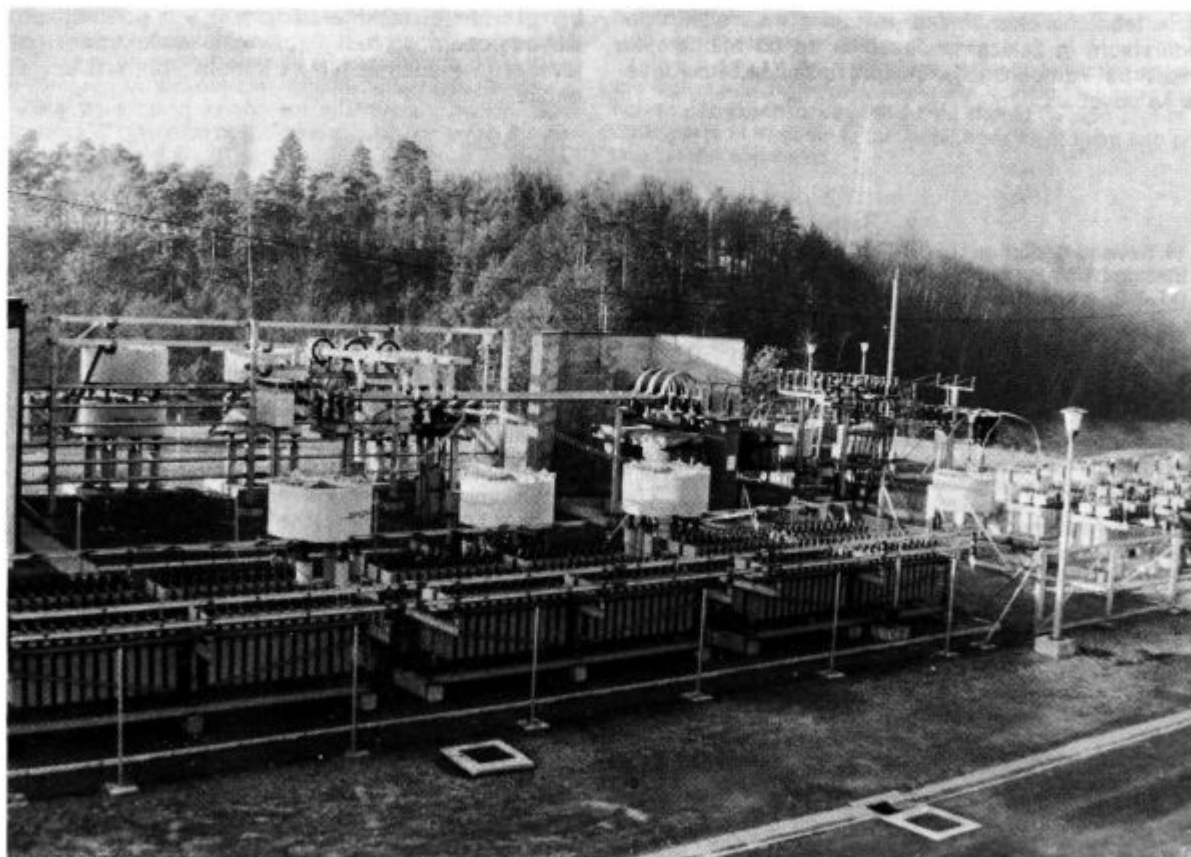
Kompenzacijska naprava se je v obratovanju pokazala kot izredno kvaliteten in učinkovit stabilizator napetosti, ki lahko sledi dinamiki obratovanja peči. Meritve kažejo, da nam ob vklopljeni kompenzaciji napetost praznega teka v višini 35,8 kV ob vklopu peči na polno moč pade na 35 kV, to je za 2,2 %.

Če pa kompenzacijo izklopimo, nam napetost pade na 31 kV ali za 13,4 %. Če upoštevamo, da moč peči pada s kvadratom napetosti, lahko ugotovimo, da pri izklopljeni kompenzaciji peč lahko obratuje samo s 75 % svoje nominalne moči. To pa pomeni, da se časi taljenja

temu ustrezno podaljšajo. Ob izklopljeni kompenzacijski napravi se v fazi taljenja v PCC v RTP Okroglo pojavijo povratni vplivi peči v vseh pojavnih oblikah. Na svetlobnih telesih je nihanje napetosti možno opaziti s prostim očesom, $\cos\varphi$ pade na manj kot 0,7, poveča se nesimetrična obremenitev po fazah, prisotnost višje harmonskih komponent pa popači napetostno sinusoido preko dopustnih meja. Ob izklopljeni kompenzaciji zato peč sme obratovati samo s približno 65 % nominalne moči. Zaradi vseh navedenih argumentov si brez kompenzacijske naprave ne moremo zamišljati optimalnega obratovanja jeklarne 2, pa tudi izvedljivo ni (slika 6).

Važno vlogo je v fazi projektiranja in puščanja v obratovanje imela ASEA kot dobavitelj in nosilec celotnega projekta. Strokovnjaki ASEA so morali upoštevati in realizirati vse zahteve elektroenergetskega soglasja in zahteve železarne Jesenice, da vključi v projekt tudi domače dobavitelje opreme. ASEA ima na področju kompenzacije jalove moči najbolj bogate izkušnje (11). Zato jim je bilo možno zaupati ta izredno zahtevni projekt. Nekatere realizirane projekte v obratovanju nam je ASEA pokazala na Švedskem. Le-ti so nas prepričali o pravilnosti naše odločitve, da kompenzacijsko napravo dobavi ASEA.

Zelo pomembna je tudi ekonomska kategorija kompenzacije jalove moči. Zaradi stabilnosti napetosti, ki jo zagotavlja kompenzacijska naprava, je zagotovljena optimalna storilnost peči in zmanjšanje vseh vrst izgub (to-



Slika 6.

35 kV naprava za kompenzacijo jalove energije

Fig. 6

35 kV set-up for reactive power compensation

plotnih in električnih) na minimum. Zaradi učinkovite stabilizacije napetosti in njenih pozitivnih učinkov se gradijo kompenzacijske naprave tudi za stabilizacijo napetosti pri velikih valjavniških pogonih in za krmiljenje napetosti prenosnih omrežij (11).

Druga komponenta ekonomske kategorije je strošek za jalovo energijo. Za proizvodnjo ene tone jekla se porabi povprečno 500 kVAhr. Pri letni proizvodnji jekla 210 000 t znaša poraba jalove energije 105 000 000 kVAhr. Pri povprečni ceni jalove energije 28 din/kVAhr, ki trenutno velja, znaša letni strošek jalove energije 2 940 000 000 din. To pa je dejansko vsakoletni prihranek, ki ga ni treba plačati za nabavo jalove energije. Z njim se bo kompenzacijska naprava odplačala v nekaj letih. Ves nadaljnji prihranek pa bo predstavljal dobiček.

Že spredaj smo omenili, da je kompenzacijska naprava zgrajena za končno fazo jeklarne 2. Od 90 MVAR kapacitivne moči trenutno potrebujemo približno 60 MVAR. Tako nam ostaja 30 MVAR neizkoriščenih.

Po drugi strani pa elektroenergetskemu sistemu Slovenije večkrat primanjkuje jalove energije. To bi bilo možno dobiti iz kompenzacijske naprave jeklarne 2. V ta namen bo treba nekoliko dopolniti krmilje, ki bo nato omogočalo oddajanje poljubne jalove moči v elektroenergetski sistem Slovenije. Z elektrogospodarstvom Slovenije smo se načelno že dogovorili za tako sodelovanje. Z dobaviteljem kompenzacijske naprave pa se železarna Jesenice dogovarja o tehničnih možnostih in rešitvah za oddajanje jalove energije v elektroenergetski sistem. Zaradi te tehnično ekonomske povezave med elektrogospodarstvom in železarno Jesenice se bo ekonomska učinkovitost kompenzacijske naprave za železarno Jesenice še povečala.

ZAKLJUČEK

Na področju pridobivanja jekla v elektroobložnih pečeh se v Jugoslaviji srečujemo z enakimi problemi, kot so jih imeli tisti, ki so to tehnologijo osvajali pred nami. Naša prednost je v tem, da lahko izkoriščamo njihove izkušnje. Ko se odločimo za gradnjo novega porabnika električne energije, je treba uporabiti njihove izkušnje in standarde ter upoštevati specifičnosti novega projekta.

Na Jesenicah smo bili pod udarom javne kritike že zaradi motenj, ki smo jih vnašali občasno s starimi elektro pečmi. Zato smo bili pred izgradnjo jeklarne 2 prisiljeni izvesti študijo in analizo posledic, ki jih bo povzročila v elektroenergetskem sistemu jeklarne 2 in predvideti ukrepe, ki bi pojav negativnih vplivov preprečili. Rezultate študije smo upoštevali in v projektu tudi izvedli. Po stavitvi jeklarne 2 v obratovanje se je izkazalo, da smo ukrepali pravilno.

Ojačitev elektroenergetskega sistema Gorenjske in izgradnja kompenzacijske naprave tvorita tehnološko celoto, ki omogoča nemoteno in učinkovito izkoriščanje elektropeči v jeklarni 2 brez negativnih povratnih vplivov na elektroenergetski sistem. S tem pa je bil glavni cilj obeh investicij dosežen.

Dosegli smo še več. Z ekonomskega stališča bo kompenzacijska naprava postala v nekaj letih za železarno Jesenice vir dohodka. Z izpolnitvijo njenega krmilja pa bo možno še tesnejše sodelovanje z Elektrogospodarstvom Slovenije pri reševanju obojestranskih problemov.

S tem projektom na področju kompenzacije jalove energije v Jugoslaviji orjemo ledino. Mnenja smo, da bi bilo prav, ko bi našim izkušnjam na tem področju posvetili več pozornosti tudi jugoslovanska elektroenergetska javnost in industrija ter jih koristno prenašala v svoje okolje.

LITERATURA

14. Revised Report on UIE/UNIPED Enquiry the Effects of Electric Arc Furnaces on Power Systems, A.I.M. — C.B.E.E., November 1973
- Engineering Recommendation P7/2, Fiftieth Chief Engineers Conference, July 1970, Classification »C«, The Electricity Council, Supply to Arc Furnaces
- Engineering Recommendation G5/3, System Design and Development Committee, September 1976, Classification »C«, Limits for Harmonics in the United Kingdom Electricity Supply System
- Thyristor switched capacitors for reactive power compensation, Tom Sjøkvist, ASEA, Västerås, Sweden, Reprinted from Iron and Steel Engineer
- Kompensationsanlage für die Industrie, Ernst Wanner, Roger Mathys und Dr. Michael Häusler, Baden, Druckschrift Nr. CH-IT 123090 D
- Large Arc Furnace Instalation, Problems with Flicker, and Effect on Utility Distribution Systems, by A. R. Oltrogge, General Electric Company, Schenectady, New York
- Harmonics, characteristic parameters, methods of study, estimates of existing values in the network, by Working Group 36.05 (Disturbing Loads/, Electra No. 77)
- Branko Fatur, Krešimir Bakič: Raziskava vključitve elektroobložnih peči na Jesenicah v omrežje, Ref. št. 796, 1980, Elektroinštitut »Milan Vidmar«
- Rupnik Anton s sodelavci: Analiza kratkostičnih razmer v VN omrežju Slovenije, del II, Referat št. 953/II, junij 1987, Elektroinštitut »Milan Vidmar« Ljubljana
- Skok Kostja, Kratina Dankan: Poročilo o meritvah vpliva Železarne Jesenice na elektroenergetski sistem, SOZD EGS — Sektor eksploatacije, Služba za meritve
- Static VAR Compensators Series Capacitors, Reference List, ASEA Transmission, Reklam Center, Västerås, Printed in Sweden, VLT-PRESS, 1987. 11 2000, Phamphlet Nr 47-125 E

ZUSAMMENFASSUNG

Auf dem Gebiet der Stahlgewinnung in Elektrolichtbogenöfen stoßen wir auf dieselben Probleme wie diejenigen, die diese Technologie schon vor uns eingeführt haben. Unser Vorteil ist in dem, dass wir ihre Erfahrungen nutzen können. Nachdem man sich für den Bau eines neuen Benutzers elektrischer Energie entschlossen hat, sind diese Erfahrungen und die Standards zu nutzen, und die Besonderheiten des neuen Projektes zu berücksichtigen.

In Jesenice waren wir unter dem Druck der öffentlichen Kritik schon wegen der Störungen die wir zeitweise mit den alten Öfen verursacht haben. Aus diesem Grunde waren wir vor dem Bau von Stahlwerk 2 gezwungen eine Studie und Analyse der Nachwirkungen die durch das Stahlwerk 2 im Elektroenergetischen System verursacht werden durchzuführen und die Vorkehrungen vorzusehen, welche die Erscheinung negativer Einflüsse verhindern würden. Die Ergebnisse dieser Studie sind im Projekt berücksichtigt und auch durchgeführt worden. Nach der Inbetriebnahme von Stahlwerk 2 hat sich gezeigt, dass wir richtig gehandelt haben.

Die Verstärkung des elektroenergetischen Systemes in Gorenjska und der Ausbau der Kompensationsanlage bilden eine technologische Einheit, welche ein störungsfreies und wirkungsvolles betreiben des Lichtbogen — Schmelzofens im Stahlwerk 2 ohne negativer Rückwirkungen auf das elektroenergetische System möglich macht. Damit war das Hauptziel beider Investitionen erreicht.

Noch mehr haben wir erzieht. Aus wirtschaftlichem Standpunkt gesehen wird die Kompensationsanlage in einigen Jahren für das Hüttenwerk Jesenice eine Einkommensquelle. Durch die Vervollständigung der Regelung wird eine noch engere Zusammenarbeit mit der Elektrowirtschaft von Slowenien bei der Lösung beidseitiger Probleme möglich.

Mit diesem Projekt der Kompensation der Blindleistung aktern wir das Brachland in Jugoslawien. Es wäre richtig, wenn unseren Erfahrungen auf diesem Gebiet mehr Acht auch die jugoslawische elektroenergetische Öffentlichkeit und Industrie würden würde und sie in ihre Umgebung nützlich übertragen würde.

SUMMARY

Steelmaking in electric arc furnaces in Yugoslavia creates the same problems which had to be solved by those who mastered this technology before us. Our advantage is in the fact that we can make use of their experiences. When a decision is made to erect a new consumer of electric energy, these experiences and standards must be applied, and simultaneously the peculiarity of the new project must be taken in account.

Jesenice Steelworks were publicly criticized already due to disturbances which periodically appeared with the old electric arc furnaces. Thus a study and analysis of consequences in the electric energy supply network due to operation of the steel plant 2 had to be made before its construction, and measures were foreseen to prevent the negative influences. Results of the study were taken in account in the plant design. Commencement of operation of the steel plant 2 confirmed the correct measures.

Strengthening of electric energy supply network in Gorenjska and the construction of compensation set-up are a technological unit which enables undisturbed and effective exploitation of electric furnaces in steel plant 2 without negative feed back on the electric energy supply network. Thus the main aim of both investments was achieved.

But the results are even better. From the economic viewpoint the compensation set-up will become profitable in few years for Jesenice Steelworks. Perfecting its control will contribute to closer cooperation with Slovenian Electric Distribution Company in solving mutual problems.

This project in the field of compensating reactive power is the first one in Yugoslavia. We are of opinion that more attention to our experiences in this field should be paid also in the other parts of Yugoslavia by useful transfer of them into practice in their conditions.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В области приобретения стали в дуговых электрических печах мы в Югославии встречаемся с теми же самыми проблемами, которые имели те, которые были заняты с приобретением технологии этого вида производства стали до нас. Наше преимущество в том, что пользуемся, полученными опытами. Когда мы решаемся построить новый потребитель электрической энергии то надо употребить их опыты, а также и стандарты и иметь в виду специфичности нового проекта.

В металлургическом центре Есенице мы были подвергнуты публичной критике из-за помех, которые мы периодически вносили с старыми электропечами. Поэтому мы были до постройки сталеплавильного цеха 2 принуждены выполнить научный этюд и проанализировать последствия, которые нанесёт в электроэнергетической системе сталеплавильный цех 2, предусмотреть также меры, которые бы возникновения отрицательных влияний предотвратили. Результаты этюда мы взяли во внимание и их в проекте также выполнили. При пуске электродуговой печи в ход оказалось, что мы поступили правильно.

Усиление электроэнергетической системы в этой области гор и постройка компенсационного устройства составляет одно технологическое целое, которое даёт возможность без помех и эффективно использование электрической дуговой печи без появления отрицательных возвратных влияний на электроэнергетическую систему. Таким образом была достигнута главная цель обоих вложений.

Мы достигли ещё больше. С экономической точки зрения компенсационное устройство станет через несколько лет металлургическом заводу Есенице источником заработка. С усовершенствованием его устройства управления будет возможность ещё более тесное содействие с электрохозяйством Словении при разрешении взаимных проблем.

С этим проектом в области компенсации яловой энергии в Югославии пашем землю под паром. Мы себе представляем, что было бы правильно если бы нашим опытам в этой области уделили больше внимания югославская электроэнергетическая промышленность и вообще общественность и их с пользой передавала в своей среде.



SLOVENSKE ŽELEZARNE

ŽELEZARNA ŠTORE

53220 ŠTORE - BRZOJAV ŽELEZARNE ŠTORE - TELEFON: 063/ 27 411, 28 411 - TELEX: 33618 YU ZELSTR



Lito strmoramensko platišče

Klasična platišča iz pločevine v zadnjem času zamenjujejo lita strmoramenska platišča iz nodularne litine. Za razliko od klasičnega platišča je ulitek iz enega kosa — monolit, obdelan in pripravljen za montažo plašča ter tako kot celota pripravljen za montažo na os vozila.

Na jugoslovanskem tržišču je to nov in doslej malo uporabljen in zastopan izdelek, medtem ko je na zahodu že v veliki meri izpodrinil klasično platišče.

Na strmoramensko platišče se montira "tubeless" radialni plašč (brez notranje gume — zračnice), za razliko od standardnega platišča (trilex), na katerem je montiran "tube type" plašč (z notranjo gumo — zračnico).

Ovisno od oblike in velikosti strmoramenskega platišča se uporabljajo pri tovornjakih lahke, srednje in težke izvedbe, prikolicah, polprikolicah, avtobusih za mestni in mednarodni promet. Strmoramensko platišče ima precej prednosti pred klasičnim, naštejemo jih samo nekaj: montaža in demontaža plašča je enostavna in hitra, statična in dinamična neuravnovešenost je manjša, teža kolesnega kompleta je manjša, nimajo zračnice in ščitnika, hlajenje zavornega sistema je intenzivnejše, med plaščem in zračnico ni trenja, upor kotaljenja in poraba goriva sta manjša, daljša življenska doba plaščev, itd.

V proizvodnem programu imamo strmoramenska platišča 8,25" x 22,5", v odvisnosti od potreb potrošnikov pa razvijamo tudi ostale dimenzije in izvedbe platišč (9,25" x 22,5", 7,50" x 22,5", itd.).

Gospodarjenje z električno energijo v slovenskih železarnah

Bratina Janez*

UDK: 669.187.2:621.365.003.1

ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f

Realno vrednotenje tržnih dejavnikov je povzročilo nova cenovna razmerja pri proizvodnji jekla neizogibnih materialnih in energijskih potroškov. Kratkoročno in dolgoročno so nujni novi pogledi na gospodarjenje z električno energijo. Zahteva po proizvodnem stroškovnem optimiranju ne more več mimo energijskega optimiranja; do nedavnega vse odločujoč planski proizvodni pristop zamenjuje stroškovni in kvaliteta, kajti le ustrezna cena proizvoda in njegova nesporna kvaliteta lahko omogočata preživetje. Vse to pa pomeni prilagajanje novim razmeram; proces, ki mu ni videti kraja. Gospodarjenje z električno energijo v proizvodnem elektrojeklarskem agregatu v elektrojeklarni, v posamezni železarni ostaja, sicer še vedno svojstveni podsistemi, vendar se z vsakim dnem vse bolj neposredno povezujejo z jeklarskim tehnološkim proizvodnim procesom. Za slovenske železarne lahko rečemo, da tvorita vsebino gospodarjenja z električno energijo v glavnem dva nivoja: področje racionalne rabe električne energije in področje racionalne izrabe električne energije.

Z **racionalno rabo** je mišljen način porabe te energije iz slovenskega elektroenergetskega sistema v teku dneva, meseca oziroma sezone. Proizvodni stroški za kWh električne energije so namreč različni glede na trenutek njene proizvodnje oziroma porabe, saj si morata biti poraba in proizvodnja električne energije v vsakem trenutku v ravnovesju; najnižji proizvodni stroški nastajajo v času majhnih obremenitev v sistemu, ko obratujejo elektrarne z najnižjo lastno ceno, najvišji pa v času koničnih obtežitev, ko je potrebno zagnati tudi proizvodne agregate z najvišjimi lastnimi cenami; prodajna cena električne energije, ki naj čim bolj upošteva stroškovno načelo, se razlikuje zato v teku dneva (manjša tarifa v času noči oziroma višja tarifa v času dneva), kakor tudi v teku leta (nižja sezona poleti oziroma višja sezona pozimi). Pri tem je potrebno upoštevati še visoke fiksne proizvodne stroške (amortizacija, posluževanje, distribucija) in od količin odvisne gibljive proizvodne stroške (gorivo, prispevki). Na takih stroškovno cenovnih načelih je zgrajen tarifni sistem za prodajo električne energije, po katerem odjemalci pokrivamo fiksne deleže stroškov s ceno za angažirano električno moč, gibljive pa s ceno za porabljeno energijo. Glede na razmerje med stalnimi in gibljivimi stroški v elektroenergetskem sistemu, kjer bistveno prevladujejo stalni stroški, je delež moči v ceni električne energije vedno večji od 50 %, kar je za formiranje končne porabnikove cene električne energije važno ne samo zaradi tega, koliko energije se v določenem časov-

nem obdobju porablja, ampak tudi zaradi intenzivnosti oziroma enakomernosti porabe glede na maksimalno dogovorjeno oziroma doseženo električno moč. Z velikimi porabniki električne energije (Slovenske železarne, TGA Kidričevo, TD Ruše) je dogovorjeno takoimenovano inverzno obratovanje, po katerem ti porabniki prilagajajo svoje obremenitve obremenitvam v elektroenergetskem sistemu: v času višjih obremenitev znižujejo svojo moč, v času nižjih obremenitev pa jo zvišujejo. Zaradi takega prilagajanja se jim obračunava električna moč le v posameznih karakterističnih obdobjih (času trajanja konične tarife) s posebej dogovorjeno toleranco. Tolerančni obremenitveni profil se spreminja glede na razmere v elektroenergetskem sistemu v tednu (delavniki, sobote, nedelje) in tudi v posameznih mesecih (letni časi) ter je dogovorjen vnaprej.

V slovenskih železarnah obratujejo zelo različni porabniki električne energije, od razsvetljave in številnih elektromotorjev posameznih strojev, valjarskih prog, kompresorjev, pomožnih energetskega naprav do različnih električnih peči za toplotno obdelavo ter indukcijskih oziroma elektroobločnih peči za proizvodnjo jekla. Postavlja se torej potreba vodenja porabe električne energije posamezne železarne na tak način, da bo njena dejanska obremenitev ostajala znotraj dogovorjenega obremenitvenega profila in da bo pri tem proizvodni proces čim manj moten. Največji in najbolj prilagodljivi porabniki električne energije so elektroobločne peči, kjer se v fazi taljenja raztaplja vložek (staro železo, legure), nato pa izvaja metalurška tehnologija izdelave jekla. Prilaganje električne moči dovoljenim obremenitvam je mogoče izvajati le s spreminjanjem intenzivnosti obratovanja obločnih peči (ali celo z njegovo prekinitvijo) v času največjih obremenitev posameznih porabnikov, to je predvsem v času taljenja vložka. Tako vodenje je bilo posebno po uvedbi četrtturne konične moči v obračunski sistem za nakup električne energije nemogoče opravljati brez računalniške pomoči. On line računalniško vodenje porabe električne energije je uvedeno v vseh železarnah; v železarni Ravne je v uporabi že od leta 1978, v železarni Štore od 1981, v železarni Jesenice od 1987.

Če za to obdobje analiziramo letne obratovalne ure kot merilo za izkoriščenost električne moči, vidimo, da so se le-te v primeru Železarne Ravne v tem času povečale od prvotnih 5500 h v letu 1976 na sedanje stanje blizu 6500 h. V železarnah Jesenice in Štore trenutno razmere niso primerljive zaradi zagona nove jeklarne na Jesenicah oziroma zaradi ugasnitve elektroplavža v Štorah, vendar pa lahko že v letu 1989 pričakujemo sanirane razmere v letnih obratovalnih urah, ko naj bi bile ponovno dosežene obratovalne ure nad 6000 h.

Tudi izkoriščenost vsakokratnega tolerančnega profila je dobro merilo gospodarjenja z električno energijo. Upoštevajoč delavnike, dosegajo mesečno izkorišče-

* Železarna Ravne

** Originalno objavljeno: ŽZB 23 (1989) 1

*** Rokopis prejet: oktober 1988

nost ca. 65 %, medtem ko so dosežene vrednosti za sobote in nedelje 10 % oziroma 20 % nižje. V letu 1985 je bila dosežena naslednja povprečna mesečna izkoriščenost ob delavnikih:

	Nižja sezona	Višja sezona
Železarna Jesenice	0.568	0.619
Železarna Ravne	0.655	0.651
Železarna Štore	0.610	0.638

Prednosti porabnikov, ki lahko prilagajajo svojo porabo razmeram v elektroenergetskem sistemu, se ne kažejo le v višjih lastnih obratovalnih urah (in s tem doseženi nižji ceni), temveč se odražajo tudi v tem, da le-ti služijo v primerih izpadov večjih enot ali pomanjkanja energije kot rezervna proizvodna zmogljivost, ko s samodejno razbremenitvijo ali z vnaprej dogovorjenim zmanjšanjem odjema pripomorejo k stabilnosti sistema ali pa ko z zmanjšanjem moči odjema nadomeščajo izpadlo zmogljivost v proizvodnem sistemu. Zaradi takih porabnikov se ob nespremenjenih razpoložljivih proizvodnih kapacitetah povečuje zanesljivost oskrbe z električno energijo ostalim porabnikom, v elektroenergetski sistem pa ni potrebno vgrajevati dragih slabo izkoriščenih rezervnih zmogljivosti. Podatke za slovenske železarne kaže tabela, iz katere je razvidno, da lahko elektrogospodarstvo Slovenije v letu 1988 računa kot rezervno kapaciteto prilagodljivo moč vseh železarn v višini ca. 90 MW, ob njihovi skupni konični moči 140 MW ter letni porabi 900 GWh.

Tabela 1: Letna poraba električne energije in karakteristične moči slovenskih železarn

	Konična moč	Prilagodljiva moč	Predvidena poraba
Železarna Jesenice	70 MW	55 MW	450 GWh
Železarna Ravne	41 MW	25 MW	250 GWh
Železarna Štore	29 MW	20 MW	200 GWh

Racionalna izraba električne energije se, v ekonomskem jeziku izraženo in gledano na makro nivoju, kaže predvsem v povečanju novo ustvarjene vrednosti, ki jo dobimo na osnovi porabljene kWh, na mikro nivoju pa se kaže (v inženirskem jeziku izraženo) v doseganju toplotnotehničnih izkoristkov, s katerimi opravljamo proizvodne tehnološke procese. Vendar tudi specifični energijski potrošek (kWh/kg) ni vedno podatek, s katerim bi se dalo vrednotiti izdelovalne postopke; specifična poraba električne energije pri struženju npr. ne more biti merilo njene racionalne izrabe. Popolnoma drugače je pri tehnologijah, kjer so teoretsko znane potrebne vrednosti energijske specifične porabe, kot je to pri toplotnih procesih, in je energijsko izrabo mogoče neposredno ugotavljati s toplotnotehničnimi izkoristki. Pri izdelavi jekla so ti izkoristki odvisni od uporabljenih izdelovalnih postopkov, kakor tudi od proizvodnih naprav.

Specifična entalpija jekla je pri referenčni temperaturi 1550 °C in, odvisno od sestave jekla, 380 kWh/t—420 kWh/t; za vsako nadaljnjo °C pa je potrebno še dodatnih 0.66 kWh/t; specifična entalpija žlindre pa se giblje med 550 kWh/t in 630 kWh/t, kar zahteva pri porabi žlindre 80 kg/t do 200 kg/t dodatnih 50 kWh/t do 120 kWh/t energije na tono jekla.

Potrebna koristna energija jekla (skupno z žlindro) leži torej med vrednostma: 420 kWh/t—540 kWh/t

Poleg te koiristne energije je potrebno v elektroobločno peč za izdelavo jekla dovesti še vso energijo to-

plotnih izgub; to lahko delimo na karakteristične skupine:

- toplotne izgube z dimnimi plini 80 kWh/t—170 kWh/t
 - toplotne izgube s hladilno vodo 60 kWh/t—90 kWh/t
 - električne toplotne izgube 30 kWh/t—60 kWh/t
- Skupne toplotne izgube elektroobločne peči lahko ocenjujemo na značilne vrednosti: 140 kWh/t—260 kWh/t

Vsota vrednosti koristne specifične energije in specifične energije toplotnih izgub nam daje potrebno specifično dovedeno energijo; glede na velikost, specifično moč peči in uporabljeno tehnologijo se pri elektroobločnih pečeh ta giblje med 550 kWh/t in 850 kWh/t.

Pri tem je potrebno ločiti dovedeno energijo, dobljeno:

- s pretvorbo električne energije v toploto v električnem (ob)loku: 380 kWh/t—680 kWh/t
- s sproščanjem kemično vezane energije v eksotermnih reakcijah v tekočem jeklu in žlindri: 100 kWh/t—240 kWh/t

Za razmišljanje o racionalni izrabi električne energije pri izdelavi jekla v elektroobločnih pečeh je važno poznavanje dveh osnovnih poti, ki zmanjšujeta tehnološko potrebne specifične energijske potroške:

Kot prvo pot bi vsekakor morali obravnavati ukrepe in postopke, ki zmanjšujejo toplotne izgube elektroobločne peči v času izdelave jekla oziroma metode, s pomočjo katerih koristno izkoriščamo del toplotnih izgub. Dobro pripravljen vložek, hitro zalaganje vložka, kratki izdelovalni postopki, doseganje ciljanih analiz, velika obratovalna zanesljivost glavnih in pomožnih agregatov, ki nastopajo v proizvodni verigi, kratki neizogibni reparaturni posegi (popravilo obzidave, menjava elektrod) in urejena transportna logistika materialov in energije so potreben pogoj za zmanjševanje porabe specifičnih energijskih potroškov ali doseganja večje racionalne izrabe električne energije.

Druga pot temelji na takšnih modifikacijah pečnega agregata in tehnološkega postopka, ki omogoča zmanjševanje potrebne dovedene energije; kot je to močno-stna (UHP) obločna peč z vodnohlajenimi stenami in vodnohlajenim obokom, obločna peč z ekscentričnim izlivom, ločitev raztaljevanja, oksidacije in odfosforenja v obločni peči od rafinacijske in legirne faze v ponovci, predgrevanje vložka, zmanjševanje količine žlindre, uvedba peneče žlindre. Nadomeščanje električne energije z drugimi energijskimi nosilci spada v neposredno metodo večanja racionalne izrabe električne energije, saj so se te metode razvile do stopnje, da z manj vrednimi energijskimi nosilci krijemo vse toplotne izgube obločne peči in da uporabljamo električno energijo takorekoč le za taljenje vložka in za segrevanje taline na potrebno temperaturo. Izkoriščamo prednosti visokotemperaturnega električnega (ob)loka v fazi potrebnega intenzivnega prenosa velikih toplotnih moči na vložek pri taljenju in za področje segrevanja taline, medtem ko nam dodatno zgorevanje zemeljskega plina ali mazuta v peči lahko nadomesti potrebo po električni energiji le v začetni in srednji fazi taljenja. Najbolj razširjeno nadomeščanje električne energije je vpihovanje kisika neposredno v peč. Uporablja se vse od zgodnje faze taljenja, ko se ustvari na dnu peči prva luža taline, do faze oksidacije taline in dodatnega ogljičenja žlindre za doseganje njenega kipenja, ki omogoča bistveno spremenjen elektroenergetski način obratovanja obločne peči.

Ker ima m³ kisika neto energijsko vrednost 3 kWh do 4 kWh, pomenijo običajne vrednosti porabe kisika pri

vpihovanju 8 m³/t do 30 m³/t dodaten energijski izvor 30 kWh/t do 100 kWh/t; v jeklarskem žargonu se kisikovo kopje označuje kot četrta elektroda oziroma četrti (ob)lok. Ob povprečni porabi 16 m³/t, ki se bistveno ne razlikuje v posameznih jeklarnah slovenskih železarn, se vidi, da je poraba kisika predvsem tehnološko pogojena in da je višje vrednosti porabe pričakovati šele z dodatnim ogljičenjem oziroma z uvedbo peneče žilindre.

Zgorevanje zemeljskega plina s kisikovimi gorilniki, nameščenimi v stene obločne peči, daje energijske prihranke 30 kWh/t do 80 kWh/t. Kljub temu, da lahko predgrevanje vložka izven obločne peči dá prihranke le med 30 kWh/t in 50 kWh/t, pa je vedno več naprav za predgrevanje, bodisi zaradi potreb po sušenju vložka in s tem varnejšega obratovanja ali pa zaradi izkoriščanja odpadne toplote dimnih plinov kot posledice prevelikega cenovnega energijskega pritiska. Naprava za sušenje in predgrevanje vložka je predvidena le v novi jeseniški jeklarni, v ostalih jeklarnah zaenkrat ni v načrtih postavitve takih naprav.

Ker so investicijsko in tehniško lažje obvladljive naprave za izkoriščanje odpadne toplote iz nizkotemperaturnega vodohladilnega sistema panelov in oboka močnostnih (UHP) obločnih peči, bodo take naprave, ki jo ima že jeseniška nova peč, tudi na rekonstruirani obločni peči v Železarni Ravne.

Računamo, da je možno iz vodnohladilnega sistema ponovno koristno uporabiti do 40 kWh/t, odvisno od uporabljenega temperaturnega nivoja.

Uvedba ponovnih postopkov izdelave jekla spremeni razmere na obločni peči tako, da skrajšuje čas od izliva do izliva in znižuje potrebno prehodno temperaturo taline za 60 °C do 80 °C, kar pomeni neposredni prihranek energije med 40 kWh/t in 60 kWh/t. Na drugi strani pa pomeni uporaba ponovce dodatno porabo energije: Pri ponovcah, ki so manjše od 60 t, je potrebno za nekadno dogrevanje taline in dodatkov skoraj toliko energije, kolikor smo je v obločni peči predhodno prihranili.

Le pri ponovcah nad 60 t lahko govorimo o čistem energijskem prihranku 10 kWh/t do 30 kWh/t. Doseženi rezultati na Ravnah to dokazujejo.

Za presojo racionalne izrabe električne energije pri izdelavi jekla je potrebno upoštevati porabljeno energijo celotne jeklarne, torej tudi porabo pomožnih naprav, od katerih postaja vse pomembnejša poraba električne energije za zagotavljanje ekoloških pogojev: recirkulacijski hladilni sistemi porabljajo do 10 kWh/t, odpraševalne naprave pa med 25 kWh/t in 85 kWh/t dodatne električne energije.

Kot lahko za novejšje jeklarske agregate slovenskih železarn po eni strani ugotovljamo njihovo sodobno izvedbo (Jeklarna 2 Jesenice, ponovčni postopek na Ravnah, UHP peč v Štorah) in s tem dane pogoje za doseganje ugodne izrabe električne energije, pa je potrebno dodati tudi resnico o zastarelosti ostalih jeklarskih agregatov: najstarejša elektroobločna peč na Ravnah je iz časa II. svetovne vojne, dobljena iz reparacijskega kontingenta in obratuje neprekinjeno od leta 1956. Tudi vse ostale obločne peči slovenskih železarn so stare več kot 20 let. Kljub temu, da so bile večkrat temeljito obnovljene in modernizirane in da se stalno inovirajo tehnološki postopki izdelave jekla, se v njih dosega specifična poraba električne energije (ca. 650 kWh/t) in poraba elektrod (ca. 6.5 kg/t), kot je bil to svetovni nivo leta 1960. Taki rezultati so tudi posledica še do nedavnega podcenjene električne energije, ki je dopuščala vodenje energijsko neoptimalnih proizvodno-tehnoloških procesov. Današnja tržna cenovna razmerja že terjajo iskanje vseh možnih poti za izboljšanje energijskih bilanc elektroobločnih peči ter splošno selekcijo proizvodnih agregatov; ugasnitev elektroplavža v Železarni Štore v letu 1987 je neposredna posledica teh sprememb. Jasno pa je, da bodo tudi na tem področju le dalj časa trajajoči in trajno tržno orientirani cenovni odnosi zagotavljali boljše izrabe električne energije.

ZUSAMMENFASSUNG

Wegen der immer schärferen Marktwirtschaftsbedingungen wird das Vordernis nach der Produktionskostenoptimierung der Stahlerzeugung in Lichtbogenöfen immer mehr in den Vordergrund gestellt. Der Anteil der Kosten für die im Prozess verbrauchte elektrische Energie wird immer grösser. Die Bewirtschaftung mit elektrischer Energie wird trotz der spezifischen Eigenheiten des selbstständigen Untersystemes ein Bestandteil der Erzeugungstechnologie. In slowenischen Hüttenwerken bilden den Inhalt der Bewirtschaftung mit elektrischer Energie vor allem zwei Niveaus. Der Bereich der rationalen Anwendung

erfasst die Art der Abnahme elektrischer Energie aus dem slowenischen Elektroenergetischen System im Bezug auf die Führung der Belastung des einzelnen Hüttenwerkes über den Tag, Monat und Jahr. Der Bereich der rationalen Anwendung elektrischer Energie ist in den Hüttenwerken bestimmt vor allem als ein Maas der produktionstechnologischen Prozesse ausgedrückt durch wärmetechnische Wirkungsgrade in der Energieofenbilanz aus der Sicht des makroökonomischen Niveaus aber auch in dem neugeschaffenen Wert der von einer verbrauchten kWh gegeben wird.

SUMMARY

Due to ever stricter market competition the demands to optimize costs of steel production in electric arc furnace are more and more in the forefront. Portion of costs of consumed electric energy in the process is increasing; economizing the electric energy is becoming a constituent of manufacturing technology though the independent subsystem has its own characteristics. In Slovene Ironworks the electric energy economizing is done on two levels. The level of rational use includes the

way of energy consumption in the Slovenian electric energy supply network in the respect to controlled load of single plant during the day, the month, and the year. Level of rational exploitation of electric energy in the steel plants is characterized by production processes and expressed by thermal yields in energy balances of furnaces, and from the macroeconomic viewpoint by the newly created value per consumed kWh.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствии всё более острых условий хозяйствования на рынках становится всё более требование введения более благоприятных расходов при производстве стали в электрической дуговой печи. Доля расходов, которые в течении процесса утрачивает электрическая энергия становится всё выше, хозяйствование с электрической энергией становится несмотря на специфику подсистемы составной части технологии производства. В Словенских металлургических заводах составляют основу относительно содержание хозяйствования с электрической энергией главным образом два уровня. Область рационального расхода охватывает способ

приёмки электрической энергии из словенской электроэнергетической системы имея в виду управление обременение отдельных металлургических заводов в течении дня, месяца и года. Область рациональной затраты отн. рационального расхода электрической энергии же в металлургических заводах определено главным образом как размер технологических процессов производства выражено пользованием о теплотехнических итогов в энергетических балансах печи. Рассмотрено же с макроэкономического уровня также с ново созданного значения, которое даёт расходование квт.

Tehnične novice

Aachenski jeklarski kolokvij »ASK« — pomemben shod proizvajalcev in predelovalcev

Jože Rodič

V dneh 30. 6. — 1. 7. 1988 je bil v Aachenu takoimenovani **4. ASK »TEHNIKA PREOBLIKOVANJA«** pod vodstvom prof. dr. ing. Reiner Koppa. S tem posvetovanjem se je začel drugi cikel aachenskih jeklarskih kolokvijev. Referenti z univerze in industrije so predložili v razpravo novosti v razvoju tehnike preoblikovanja.

INSTITUT FÜR BILDSAME FORMGEBUNG iz Aachena, ki ga vodi prof. Kopp, je v letih 1965 do 1982 priredil skupno 11 kolokvijev s tematiko »tehnika preoblikovanja«. Izkazalo se je, da problemov tehnike preoblikovanja ni mogoče več ločiti od vprašanj in problematike izdelave ter uporabe materialov. Da bi pri tem dosegli optimiranje lastnosti materialov, ekonomike proizvodnje in varčevanja energije, je nujno potrebno interdisciplinarno obravnavanje te široke problematike.

Tako je v povezovanju prizadevanj vodilnih inštitutov in industrije nastala ideja, po kateri od leta 1985 letno v aachenskih jeklarskih kolokvijih ciklično v obliki trilogije obravnavajo tri osnovna področja:

- izdelava železa in jekla,
- materiali,
- tehnika preoblikovanja.

To so torej redna letna posvetovanja VDEh, ki na področju izbrane tematike dajejo res celovit pregled raziskovalnih in razvojnih dosežkov, značilnosti današnjega stanja in usmeritev v naslednjem obdobju z dolgoročnejšimi cilji.

Tematika je dokaj podrobno poznana že tri leta vnaprej. Ta ciklična posvetovanja imajo eno leto vnaprej točno določen termin, 15. 6. — 16. 6. 1989 s tematiko »5. ASK — Werkstofftechnik« in 1990. »6. ASK — Herstellung von Eisen und Stahl«.

Tako je to posvetovanje nekako nacionalno, dokaj zaprtega tipa, na predavanjih so samo vabljeni, tako da celovito prikažejo dosežke, delo in usmeritev določenih področij. Inozemski udeleženci so samo osebno vabljeni, med predavatelji pa jih ni.

Med 430 udeleženci 4. ASK je bilo tako le 21 udeležencev iz drugih držav:

- 4 iz Anglije
- 3 iz Belgije
- 2 iz DDR
- 1 iz Madžarske
- 2 iz Nizozemske
- 3 iz Poljske
- 1 iz Švedske
- 4 iz Švice
- 1 iz Jugoslavije,

med katerimi prireditelj vabi predstavnike sodelujočih timov v velikih mednarodnih projektih ter predstavnike najpomembnejših inštitucij in univerz, s katerimi je prireditelj tesneje povezan.

Seveda ni potrebno posebej omenjati, kakšnega pomena je za našo orientacijo raziskovalno-razvojne dejavnosti zvedeti, kje so težišča v ZRN, čemu v ocenah stanja in pri nadaljnih usmeritvah pripisujejo največji pomen.

Poglejmo prav na kratko tematiko prvih treh kolokvijev:

1. ASK »tehnika preoblikovanja«. Planiranje, simulacije in kontrola preoblikovalnih procesov, gospodarjenje z energijo in vložnimi materiali, gospodarna proizvodnja kakovostnih in visokovrednih izdelkov ter razvoj fleksibilnih preoblikovalnih procesov predstavljajo osnovo raziskovalnih dejavnosti aachenskega inštituta IBF, ki je bil prireditelj prvega kolokvija. Razumljivo je, da je bil zato tudi kolokvij s svojo tematiko usmerjen predvsem na ta področja. Osnove teorije plastičnosti in simulacije preoblikovalnih procesov so sredstvo za optimiranje in nadaljnji razvoj tehnologije preoblikovanja. Uporaba računalniške tehnike za doseganje teh ciljev izredno hitro napreduje.

V preteklih desetletjih je bil dosežen na področju tehnike naprav in proizvodnje v valjarnah zelo pomemben razvoj. Od začetkov avtomatizacije dalje pa nujno napreduje področje organizacije in krmiljenja poteka tehnoloških procesov. Razvoj integriranih avtomatiziranih sistemov z več hierarhično povezanimi nivoji je mogoč samo s hitrim razvojem računalniške tehnike in uporabe teh sredstev v proizvodnji.

V povezavi z avtomatizacijo izdelovalne tehnike v industriji preoblikovanja pločevin naraščajo visoke zahteve po preoblikovalni sposobnosti, predvsem pa po enakomernosti značilnih lastnosti materialov. Te je toliko težje izpolnjevati, kolikor višje trdna so jekla. V konceptih razvoja proizvodnje višje trdnih finih pločevin se izkoriščajo različni utrjevalni mehanizmi, ki na različne načine vplivajo na trdnost in preoblikovalno sposobnost. Posebno pomembna pri visokem utrjevanju so dualna jekla.

2. ASK »materiali«. Pri uporabi jekla je še vedno odločilnega pomena kombinacija trdnosti in žilavosti, ki naj bo optimalno prilagojena zahtevam konstrukcijskih elementov. Raziskovalni programi so na tem področju dokaj jasno usmerjeni k ugotavljanju omejitev in možnosti uporabe lomne mehanike za napovedovanje obnašanja konstrukcijskih elementov, pri čemer so odločilnega pomena povezave med značilnostmi lomne mehanike in med mehanskimi lastnostmi materialov. Na osnovi rezultatov preiskav lomne mehanike in njihove analize lahko napovedujemo odpovedi konstrukcijskih delov. Šele v zadnjih letih lahko trdimo, da na tem področju nismo več vezani samo na empiriko. Lomna mehanika, ki izhaja iz prisotnosti majhnih razpok, predstavlja danes že zelo pomembno sredstvo pri napovedovanju obnašanja ma-

terialov v praksi. Natančne rešitve zahtevajo matematično znanje in velik obseg, ki je uresničljiv samo s pomočjo ustreznih računalnikov. Odnos med izračunom in eksperimentom lahko danes že na marsikaterem področju ocenimo kot res zadovoljiv.

Višje trdna jekla ne kažejo v primerjavi z nižje in srednje trdnimi kar vnaprej boljše obratovne in trajne lastnosti. Izzive z uporabo višje trdnih jekel je mogoče uresničiti predvsem z moderno montažo in res ustreznimi metodami izdelave. Kvantitativno napovedovanje je mogoče v tem primeru samo z dobrim poznavanjem karakteristik lomne mehanike. Usmerjen razvoj jekel glede na uporabo je omogočen samo s tesnim sodelovanjem med proizvajalci jekel in uporabniki, kar je bilo na drugem ASK zelo jasno prikazano.

3. ASK »izdelava železa in jekla«. Novosti v razvoju proizvodnje železa in jekla so vezane na izboljšanje obstoječih proizvodnih linij in na integriranje posameznih faz tehnoloških procesov, kot na primer predobdelava tekočega surovega železa in naknadna obdelava tekočega jekla, kakor tudi litje dimenzij čim bližje končnim izdelkom.

Na področju proizvodnje surovega železa je težišče napredka na merilni tehniki, na modelih vodenja procesa, na postopkih krmiljenja, kontrole in optimiranja z zmanjševanjem porabe specifične energije. Na področju postopkov redukcije so raziskave zelo intenzivne, tako imenovana talilna redukcija pa predstavlja alternativo konvencionalnim postopkom v visokih pečeh. Na področju proizvodnje jekla so na tem kolokvij obravnavali predvsem posamezne vrste jekel, specifične za določeno področje uporabe in izpolnjevanje zahtev vsebnosti spremljajočih elementov ter visokega izkoristka. Razvoj kontinuirnega vlivanja je vsekakor v ospredju ekonomike in kakovosti proizvodnje. Novosti v razvoju tehnike kontinuirnega litja so usmerjene predvsem k zmanjševanju števila korakov v nadaljnjem procesu preoblikovanja. Cilj je torej litje dimenzij, ki so čim bližje končnim, tako da še zagotavljajo potrebno kakovost. Industrija že ima koncept za kontinuirno litje predtrakov, debeline med 40 in 60 mm, za določeno omejeno območje ploščatega programa pa tudi za litje trakov, debeline med 5 in 10 mm. Cilj v tem območju je povezava jeklarske in valjarske tehnike.

Glavna težišča tematike 4. ASK »tehnika preoblikovanja«

Neprekinjene zahteve po zmanjševanju stroškov, pa tudi odnosi na tržišču neprestano zahtevajo iskanje še bolj gospodarnih in še bolj fleksibilnih postopkov.

Skrajševanje procesne verige s povezovanjem postopkov litja in preoblikovanja predstavlja zelo pomembno področje razvoja z bistvenimi spremembami na področju polizdelkov in nadaljnje predelave. Razvoj industrijskih postopkov je vse bolj usmerjen v avtomatizacijo in zahteva novosti v obvladanju krmiljenja proizvodnje, planiranja procesov in simulacije preoblikovalnih procesov. Uporaba računalnika za simulacijo kompleksnih tridimenzionalnih postopkov optimiranja preoblikovalnih procesov je danes tematika, ki je na tem področju vsekakor v ospredju. Primeri kažejo, kako je mogoče z računalnikom kot orodjem na nov način optimirati kakovost proizvodnje in tok materiala ter s tem oblikovati nove koncepte optimalnih procesov. Pri razvoju računalniških simulacij s programi za valjanje, kovanje, stiskanje, vroče vlečenje je izmenjava izkušenj med univerzo in industrijo posebno učinkovita.

Fleksibilni sistemi proizvodnje. Kolikor višje so cene in kolikor večje je pomanjkanje na področju surovin in energije, toliko resnejše so zahteve po ekonomiki in kakovosti izdelkov, ki jih lahko dosežemo le z izboljševanjem vodenja proizvodnih postopkov in s krmiljenjem kakovosti v toku proizvodnje. Ta ugotovitev pojasnjuje pomen merilne in kontrolne tehnike pri modernih proizvodnih napravah. Prav v tehniki preoblikovanja je uporaba fleksibilnih proizvodnih sistemov vse pomembnejša.

Termomehanska obdelava. Na področju kombinacij preoblikovalne tehnike in toplotne obdelave je razvoj izredno intenziven. Prav optimiranje termomehanske obdelave zahteva veliko mero interdisciplinarnosti, tako glede preoblikovalne tehnike, kakor tudi poznavanja materialov. Tok materiala in porazdelitev temperatur in napečnosti je treba za te namene čim bolje obvladati. Trodimenzionalna simulacija z metodo končnih elementov obeta v obvladovanju procesov valjanja velik napredek.

Na 4. ASK niso nastopili samo inštituti in univerza, ampak tudi številni predstavniki jeklarske industrije, proizvajalci naprav in predelovalci, ki so vsi prispevali k intenzivni izmenjavi mnenj z interdisciplinarnim povezovanjem.

Vsa predavanja 4. ASK so zbrana v zborniku in povezana v pet tematskih sklopov. Po naslovih iz programa posvetovanja lahko v INDOK centru Metalurškega inštituta naročite kopije posameznih predavanj in poročilo s kratkimi povzetki najpomembnejših ugotovitev posvetovanja.

PROGRAM PREDAVANJ 4. ASK

1. Otvoritveni del

Prof. Dr.-Ing. R. Kopp	Pozdravni nagovor
Dr.-Ing. G. Th. Wuppermann	1.1. Jeklo ostaja nepogrešljiv material prihodnosti
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp	1.2. Razvoj v proizvodnji polizdelkov in končnih izdelkov
Prof. Dr. rer. nat. W. Dahl	1.3. Material jeklo: zahteve in možnosti

2. Materiali in optimiranje tehnoloških postopkov

Dr.-Ing. E. Schulz	2.1. Optimiranje tehnoloških postopkov v modernih jeklarnah in valjarnah za proizvodnjo ploščatih proizvodov z izboljšanimi lastnostmi
--------------------	--

Dr.-Ing. P. Adam

Prof. Dr.-Ing. E. v. Finckenstein
Dipl.-Ing. H. Brox

Dipl.-Ing. M. M. de Souza
Dipl.-Ing. M. Hagen
Prof. Dr. rer. nat. W. Dahl
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp

2.2. Materiali visoke trdnosti v vročem — posledice kovanja, nadaljnja predelava in zagotavljanje kakovosti

2.3. Preizkušanje preoblikovalnosti površinsko oplemenitenih tankih pločevin v hladnem

2.4. Simulacija profilnega valjanja s pomočjo materialnih modelov in metode končnih elementov

Dipl.-Ing. G. Stein
Dr.-Ing. J. Menzel
Dipl.-Ing.
P. Dahlmann

2.5. Razvoj in izdelava nadušičenih avstenitnih in feritnih jekel z električnim pretaljevanjem pod žilindro s povišanim tlakom dušika

P. M. Dohmen
Dipl.-Ing.
M. M. de Souza
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp
Dipl.-Inform.
M. Becker
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp
Dipl.-Ing.
G. H. Arfmann
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp
Dr.-Ing. E. Neuschütz
Ing. H. Thies

5.4. Uporaba višjih postopkov optimiziranja v preoblikovalni tehniki
5.5. Primer uporabe ekspertnega sistema pri planiranju preoblikovalnih postopkov
5.6. Primerjava različnih strategij preoblikovanja za izboljšanje širin in končnih oblik predtrakov pri vročem valjanju trakov

3. Skrajševanje procesov

Dipl.-Ing. K. Brückner

3.1. Nove tehnologije in naprave za začetno izoblikovanje in preoblikovanje jekla

Dipl.-Ing.
H.-F. Marten

3.2. Zmanjševanje zahtevnosti naprav za izdelavo ploščatih in dolgih proizvodov

Dr.-Ing. R. Kaspar
Prof. Dr.-Ing.

3.3. Preoblikovanje za pospešitev strukturnih pojavov v jeklu

O. Pawelski
Prof. Dr. sc. techn.
A. Neubauer
Dr.-Ing. A. Issleib

3.4. Kovanje v utopih z vložkom, litim v forme, je pot k skrajševanju proizvodnega procesa

Dipl.-Ing. H. Beyer
Dr.-Ing. G. Hirt

3.5. Simulacija livno-valjavskega procesa med dvema valjema

Dipl.-Phys.
C. Helmraht

Dr.-Ing. R. Simon
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp

3.6. Kombiniran postopek litja in kovanja — nove možnosti za skrajševanje procesa

A. Tietmann
Dipl.-Ing. K. Welschof

3.7. Brizgalno litje: izdelava polizdelkov z inovacijskim procesom začetnega izoblikovanja in preoblikovanja

Dr.-Ing. K.-R. Baldner
Prof. Dr.-Ing. R. Kopp

Dipl.-Ing.

G. Hartmann
Dipl.-Ing. H. Beyer

Prof. Dr.-Ing.
P. R. Sahm

4. Varčevanje energije in surovin

Dr.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing.
K. Comsemüller

4.1. Poraba energije in surovin integralnih železarn z gledišča tehnične, obratovalne in narodno gospodarske ekonomike

Prof. Dr.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing.

4.2. Sistematično zmanjševanje porabe energije in materiala v območju proizvodno tehničnih odločitev

W. Eversheim

Dipl.-Ing. J. Binding
Dipl.-Ing. K. Welschof

4.3. Parcialno kovanje-izboljšanje izrabe energije in surovin s fleksibilnim postopkom preoblikovanja

Prof. Dr.-Ing. R. Kopp

Dipl.-Ing. J. Henkel
Dr.-Ing. H. Wiegels

4.4. Optimiranje postopkov termomehanske obdelave pri valjanju obročev

Prof. Dr.-Ing. R. Kopp

5. Krmiljenje proizvodnje, planiranje procesov in simulacije

F. J. Lenze
Dipl.-Ing. K.-L.
Trultzsich

5.1. Velikost proizvodnih enot in povezovanje proizvodnih procesov v hladnih valjarnah po zmogljivostih

Prof. em. Dr.-Ing.
Dr. h. c. K. Lange

5.2. Simuliranje procesov v preoblikovalni tehniki

Prof. Dr.-Ing. K. Roll
Dipl.-Ing. M. Wilhelm

Dipl.-Ing.

M. Herrmann
Dr.-Ing. I. St. Doltsinis

5.3. Povezana termo-mehanska simulacija trodimenzionalnih procesov preoblikovanja kovin

Dipl.-Ing.

J. Luginsland
Dipl.-Math.

Na kratko lahko strnemo vtise iz tega jeklarskega kolokvija, usmerjenega na področje predelave z naslednjimi najpomembnejšimi ugotovitvami:

— V zvezi z razvojem in perspektivami jeklarske industrije ni čutiti nikakršnega pesimizma, pač pa izredna prizadevanja za vsestranske racionalizacije, modernizacije in specializacije fleksibilnih tehnoloških procesov in novih, boljših ter racionalnejših materialov od jekel do superlegur.

— Izredno intenzivne so aktivnosti za argumentirano dokazovanje, da jeklo ostaja pomemben material bodočnosti in da je še posebno nepogrešljiv prav na področjih katerim se pripisuje največje perspektive-elektronika, plastika, avtomobilska in letalska industrija, vesoljska tehnika, računalništvo itd.

— Že od leta 1974 ostaja svetovna proizvodnja jekla na istem nivoju (1.1) in niha okrog 700 milijonov ton. Zaradi zelo intenzivnega povečanja proizvodnje v Aziji, Afriki, Južni Ameriki z modernimi napravami in v vzhodnoevropskih državah, se je v tem obdobju nekoliko zmanjšala proizvodnja Japonske in močno zmanjšala proizvodnja zapadne Evrope in severne Amerike. To pa ne pomeni zmanjševanja pomena jekla v uporabi. Samo uvedba konti litja namreč prinaša 5—15 % boljši izplen, kar ob enaki količini surovega jekla daje znatno večjo količino proizvodov. Zmanjševanje količine v ZRN ocenjujejo bolj kot prestrukturiranje, saj prepuščajo samo preprostejšo ali neracionalno proizvodnjo novim modernim napravam v razvijajočem se svetu, sami pa se orientirajo v specialno proizvodnjo. Intenzivno izboljšanje izplenov, zmanjševanje porabe energije, fleksibilnost, kratki dobavni roki, avtomatizacija, manj dela, manjši kapitalni stroški in spremljajoče nove raziskovalno razvojne aktivnosti so usmerjene v skrajševanje procesov in racionalno učinkovito zadovoljevanje potreb na tržišču. Zmanjšani fizični obseg prinaša ob tem večjo vrednost proizvodnje in vse bolj so prepričani, da se je prestrukturiranje jasno izoblikovalo in, da v nadaljnjem razvoju nemškega jeklarstva kljub podobnim oblikam (zmanjševanje količin in števila zaposlenih) ne moremo več govoriti o krizi ampak o zelo očitni preorientaciji.

— Simulacije in matematično modeliranje z metodo končnih elementov neverjetno hitro napreduje in širi obseg uporabe.

— Največji pomen razvojnega raziskovanja nameenjajo skrajševanju tehnoloških procesov. Temu je bila posvečena posebna tretja skupina predavanj (glej program), pa tudi v drugi in četrti je bilo posredno precej govora o tej tematiki.

Pri tem gre za ideje, ki jih uveljavljamo z novo pilotno proizvodnjo na Metalurškem inštitutu in iste ideje, ki jih uveljavljamo z litjem žice in palic posegajo zelo intenzivno tudi v ploščati program.

Povzetki XXXIX. Posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih

-
- XXXIX. Posvet o metalurgiji in kovinskih gradivih je bil organiziran v Portorožu, 6. in 7. oktobra 1988.
 - V Železarskem zborniku 23/1989/1, s 35—42 so objavljeni povzetki raziskovalnih del po izboru in priporočilu Organizacijskega odbora XXXIX. Posvetovanja o metalurgiji in kovinskih gradivih.

Program XXXIX. Posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih (oktober, 1988)*

6. oktober, 1988:

Otvoritev in pozdravne besede

9.30—11.15 PRVI SKLOP

1. B. Bevc, SOZD Slovenske železarne Ljubljana
TRŽNE PERSPEKTIVE SLOVENSkih ŽELEZARN
2. D. Vodeb, M. Švajger, SŽ-Železarna Ravne
MOŽNOSTI PRESTRUKTURIRANJA ŽELEZARNE RAVNE
3. I. Gerjovič, SOZD Unial Maribor
RAZVOJNE MOŽNOSTI ALUMINIJSKE INDUSTRIJE V SLOVENIJI
4. A. Križman, Tehniška fakulteta Maribor, L. Puklavec, Mariborska livarna Maribor, P. Souvent, Rudniki svinca in topilnica Mežica, B. Marolt, Cinkarna Celje, M. Doberšek, Zlatarna Celje, Z. Mozetič, LAMA Dekani
RAZVOJ IZDELAVE IN PREDELAVE TEŽKIH BARVNIH KOVIN V SR SLOVENIJI
5. F. Pavlin, FNT VTOZD Montanistika, D. Bezljaj, SŽ-Železarna Jesenice, J. Jamer, J. Kert, SŽ-Železarna Ravne, A. Osojnik, SŽ-Metalurški inštitut, M. Podgornik, SŽ-Železarna Štore
EKOLOŠKA PRIZADEVANJA IN DOSEŽKI V SLOVENSkih ŽELEZARNAH

RAZPRAVO VODI J. RODIČ

11.45—13.00 DRUGI SKLOP

6. B. Sicherl, FNT VTOZD Montanistika
STANJE PROCESNEGA VODENJA METALURŠKIH PEČI IN VPLIV NA SPECIFIČNO PORABO ENERGIJE
7. M. Trbižan, FNT VTOZD Montanistika
ŠTUDIJ METALURGIJE NA UNIVERZI V LJUBLJANI S STALIŠČA KADROVSKIH ZAHTEV SLOVENSKE INDUSTRIJE
RAZPRAVO VODI J. LAMUT

15.00—16.30 TRETJI SKLOP

8. A. Paulin, FNT VTOZD Montanistika
POMEN PREDELAVE SEKUNDARNIH SUROVIN V BARVNI METALURGIJI
9. T. Kolenko, B. Sicherl, F. Pavlin, FNT VTOZD Montanistika, B. Glogovac, SŽ-Metalurški inštitut, D. Mikec, SŽ-Železarna Jesenice
RAČUNALNIŠKI MODEL OGREVANJA PLOŠČ V POTISNI PEČI
10. B. Glogovac, SŽ-Metalurški inštitut, T. Kolenko, F. Pavlin, FNT VTOZD Montanistika
OGREVANJE JEKEL V KORAČNI PEČI
11. B. Šuštaršič, SŽ-Metalurški inštitut
TEHNOLOGIJA VROČEGA IZOSTATSKEGA STISKANJA (HIP)
12. V. Uršič, A. Rodič, SŽ-Metalurški inštitut, F. Mlakar, SŽ-Železarna Štore
MODULARNA BAINITNA LITINA
RAZPRAVO VODI L. PUKLAVEC

17.00—18.30 ČETRTI SKLOP

13. F. Vodopivec, M. Torkar, SŽ-Metalurški inštitut, F. Marinšek, SŽ-Železarna Jesenice, F. Grešovnik, SŽ-Železarna Ravne, B. M. Praček, IEVT
VPLIV ANTIMONA NA VATNE IZGUBE V DINAMO PLOČEVINI Z 1.6 Si in 0.3 Al
14. D. Kmetič, F. Vodopivec, B. Ralič, SŽ-Metalurški inštitut, J. Gnamuš, SŽ-Železarna Ravne
PLATIRANJE ORODNIH JEKEL NA KONSTRUKCIJSKA JEKLA
15. M. Torkar, F. Vodopivec, A. Kveder, B. Arzenšek, B. Koroušič, J. Žvokelj, SŽ-Železarna Ravne
RAZISKAVA IN RAZVOJ NIKLJEVIH ZLITIN ZA VISOKE TEMPERATURE
16. J. Žvokelj, F. Vodopivec, D. Kmetič, SŽ-Metalurški inštitut
DEGRADACIJA LASTNOSTI CEVI IZ LEGIRANIH JEKEL MED DOLGOTRAJNIMI TOPLOTNIMI IN MEHANSKIMI OBREMENITVAMI
17. Predavanje skupine madžarskih avtorjev v okviru sodelovanja VASKUT, Budimpešta — METALURŠKI INŠTITUT, Ljubljana
HITRO STRJEVANJE
RAZPRAVO VODI M. GABROVŠEK

7. oktober, 1988:

8.30—13.00

JAVNA RAZPRAVA O RAZISKOVALNEM DELU V LETU 1987 IN PREDSTAVITEV TEMATIKE RAZISKAV V LETU 1989
RAZPRAVO VODI F. VODOPIVEC

8.30—9.45

1. PREDSTAVITEV IN RAZPRAVA O POSTERSKIH PRISPEVKIH
Poročajo koordinatorji: F. Pavlin, V. Prešeren, F. Vodopivec, T. Kolenko, B. Breskvar, M. Torkar, A. Paulin, L. Vehovar, A. Osojnik

9.45—10.15

2. KVANTIFIKACIJA RAZISKOVALNEGA DELA V PRETEKLEM OBDOBJU
Razprava o gradivu, ki je objavljeno v brošuri.

10.45—13.00

3. PREDSTAVITEV IN RAZPRAVA O PREDLOGIH RAZISKAV ZA LETO 1989
Predlogi raziskovalnih nalog so zbrani v brošuri.
V imenu Programskega sveta RSS za metalurgijo, Odborov in Komisij za raziskovalno delo ter strokovnih timov poročajo: F. Pavlin, V. Prešeren, F. Vodopivec, T. Kolenko, B. Breskvar, V. Uršič, A. Paulin, A. Osojnik, M. Torkar, D. Bezljaj

13.00—13.30

SPREJEM ZAKLJUČKOV POSVETA

* — Organiziran 7. in 8. oktobra, 1988 v Portorožu.

— Povzetki Posvetovanja objavljeni v Železarskem zborniku 23, 1989, 1, s 34—42.

— Raziskovalna dela so v celotni ali skrajšani obliki objavljena v Zborniku o XXXIX. Posvetu o metalurgiji in kovinskih gradivih, Ljubljana, Slovenske Železarne; Metalurški inštitut v Ljubljani, 1988

VSEBINA

2. Možnosti prestrukturiranja Železarne Ravne
Alternative Production Program for Steelwork Ravne
D. Vodeb, et al.
3. Razvojne možnosti aluminijske industrije v Sloveniji
Development Possibilities for the Aluminium Industry in Slovenia
I. Gerjovič
4. Razvoj izdelave in predelave težkih barvnih kovin v SR Sloveniji
The Development of Manufacturing and Further Processing of Heavy Non-Ferrous Metals in the SR Slovenia
A. Križman, et al.
5. Ekološka prizadevanja in dosežki v Slovenskih Železarnah
Ecological Efforts and Achievements in Slovenian Steelworks
F. Pavlin, et al.
6. Stanje procesnega vodenja metalurških peči in vpliv na specifično porabo energije
State of Process Control of Metallurgical Furnaces and Effect on Specific Use of Energy
B. Sicherl
8. Pomen predelave sekundarnih surovin v barvni metalurgiji
Significance of Metal Recovery from Non-Ferrous Scrap
A. Paulin
9. Računalniški model ogrevanja plošč v potisni peči
A Computer Model Describing the Reheating of Slabs in the Pusher Furnace
T. Kolenko, et al.
10. Ogrevanje jekel v koračni peči
The Heating of Steel in Walking Beam Furnace
B. Glogovac, et al.
11. Tehnologija vročega izostatskega stiskanja (HIP)
The Hip Technology
B. Šuštaršič, et al.
12. Nodularna bainitna litina
Adi Cast Iron
V. Uršič, et al.
13. Vpliv antimona na vatne izgube v dinamo pločevini z 1.6 Si in 0.3 Al
Effect of Antimony on Energy Losses of Non Oriented Electrical Sheet with 1.6 Si and 0.3 Al
F. Vodopivec, et al.
14. Platiranje orodnih jekel na konstrukcijska jekla
The Plating of Tool Steels on Structural Steels
D. Kmetič, et al.
15. Raziskava in razvoj nikljevih zlitin za visoke temperature
Research and Development of High Temperature Ni-Superalloys
M. Torkar, et al.
16. Degradacija lastnosti cevi iz legiranih jekel med dolgotrajnimi toplotnimi in mehanskimi obremenitvami
Degradation of Properties of Alloy Steel Tubes at Longtime Heat and Mechanical Loading
J. Žvokelj, et al.

2. Možnosti prestrukturiranja Železarne Ravne*1

Alternative production program for steelwork Ravne

D. Vodeb*5, M. Švajger*5

Možnosti prestrukturiranja Železarne Ravne v razvojno kontinuiran sistem več industrijskih panog. Program prestrukturiranja je dinamičen proces, ki na sedanji stopnji razvoja zahteva poznavanja različnih strok, metalurgije, strojništva in drugih ved.

Za oblikovanje koncepta izdelave programa smo predhodno analizirali podobne strokovne prijeme v razvitem svetu. Zgledovali smo se predvsem po primerih zahodne industrije. Iz njihovih izkušenj smo pridobili metodološke osnove za izdelavo programa in eksaktno definicijo ciljev.

Glede na naš obseg znanja in kadrovskega potenciala smo iskali v realizaciji določene okrnitve. Menimo, da je glede na prve poizkuse bolj analitičnega pristopa k dolgoročnim programom prestrukturiranja program izdelan dovolj kvalitetno. Sestavljen je iz treh vsebinskih delov: analiza dosedanjega razvoja s pomočjo logistične krivulje, presek trenutnega stanja na našem delovnem področju in prikaz treh možnih scenarijev razvojnih poti Železarne Ravne.

Z izdelavo in nadaljnim delom na tem segmentu razvojnega dela bomo še nadaljevali. V sodobni informacijski družbi je nujno, da imamo izdelan model, kako kopico pomembnih informacij strniti v argumentirane informacije, potrebne za neodvisno odločanje. V svetu so s spremembo odnosa med delom, kapitalom in znanjem začeli bolj upoštevati znanje, ki se uveljavlja ravno preko prikazanih pristopov v delovne sredine.

3. Razvojne možnosti aluminijske industrije v Sloveniji*1

Development possibilities for the aluminium industry in Slovenia

I. Gerjovič*7

Slovenska metalurgija težkih barvnih kovin postopoma opušča primarno proizvodnjo in se v svojem razvoju usmerja pretežno na predelavo sekundarnih surovin, razvoj novih zlitin in višjo stopnjo predelave ob zagotovitvi kvalitete proizvodov, učinkovitosti gospodarjenja in predvsem oskrbe strateško pomembne finalne industrije.

Na področju predelave bakra in bakrovih zlitin bodo razvojni trendi usmerjeni v: izločanje primesi pri predelavi sekundarnih surovin, računalniško vodenje predelave sekundarnih surovin, tehnologijo vakuumskega taljenja in litja, tehnologijo kontinuir-

nega litja žice, trakov in cevi, indirektno iztiskovanje drobnih profilov in cevi, računalniško krmiljenje procesov pri kontinuirnem litju in iztiskovanju, tehnologijo hladne predelave kontinuirno ulitih polproizvodov, toplotno obdelavo v zaščitnih atmosferah ali vakuumu, kovanje iz tekočega stanja, hladno kovanje, osvajanje zlitin s posebnimi lastnostmi za uporabo v najzahtevnejših tehnologijah.

Metalurgija svinca bo usmerjena v razvoj postopkov predelave sekundarnih surovin, v razvoj novih aktivnih mas in zlitin za akumulatorsko industrijo, razvoj novih vrst akumulatorskih baterij, v znižanje porabe energije, večjo humanizacijo dela in zmanjšanje škodljivih vplivov na okolje.

Predelava cinka bo usmerjena v razvoj tehnologije kontinuirnega litja trakov, racionalizacije v fazi valjarske predelave ter v višjo stopnjo finalizacije.

Na področju livarstva Zn bo razvoj usmerjen v večjo stopnjo avtomatizacije tlačnega litja, izdelavo preciznih in tankostenskih ulitkov ter razvoj visoko trdnostnih zlitin. Področje plemenitih kovin bo usmerjeno predvsem v pridobivanje kovin iz sekundarnih virov, zamenjavo plemenitih kovin z neplemenitimi, razvoj dentalnih zlitin ter osvajanje tehnologije litja in valjanja tankih trakov in žičk za potrebe elektronske industrije.

4. Razvoj izdelave in predelave težkih barvnih kovin v SR Sloveniji*1

The Development of Manufacturing and further processing of heavy non-ferrous metals in the SR Slovenia

A. Križman*8, L. Puklavac*9, P. Souvent*10, B. Marolt*12, M. Doberšek*13, Z. Mozetič*11.

Aluminajska industrija v Sloveniji je v slabih družbenogospodarskih razmerah, a kljub močnemu nasprotovanju določenih političnih krogov je doslej uspela storiti tiste pomembne razvojne korake, ki dovoljujejo še naprej realno mero optimizma za njeno življenje.

Osnova za optimizem je s konkretnimi fizično ekonomskimi rezultati podprto spoznanje o upravičenosti izbrane strategije razvoja.

Konkurenčno zavistne gospodarske panoge in politično-teoretični doslej v naših razmerah še niso dali odgovora, kje in kam dolgoročno prodajati z ustreznim dobičkom, še kar naprej pa vehementno razlagajo, kaj in v kakih oblikah organiziranosti proizvajati, da bi glede na ekonomije zglednih držav morda kdaj dosegli zgledne učinke.

* 1 Predavanje predstavljeno na XXXIX. Posvetu o metalurgiji in kovinskih gradivih, Portorož, oktober 1988

* 2 FNT v TOZD Motanistika
* 3 Metalurški inštitut Ljubljana
* 4 SŽ Železarna Jesenice
* 5 SŽ Železarna Ravne
* 6 SŽ Železarna Štore
* 7 SOZD Unial Maribor

* 8 Tehniška fakulteta Maribor
* 9 Mariborska livarna, Maribor
* 10 Rudniki svinca in topilnica Mežica
* 11 LAMA Dekani
* 12 Cinkarna Celje
* 13 Zlatarna Celje
* 14 Inštitut Jožef Stefan Ljubljana
* 15 IEVT Ljubljana

V zadnjem času z nekaj več hrabrosti ugotavljajo, da ima pri učinkovitosti svoj delež tudi družbenoekonomski sistem in upati je, da spremembe v njem ne bodo še naprej v škodo tistih, ki kažejo sposobnost za dolgoročno tekmo in tržni prostor v razvitem svetu.

Prispevek bo obravnaval naš pogled na našo bodočnost. Osvetlili bomo aktualna gibanja v panogi in nakazali naše željene razvojne korake. Razložili jih bomo kot stalno marketinško raziskovanje, preverjanje in odločanje za posamezne obstoječe in nove veje proizvodov.

Upoštevanje vsakodnevnih trdi in neizprosni konkurenčni boj na trgu, se zavedamo kompleksnosti in rizičnosti razvojnih korakov, imamo pa kljub vsemu dovolj hrabrosti in znanja, da jih opravimo. To je nadvse pomembna komponenta današnje garancije vodilnih kadrov Slovenske aluminijске industrije, ki dodatno opravičuje izraženi razvojni optimizem.

5. Ekološka prizadevanja in dosežki v Slovenskih železarnah^{*1}

Ecological efforts and achievements in Slovenian steelworks

F. Pavlin^{*2}, D. Bezljaj^{*4}, J. Jamer^{*5}, J. Kert^{*5},
A. Osojnik^{*3}, M. Podgornik^{*6}.

Velika prizadevanja in pomembnejši ekološki dosežki, ki smo jih v Slovenskih železarnah dosegli z modernizacijo in uvajanjem novih tehnologij in z novimi procesnotehničnimi rešitvami na področju varstva okolja in zmanjšanja specifične porabe energije.

Za vsako železarno podajamo kronološko pomembnejše ukrepe in ekološke naložbe, ki imajo za posledico predvsem zmanjšanje plinskih in trdnih emisij, zmanjšanje onesnaževanja voda in hrupa ter koristno uporabo odpadnih surovin.

Prikazane so tudi nadaljne usmeritve in ekološki cilji Slovenskih železarn v naslednjem srednjeročnem obdobju.

Na splošno ugotavljamo, da so dosežki Slovenskih železarn na področju varstva okolja v minulih letih veliki. Z ukinitvijo nekaterih agregatov ter uporabo ekološko čistejših goriv je onesnaževanje z SO₂ praktično na minimumu. Emisija kovinsko oksidnega prahu iz EOP je z vgradnjo odpraševalnih naprav zmanjšana več kot na polovico, z izgradnjo bioloških čistilnih naprav za odplake pa je zmanjšano onesnaževanje voda. Z investicijami v naslednjem obdobju bomo poskrbeli še za nadaljnje čiščenje odpadnih voda (zbiranje in predelava oljnih gočš in emulzij) ter za rešitve preostalega odpraševanja.

Kritično so obravnavane emisije v železarnah tudi glede na novo sprejeti Odlok SRS o mejnih količinah oz. koncentracijah, ki se smejo izpuščati v zrak. Izpostavljeni so tisti agregati, pri katerih bo zaradi prekoračenja dovoljenih vrednosti potrebno po letu 1990 kontinuirno merjenje emisij.

Pri tem je poudarjena problematika merilne opreme (nabava, vzdrževanje in umerjanje) ter vloga Metalurškega inštituta in FNT Montanistika kot pooblaščenih raziskovalnih inštitucij za umerjanje in testiranje merilne opreme ter izvajanje meritev v železarnah in drugih metalurških obratih.

6. Stanje procesnega vodenja metalurških peči in vpliv na specifično porabo energije^{*1}

State of process control of metallurgical furnaces and effect on specific use of energy

B. Sicherl^{*2}

Usmeritve slovenske razvojne politike se orientirajo na energetsko manj intenzivne panoge oz. dejavnosti in bolj »čiste« tehnologije. To terja — in to počnemo v slovenski metalurški industriji v okviru realnih možnosti in zahtev že vrsto let — sprotno prilagajanje in uvajanje novih dosežkov v tehnologiji tako pri

proizvodnji kot nadaljni predelavi jekla, hkrati z intenzivnimi stremiljenji za zniževanje specifične porabe energije za vse vrste energijskih medijev, ki jih uporabljamo.

Preglednice podajajo numerične podatke, ki kažejo, da nam uspeva tako pri elektro obločnih pečeh kot valjarniških ogrevnih pečeh in pečeh za toplotno obdelavo, ki so bistveni porabniki primarne energije, zniževati specifično porabo. To je posledica intenzivnega razvojno-raziskovalnega dela, pogojena predvsem z neposrednim in tesnim sodelovanjem med energetiki in tehnologi v polpreteklem obdobju.

Vendar z doseženim ne moremo biti zadovoljni, kajti v primerjavi s tehnologijami po svetu bi pri posameznih proizvodnih enotah lahko rezultati bili ugodnejši. Ne zaradi opravičevanja, temveč in zgolj zaradi potrebe realnosti, v kateri živimo, je treba poudariti, da prenekatera peč, ki je po konstrukcijski plati zastarela in ki nima ustrezne ali ima le pomankljivo merilno regulacijsko opremo, v nobenem primeru ne more dosegati ostrih normativov specifične porabe energije, ki jih vedno glasneje družba od nas zahteva. S postopnimi izboljšavami, rekonstrukcijami peči oz. uvajanjem sodobnih peči pa smo že dosegli rezultate, ki zadovoljujejo. In prav to je tisto spoznanje, ki ga je treba vsestransko osvetliti v prikazu vloženega truda in dosežkov širšem krogu oz. javnosti posebej poudariti. Sodobno vodenje peči z mikroprocesorji ni za slovenske metalurške energetike — ne glede na osnovni profesionalni profil-tema, ki bi je ne mogli obvladati. Toda popoln nesmisel je, da ne rečem, da je nemogoče, da bi na peč, ki ne izpolnjuje osnovnih toplotnotehničnih zahtev, tako po konstrukciji kot merilno regulacijski opremi, obešali sisteme za procesno vodenje. Dilema, ki se tu postavlja, je velika. Biti moramo realisti v zahtevah, saj vemo, da je večina naših peči zastarela in le z velikimi naporji, ob postopnih rekonstrukcijah, lahko z leti pričakujemo izboljšanje. Med tem ko je pri elektroobločnih pečeh procesno vodenje pri glajenju konice že dejansko postala rutina, ostali optimizacijski postopki še niso v vseh treh jeklarnah popolno zaživel. Pri valjarniških ogrevnih pečeh in pečeh za toplotno obdelavo, ki so za to pripravljene, je zametek lastnega razvoja pri izdelavi hardwarске opreme, toda tovrstne pobude so v naši praksi premalo podprte. Za nekatere primere bi programsko vodenje peči bilo možno takoj realizirati, če bi le peči bile ustrezno opremljene. Večletno modeliranje ogrevanja je dalo pozitivne rezultate in bilo tudi verifikirano, tako da prejšnja trditve povsem drži. Zato bo sicer nujno uvajanje procesnega vodenja, upoštevajoč prej navedene zaviralne elemente, ki pa jih v proizvodni praksi in danostih ne moremo preskočiti, trajalo še nekaj časa.

8. Pomen predelave sekundarnih surovin v barvni metalurgiji^{*1}

Significance of metal recovery from non-ferrous scrap

A. Paulin^{*2}

V proizvodnem krogu ruda-primarna kovina-izdelek imamo tri skupine sekundarnih surovin: krožni material pri pridobivanju in obdelavi kovin, sekundarne surovine pri obdelavi ter amortizacijski odpad. Delež sekundarnih kovin pri porabi petih glavnih kovin je v zahodnih državah: 26 % pri Al, 37 % pri Cu, 23 % pri Zn, 48 % pri Pb in 21 % pri Sn. Odločilna pri naraščanju deleža sekundarnih kovin je brez dvoma energija. Če so v zadnjih 30 letih cene kovin (v dolarjih oz. DEM) narasle le za 45 do 80 %, se je cena energije v tem času povečala kar 4 krat. Poraba energije za pridobivanje sekundarne kovine predstavlja 5 do 30 % energije, potrebne za dobivanje primarne kovine.

Zlato pravilo pri predelavi sekundarnih surovin je stremiljenje k dobivanju enake ali podobne zlitine, kot je sestava izhodne surovine, ker na ta način izrabimo vse zlitinske sestavine. To dosežemo z razvrščanjem odpadnih surovin po kakovosti in odpadke enotne kakovosti potem pretaljujemo s rafinacijskimi sredstvi ali brez njih. Nečiste odpadke moramo rafinirati, oksidirane pa predhodno še reducirati.

Ker Slovenija nima lastnih primarnih surovin, bo velik del porabe barvnih kovin, razen aluminija, šlonel na sekundarnih surovinah. Rudnik in topilnica svinca v Mežici se že danes usmerja

pretežno v predelavo izrabljenih svinčevih akumulatorjev, kjer po lastno razviti tehnologiji že danes izrabljajo nad 95 % sestavin akumulatorja. Glavni predelovalec barvnih in aluminijevih sekundarnih surovin je mariborska livarna, ki s tem krije pretežni del svojih potreb po kovinah. Tudi Cinkarna v Celju načrtuje predelavo cinkovih sekundarnih surovin. Zlatarna Celje in topilnica svinca v Mežici pa sodelujeta pri razvoju predelave odpadnih surovin dragih kovin.

9. Računalniški model ogrevanja plošč v potisni peči*¹

A computer model describing the reheating of slabs in the pusher furnace

T. Kolenko*², B. Sicherl*², F. Pavlin*², B. Glogovac*³, D. Mikec*⁴.

S konvencionalno merilno in regulacijsko opremo je zelo težko kontrolirati temperaturo jeklenih plošč v potisni peči med prehodnim obratovanjem, to je pri menjavi vrste in dimenzij vložka ter pri neenakomernem pomikanju vložka ali ob zastojih. Z množično ponudbo najzmogljivejših osebnih računalnikov se zdi uspešna rešitev nadzora temperature vsake posamezne plošče v peči zelo verjetna.

Podlaga za uvajanje računalnika v vodenju procesa ogrevanja je ustrezen numerični model procesa ogrevanja, ki bo določal strategijo procesnega vodenja. Numerični model omogoča za vsako ploščo nadzor nad povprečno temperaturo in največjo temperaturno diferenco med ogrevanjem v peči in ob izstopu iz peči. S pomočjo modela je možno vrednosti teh dveh parametrov držati v ozkih predpisanih mejah, neodvisno od časa zadrževanja plošče v peči. Med zastoji je možno s pomočjo modela predvideti ogrevanje plošč na takšen temperaturni nivo, da bi po ponovni vzpostavitvi proizvodnje lahko nadaljevali s predpisano hitrostjo odzemanja plošč iz peči.

Pri izstopu plošče iz peči izpiše računalnik njeno zgodovino ogrevanja med pomikanjem skozi peč. Pomembni so naslednji podatki:

- položaj plošče v peči ob vsakem pomiku,
- časovni interval zadrževanja plošče na vsakem položaju v peči,
- temperatura peči na tem mestu,
- povečana temperatura in temperatura difference v plošči in
- temperaturna porazdelitev v plošči.

Na ta način je možno ugotoviti eventualno pregrevanje površja plošče na določenem položaju plošče v peči, ki pa bi bilo zaradi neprekinjenega pregleda nad stanjem plošč v peči skoraj nemogoče.

10. Ogrevanje jekel v koračni peči*¹

The heating of steel in walking beam furnace

B. Glogovac*³, T. Kolenko*², B. Sicherl*², F. Pavlin*²

Na podlagi izračunov z matematičnim modelom in toplotno-tehničnih preiskav peči smo analizirali potek ogrevanja gredic in možnosti za izboljšanje tehnologije ogrevanja jekel pri racionalni rabi energije.

Praktični poskusi obsegajo meritve temperatur površine in sredine gredic v celotnem času prehoda gredic skozi peč, meritve začetne temperature valjanja v odvisnosti od temperaturnega režima v peči in ritma valjanja ter meritve sestave produktov zgorevanja v posameznih segmentih peči. Analiziran je temperaturni režim ogrevanja pri spremenljivih obratovalnih pogojih, prenos toplote in toplotna obremenitev con ter delovanje sistema kontrole in regulacije vodenja peči.

11. Tehnologija vročega izostatskega stiskanja (HIP)*¹

The HIP technology

B. Šuštaršič*³, F. Vodopivec*³, M. Komac*¹⁴

V letošnjem letu je Metalurški inštitut s pomočjo sredstev RSS in združenega dela dobil moderno laboratorijsko napravo za vodno atomizacijo kovinskih prahov firme Davy McKee. Naprava omogoča izdelavo visokokvalitetnih kovinskih prahov, predvsem hitrozreznih jekel in super zlitin na osnovi Fe in Ni. S tem so se na MI odprle nove možnosti razvoja na področju metalurgije prahov (PM).

Izdelavi visoko kvalitetnih kovinskih prahov sledi običajno uvajanje tehnologije konsolidacije teh kovinskih prahov do popolne zgotovitve, to je do končnega izdelka oz. polizdelka. Poleg konvencionalnega sintranja se za zgoščevanje prahov uporablja še vroča ekstruzija predhodno sintranega prahu, vroče kovanje v zaprtem stiskanju se vse bolj uveljavlja zaradi nedvomnih prednosti, ki jih ima v primerjavi z drugimi postopki zgoščevanja, predvsem na področjih, kjer se zahtevajo visoko kvalitetni izdelki zahtevanih oblik. Danes se HIP rutinsko uporablja že na šestih različnih področjih:

- vezava v trdnem stanju,
- zgoščevanje kovinskih prahov in zlitin (metalurgija prahov),
- zgoščevanje keramičnih prahov in popolna zgotovitev sintrane keramike (karbidne trdine in elektronska keramika),
- poprava napak v ulitkih,
- obnova lastnosti dinamično poškodovanih delov,
- visokotlačna impregnacija in zgoščevanje.

Inštitut Jožef Stefan in Metalurški inštitut imata na razpolago za svoje raziskovalno delo moderno laboratorijsko napravo za vroče izostatsko stiskanje, firme National Forge. Stiskalnica lahko obratuje z Mo grelcem do 1500° C (kovine in kovinske zlitine) oz. z grafitnim grelcem do 2000° C (keramika) pri delovnih pritiskih do 200 MPa (hladni pritisk 100 MPa). Izostatski pritisk se dosega z Ar ali N₂. Delovni, koristen prostor avtoklava je premera 100 mm in višine 200 mm. Tehnologija HIP tako prodira tudi na domača tla. Poleg proizvodne enote za zgoščevanje karbidnih trdin (WC) v Prvem Partizanu Titovo Užice je to edina HIP naprava v širšem jugoslovanskem prostoru. Tehnologija HIP je moderna tehnologija za izdelavo visoko kvalitetnih kovinskih in keramičnih materialov, zato menimo, da je potrebno širše seznanjenje strokovne javnosti z možnostmi tehnologije.

12. Nodularna banitna litina*¹

Adi cast iron

V. Uršič*³, A. Rodič*³, F. Mlakar*⁶

Nodularna litina z bainitno strukturo ima v primerjavi z drugimi vrstami sivih litin in nekaterimi vrstami jekel nekaj izredno dobrih lastnosti. Ob visoki natezni trdnosti in trdoti ima dobro žilavost, obrabno odpornost, odpornost proti utrujenosti, dušilnost in tudi dobro obdelovalnost. Spoznanje teh ugodnih lastnosti je v veliko primerih pripomoglo, da je ta vrsta litine uspešno nadomestila nekatere druge materiale, npr. perlitno nodularno litino in različne vrste jekel. Povečal se je delež ulitih delov na račun kovanih. Proizvodnja bainitne litine je namreč sorazmerno enostavna in tudi do 30 % cenejša v primerjavi z nekaterimi drugimi proizvodnimi postopki. Ulitke lahko ulivamo skoraj na končno obliko in izmere, s čimer se občutno zmanjša obseg potrebne mehanske obdelave. Pomembno dejstvo je tudi to, da lahko zaradi boljših trdnostnih lastnosti zmanjšamo težo ulitkov in s tem bistveno zmanjšamo porabo materiala.

Bainitno nodularno litino izdelujemo neposredno v ulitem stanju, s tem da jo legiramo (Mo, Ni, Cu) in jo po ulivanju ustrezno ohlajamo ali pa z naknadno toplotno obdelavo nelegirane ali malo legirane litine.

Po izotermnem kaljenju (v temperaturnem območju 400 do 250° C) je struktura pretežno sestavljena iz bainita (spodnjega ali zgornjega) in zaostalega avstenita. Tega je lahko celo do 40 % in prav on daje tej litini visoko žilavost in duktilnost. S hlad-

no deformacijo pa material lahko še dodatno površinsko utrdimo, saj se zaostali avstenit pri tem pretvori v martenzit.

V Železarni Štore so že pred mnogimi leti prvi pri nas začeli izdelovati kakovostno nodularno litino normiranih kvalitet. Vzporodno z razvojem in vpeljavo teh vrst litin so stalno tekale tudi ustrezne raziskave, ki so zajemale razna področja, med njimi tudi nekaj takih, ki so posegale na področje toplotne obdelave nodularne litine.

Sedaj se je pokazala potreba po izdelavi kakovostne bainitne nodularne litine.

Proizvodnja v livarni sicer že teče; z obsežnejšo in sistematično raziskavo, ki je sedaj v teku, pa želimo ugotoviti optimalne tehnološke parametre za zanesljivo doseganje željene strukture in z njo povezanih lastnosti litine. Postopek izdelave te litine mora biti optimalen tako v pogledu porabe surovin — predvsem legiranih dodatkov — kakor tudi v pogledu porabe različnih vrst energije.

13. Vpliv antimona na vatne izgube v dinamo pločevini z 1.6 Si in 0,3 Al*¹ Effect of antimony on energy losses of non oriented electrical sheet with 1.6 Si and 0.3 Al

F. Vodopivec*³, M. Torkar*³, F. Marinšek*⁴,
F. Grešovnik*⁵, B. M. Praček*¹⁵

Cilj naloge je bil preveriti podatke iz strokovne literature, da je mogoče z legiranjem jekla z antimonom doseči pomembno zmanjšanje vatnih izgub. Iz čistega vložka (vsota rezidualnih elementov 0.17%) in iz standardnega vložka (vsota rezidualnih elementov 0.51%) je bilo izdelanih 20 jekel z antimonom v razponu med 0.008 in 0.15%. Bloki 60 × 60 mm so bili izvaljani v lamelo in vroče izvaljani v lamelo z debelino 2,5 mm, nato pa luženi in izvaljani v pločevino z debelino 0.5 mm. Ta je bila nato razogljčena in rektalizirana z žarjenjem 1 uro pri 800°C v vlažnem vodiku. Na tako pripravljenih vzorcih so bile izvršene preiskave preoblikovalnosti v hladnem, vatnih izgub, teksture, mikrostrukture in velikosti zrn ter interkristalne segregacije antimona. Rezultati so pokazali, da splošna kemična čistost in količina antimona ne vplivajo na sposobnost vroče valjanega traka za preoblikovanje v hladnem. Mikrostruktura je po vročem valjanju in po rekristalizaciji in razogljčenju neodvisna od splošne kemične čistosti in količine antimona. Pri ca. 0.05% Sb so zrna ferita najmanjša v jeklih obeh vrst. Pri tej vsebnosti so tudi vatne izgube najnižje in ca. 20% nižje, kot v jeklu brez antimona. Pri isti vsebnosti antimona najdemo največ magnetno mehkih zrn z lego blizu (001) v ravnini pločevine, delež magnetno trdnih ploskev (111) pa je zmanjšan na najmanjšo količino. To kaže, da so nižje vatne izgube posledica boljše teksture z več zrn z lego blizu (001) v ravnini valjanja. Analiza po Augeru je pokazala močno segregacijo antimona po mejah zrn ferita. Na osnovi rezultatov predlagamo naslednjo razlago koristnega vpliva antimona na vatne izgube: Med razogljčenjem in rekristalizacijo antimon segregira na meje zrn ferita in zmanjša s tem njihovo gibljivost. Na mejah zrn, ki imajo lego blizu (111) v ravnini valjanja, je zaradi selektivne segregacije ali zaradi specifične oblike prej dosežena kontrakcija antimona, ki zagotovi neko stabilnejšo konfiguracijo, kot na zrnih z lego (001). Zato rekristalizirana zrna z lego (111) rastejo počasneje kot zrna z lego (001) in se delež prvih zmanjša. Pri povečanem antimonu je segregacija večja, tolikšna, da je dosežena nasičenostna stopnja tudi na mejah zrn z lego (001) v ravnini pločevine, zato je inhibirana rast vseh zrn. Rezultat je, da ne nastaja tekstura in koristen vpliv antimona na vatne izgube se znova zmanjša.

Primerjava obeh vrst jekel pove še, da je segregacija antimona neodvisna od kemične čistosti jekla, pač pa imajo jekla iz manj čistega vložka za ca. 20% večje vatne izgube v vsem razponu vsebnosti antimona kot jekla iz čistega vložka.

14. Platiranje orodnih jekel na konstrukcijska jekla*¹ The plating of tool steels on structural steels

The plating of tool steels on structural steels

D. Kmetič*³, F. Vodopivec*³, B. Ralič*³, J. Gnamuš*⁵

V Železarni Ravne že nekaj časa s plastično predelavo, predvsem z vročim valjanjem, platirajo orodna jekla na konstrukcijska jekla (compound noži). Tako izdelana orodja imajo precejšnje ekonomske prednosti pred konvencionalno izdelanimi orodji.

Za nekatere pare je tehnološki postopek osvojen in poteka z ustreznim izkoristkom. O ogrevanju in vročem valjanju je bilo na voljo premalo podatkov, da bi lahko projektirali tehnologijo za različne pare orodno-nosilno konstrukcijsko jeklo in za različne oblike izdelkov.

V delu so opisane sistematične raziskave pogojev ogrevanja (čas, temperatura) in valjanja (stopnja parcialnih redukcij, celotna redukcija, temperatura) na difuzijske procese in mikrostrukturne značilnosti na stični površini orodno-konstrukcijsko jeklo. Od teh parametrov je odvisna vezna trdnost med jekloma, ki je za platirana orodja zelo pomembna.

15. Raziskava in razvoj nikljevih zlitin za visoke temperature*¹ Research and development of high temperature Ni-superalloys

Research and development of high temperature Ni-superalloys

M. Torkar*³, F. Vodopivec*³, A. Kveder*³, B. Arzenšek*³, B. Koroušič, J. Žvokelj*³, I. Kos*⁵.

Razvoj superzlitin na osnovi niklja je v svetu skokovit. Uveljavlja se vrsta do sedaj nepoznatih tehnik, ki so za nas zaradi zahtev na področju opreme trenutno še nedosegljive.

Omejili smo se na zlitine, ki so enostavnejše, kot na primer Nimonic 80A, vendar pa je poznavanje mikrostrukturnih procesov in njihovo obvladovanje osnova za nadaljnje osvajanje zahtevnejših zlitin.

S pomočjo vakuumskega ulivanja in elektropretaljevanja pod žilindro je bila dosežena strjevalna struktura, ki je bolj ugodna za vročo preoblikovalnost.

Preoblikovanje zlitine Nimonic 80A s strjevalno strukturo je ugodnejše pri počasni hitrosti preoblikovanja $\dot{\rho} < 10 \text{ s}^{-1}$. Opredeležena je bila rast zrn pri visokotemperaturnem žarjenju ter velikost zrn po vroči in hladni deformaciji in žarjenju na različnih temperaturah.

Določena je bila aktivacijska energija za rekristalizacijo zlitine po deformaciji v vročem. Dobljena aktivacijska energija 735 kJ je visoka in kaže, da je zaradi mikrostrukturnih značilnosti močno ovirano gibanje dislokacij in novo nastalih mej.

Raziskava rekristalizacije po hladni deformaciji je pokazala, da je za doseganje drobnozrnatosti po rekristalizacijskem žarjenju potrebno, da je končna deformacija nad 10% in DA JE NAJUGODNEJŠA temperatura žarjenja okrog 1050°C (30 minut).

Pri majhnih stopnjah deformacije 3 ali 5% in pri rekristalizacijskem žarjenju na 1100°C in višje nastane grobozrnatost rekristalizirana mikrostruktura.

Z nakupom nove raziskovalne opreme se kažejo možnosti za nadaljnje raziskave na področju študija zahtevnejših superzlitin na podlagi metalurgije prafov, ki omogoča uporabo disperzijskega utrjevanja ter mehanskega legiranja, s čimer se lahko dosežejo ekstremne lastnosti takih novih materialov.

16. Degradacija lastnosti cevi iz legiranih jekel med dolgotrajnimi toplotnimi in mehanskimi obremenitvami^{*1}

Degradation of properties of alloy steel tubes at longtime heat and mechanical loading

J. Žvokelj^{*3}, F. Vodopivec^{*3}, D. Kmetič^{*3}

Kotlovske cevi termoenergetskih naprav so v uporabi izpostavljene dolgotrajnim termičnim in mehanskim obremenitvam ter vplivom različnih medijev, kar vse vpliva na njihovo časovno uporabnost. Pri naših dosedanjih preiskavah smo najpogosteje ocenili »preostalo življenjsko dobo« vgrajenih cevi na podlagi ugotovljene dotedanje obrabe in izrabe zaradi korozije, škajanja in oksidacije oziroma zmanjšanja debeline sten. Opazili pa smo, da lahko nastanejo v materialu zaradi dolgotrajnih obremenitev

tudi strukturne spremembe, ki povzročajo degradacijo nekaterih mehanskih lastnosti jekla.

Pri ceveh iz jekla 10 CrMo 9 10 po dolgotrajni uporabi smo ugotovili bistvene strukturne razlike med plamensko in dimno stranjo cevi.

Jeklo 10 CrMo 9 10 je v poboljšanem stanju termično nestabilno, zato je zaradi večje toplotne obremenitve na plamenski strani prišlo do močnejše koagulacije karbidov popuščene strukture. To pa bistveno vpliva zlasti na odpornost proti lezenju, ki smo jo določevali z modificiranim preizkušanjem lezenja do loma v 100 urah.

Preiskava poškodovanih in nepoškodovanih cevi pregrevalnika parnega kotla ene od naših elektrarn je odkrila, da imajo posamične cevi med seboj različno strukturo in temu ustrezno različne mehanske lastnosti, ki se najmočneje odražajo pri odpornosti proti lezenju. Cevi so iz visokolegiranelega jekla X20 CrMoV 12 1, za katerega smo ugotovili, da je v poboljšanem stanju termično zelo stabilno, različne strukture pa so posledica nepravilne termične obdelave. S sistematičnimi preiskavami smo pokazali, da je pri tem najvplivnejši dejavnik temperatura kaljenja.

VSEBINA

UDK: 669.094.2:669.046.543:622.341.1
ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52

Metalurgija — železarstvo

G. Todorovič, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Študij redukcije silicija iz železovih rud

Železarski zbornik 23(1989)1 s 1—5

Silicij prihaja v plavž z rudo, talili in pepelom koksa v obliki SiO_2 ali v kompleksnih spojinah s CaO , MgO , Al_2O_3 in FeO . V glavnem je odstotek SiO_2 v rudah znatno višji kot CaO tako, da je jalovina močno kislila. Silicij se reducira direktno z ogljikom iz koksa. Reakcija je endotermna in zahteva veliko toplote in visoke temperature. Laboratorijski poskusi redukcije kislil in bazičnih sintrov s povečano vsebnostjo mangana s koksom v Tammanovi peči so pokazali, da bazičnost sintra, temperatura in čas trajanja poskusov močno vplivajo na porazdelitev silicija med žilindro in talino. Iz plavžarske prakse je že znano, če je v vložku nizek odstotek mangana, se proizvaja grodelj z nizkim odstotkom silicija.

Avtorski izvleček

UDK: 621.365.2:621.3.018
ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f

Elektroobložna peč — elektroenergetski sistem — kompenzacija jalove moči — nihanje napetosti — stabilizacija napetosti — povečanje produktivnosti

A. Koselj

Elektroobložna peč, njen vpliv na elektroenergetski sistem in kompenzacija jalove moči v Jeklarni 2 v Železarni Jesenice

Železarski zbornik 23(1989)1 s 17—25

Članek opisuje nastanek standardov, ki jih je treba upoštevati pri projektiranju in gradnji elektroobložnih peči. Opisana je dinamika delovanja elektroobložne peči in njen povratni vpliv na elektroenergetski sistem. Prikazana je elektroenergetska problematika pred gradnjo Jeklarne 2 v Železarni Jesenice, ukrepi v fazi projektiranja in gradnje. Poseben poudarek je dan dinamični kompenzaciji jalove moči in njenim pozitivnim vplivom na stabilizacijo napetosti in produktivnosti Jeklarne 2.

Avtorski izvleček

UDK: 621.74.047:539.214:669.786
ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp

Metalurgija — kontinuirno litje — začetna duktilnost — strjevalna struktura

F. Vodopivec, M. Torkar in N. Smajič

Raziskava vpliva aluminija na strjevalno strukturo in začetno plastičnost konti litih gredic

Železarski zbornik 23(1989)1 s 7—16

V jeklu z 0.14 C povečanje količine aluminija od 0.014 na 0.04 % povzroči stebrasto strjevanje po celem preseku 140 x 140 mm gredic, zmanjša začetno duktilnost in poveča število površinskih napak po valjanju v strjevalni vročini. V gredicah ni izcejanja elementov in porazdelitve vključkov, ki bi razlagala spremembo strjevalne strukture. Tudi ni AlN , ki bi zmanjšal duktilnost. Predlaga se več razlag o mehanizmu vpliva Al na strjevalno strukturo. Najbolj verjetna izgleda razlaga, da se zaradi asociacije Al in N atomov v talini, zmanjša podhladitev in poveča viskoznost taline.

Avtorski izvleček

UDK: 669.187.2:621.365.003.1
ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f

Metalurgija — izdelava jekla — elektroobložna peč — racionalna uporaba energije

J. Bratina

Gospodarjenje z električno energijo v Slovenskih železarnah

Železarski zbornik 23(1989)1 s 27—30

V članku so opisane elektroenergetske razmere v Slovenskih železarnah, ki nastajajo ob proizvodnji jekla v elektroobložnih pečeh: racionalna raba električne energije se pojmuje kot način porabe električne energije iz napajalnega omrežja, racionalno izrabo električne energije pa obravnavamo kot vrednost, ki jo dosegamo predvsem pri toplotnotehniških procesih izdelave jekla, oziroma kot velikost novoustvarjene vrednosti, ki jo dobimo na osnovi porabljene kWh/t. Podane so vrednosti, ki jih dosegamo danes; nakazane so tudi možnosti izboljšanja.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 621.365.2:621.3.018
ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f

Lichtbogen-Schmelzofen — Elektroenergetisches System — Kompensation der Blindleistung — Spannungsschwingungen — Stabilisation der Spannung — Leistungssteigerung

A. Koselj

Der Lichtbogen-Schmelzofen, dessen Einfluss auf das elektroenergetische System und die Kompensation der Blindleistung im Stahlwerk 2 des Hüttenwerkes Jesenice

Železarski zbornik 23(1989)1 S 17—25

Im Artikel wird die Entstehung der Standarden, die bei der Projektierung und dem Bau von Lichtbogen-Schmelzöfen berücksichtigt werden sollen beschrieben. Die dynamische Wirkung der Lichtbogen-Schmelzöfen wird beschrieben und ihre Rückwirkung an den elektrischen Energieversorgungs Netzsystem. Die Problematik der Elektroenergieversorgung vor dem Bau des neuen Stahlwerkes im Hüttenwerk Jesenice wird gezeigt. Besondere Betonung ist der dynamischen Kompensation der Blindleistung gegeben und ihrem positiven Einfluss auf die Stabilisierung der Spannung und auf die Erhöhung der Leistung des Stahlwerkes 2.

Auszug des Autors

UDK: 669.094.2:669.046.543:622.341.1
ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52

Metallurgie — Roheisengewinnung

G. Todorovič, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Studie der Reduktion von Silizium aus Eisenerzen

Železarski zbornik 23(1989)1 S 1—5

Silizium kommt in den Hochofen mit dem Eisenerz, mit den Flussmitteln und mit der Koksasche in Form von SiO_2 oder durch komplexe Verbindungen mit CaO , MgO , Al_2O_3 und FeO . Es gibt hauptsächlich immer mehr SiO_2 in den Erzen als CaO , so dass das Nebengestein stark sauer ist. Silizium wird direkt durch Kohlenstoff aus dem Koks reduziert. Die chemische Reaktion ist endotherm und verlangt viel Wärme und hohe Temperaturen. Laboratorische Versuche der Reduktion von saueren und basischen Sintern mit erhöhtem Mn Gehalt mit Koks im Tammanofen zeigten, dass die Basizität des Sinters, die Temperatur und die Dauer des Versuches stark die Verteilung von Silizium zwischen der Schlacke und dem Bad beeinflussen. Aus der Hochofenpraxis ist schon bekannt, wenn im Möller ein niedriger Mangangehalt ist wird Roheisen mit niedrigen Siliziumgehalt erzeugt.

Auszug des Autors

UDK: 669.187.2:621.365.003.1
ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f

Metallurgie — Stahlerzeugung — Lichtbogenofen — rationale Anwendung elektrischer Energie

J. Bratina

Bewirtschaftung mit elektrischer Energie in slowenischen Hüttenwerken

Železarski zbornik 23(1989)1 S 27—30

Im Artikel werden die elektroenergetischen Verhältnisse die bei der Stahlerzeugung in Lichtbogenöfen entstehen beschrieben. Unter rationaler Anwendung elektrischer Energie versteht man die Art der Anwendung elektrischer Energie aus dem Versorgungsnetz. Die rationale Ausnutzung elektrischer Energie wird als ein Wert behandelt der vor allem bei den Wärmetechnischen Prozessen der Stahlerzeugung erreicht wird, bzw. als die Grösse des neugeschaffenen Wertes die auf Grund der verbrauchten kWh/t erhalten wird. Werte die heute erreicht werden, werden angegeben; auch die Möglichkeiten für eine Verbesserung werden angezeigt.

Auszug des Autors

UDK: 621.74.047:539.214:669.786
ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp

Metallurgie — Stranggissen — Anfangsverformungsfähigkeit — Erstarrungsstruktur

F. Vodopivec, M. Torkar und N. Smajič

Untersuchungen über den Einfluss von Aluminium und Stickstoff auf die Erstarrungsstruktur und Anfangsverformungsfähigkeit von stranggegossenen Knüppeln

Železarski zbornik 23(1989)1 S 7—16

Im Stahl mit C Gehalt von 0,14 % verursacht die Vergrößerung von Aluminiumgehalt von 0,014 % auf 0,04 % in den Stranggegossenen Knüppeln 140×140 mm eine stengelartige Erstarrung über den ganzen Querschnitt, die Anfangsverformungsfähigkeit wird schlechter und die Zahl der Oberflächenfehler beim Walzen in der Erstarrungshitze wird grösser. In den Knüppeln sind keine Seigerungen festzustellen und die Verteilung der Einschlüsse erlaubt keine Erklärung für die Unterschiede in der Erstarrungsstruktur. Es gibt auch keinen AIN der die Verformbarkeit verkleinern könnte. Einige Erläuterungen über den Mechanismus von Al Einfluss auf die Erstarrungsstruktur werden vorgeschlagen. Höchst wahrscheinlich scheint die Erläuterung, dass sich wegen der Assoziation von Al und N Atomen in der Schmelze die Unterkühlung vermindert und die Viskosität der Schmelze vergrössert.

Auszug des Autors

CONTENTS

UDK: 669.094.2:669.046.543:622.341.1
ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52

Metallurgy — Ironmaking

G. Todorović, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Study of Silicon Reduction from Iron Ores

Železarski zbornik 23(1989)1 P 1—5

Silicon comes into blast furnace with ore, fluxes and coke ash in form of SiO_2 or in complex compounds with CaO , MgO , Al_2O_3 , and FeO . In general the percentage of SiO_2 in ores is essentially higher than that of CaO , thus the gangue is highly acidic. Silicon is reduced directly with carbon from coke. The reaction is endothermic and it demands great amount of heat and high temperatures. Laboratory experiments of reduction of acidic and basic sinters with increased content of manganese with coke in Tammann furnace showed that the sinter basicity, temperature and duration of experiments have a great influence on the silicon distribution between slag and metallic melt. It is known from the blast-furnace practice that low percentage of manganese in burden enables to manufacture low-silicon pig iron.

Author's Abstract

UDK: 621.365.2:621.3.018
ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f

Electric arc furnace — Electric energy supply network — Compensation of reactive power — Voltage stabilisation — Increased productivity

A. Koselj

Electric Arc Furnace, Its Influence on the Electric Energy Supply Network, and the Reactive Power Compensation in Steel Plant 2 of JESENICE Ironworks

Železarski zbornik 23(1989)1 P 17—25

The paper is dealing with the development of standards which have to be considered at designing and erecting electric arc furnaces. The operation dynamics of arc furnace and its influence on the electric energy supply network are described. Electric energy problems before erection of the new steel plant in Jesenice Ironworks, and the activities during the designing and construction are presented. A special attention was given to the dynamic compensation of reactive power and its positive influence on the voltage stabilisation and the productivity of the new steel plant.

Author's Abstract

UDK: 621.74.047.539.214:669.786
ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp

Metallurgy — Continuous casting — Initial ductility — Solidification structure

F. Vodopivec, M. Torkar, N. Smajić

Investigation of the Influence of Aluminium and Nitrogen on the Solidification Structure and Initial Workability of Continuously Cast Billets

Železarski zbornik 23(1989)1 P 7—16

Increased aluminium content from 0.014 to 0.04 % in steel with 0.14 % C causes columnar solidification over the total cross section of 140×140 mm billets, it reduces initial ductility and increases number of surface defects after rolling in the solidification heat. There are no segregations of elements and distribution of inclusions in the billets which would explain the changed solidification structure. There is also not AlN which would reduce the ductility. Some explanations on the mechanism of Al influence on the solidification structure are given. The most probable seems the explanation that association of Al and N atoms in the melt reduces the undercooling and increases the viscosity of the melt.

Author's Abstract

UDK: 669.187.2:621.365.003.1
ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f

Metallurgy — Steelmaking — Electric arc furnace — Rational use of energy

J. Bratina

Economizing Electric Energy in Slovene Ironworks

Železarski zbornik 23(1989)1 P 27—30

Paper describes the electric energy conditions in Slovene Ironworks which occur in manufacturing steel in electric arc furnaces: rational use of electric energy is understood as a way of consuming electric energy from the supply network, and rational exploitation of electric energy is treated as the value obtained mainly in thermal processes of steelmaking, or as the newly created value per consumed kWh/t. Values which are achieved today are given; possibilities for improvements are shown.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 621.365.2:621.3.018
ASM/SLA: W18s, U7c, 16—61, A5f

Электрическая дуговая печь — электроэнергетическая система — компенсация яловой мощности — колебание напряжения — стабилизация напряжения — увеличение продуктивности.

A. Koselj

Электрическая дуговая печь, её влияние на электроэнергетическую систему и компенсация яловой мощности в сталеплавильном цехе 2 металлургического завода Железарна Есенице.

Železarski zbornik 23(1989)1 C 17—25

В статье дано описание возникновения стандартов, которые надо иметь в виду при проектировки и постройки электродуговых печей. Дано описание динамики действия электродуговой печи и её обратное влияние на электроэнергетическую систему. Приведена электроэнергетическая проблематичность до начала постройки сталеплавильного цеха 2 металлургического завода Железарна Есенице, меры принятые в фазе проектировки и постройки. Особое внимание посвящено динамической компенсации яловой мощности и её положительному влиянию на стабилизацию напряжения и продуктивности в этом современном цехе.

Автореф.

UDK: 669.094.2:669.046.543:622.341.1
ASM/SLA: D11, RMn, Fe, Si, 10—52

Металлургия — металлургия чёрных металлов

G. Todorović, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Исследование восстановления кремния из руд содержащихся железо.

Železarski zbornik 23(1989)1 C 1—5

Кремний поступает в доменную печь с рудой, с флюсами и пеллом кокса в форме SiO_2 или же в форме комплексных соединений с CaO , MgO , Al_2O_3 и FeO . Главным образом процент SiO_2 в железных рудах гораздо выше от содержания CaO и, поэтому, пустая порода руды очень кислая. Восстановление кремния ведётся непосредственно с углеродом из кокса. Реакция эндотермическая и требует достаточно теплоты и высокую температуру. Лабораторные опыты восстановления кислых и основных агломератов с повышенным содержанием марганца с коксом в печи по Тамману показали, что основность агломератов, температура и время длительности опытов существенно влияют на распределение кремния между шлаком и расплавом. Из практики процесса доменной печи известно, что, если в загрузки низкий процент марганца, то получается чугун с низким процентом кремния.

UDK: 669.187.2:621.365.003.1
ASM/SLA: D5, W18s, A11e, 16—61, U7c, A5f

Металлургия — изготовление стали — электрическая дуговая печь — рациональное употребление энергии.

J. Bratina

Хозяиничанье с электрической энергией в Словенских металлургических заводах.

Železarski zbornik 23(1989)1 C 27—30

В статье дано описание электроэнергетических обстоятельств в Словенских металлургических заводах, которые образуются при производстве стали в электрических дуговых печах. Рассмотрено: рациональное употребление электрической энергии, которое понимается как способ расхода электрической энергии из сети поения. Рациональное использование электрической энергии рассматриваем как достижимость, которую достигаем главным образом при теплотехнических процессах изготовления стали, относительно от величины наново созданного значения, которое получим на основании расходуемого квт/т. Приведены значения, которые в настоящее время получаем использовании электрической энергии, указывается также на возможности улучшения.

Автореф.

UDK: 621.74.047:539.214:669.786
ASM/SLA: D9q, M28h, Q23q, 4—52, 2—60, Al, EGp

Металлургия — непрерывное литьё — начальная пластичность — структура затвердения.

F. Vodopivec, M. Torkar, N. Smajič

Исследование влияния алюминия на структуру затвердения и начальную пластичность непрерывно отлитых заготовок.

Železarski zbornik 23(1989)1 C 7—16

В стали с содержанием 0.14 % С увеличение количества алюминия с 0.014 % на 0.04 % вызывает столбчатое затвердение по всему сечению 140 × 140 мм заготовок, уменьшает начальную пластичность и увеличивает число поверхностных пороков после прокатки в точке температуры теплого затвердения. В заготовках не обнаруживается зейгерование элементов и распределение включений, которые бы разъясняли изменение структуры затвердения. Кажется, что более всего соответствует объяснение, что вследствие ассоциации Al и N в расплаве уменьшает переохлаждение и увеличивает вязкость расплава.

Автореф.