



1965 1
LETO VII

ACRONI

k r 669(091)
ŽELEZAR; teh.pril
1965



1004231,1

COBISS

STROKOVNA KNJARNICA



ŽELEZAR TEHNIČNA PRILOGA

TEHNIČNA PRILOGA

letnik VII

štev. I

VSEBINA:

Avgust Karba, dipl. inž.

ZVEPLO V MAZUTU IN SM JEKLO (DK 661.21:662.68:669.183) 1

Jože Ulčar

NEKATERI PROBLEMI VELIKIH OBLOCNIH ELEKTRO PEČI (DK 669.187.2) 11

Jože Arh, dipl. inž.

VPIHAVANJE PRASNATIH MATERIALOV V GRODELJ IN JEKLO (DK 669.162.275.12) 17

Avgust Karba, dipl. inž.

DK 661.21:662.68:669.183

Žveplo v mazutu in SM jeklo

Žveplo predstavlja v kemični analizi posameznih kvalitet jekla nezaželen element; izjema so samo avtomatska jekla. Današnje kvalitetne norme postavljajo zgornjo mejo za žveplo pri SM jeklu običajno na 0,04 ‰, 0,05 ‰ ali 0,06 ‰, odvisno od vrste jekla, neredko pa je ta meja pri bolj-ših kvalitetah znižana tudi na 0,035 ‰ ali celo 0,030 ‰.

Na količino žvepla v jeklu, izdelanem v SM peči, ima poleg drugih faktorjev precejšen vpliv tudi tisto žveplo, ki se nahaja v gorivu: mazutu ali plinu, s katerim kurimo SM peč. Praksa kaže, da več ko ima gorivo žvepla, več ga ima tudi jeklo, oziroma če hočemo kljub slabši kvaliteti goriva znižati žveplo pod zahtevano mejo, moramo uporabiti odgovarjajoče tehnološke ukrepe, ti pa zahtevajo daljši čas rafinacije in več nekovinskih dodatkov za tvorjenje ter razredčevanje žlindre. Posledica teh ukrepov je nižja proizvodnja, nižji izplen ter višji proizvodni stroški. Iz tega sledi, da ni uporaba goriva z nizkim žveplom v SM peči samo kvalitetna zahteva, temveč tudi zahteva višje proizvodnosti ter nižjih proizvodnih stroškov.

Namen tega sestavka je ugotoviti vpliv žvepla v mazutu na nažveplanje jekla pri procesu v SM peči. Pri njegovi pripravi sem se poslužil podatkov iz spodaj navedene strokovne literature ter praktičnih rezultatov, ki jih je letos ugotovil v martinarski železarni Jesenice za potrebe svojega diplomskega dela diplomant metalurške fakultete v Ljubljani, tov. Stane Malovrh.

Potek nažveplanja jekla z mazutom

Mazut, ki ga uporabljamo kot gorivo v SM pečeh, vsebuje žveplo v glavnem kot žveplovodik (H_2S). Pri zgorevanju se oksidira žveplo v SO_2 , v kolikor pa reakcija zgorevanja proti koncu plamena ni popolna, kar velja posebno v primeru, če primanjkuje zraka za zgorevanje ali razprše-

vanje mazuta, potem ostane del žvepla v atmosferi peči kot H_2S . Zato lahko žveplo iz dimnih plinov v SM peči prehaja na vložek in s tem v jeklo tako kot H_2S , kakor tudi kot SO_2 . Vendar ima pri tem precej večjo vlogo H_2S kakor SO_2 .

Različni avtorji, ki so delali raziskave v zvezi s prehajanjem žvepla iz dimnih plinov na vložek v SM peči, navajajo ugotovitev, da je nažveplanje vložka z dimnimi plini najbolj možno v času zakladanja in pričetku taljenja, ko je staro železo, nezaščiten s slojem žlindre, direktno izpostavljenovplivu dimnih plinov.

B. Trentini, A. Peters in G. Husson so v francoski železarni Forges d'Hennebont izvedli leta 1954 obširne raziskave, katerih namen je bil ugotoviti vpliv žvepla v mazutu na žveplo v SM peči proizvedenem jeklu.

Fiksna SM peč, na kateri so izvajali raziskave, je imela kapaciteto 40 ton in je uporabljala kot gorivo mazut. Vložek je bil sestavljen iz 15–20 odstotkov mrzlega grodlja, 400–600 kg koksa in 2700 kg apna. Pri vsaki šarži so dodali med rafinacijo še 300 kg apna in sicer takoj po raztaljenju, ko so odstranili z vlečenjem del žlindre. Od celotne količine žlindre cca 6 ton so jo odstranili cca 2,7 tone. Običajno so dodali med rafinacijo tudi okoli 150 kg jedavca. Za razprševanje mazuta so uporabljali paro s temperaturo $300^{\circ}C$ in pritiskom 8,5 atm. Peč je proizvajala v času raziskav mehka jekla s cca 0,07 ‰ C. Šarža je trajala povprečno 5 ur 40 minut, s popravilom dna pa 6 ur 5 minut. S tem je dosegla peč storitev 5 t/h, poraba mazuta je bila 110 kg/t jekla.

Raziskave so izvedli na 26 šaržah in sicer so pri 8 šaržah uporabljali mazut s cca 0,45 ‰ S, pri 9 šaržah s cca 1,85 ‰ S in pri 9 šaržah s cca 3,50 odstotka S.

Rezultati teh raziskav so bili za praktično pre-sojo vpliva žvepla v mazutu na nažveplanje vložka v SM peči zelo zanimivi in važni.

Tabela I

% S v jeklu, ko je prekrito z žlindro	srednji % S v mazutu
0,034—0,046	0,45
0,045—0,081	1,85
0,053—0,105	3,50

Iz gornje tabele I vidimo, v kakšnem območju se je gibalo žveplo v jeklu pri uporabi različnih mazutov v trenutku, ko je bilo prekrito z žlindro. Gornje številke dokazujejo, da so lahko količine žvepla v jeklu pri uporabi mazuta z enakim žveplom zelo različne. Za to sta dva vzroka.

Prvi je v razliki tvorjenja žlindre z ozirom na njeno baziciteto, kar dokazujeta dva konkretna primera. Pri prvem vsebuje žlindra v času, ko je ves vložek prekrit z žlindro in uporabi mazuta s 3,350 % S, 48 % CaO in jeklo 0,060 % S, medtem ko je pri drugem ob uporabi mazuta s 3,65 % S v času, ko je ves vložek pokrit z žlindro v žlindri 38 % CaO ter v jeklu 0,105 % S.

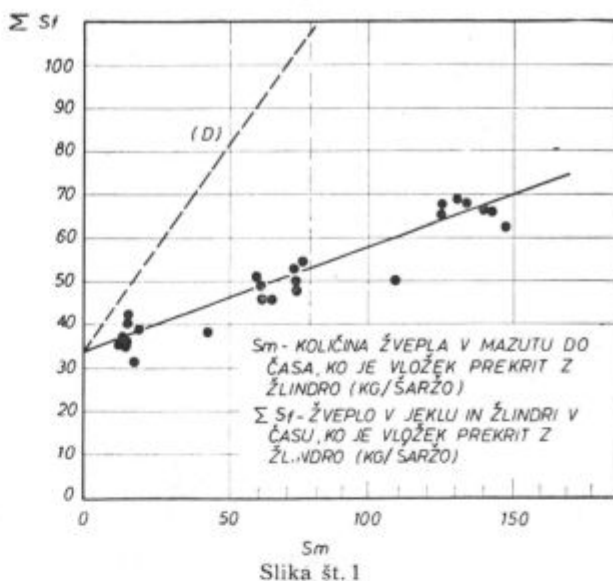
Drugi vzrok za precejšnje razlike vsebnosti žvepla v jeklu pri sicer enaki količini žvepla v mazutu, je prostorninska teža starega železa. O tem faktorju zgoraj omenjeni trije avtorji ne navajajo podatkov, ker se s tem pri svojih raziskavah niso ukvarjali in ga bom zato podrobneje obravnaval kasneje.

Vpliv mazuta, oziroma žvepla v mazutu na nažveplanje vložka je razviden iz tabele II, v kateri so navedene količine žvepla v kg v žlindri in v jeklu, v trenutku, ko je ves vložek prekrit z žlindro.

Tabela II

srednji % v mazutu	količina S v žlindri in jeklu, kg
0,45	38,1
1,85	50,3
3,50	66,6

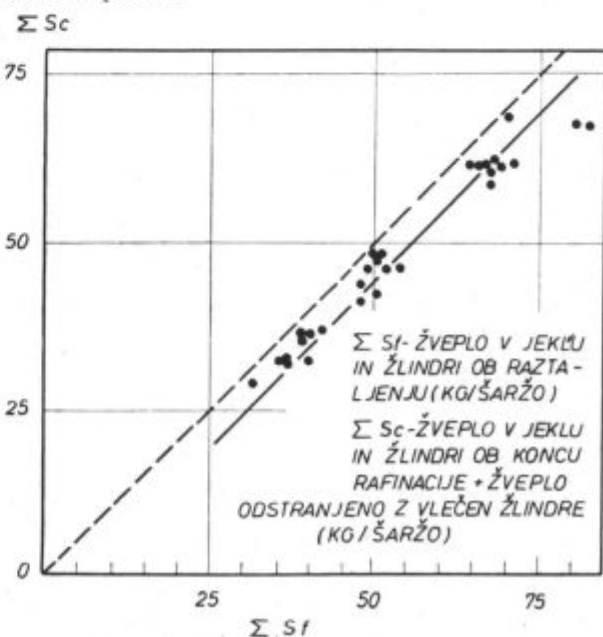
V zvezi s tem je zelo zanimiv tudi diagram na sliki št. 1, iz katerega je razviden vpliv žvepla v mazutu na celotno količino žvepla v žlindri in jeklu v času, ko je vložek prekrit z žlindro. Narišana cela črta nam ob začetku na ordinati prikazuje, kakšna količina žvepla bi bila v žlindri in jeklu v slučaju, če bi bil mazut popolnoma brez žvepla, medtem ko nam nadaljevanje te cele črte prikazuje prehod žvepla in mazuta v žlindro in jeklo. Zgornja črtkana črta (D) pa prikazuje, kakšna količina žvepla bi bila v žlindri in jeklu v trenutku, ko je talina prekrita z žlindro in v slučaju, če bi celotno žveplo iz mazuta prešlo na vložek. Iz tega diagrama je tudi razvidno, da je količina žvepla, ki preide iz mazuta v jeklo in žlindro do trenutka, ko je vložek prekrit z žlindro, precej konstantna in sicer okoli 25 %.



Slika št. 1

Sveda Collén in Hollström sta primerjala uporabo mazuta z 1 in 2 % S na 20 tonski SM peči in sta ugotovila, da je pri uporabi mrzlega grodlja prešlo med taljenjem 20 % celotne količine žvepla iz mazuta v jeklo. Količine žvepla v žlindri pa nista ugotavljala.

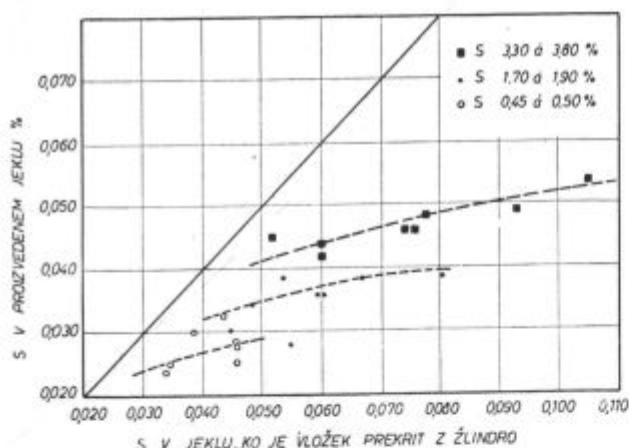
Diagram na sliki št. 2 prikazuje, da je ostala količina žvepla v jeklu in žlindri ob koncu rafinacije praktično ista kot v času, ko je bil celoten vložek prekrit z žlindro. Pri tem je upoštevano tudi žveplo v žlindri, ki je bila odstranjena z vlečenjem. Vendar diagram istočasno tudi kaže, da se lahko manjši del žvepla med rafinacijo izgubi, saj so količine dejansko tudi nižje. V zvezi s tem obstaja možnost računske napake pri izračunavanju količine žvepla v odstranjeni žlindri, poleg tega pa se verjetno manjši del žvepla oksidira med rafinacijo s kisikom, ki se nahaja v dimnih plinih.



Slika št. 2

Raziskave, ki so jih izvajali omenjeni trije avtorji, so pokazale, da je bistvena razlika med taljenjem in rafinacijo z ozirom na vpliv žvepla v mazutu. Med taljenjem, ko je vložek v direktnem stiku s plamenom in dimnimi plini, preide pri obratovalnih pogojih železarne v Hennebontu 25 % žvepla iz mazuta v jeklo in žlindro. Med rafinacijo, ko je talina prekrita z žlindro, praktično ne prehaja žveplo iz mazuta v žlindro niti v jeklo. Iz tega razloga priporočajo, da je treba v slučaju, če sta na razpolago dve vrsti mazuta z nizkim in visokim žveplom, uporabljati prvega med taljenjem in drugega med rafinacijo. Vendar je to pri večjem številu SM peči tehnično težko izvesti.

Diagram na sliki št. 3 prikazuje vpliv količine žvepla v času, ko je celoten vložek prekrit z žlindro, na žveplo v proizvedenem jeklu. Kaže nam, da je pri enaki količini žvepla v času, ko je vložek prekrit z žlindro, vsebnost žvepla v izdelanem jeklu zelo različna. Vendar se ta nelogičnost znatno omili, če upoštevamo, da se posamezne točke v diagramu precej dobro ločijo z ozirom na količino žvepla v uporabljenem mazutu. Na ta način so lahko sorazmerno točno predvideli količino žvepla v proizvedenem jeklu ob upoštevanju žvepla v času, ko je vložek prekrit z žlindro.



Slika št. 3

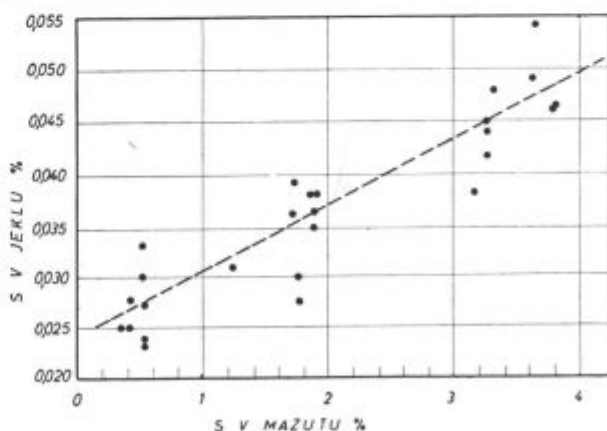
Ceprav so rezultati teh raziskav jasno pokazali, da ima količina žvepla v mazutu kakor tudi v žlindri in jeklu, ko je ves vložek prekrit z žlindro, velik vpliv na žveplo v proizvedenem jeklu, vendar je istočasno tudi jasno, da odnos med žveplom v mazutu in v proizvedenem jeklu ni vedno tako enostaven. Predvsem obstajajo možnosti večjih ali manjših odstopanj zaradi različnih obratovalnih pogojev.

Diagram na sliki št. 4 kaže za vseh 26 šarž, ki so jih raziskovali, vpliv žvepla v mazutu na žveplo v proizvedenem jeklu. Ti podatki veljajo za jeklo pred končnim dodatkom desoksidantov. Srednje vrednosti žvepla v proizvedenem jeklu za posamezne vrste mazuta so razvidne tudi iz tabele št. III. Iz obeh kazalcev je razvidno, da je

razmerje med žveplom v mazutu in proizvedenem jeklu precej linearno in odgovarja pri pogojih v železarni Hennebont za 1 % povišanja žvepla v mazutu, povišanju žvepla v proizvedenem jeklu za 0,006—0,007 %.

Tabela III

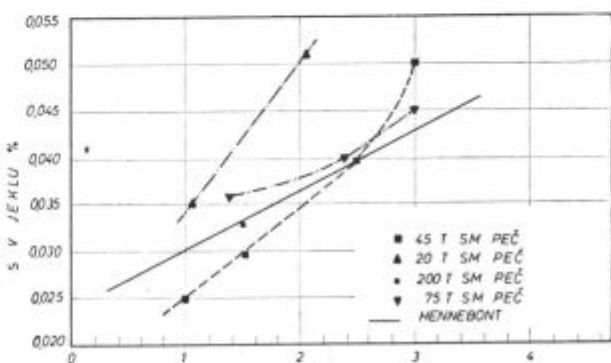
Srednji % S v mazutu	srednji % S v proizvedenem jeklu
0,45	0,027
1,85	0,036
3,50	0,046



Slika št. 4

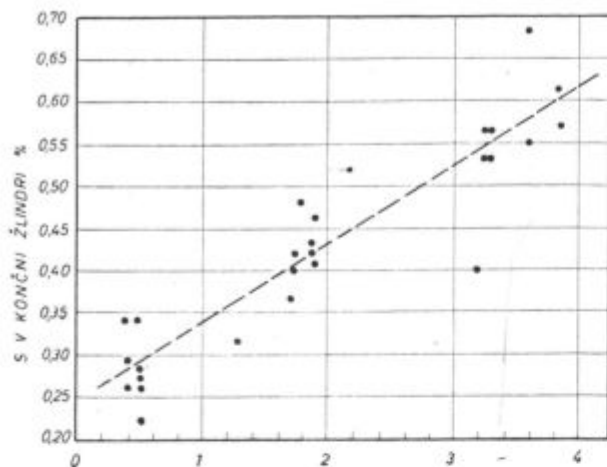
V diagramu na sliki št. 5 so navedeni rezultati raziskav drugih strokovnjakov v zvezi z žveplom v mazutu in v proizvedenem jeklu. Iz krivulj je razvidno, da so tri raziskave pokazale slabše rezultate in samo ena boljše kot v železarni Hennebont.

Callinan navaja preprosto pravilo, da povečanje količine žvepla v mazutu za 0,1 % odgovarja povečanju količine žvepla v proizvedenem jeklu za 0,001 %. Ta številka je precej višja, kot kažejo rezultati raziskav v železarni Hennebont, ki so pokazali pri povišanju žvepla v mazutu za 3 %, povečanje žvepla v proizvedenem jeklu za cca 0,019 %. Po Callinanu bi dobili v enakem slučaju povečanje žvepla v proizvedenem jeklu za 0,03 %. Brez dvoma je treba pri tem upoštevati lokalne prilike v posameznih obratih, precejšnjo vlogo pa igra tudi vlečenje žlindre med procesom.



Slika št. 5

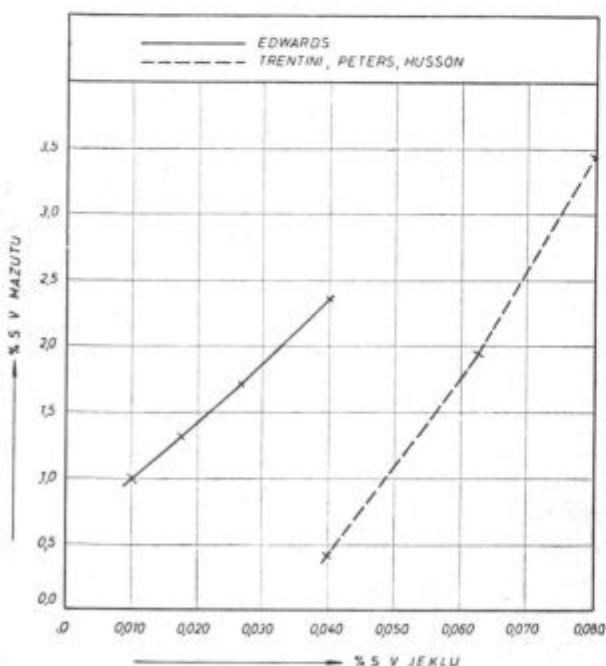
Podobno kot pri jeklu opazimo tudi linearen vpliv žvepla v mazutu na žveplo v žlindri. To je razvidno iz diagrama na sliki št. 6 in iz tabele IV.



Slika št. 6

Tabela IV

srednji % S v mazutu	srednji % S v žlindri
0,45	0,290
1,85	0,420
3,50	0,570



Slika št. 7

C. A. Edwards je leta 1955 objavil v »Journal of the Iron and Steel Institute« članek, v katerem je obravnaval problem nažveplanja jekla v SM peči pri uporabi mazuta z visokim žveplom. Tudi rezultati njegovih raziskav so zelo zanimivi.

Pri fiksni SM peči z vložkom, ki je sestavljen iz 50 % starega železa ter 50 % raztaljenega grod-

lja, je ugotovil nažveplanje jekla pri različni količini žvepla v mazutu, kot je razvidno iz tabele V.

Tabela V

% S v mazutu	nažveplanje v kg/100 t jekla	% S v jeklu
1,0	11,3	0,011
1,3	18,1	0,018
1,7	27,2	0,027
2,3	40,8	0,040

Če primerjamo številke o nažveplanju z mazutom, ki so navedene v tabeli V in jih je ugotovil Edwards, z rezultati prej navedenih treh francoskih avtorjev, vidimo, da se precej ujemajo.

Primerjava podatkov, ki jih je ugotovil Edwards in so navedeni v tabeli V, ter podatkov francoskih avtorjev, ki so navedeni v tabeli I, kjer pa sem vzel srednjo vrednost, je razvidna iz diagrama na sliki št. 7. Te podatke seveda ne moremo primerjati v absolutnem merilu, ker navaja Edwards samo nažveplanje jekla pri določenem žveplu v mazutu, francoski avtorji pa celokupno žveplo v jeklu, ko je vložek prekrit z žlindro in so številke zato precej različne. Važno pa je, da sta obe krivulji skoraj vzporedni, kar dokazuje približno enako vrednost rezultatov raziskav, ki jih je dosegel Edwards in francoski avtorji. Razen tega ima pri primerjanju rezultatov določen vpliv tudi dejstvo, da je vzel Edwards srednje vrednosti žvepla v mazutu, to je 1,0–2,3 %, francoski avtorji pa od ene skrajnosti do druge, to je 0,45–3,50 %.

Nadalje navaja Edwards tudi podatke o vplivu žvepla iz mazuta na žveplanje 100 t SM šarže, kjer so uporabljali vložek, sestojč iz 50 % (57,5 t) starega železa z 0,06 % S in 50 % (57,5 t) raztaljenega grodlja z 0,05 % S. Takšna šarža bi morala pri normalnem dodatku apna in železne rude vsebovati, ne da bi upoštevali žveplo iz mazuta, 69 kg žvepla. Če pa upoštevamo nažveplanje šarže iz mazuta, ki vsebuje različne % S, potem je situacija taka, kot je prikazana v tabeli VI.

Tabela VI

% S v mazutu	teža S v jeklu in žlindri od preboda v kg
1,0	80,0
1,3	87,0
1,7	96,0
2,3	110,0

Na podlagi zgornjih podatkov je Edwards v odstotkih ugotovil, koliko žvepla se nahaja v tisti žlindri in jeklu pred prebodom iz starega železa, grodlja in mazuta. Ti podatki so razvidni iz tabele VII.

Tabela VII

% S v mazutu	S iz grodlja z 0,05 % %	S iz st. železa z 0,06 % %	S iz mazuta %
1,0	36,2	43,5	14,0
1,3	33,4	40,2	20,7
1,7	30,3	36,4	28,2
2,3	26,5	31,9	37,1

V slučaju, če bi vseboval grodelj samo 0,025 % S, potem bi bila zgornja situacija spremenjena v toliko, kot je prikazano v tabeli VIII.

Tabela VIII

% S v mazutu	S iz grodlja z 0,025 % %	S iz st. železa z 0,06 % %	% S iz mazuta
1,0	22,3	53,1	17,2
1,3	20,1	48,2	24,9
1,7	17,9	42,8	35,3
2,3	15,4	36,7	42,8

Iz obeh zgornjih tabel je dobro razvidno, kako narašča vpliv mazuta oz. žvepla v mazutu na nažveplanje jekla v SM peči pri sicer konstantnem žveplu v grodlju in starem železu.

Edwards je napravil tudi primerjavo med težo žlindre za 100 tonsko šaržo, ki je potrebna pri različnih vsebnostih žvepla v jeklu pred prebodom pri 1 % in 2,3 % S v mazutu. Ugotovil je, da je pri uporabi mazuta z 1 % S namesto z 2,3 % S potrebna za posamezne vsebnosti žvepla v jeklu pri prebodu manjša količina žlindre, kot je to razvidno iz tabele IX.

Tabela IX

% S v jeklu pri prebodu	manj žlindre, ton
0,025	11,61
0,030	9,66
0,035	8,29
0,040	7,25

Povečanje oz. zmanjšanje količine žlindre ima vpliv na višino proizvodnje, stroške za nekovinske dodatke ter na izplen jekla iz SM peči. V zvezi z izplnom je Edwards izračunal njegovo povečanje z ozirom na manjšo količino žlindre, ki je potrebna pri uporabi mazuta z 1 % S namesto 2,3 % S in pri različnih žveplih v proizvedenem jeklu. Te številke so razvidne iz tabele X.

Tabela X

% S v jeklu	povečanje izplena v %
0,025	1,85
0,030	1,54
0,035	1,35
0,040	1,16

Zgornja tabela nam nazorno prikazuje, da kolikor nižje je zahtevano žveplo v jeklu, toliko večja je razlika v izplenu pri uporabi mazuta z 1 % S namesto 2,3 % S.

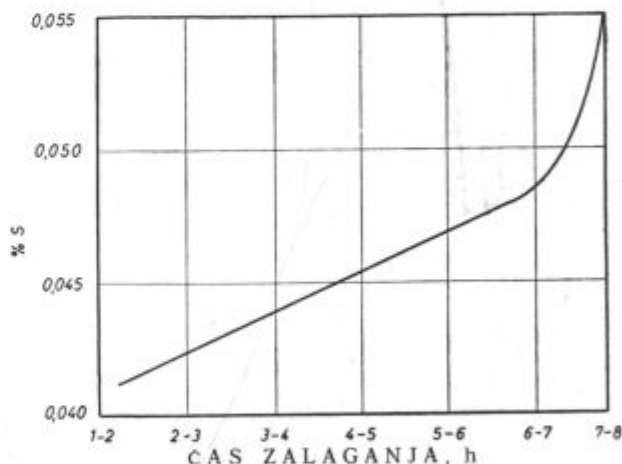
A. N. Morozov navaja v svoji knjigi »Sovremenyj martenovskij proces« mnenje, da preide žveplo iz mazuta v jeklo v času zakladanja in taljenja, ko še vložek ni prekrit z žlindro. Kasneje med rafinacijo nažveplanje iz mazuta praktično preneha in se Morozov v tem pogledu ujema z ugotovitvijo prej navedenih francoskih avtorjev.

V zvezi s prenehanjem žvepla iz mazuta v jeklo navaja podatek, ki prav tako kot pri francoskih avtorjih dokazuje, da preide do raztaljenja 20 do 30 % S iz mazuta na vložek. V železarni Magnitogorsk so pri SM pečeh velikih kapacitet raziskovali vpliv žvepla v mazutu na nažveplanje jekla med taljenjem pri znani analizi grodlja in mazuta z 2 % S. Rezultat teh raziskav je razviden iz tabele XI.

Tabela XI

količina S iz mazuta, ki je prešla na vložek v %	% S v grodlju	% S v jeklu ob raztaljenju
0,030—0,080	0,025—0,030	0,050
(srednja 0,055)	0,036—0,040	0,052

Podatki v tabeli XI dejansko dokazujejo, da je tudi pri raziskavah v železarni Magnitogorsk prešlo 20—30 % S iz mazuta na vložek.



Slika št. 8

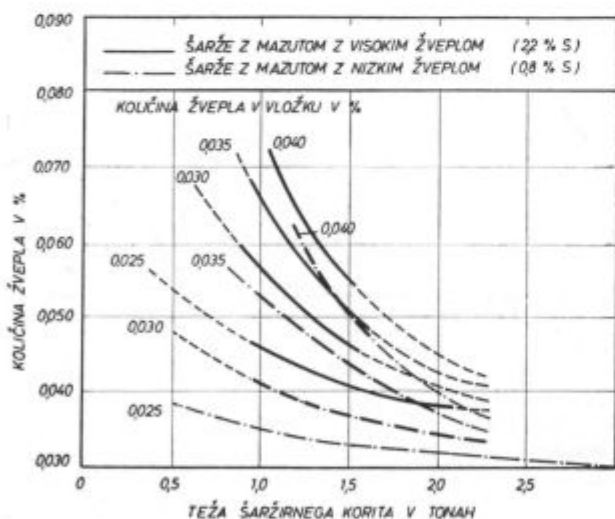
Na potek nažveplanja vložka iz mazuta ima določen vpliv tudi čas zakladanja, kajti čim daljši je, tem dalj časa je staro železo neposredno izpostavljeno vplivu plamena in dimnih plinov. V dokaz tej trditvi navaja Morozov diagram na sliki št. 8, iz katerega je razviden vpliv časa zakladanja na količino žvepla v jeklu ob raztaljenju. Diagram velja za SM peči, ki so imele v vložku 50—65 % grodlja, od tega 70—80 % v raztaljenem stanju, ter so uporabljale kot gorivo mešanico plavžnega plina in mazuta z visokim žveplom.

F. Keller, H. Gorges in P. Schwarzfischer poročajo v zahodnonemški reviji Stahl und Eisen, letnik 1964, tudi o raziskavah v zvezi z nažveplanjem jekla v SM peči z mazutom.

Svoje raziskave so izvedli v SM jeklarni IV zahodnonemške železarne »Bochumer Verein«, kjer obratuje pet SM peči in ima vsaka kapaciteto 75 ton. Kot vložek zakladajo 40 % raztaljenega grodlja, za gorivo pa uporabljajo mazut, ki ga razpršujejo z ogretim zrakom, ki ima temperaturo 130° C ter pritisk 5—6 atm. Med izvajanjem teh raziskav so uporabljali dve vrsti mazuta: prvega s cca 0,8 % S in drugega s cca 2,2 % S. Skupno so zasledovali vpliv mazuta na nažveplanje pri 275 šaržah na treh SM pečeh.

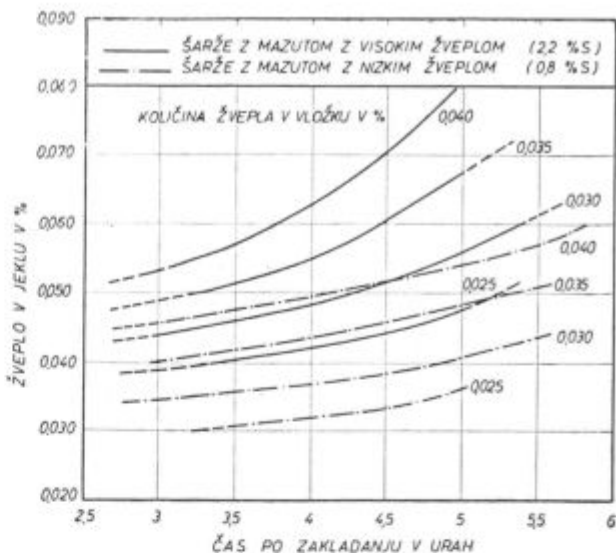
Rezultati njihovih raziskav so pokazali precejšnje razlike pri prehajanju žvepla iz mazuta v jeklo. Tako so bile razlike pri nažveplanju ob uporabi mazuta z nizkim žveplom v mejah med 15 in 38 % in pri mazutu z visokim žveplom med 25 in 48 %. Ta velika nihanja imajo svoj vzrok predvsem v različni prostorninski teži starega železa ter v daljših in krajših talilnih časih.

Vpliv prostorninske teže starega železa na prehajanje žvepla iz mazuta v jeklo je razviden iz diagrama na sliki št. 9. Pri tem diagramu, kjer je upoštevano poleg teže šaržirnega korita in žvepla v mazutu tudi žveplo v vložku, vidimo, da s povečanjem teže šaržirnega korita pada žveplo v jeklu ob raztaljenju, vendar ne linearno. Krivulje se pri močnem znižanju teže šaržirnega korita precej razpršijo. Vzrok je v tem, da se v takšnem slučaju navadno podaljša tudi zakladalni in s tem talilni čas. To pa ima za končno posledico pri večji količini žvepla v mazutu močno povečano nažveplanje jekla s strani goriva.

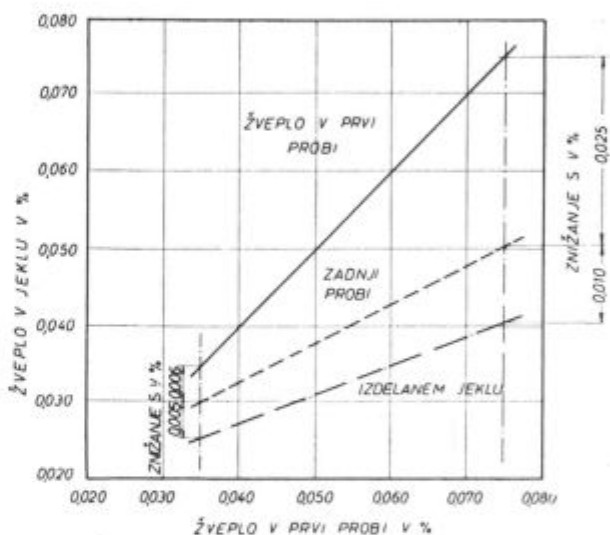


Slika št. 9

Tudi vpliv talilnega časa so zahodnonemški avtorji z diagramom št. 10 lepo prikazali. Iz njega vidimo, da vpliva podaljšanje talilnega časa za prehod žvepla iz mazuta v jeklo posebno močno pri mazutu z visokim žveplom in precej manj pri mazutu z nizkim žveplom. Tako vidimo, da je pri enakem talilnem času in enakem žveplu v vložku pri uporabi mazuta z 0,8 % oz. 2,2 % S razlika žvepla v jeklu pri raztaljenju za 25—30 %.



Slika št. 10



Slika št. 11

Za jeklarsko prakso je zelo zanimiv tudi diagram na sliki št. 11, ki so ga zgoraj navedeni avtorji izdelali na podlagi podatkov velikega števila šaržev. Diagram nam prikazuje, kako visoko je lahko žveplo v jeklu ob raztaljenju, da je še možno izdelati jeklo z določenim najvišjim žveplom. Tako lahko raztali šarža, ki ima v končni analizi dovoljeno največ 0,025 % S le z 0,040 % S, medtem ko je jeklo s predpisanim končnim 0,040 % S možno izdelati tudi v slučaju, če šarža raztali z 0,075 % S.

H. J. Krabiell navaja v diskusiji k zgornjemu članku, da so v SM jeklarni zahodnonemške železarne Hörde Hütten Union pri podobnih raziskavah v zvezi z žveplom v mazutu opazili tudi vpliv dodajanja kisika na zmanjšanje prehoda žvepla iz goriva na vložek. Pri upoštevanju ostalih faktorjev, ki vplivajo na nažveplanje iz goriva in uporabi 600 Nm³/h kisika, so ugotovili za približno

8 % nižje vsebnosti žvepla v jeklu pri raztaljenju kot pri obratovanju brez kisika. Na podlagi teh rezultatov pričakuje Krabiell še ugodnejše rezultate z ozirom na nažveplanje iz mazuta pri večji porabi kisika (npr. pri uporabi Shell gorilca) in s tem možnost uporabe mazuta z višjim žveplom. Omenja tudi, da so ugotovili nažveplanje vložka iz mazuta samo med taljenjem in ne med rafinacijo.

H. Neuhaus iz zahodnonemške železarne Hagen — Haspe tudi govori v diskusiji k zgoraj navedenemu članku o raziskavah, ki so jih izvajali v zvezi z nažveplanjem iz mazuta v tej železarni. Ugotovili so prav tako kot drugi avtorji, da preide med taljenjem 25—30 % žvepla iz mazuta na vložek. Vendar za razliko od ostalih avtorjev, ki so se ukvarjali s problemom nažveplanja jekla in mazuta, navaja Neuhaus, da se je pri njihovih obratovalnih pogojih nadaljeval prehod žvepla iz mazuta na vložek tudi med rafinacijo. To razlaga s tem, da prehaja SO_2 iz dimnih plinov tudi med rafinacijo v žlindro in potem, če so podani pogoji, naprej v jeklo. Zato imajo po njegovem mnenju na potek nažveplanja vložka iz mazuta velik vpliv lokalne obratovalne prilike in smatra, da je malo verjetno, da veljajo takšne ugotovitve v eni železarni tudi za ostale železarne.

P. L. Lensi poroča v italijanski strokovni reviji »La metallurgia italiana«, letnik 1962, o rezultatih lastnih raziskav v zvezi z nažveplanjem vložka v SM peči z mazutom. Raziskave je izvedel na 40 tonski SM peči tipa Maerz, ki je obratovala z mrzlim grodljem ter uporabljala kot gorivo mešanico cca $\frac{1}{3}$ mazuta in cca $\frac{2}{3}$ zemeljskega plina. Uporabljal je tri vrste mazuta, in sicer z 0,63 %, 1,25 % in 2,28 % S, medtem ko je rezultate nažveplanja vložka iz mazuta ugotavljal s pomočjo radioaktivnega S 35, ki ga je dodajal mazutu. Ugotovil je podobno kot ostali avtorji, da preide med taljenjem 20—25 % S iz mazuta na vložek, medtem ko med rafinacijo nažveplanja iz goriva praktično ni.

Pri uporabi 25 % mazuta z 0,63 % S, 29 % mazuta z 1,25 % S in 28,6 % mazuta z 2,28 % S v skupno uporabljenem gorivu, ostanek je bil zemeljski plin, ki je praktično brez žvepla, je ugotovil Lensi povečanje žvepla v jeklu, kot je prikazano v tabeli XII.

Tabela XII

% S v mazutu	0,63	1,23	2,28
% S v jeklu	0,002	0,004	0,008

Ce predpostavljamo, da bi uporabljali kot gorivo samo mazut brez zemeljskega plina, potem dobimo povečanje žvepla v jeklu, kot ga prikazuje tabela XIII.

Tabela XIII

% S v mazutu	0,63	1,23	2,28
% S v jeklu	0,08	0,014	0,028

Ti predpostavljeni rezultati se precej dobro ujemajo s trditvijo, ki jo je postavil Callinan, da je treba računati za vsak 0,1 % S v mazutu 0,001 % S v jeklu. Dejansko so predpostavljene številke v tabeli XIII nekoliko višje, kar pa lahko pripišemo dejstvu, da pri povečanju količine goriva verjetno ne nastopa ekvivalentno linearen prehod žvepla iz goriva v jeklo.

Raziskave izvedene v jeseniški martinarni

V mesecih februar, marec in prvi polovici aprila 1965 je izvajal na SM pečeh jeseniške martinarne tov. Malovrh Stane, diplomant metalurške fakultete v Ljubljani, raziskave, katerih namen je bil ugotoviti vpliv žvepla v mazutu na nažveplanje jekla v SM peči. Ker smo uporabljali takrat v martinarni samo mazut z nizkim žveplom, ni bilo mogoče s temi raziskavami ugotoviti vpliv visokega žvepla v mazutu na nažveplanje jekla. V povprečju je bilo žveplo v mazutu za posamezne mesece naslednje: februar — 0,72 %, marec — 0,66 %, in prva polovica aprila — 0,83 %.

Raziskave je tov. Malovrh izvedel pri 38 šaržah na SM peči A, ki je zakladala vložek 60 ton in sicer 29 ton starega železa ter 31 ton grodlja, v pretežni večini raztaljenega. Kot gorivo je ta peč uporabljala mazut v največji količini 1300 kg/h, ki je bil ogret na 100° C. Za razprševanje mazuta je uporabljala zrak s pritiskom 5,5 atm. in temperaturo 115° C. Žveplo v jeklu je analizirano v končni probi po odlitju šarže v kokile, medtem ko je žveplo v žlindri določeno v peči pred izvedbo desoksidacije.

Rezultati teh raziskav so razvidni iz diagrama na sliki št. 12. Naraščanje žvepla v jeklu pri povečanju žvepla v mazutu je povezano z enakim razmerjem med žveplom v žlindri na t jekla

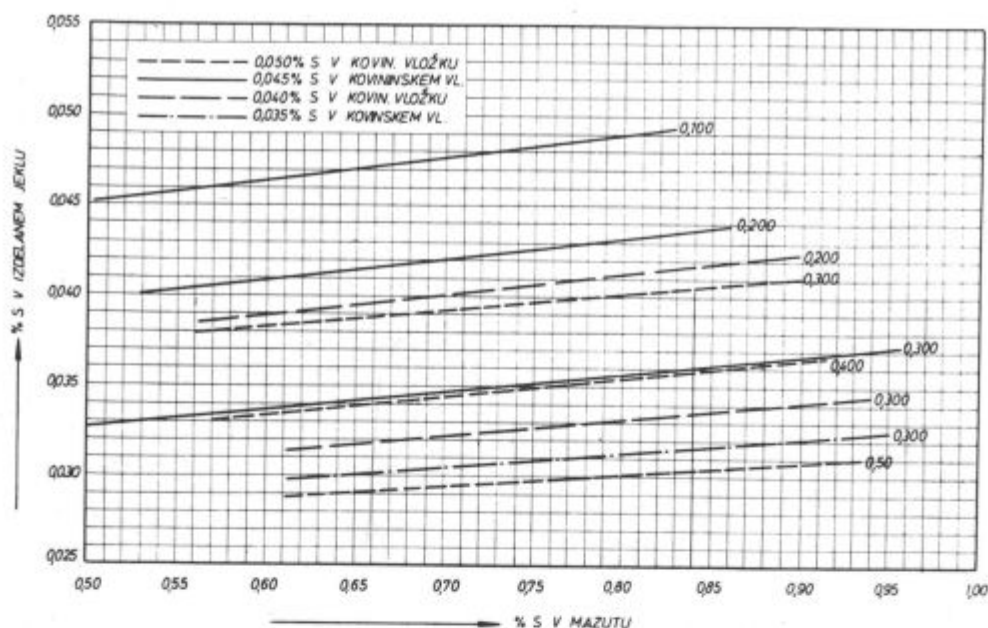
$$\frac{\text{kg S v žlindri}}{t \text{ jekla}}$$

V diagramu so označene posamezne količine žvepla v žlindri na podlagi tega razmerja (0,100; 0,200; 0,300; 0,400). Z upoštevanjem tega razmerja je skušal tov. Malovrh zajeti ostale enake pogoje za razžveplanje, predvsem baziciteto žlindre, ker bi sicer ti neenaki pogoji lahko nekoliko pokvarili dejansko sliko v zvezi z nažveplanjem jekla iz mazuta.

Poleg tega je pri sestavljanju diagrama upošteval tudi štiri različne vsebnosti žvepla v kovinskem vložku in sicer: 0,035; 0,040; 0,045 in 0,050 %.

Da bi kljub majhni razliki med najvišjim in najnižjim žveplom v mazutu lahko dosegel vidnejšo razliko na samem diagramu, je razdelil obe skali na abscisi in ordinati na manjše enote.

Iz diagramov na sliki števil. 12 vidimo, da se dobljeni rezultati praktično ujemajo z rezultati, ki jih je dobil Callinan. Če vzamemo kot primer 0,045 % S v vložku in 0,3 kg S v žlindri na t jekla, vidimo, da dobimo pri 0,5 % S v mazutu v izdelanem jeklu 0,0326 % S in pri 0,9 % S v mazutu 0,0367 % S v izdelanem jeklu. Razlika v vsebnosti žvepla je v tem primeru pri mazutu za 0,4 % in



Slika št. 12

v izdelanem jeklu za 0,0041 ‰, torej za povečanje 0,1 ‰ S v mazutu, povečanje za 0,001 ‰ S v izdelanem jeklu. Pri tem je iz diagrama razviden tudi vpliv ostalih faktorjev, ki so izraženi v količini žvepla v žlindri na t jekla, saj je pri faktorju 0,100 in 0,045 ‰ S v kovinskem vložku ter pri mazutu z 0,5 in 0,9 ‰ S za 0,005 ‰ S razlike v izdelanem jeklu, oziroma za 0,00125 ‰ S za vsak 0,1 ‰ S v mazutu.

Razen tega je iz diagrama razviden tudi vpliv žvepla v kovinskem vložku na potek nažveplanja. Pri nižjem ‰ S v kovinskem vložku in sicer enaki količini žvepla v žlindri na t jekla je količina žvepla v izdelanem jeklu za vsak 0,1 ‰ S v mazutu nekoliko nižja kot 0,001 ‰.

Brez dvoma potrjujejo tudi rezultati raziskav v jeseniški martinarni, čeprav so bili izvedeni pri nizkem žveplu v mazutu, da dosežemo pri naših obratovalnih pogojih nažveplanje za vsak 0,1 ‰ S v mazutu 0,001 ‰ S v izdelanem jeklu.

Zaključki

Na podlagi rezultatov raziskav različnih avtorjev ter raziskav izvedenih letos v jeseniški martinarni lahko zaključimo naslednje:

1. Žveplo v mazutu ima velik vpliv na nažveplanje vložka v SM peči. Vsi avtorji, ki so raziskovali ta problem, so ugotovili, da pride med taljenjem 20–30 ‰ S iz mazuta na vložek, t. j. v jeklo in žlindro.

2. Posamezni avtorji so tudi številčno ugotovili razmerje med žveplom v mazutu in žveplom v izdelanem jeklu. Za približno oceno situacije najbolj odgovarja razmerje, ki ga je ugotovil Callinan, da se za vsak 0,1 ‰ S v mazutu poveča žveplo v izdelanem jeklu za 0,001. Isti rezultat so pokazale tudi raziskave, izvedene v jeseniški martinarni.

3. Na potek nažveplanja imajo poleg samega žvepla v mazutu vpliv tudi zakladalni in talilni čas ter prostorninska teža starega železa in uporaba mrzlega oziroma raztaljenega grodlja. Čim krajša sta zakladalni in talilni čas, čim manjša je prostorninska teža starega železa in čim manjša je količina mrzlega grodlja v vložku, tem manj možnosti je za prehod žvepla iz mazuta v jeklo.

4. Pri prehodu žvepla iz mazuta na vložek ima važno vlogo tudi način zgorevanja mazuta, kajti čim slabše je njegovo razprševanje in če primanjkuje zraka za zgorevanje, tem ugodnejši so pogoji za nažveplanje vložka. Vzrok je v tem, ker ostane del žvepla v obliki H_2S , ki ima večjo tendenco za prehajanje iz dimnih plinov na vložek kot SO_2 .

5. Vsi avtorji razen Neuhausa so edini v tem, da vpliva žveplo v mazutu na nažveplanje med taljenjem, medtem ko je med rafinacijo njegov vpliv minimalen oziroma ga skoraj ni. Zakaj je samo v železarni Hagen-Haspe tozadevna situacija drugačna, ni jasno.

6. Iz vsega zgoraj navedenega sledi zaključek, da je za dober potek razžveplanja v SM peči potreben mazut z nizkim žveplom, ki naj ne preko-rači 1 ‰. Pri uporabi mazuta z največ 1 ‰ S lahko računamo na nažveplanje jekla iz goriva za okoli 0,01 ‰, kar je pri uporabi vložka z največ 0,06 ‰ S za izdelavo kvalitet jekla z 0,04 ‰ S in manj še znošno.

Uporabljena strokovna literatura:

1. Revue de Métallurgie, letnik 1956, julij
2. Journal of Iron and Steel Institute, letnik 1955, vol. 181
3. A. N. Morozov, Sovremennij martenovskij proces
4. Stahl und Eisen, letnik 1964, št. 24
5. La Metallurgia Italiana, letnik 1962, št. 1

Nekateri problemi velikih obločnih elektro peči

Proizvodnja elektro jekla na obločnih elektro pečeh se je od svojih prvih začetkov v letu 1905 silovito dvignila. Medtem ko so prvih pet desetletij obločne elektro peči služile izključno samo za proizvodnjo visokolegiranih jekel, se v zadnjih dveh desetletjih v vedno večji meri uveljavljajo tudi kot agregati za proizvodnjo navadnih trgovskih kvalitet jekla. V ta namen nam služijo tako imenovane velike obločne elektro peči, ali kot jih imenujejo Nemci, velikoprostorske obločne elektro peči. Njihova uveljavitev kot agregati za proizvodnjo navadnih jekel je pogojena predvsem z relativno majhnimi investicijami (v primeri s SM pečmi), z majhno porabo energije na tono proizvedenega jekla, s pocenitvijo električne energije, z lažjo kontrolo procesa, z možnostjo uporabe slabšega vložka itd. V skupni proizvodnji jekla se opaža stalna in močna tendenca naraščanja elektro jekla. Tako je npr. leta 1948 znašal delež elektro jekla samo 5,5 %, v letu 1956 je narastel na 8,5 %, v letu 1960 na 9 % in v letu 1963 na 16 % od celokupne proizvodnje jekla. Če vse to upoštevamo, ni težko zaključiti, da zadnja beseda o elektro jeklu še ni bila izrečena.

K velikim obločnim elektro pečem prištevamo tiste peči, katerih premer je večji od 5 m in v katere lahko zakladamo več kot 50 ton vložka. Velike obločne peči so med II. svetovno vojno začeli uvajati v proizvodnjo Amerikanci. Evropa jih je dobila nekaj let kasneje in so se zelo dobro obnesle. V zadnjih desetih letih je bilo zgrajenih v Evropi nekaj desetih velikih elektro peči, predvsem v Nemčiji, Belgiji, Švedski, Franciji, Poljski, Italiji, ZSSR itd. Največje elektro peči v Evropi ima Kruppova jeklarna Rheinhausen s premerom 7200 mm in s priključno močjo transformatorja 36.000 kVA. V ti dve peči lahko zakladajo do 150 ton vložka. Trenutno je v gradnji največja evropska peč s kapaciteto 200 ton in sicer v Italiji.

Mnoge evropske jeklarne imajo v obratovanju s tako velikimi pečmi bogate izkušnje. Proizvajalci elektro peči so v stalni zvezi z jeklarnami in na osnovi praktičnih ugotovitev stalno vnašajo v novejšo izvedbo peči konstruktivne izboljšave.

Stremljenja za vedno večjimi učinki so imela za posledico vedno večje izvedbe transformatorjev. Tako je bilo npr. pred 10 leti povsem normalno, da je elektro peč s premerom kotla 5.400 mm imela priključno moč transformatorja 10—12.000 KVA. Enaka peč je danes opremljena s transformatorjem 18.000 KVA ali večjim.

Seveda pa povečanje moči transformatorja močno vpliva na vse druge važne faktorje in na samo ekonomičnost obratovanja. Zato so zelo važna pravilna razmerja med močjo transformatorja, premerom kotla, premerom delilnega kroga na oboku, višino od praga do vrha kotla, notranjim premerom dna, debelino dna, debelino ognje-vzdržne obloge itd. Ti parametri so med seboj v taki medsebojni odvisnosti, da je skoraj nemo-goče obravnavati katerega od njih ločeno, ampak vedno vse skupaj.

Dalje ima na ekonomičnost obratovanja močan vpliv tudi vrsta procesa, število žlinder, število košar itd. Skratka, vrsta problemov, katerih smotrna vskladitev in skrbna analiza jamčita visoko produktivnost in ekonomično obratovanje posamezne peči. V nadaljevanju bom na grobo poskusil obdelati vplive in odvisnost posameznih najvažnejših faktorjev pri velikih obločnih pečeh.

Transformator, premer kotla, delilni krog, elektrode

Priključna moč transformatorja se mora ravnati predvsem po premeru kotla. Čim večji je premer kotla, tem močnejši je lahko transformator in obratno. Od pravilnega razmerja med močjo transformatorja in premerom kotla je močno odvisna vzdržnost ognjevzdržne obloge sten. Prevelika moč transformatorja pri manjšem premeru kotla da sicer ugodnejše rezultate taljenja in s tem prihranek na času, obenem nam pa zmanjša vzdržnost sten in s tem podraži proizvodnjo. Vendar vzdržnost sten ni odvisna samo od moči transformatorja in premera kotla. Važno vlogo igra pri tem premer delilnega kroga vstopnih odprtih za elektrode in premer elektrod samih. Tako npr. večji premer delilnega kroga približa elektrode stenam peči, ki so zato izpostavljene večjim toplotnim obremenitvam zaradi sevanja obločnega plamena. Zato se v takem primeru kljub pazljivemu delu zmanjša vzdržnost sten. Zaradi boljše vzdržnosti sten je želeno, da je delilni krog vstopnih odprtih na oboku čim manjši.

Premer delilnega kroga ima določen vpliv tudi na hitrost taljenja in na porabo toka. Peči enakih velikosti in iste priključne vrednosti transformatorja, toda z manjšim premerom delilnega kroga vstopnih odprtih za elektrode, imajo boljše učinke taljenja. To zato, ker se v peč z manjšim delilnim krogom dovaja energija na manjšem, ožjem prostoru in se zato na dnu peči formira talina, ki omogoča miren hod peči in s tem večje

izkoriščanje dovedene energije. Posledica tega je, da imamo v takih primerih večje učinke taljenja in nekoliko manjšo porabo toka.

Delilni krog pri naši novi peči ima premer 1.700 mm in je za velikost peči (premer kotla 5.400 mm) neugoden. Zato moramo že vnaprej računati na večjo obrabo sten. Večji delilni krog neugodno vpliva tudi na vzdržnost oboka.

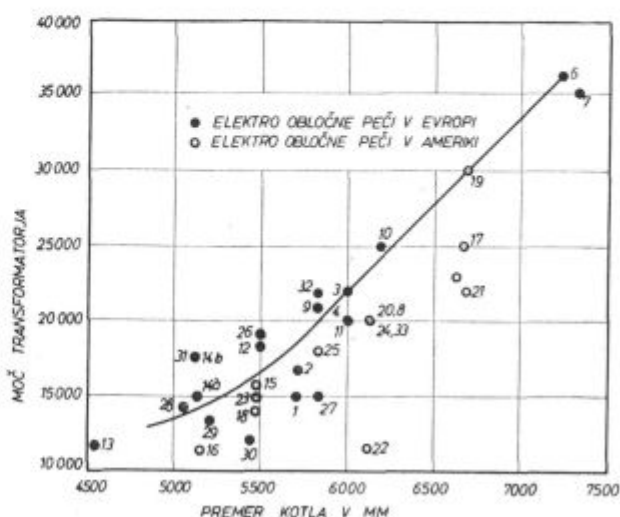
Tudi premer elektrod močno vpliva na oddaljenost obločnega plamena od sten peči. Čim debelejšje so elektrode, tem bližje je obločni plamen stenam. Debele elektrode pa tudi neposredno vplivajo na povečanje premera delilnega kroga, ker zahtevajo močnejšo in večjo konstrukcijo vpenjalnih glav. Posledica tega je, da se obločni plamen močno približa stenam peči in je ognje-vzdržna obloga sten izpostavljena večjim toplotnim obremenitvam. Normalno je, da je vzdržnost sten pri pečeh z velikim delilnim krogom manjša.

Proizvajalci elektrod imajo ustaljene normalne obremenitve grafitnih elektrod z ozirom na njihov premer. Mi imamo za ASEA peč predvidene elektrode premera 550 mm. Te elektrode bi odgovarjale obremenitvam 24.000–38.000 A. Iz tega podatka je razvidno, da so naše elektrode premočne in bi popolnoma odgovarjale tiste s premerom 500 mm, ki prenesejo obremenitve od 20.000–32.000 A. Ta izbira elektrod je pri konstruktorju zahtevala tudi večji delilni krog, kar bo seveda neugodno vplivalo na ekonomiko obratovanja. (Lecktromelt predvideva v svoji ponudbi za enako peč elektrode 450 mm s premerom delilnega kroga 1.450 mm). Sicer pa je iz priloženega diagrama in razpredelnice razvidno, v kakšni odvisnosti sta premer delilnega kroga in premer kotla pri raznih pečeh, ki so že v pogonu. Iz diagrama so razvidne tudi odvisnosti med močjo transformatorja in premerom kotla in višino od praga peči do zgornjega roba kotla. V te diagrame so vnešeni podatki iz statističnega pregleda, ki je priložen temu poročilu. Ta pregled zajema skupno 33 peči iz različnih jeklarn Evrope in ZDA. Iz diagramov se vidi, da obstaja:

1. Stalna tendenca povečevanja moči transformatorja
2. rahla tendenca povečanja višine od praga do zgornjega roba kotla
3. delilni krog za vstopne površine se skuša zmanjšati na najmanjšo možno mejo.

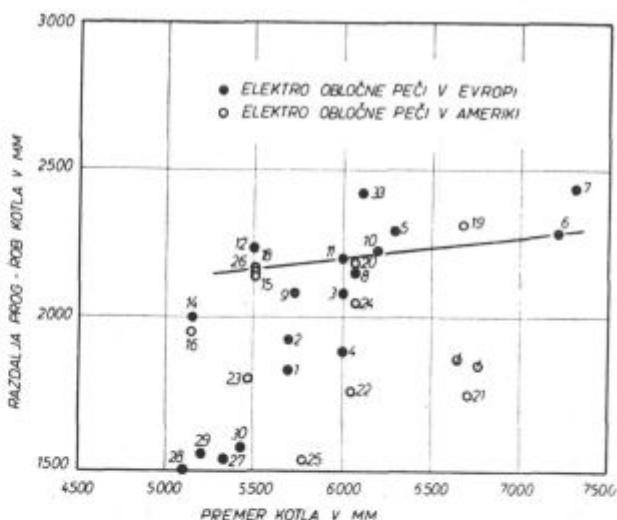
Zelo važen faktor, ki ima določen vpliv na ekonomičnost obratovanja, je višina od praga do zgornjega roba kotla. Premajhna višina ima za posledico večje toplotne obremenitve oboka in s tem manjšo vzdržnost le-tega. Prevelika višina pa spet ni zaželena, ker ima peč potem večji volumen. Pri prevelikih volumnih peči se povečajo toplotne izgube. Proizvodnja se s tem podraži (večja poraba toka) in zato moramo imeti neko optimalno višino od praga do zgornjega roba

kotla, ki nam obenem zagotavlja zaščito oboka pred sevanjem in ugodno toplotno izkoriščanje dovedene energije. Višina od praga do zgornjega roba kotla ima tudi odločilen vpliv na zakladanje. Višje peči nam omogočajo zakladanje nesortiranega vložka in manjše število košar na eno šaržo. Naša ASEA peč ima višino od praga do roba kotla 2.050 mm, kar z ozirom na velikost peči lahko smatramo za ugodno.



SL. 1 - MOČ TRANSFORMATORJA IN PREMER KOTLA

Slika 1 — Moč transformatorja in premer kotla

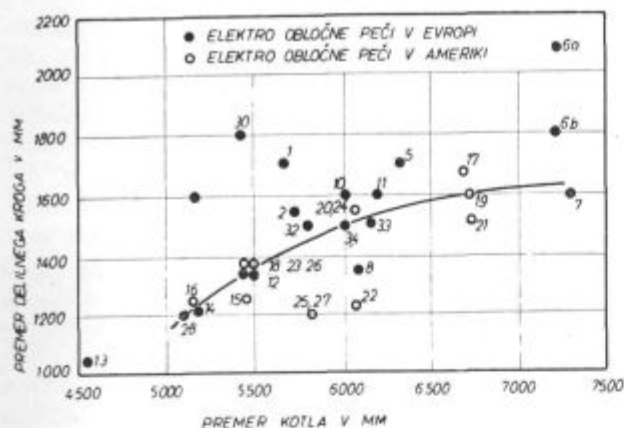


SL. 2 - RAZDALJA OD PRAGA DO ZGORNJEGA ROBA KOTLA IN PREMER KOTLA

Slika 2 — Razdalja od praga do zgornjega roba kotla in premer kotla

Tehnologija

Tehnologija odločilno vpliva na ekonomiko proizvodnje. Procesi z eno, dvema ali več žlindrami pri posameznih vrstah jekla so pri tako velikih pečeh zelo važen faktor prav z ozirom na velike količine jekla, ki ga proizvajajo. Osvajanje najenostavnejših procesov pri enaki kvaliteti jekla



Sl. 3 — Delilni krog in premer kotla

Slika 3 — Delilni krog in premer kotla

je osnovno načelo, ki se ga skušajo držati razne jeklarne, ki delajo z velikimi pečmi.

V iskanju najugodnejših procesov so razvili v raznih jeklarnah tudi čisto posebne postopke, ki na najcenejši način omogočajo proizvodnjo določenih jekel.

V sklopu teh je zelo zanimiv postopek jeklarne Rheinhausen, ki ima dve 150 t peči.

Postopek proizvodnje jekla v Rheinhausnu

Jeklarna v Rheinhausnu ima dve največji peči v Evropi s kapaciteto od 130—150 ton. Prvo sta montirali firmi DEMAG in AEG leta 1956, drugo pa BBC leta 1957.

Podatki peči:

DEMAG/AEG	BBC	
premer kotla mm	7.200	7.200
transformator KVA	36.000	36.000
dušilna tuljava KVA	6.000	3.000
regulacija	elektrohidr.	elektrohidr.
premer elektrod mm	600	600
premer delilnega kroga	2.100	1.800

Proizvodni program te jeklarne obsega vsa kvalitetna jekla različnih kemičnih sestav z različnimi vsebnostmi ogljika. Izdelujejo posebne kvalitete z Al pomirjenega globokega vleka z max. 0,05 % C pa vse do trde žice z 0,95 % C. Vse vrste jekla delajo samo s črno žlindro. To je posebno omembe vredno z ozirom na zahtevano čistost jekla. P in S imajo vedno pod 0,035 % C. Pri nekaterih kvalitetah sta predpisana P max. 0,010 % in S 0,025 %, ki ju morajo doseči metalurško gledano pri pogojih SM procesa. Dvofazni procesi so izključeni, ker se kljub nizkim P in S še vedno proizvajajo samo tako imenovana masovna jekla. Poleg tega peči niso opremljene z mešalcem in bi bilo praktično nemogoče odstraniti žlindro.

V njihovi praksi so tudi ugotovili, da dovolj visok C v prvi probi in velika žilavilna hitrost omogočata tudi intenzivno izločanje dušika. Tako imajo povprečje N v dinamo šaržih povprečno 0,005 %, kar je zelo ugodno.

Vložek je vedno sestavljen tako, da imajo v prvi probi C = 0,4—0,5 % nad zgornjo mejo pri posameznih vrstah jekla. Tega se dosledno držijo in v primeru nižjih C pihajo zmlet koks s posebno pripravo v jeklo.

Velike oksidacijske hitrosti ugodno vplivajo tudi na proizvodnjo jekel, ki so nagnjena k risavosti. Oksidacijska hitrost znaša v povprečju 0,27 % C na uro, najvišje pa so med 0,5—0,6 % C na uro.

Pod takimi pogoji se razmeroma lahko in hitro odstrani P. Težave imajo samo s S. Če so žvepla previsoka, napravijo mešanico CaF_2 in CaO in jo pred prebodom vržejo v ponovco. V posebnih primerih, kjer je zahtevano zelo nizko S, se pri napol polni ponovci vsuje določena količina enake mešanice v ponovco. To apno vsipajo tudi zato, da se nevtralizira in strdi tanko tekoča žlindra. S tem postopkom se jim zniža S od 22—35 %, računano od zadnje probe iz peči, kar je odvisno od vrste jekla.

Vsa jekla v glavnem legirajo in dezoksidirajo z dodatki legur v ponovci.

PORABA MATERIALOV

Dno peči:

Prva tri leta so imeli dna peči iz terdolomitne opeke. Debelina dna je znašala skupno 750 mm, od tega je bilo dolomitnega sloja 450 mm. Globina dna je bila v sredini 1.030 mm. Stene so bile debele 900 mm, notranji premer peči pa je bil 5.400 milimetrov. Dna so brez večjih reparatur vzdržala takole: 1556, 1188, 981, 718 in 746 šaržev.

Tendenca upadanja vzdržnosti dna je rezultat vedno kvalitetnejše proizvodnje.

Leta 1960 so prešli na izdelavo dna iz phanega dolomita (Crospi). Profil dna je bil izdelan v obliki prisekanega stožca. Dno je bilo vodoravno s premerom spodnjega kroga 3.900 mm. Premer zgornjega kroga je bil 5.600 mm. Iz tega izhaja, da so se stene stanjšale z 900 na 800 mm. Globina dna je znašala 990 mm, debelina pa največ 800 mm. To jim je omogočilo znatno povečanje vložka.

Dna niso greli in so peč založili na mrzlo dno. Tako izdelana dna so se zelo dobro obnesla.

V zunanji strani dna peči imajo montiranih 6 termoelementov, s katerimi kontrolirajo temperaturo dna. Optimalna temperatura je med 240 in 270° C. Če se temperatura dvigne čez 300° C, se dno temeljito popravi.

Vzdržnost sten iz dolo-blokov se giblje med 50 in 55 šaržami. Kljub razmeroma nizkemu številu je to še zmeraj ugodno z ozirom na veliko tonažo peči, kar nam kaže potrošnja ognjevzdržnega ma-

teriala na tono čistega bloka, ki znaša na peči DEMAG 12,44 kg/t in na peči BBC 11,74 kg/t (manjši delilni krog).

Oboki:

Vzdržnost obokov je razmeroma zelo nizka. Zidani so radialno in imajo 500 mm velike odprtine za odvajanje plinov. Povprečna vzdržnost na peči DEMAG v enem letu znaša 24,44 šarže, na peči BBC pa 25,33. Izraženo na kg čistega bloka znese to v prvem 7,14 kg, v drugem pa 6,95 kg. V tem se zopet izraža prednost oboka z manjšim delilnim krogom. Majhno vzdržnost obokov zagovarjajo s čisto redukcijo toka in z majhno višino od praga do oboka, ki znaša pri obeh pečeh 2.250 mm. Višina kotla je omejena zaradi konstrukcije same hale.

Elektrode:

Poraba elektrod znaša 6,61 kg/t jekla v povprečju za obe peči, kar je razmeroma veliko, ker delajo samo z eno žilindro. Tako visoko porabo opravičujejo z zelo slabim vložkom in z vedno zahtevnejšim kvalitnim programom. Mnenja so, da bi pri delu z normalnim vložkom lahko dosegli porabo elektrod izpod 5 kg.

Učinek peči:

Učinek taljenja znaša 40—50 t/h. Boljše rezultate dosega peč z manjšim delilnim krogom, ker je sredina hitreje raztopljenja. To se odraža tudi v krajših časih od preboda do preboda in v manjši porabi toka na tono jekla.

Vložek:

Za obe peči uporabljajo najslabši vložek, ki za SM peči ni primeren. Tako pretopijo v teh pe-

čeh vse martinarske svinje, zlomljene valje, zalite kokile (8—10 ton) in vse ostalo, kar se ne da založiti v SM peč. Maksimalna teža enega kosa je omejena s težo 40 ton. Da preprečijo poškodbe dna, zakladajo po pravilu 10—20 % ostružkov. Cena ostružkov in tako velikih kosov je 40 do 50 DM/t cenejša od normalnega sortiranega vložka, ki ga uporablja SM peč.

To dejstvo zelo ugodno vpliva na hod SM peči, ki jih lahko zakladajo z dobrim sortiranim vložkom. Zato se pri primerjavi ekonomske računanice mora to upoštevati.

S cenanim vložkom izravnavajo stroške večje porabe toka in elektrod, kakor tudi daljše šaržne čase.

PRIMERJAVA MED AMERIŠKIMI IN EVROPSKIMI PEČMI

Ognjevzdržna obzidava:

Če primerjamo obzidavo ameriških in evropskih elektro peči velikih kapacitet, naletimo na nekatere principialne razlike. Eden glavnih vzrokov za te razlike je razmerje med cenami surovin in plačami. Z ozirom na visoke plače v ameriški jeklarski industriji materialni stroški nimajo take vloge kot pri nas v Evropi. V Ameriki stremijo za tem, da vgradijo v peč najboljše surovine, ki se po eni strani lahko zelo hitro vgradijo v peč in tako zahtevajo čim manj dela. Po drugi strani pa uporaba kvalitetnih materialov zahteva manj remontov in s tem zopet poceni delo.

Iz priložene razpredelnice so razvidni podatki o povprečni vzdržnosti velikih obločnih peči in o vrsti njihove obzidave.

STATISTIČNI PREGLED NAJVAŽNEJŠIH PODATKOV O OBRATOVANJU VELIKIH OBLOČNIH PEČI V EVROPI IN ZDA

JEKLARNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Število peči	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	3	3	2	1	5	3	4
Premier peči v ³ /m	5700	5700	6000	6000	6300	7200	7315	8100	5791	6200	5180	5486	5182	6706	6706	6096	6706	6096	5468	6096	5468
Tratla KVA	15000	18000	22000	20000	22000	26000	35000	20000	20650	25000	154000	16000	11500	25000	20000	20000	22000	17000	15000	20000	15000
Višina "prag-rok" m	1850	1850	2100	1900	2250	2640	2135	2100	2200	2000	2135	1880	3050	2270	2160	1765	1765	1805	2060	2150	2150
Delilni krog v ³ /m	1700	1550	1500	1600	1700	2100/1800	1800	1375	1370	1600	1220	1250	1250	1675	1600	1525	1525	1220	1370	1525	1370
Premier elektrod v ³ /m	500	550	550	550	600	600	610	500	500	600	500	457	457	610	610	508	500	457	508	508	508
Deklarirana kapaciteta	70 ³	70 ³	70 ³	70 ³	90	120	145	80	70	75	90	75	95	135	135	70	80	60	60	80	50
Težadejavnega vložka	70	70	75	70	95	140	165	80	80	95	95	80	80	145	140	75	80	60	70	90	80
Število kofar na vložek	2	2	2-3	—	2	2	3-4	3	3	—	2-3	2	2	2	2-3	1-2	—	—	2-3	1-2	—
Vrsta opeke	Mg	Mg	5+Mg	5+Mg	Mg+opD	5+Mg	Mg	5+Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	5+Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Cr+Mg	5+Mg	Cr+Mg
Debelina ³ /m	~400	65+225	65+65	270+80	65+125	—	—	65+180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	254+228	203+381	38+419
Vzdržnost šarž	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vrsta obloge	Mg	Mg+Dop	Mg+Dop	Mg+Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Cr+Mg	Cr+Mg	Cr+Mg	Cr+Mg	Cr+Mg	Cr+Mg	Cr+Mg	Cr+Mg
Debelina ³ /m	—	190+450	125+500	—	—	120+450	—	—	—	—	—	—	—	243+200	243+200	450+250	450+250	457+200	457+200	343+200	457
Vzdržnost šarž	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vrsta opeke	DB (OMg)	DB	DB	Dop	Dop	Dop	5+Mg	DB	DB	MgCr	DB	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr	MgCr
Debelina ³ /m	—	450/550	350/550	300/450	450	120/450	40+57	—	—	350-300	550	343	343	343	343	343	343	343	343	343	343
Vzdržnost šarž	~50	do 80	~70	70-80	~70	~70	~70	~80	~80	~150	~95	70-80	70-80	70-80	150-190	150-190	80-90	80-90	150-200	170-210	120
Vrsta opeke	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika	Silika
Debelina ³ /m	250	—	—	300	—	300	350	340	300	300	343	343	343	305	406	406	343	343	228	305	343
Vzdržnost šarž	~50	~65	—	15-20	80-85	~40	~50	~40	~80	~55	~70	70-80	70-80	40-55	45-75	45-75	80-90	80-90	85 do 110	45-50	65
Vrsta jekla (glej obrazložitev)	I, II, III	I, II	I	I	I	I	I, II	I	I	II	III	III	III	I	I	I, II	II, III	II, III	II, III	II, III	II, III
Učinek t/h	9-11	—	15-16	—	~14	20	25 (do 34)	15	do 21	305 (300)	~10 (10)	~10 (10)	~10 (10)	30-35 (21)	30-35 (21)	30-35 (21)	30-35 (21)	30-35 (21)	30-35 (21)	30-35 (21)	30-35 (21)
Poraba toka KWh/t	~670	—	—	—	600	~530	~620	610	510-580	550-620	550-710	550-710	550-710	490	530-550	530-550	600-615	520-530	500-710	550-650	550-710
Poraba elektrod kg/t	55-6	—	—	6-8	9	—	~5	6,5	55	—	—	—	—	7,5	7-15	5-55	5-55	5,5	5	7-13	8

Obrazložitev:

— Samota

Mg-magnezit

Mg-maso-sintermagnezitna masa

MgCr-Magnezitonakromina opeka

CrMg-Krommagnezitna opeka

— Dopolnilni

Dopolnilni-sinterdopolnilni

DB — Določeno

Sil-silika

op-opeka

m-masa

Vrsta jekla:

I — Nelegirano in nizko legirano jeklo

II — Plemenito jeklo

III — Visokolegirano in nerjavno jeklo

Izdelava dna:

V skoraj vseh evropskih pečeh se na jekleno dno peči kot izolacijo daje azbestni papir ali šamot. V Ameriki poleg teh materialov uporabljajo neke vrste ogljično pasto, ki ima lastnosti toplotnega izolatorja.

Amerikanci na pečeh, ki imajo izolacijo na dnu, takoj vgrajujejo magnezitno opeko brez vmesne šamotne izolacije. Na pečeh, ki nimajo azbestne ali druge izolacije, dajejo neposredno na jekleno dno šamotno, največkrat pa kromitno opeko, nakar sledi običajna magnezitna vrsta. Zaradi takega načina izdelave dna je magnezitna plast v Ameriki za cca 20–30 % debelejša kot v Evropi.

V zadnjih letih so različne ameriške elektro jeklarne z uspehom preizkusile tako imenovana »hladna« dna, ki jih v Evropi ne poznamo. Ta dna izdelajo tako, da neposredno na jekleno dno peči vgradijo posebno magnezitno opeko, ki ima izredno veliko toplotno prevodnost. S tem dosežejo, da se velik del toplote odvajaja iz dna peči in se dno na ta način hladi. Taka »hladna« dna uporabljajo v vedno večjem številu elektro jeklarne, ki izdelujejo nerjaveča jekla. Debelina te »hladne« magnezitne opeke je cca 350 mm.

Zgornje plasti dna delajo v Ameriki izključno iz magnezitnih nabijalnih mas, ki imajo posebno kemično sestavo in poseben kristaliničen sestav. Debelina te mase je v odvisnosti od velikosti peči in od načina izdelave od 280–350 mm. Maso nabijejo tako, da seže čez žlindrino mejo in to zato, da zaščitijo opeko peči. Naklonski kot spodnjega dela stene je izdelan v velikem radiusu, kar omogoča lažja popravila stene v višini žlindre.

Amerikanci polagajo posebno pažnjo ogrevanju dna in se točno držijo predpisov dobavitelja magnezitne mase. Za kontrolo temperature dna vgradijo v maso termoelemente, s katerimi kontrolirajo gretje. Ogrevajo tako, da narašča temperatura dna do 650° C (od 45–65 ur) za 10–15° C na uro in nad 650° C cca 95° C na uro.

Poudariti je treba, da v ZDA nimajo niti v eni veliki peči vgrajenega dolomitnega dna. Vzrok je verjetno v tem, ker s temi posebnimi masami dosega odlične vzdržnosti dna in ker imajo njihovi dolomiti preveč SiO₂.

V nasprotju pa se uporablja na evropskih pečeh velikih zmogljivosti skoraj izključno dolomitna obloga v celoti (stene in dno).

V letu 1962 so preizkusili ameriške magnezitne mase za dno na Švedskem in dosegli z njimi odlične rezultate.

Spodnje dele sten obzidajo z magnezitno opeko in jih naphejo z maso tako visoko, da leži žlindra na masi in ne na opeki. To je tudi ena osnovnih razlik med evropsko in ameriško prakso.

Stene peči v ZDA so izključno iz steel-clade chrommagnezitne opeke. V zadnjem času zidajo stene nekaterih velikih peči po tako imenovanem sistemu »dvoconska stena«. Pri tem uporabljajo za obzidavo spodnje tretjine stene kemično vezane steel-clade magnezitne opeke z dvema notranjima pločevinskima vložkoma (88 % MgO).

V zgornjih dveh tretjinah pa zidajo steno s kemično vezano in s pločevino oblečeno opeko iz kromove rude in magnezita.

Tak način obzidave se rabi pri pečeh, kjer je gornji del stene izpostavljen velikim temperaturnim spremembam. Značilno za ameriški način obzidave je tudi dejstvo, da so stene zelo tanke (največkrat 345 mm), kakor tudi to, da Amerikanci ne vlagajo med stene kotla in med ognjevzdržni material nobene izolacije. Njihove izkušnje kažejo, da je vzdržnost sten boljša zaradi večjega odvajanja toplote, seveda so pa izgube na energiji večje.

Na evropskih velikih pečeh se za oblogo sten uporabljajo v glavnem dolo-bloki, le redkokje dolomitna opeka.

Problematična za steno peči je tako imenovana divja elektroda. Največja obraba je nekaj nad višino žlindre. Veliko obrabo na tem mestu peči je pripisati močnemu obločnemu plamenu. Poskusi, da bi ta del stene zaščitili z vgraditvijo specialnih opek, niso dali želenih rezultatov. Razmeroma visoka cena teh opek in nekaj boljša vzdržnost ne opravičuje njihove uporabe.

Amerikanci ta problem rešujejo tako, da v steno, ki je v neposredni bližini druge elektrode, vgradijo hladilne cevi cca 150 mm od plašča v notranjost peči. Te cevi imajo dvojno vlogo. Prvič hladijo na mestih, kjer so temperaturne obremenitve največje in drugič služijo pri popravilih, kadar se stena obrabi, kot armirni vložek. Pri vsakem remontu cevi skrbno pregledajo in če je potrebno, zamenjajo. Razumljivo je, da mora biti hladilna voda prečiščena, oziroma mehka.

Oboki:

Pri evropskih velikih elektro pečeh so oboki izdelani izključno iz silike. V nekaterih primerih pa se prva in druga vrsta na obroču izdeluje iz krommagnezita. S tem načinom obzidave se poveča vzdržnost sten in oboka. Sten zato, ker bazična opeka oboka ne reagira z bazično oblogo stene.

V ZDA so v teku veliki poskusi, ki imajo za cilj povečanje vzdržnosti obokov na velikih pečeh. Opeke za obok so za te poizkuse izdelali posebno šamotno opeko s 55–80 % Al₂O₃. Ekonomičnost te opeke je že zdaj dokazljiva. Poizkusi tečejo tudi v smeri, da vlivajo krono oboka iz tekoče mase. Ta postopek uspešno uporabljajo predvsem

za reparaturo velikih obokov takrat, kadar se izrabi krona oboka, zunanje plasti so pa še dobre. V te namene uporabljajo mase s cca 70—80 % Al_2O_3 . Višja cena materiala se izravna z večjo vzdržnostjo oboka in s tem, ker odpadejo veliki stroški zidanja.

Vzdržnost ognjevzdržne obloge:

Primerjava samih vzdržnosti posameznih enakih peči nas lahko zavede, če pri tem ne upoštevamo programa proizvodnje in obratovalne pogoje (kisik, število košar pri zakladanju, zastoji itd.).

To napravimo najlažje tako, da izrazimo porabo ognjevzdržnega materiala v kg ali din/t čistega bloka. Pri študiju razpoložljivih materialov žal ni na razpolago podatkov o skupnih stroških obzidave in o cenah posameznih materialov.

Skoraj v vseh metalurških publikacijah se vedno znova najdejo podatki o odličnih vzdržnostih velikih obločnih peči v ZDA. Amerikanci imajo prakso, da po vsaki šarži skrbno popravijo peč s klasiranimi materiali. Dno peči toliko lažje vzdržujejo, ker jim debelino dna kontrolirajo termoelementi. Zato lahko pravočasno in dobro popravijo dna. Po popravilu že po prvi šarži spet lahko ugotovijo, če je dno dobro pripravljeno.

Veliko naporov se vlaga povsod, da bi se izboljšale vzdržnosti sten. Industrija ognjevzdržnih materialov (razen naše) se povsod trudi, da bi bila kos tej nalogi. Pomembni uspehi v tej smeri so bili doseženi z vročimi popravili s strojem, ki pod pritiskom brizga ustrezno maso na tisti del stene, ki je poškodovana. Ti stroji za hitra popravila sten so se zelo dobro obnesli in se v zelo kratkem času izplačajo. Uporabljajo jih pri vseh velikih pečeh.

Vzdržnost obokov velikih peči je še vedno nezadovoljiva. Iščejo tako konstrukcijske izboljšave opek, kakor tudi nove materiale, da bi dosegli čim boljše vzdržnosti obokov. Na splošno lahko trdimo, da je vzdržnost ognjevzdržnih materialov na velikih obločnih pečeh zadovoljiva. Da bi ta problem ugodno in hitro rešili, v vseh državah, ki imajo večje elektro jeklarne, sodelujejo jeklarne z industrijo ognjevzdržnih materialov.

Ostali problemi:

Največji nerešen problem velikih obločnih peči je odvajanje plinov ali rjavega dima. Ta plin se razvija v velikih količinah na pečeh, ki izvajajo oksidacijo s kisikom, predvsem pri proizvodnji nerjavečih jekel.

Do sedaj se je najboljše obnesla naprava, ki je konstruirana tako, da so nad elektroodnimi odprtinami, vrati in prebodno odprtino montirani posebni pokrovi in s pomočjo flexibel cevi povezani s čistilno napravo. Poleg visoke cene in okornosti ima ta naprava še to slabo lastnost, da je menjava oboka zelo zamudna. Ta način odvajanja dima se je uveljavil predvsem v ZDA in delno v ZR Nemčiji in na Švedskem.

Po podatkih različnih jeklarn tudi rešitev tega problema z odvodnimi odprtinami skozi obok ni dokončna. S četrto odprtino se trdnost oboka zmanjša in s tem tudi vzdržnost. Nekatere jeklarne so napravile velike stožčaste pokrove, v katere lovijo dim (pri nas peč II). Pri pihanju nekoliko dvignejo obok tako, da plin lažje in hitreje izstopa iz peči. Pri tem se je pokazalo, da tak način odvajanja plinov zelo negativno vpliva na vzdržnost jeklenega obroča in na prve vrste opeke.

Dodajanje legur v velike obločne peči je problem zase. Posebne majhne košare, s katerimi so dodajali večje količine legur, so dobile različne ocene. Vendar večina jeklarn odklanja tak način legiranja, ker pri dodajanju večjih količin legur iz višine cca 2,5 m v stopljeno jeklo, pride do močnih pljuskov jekla na stene peči, pa tudi izven peči.

Najbolje se obnese dodajanje legur z vlagalnim strojem. Vendar se ta način lahko uporablja samo pri nizko legiranih jeklih, kjer je dodatek legur manjši.

Za dodajanje večjih količin legur se uporabljajo korita ali drče. Pri tem načinu dodajanja nastane še zmeraj pluskanje, vendar veliko manjše, ker legure ne padejo naenkrat v peč, ampak postopoma padajo v kopel. Smatram, da bi bila ta rešitev dodajanja legur poleg viličarja najugodnejša in najcenejša.

Zaključek:

Iz podatkov, ki so navedeni v tem poročilu, je razvidno, da ima skoro vsaka jeklarna svoje metode dela, ki so rezultat objektivnih pogojev. Seveda igra tudi subjektivni faktor veliko vlogo. To je razvidno iz statističnega pregleda. Tu se očitno vidi, da razne jeklarne z enakimi pečmi in sličnimi pogoji dosegajo dokaj različne rezultate v obratovanju.

Na osnovi izkušenj drugih jeklarn, s katerimi smo seznanjeni, in s prakso naših topilcev v inozemskih jeklarnah, upam, da bomo uspeli doseči z našo ASEA rezultate, ki bodo v mejah teh, ki so podani v tem poročilu.

Vpihavanje prašnatih materialov v grodelj in jeklo

Splošno

Ze več kot deset let uvajajo različni avtorji v raznih inštitutih in železarnah prašnate materiale v metalurgiji železa in jekla. Med vodilnimi na tem področju je francoski inštitut IRSID. V zadnjih letih pa se je vpihavanje prašnatih materialov v železo in jeklo že tako razmahnilo, da so se iz raziskav razvili že tehnološki postopki, pri katerih se pomožni materiali uporabljajo delno ali pa izključno samo v prašni obliki.

Z uvajanjem prašnatih materialov se skuša:

1. pospešiti metalurške reakcije
2. izboljšati izkoristke teh materialov
3. poenostaviti oziroma olajšati fizično delo in
4. poceniti proizvodnjo.

V naslednjih poglavjih so opisani poskusi, ki jih je raziskovalni oddelek vršil z nekaterimi prašnatimi materiali, kot so apno, karborit in žveplo v obratih plavž in elektro peč.

Poskusi odžveplanja grodlja izven plavža

Uvod

Pri stalno naraščajočih zahtevah jeklarn po enakomerno nizkem deležu žvepla v grodlju se postavlja vprašanje, če bi lahko v plavžu za daljše obdobje ekonomično proizvajali grodelj z zadosti nizkim žveplom. Celo če smo izkoristili vse možnosti z dobro pripravo vsipa s klasiranjem in sintranjem, če smo z odgovarjajočim vodenjem peči znižali porabo koksa, da bi proizvajali čim boljši grodelj, potem nam za nadaljnje znižanje žvepla v grodlju ostane samo še povišanje bazičnosti žlindre. Povečanje bazičnosti žlindre pa povzroča v obratovanju precejšnje težave. Te težave izvirajo iz visokega tališča in večje viskoznosti visokobazične žlindre. Tako obratovanje je tudi zelo drago. Zato smo pravzaprav prisiljeni iskati načine, kako bi najbolj učinkovito, zanesljivo in gospodarno odstranili žveplo iz grodlja izven plavža.

V svetu že obstajajo načini učinkovitega odžveplanja grodlja izven plavža. Tako so bila objavljena dela sodelavcev IRSID-ovega inštituta (B. Trentini, L. Wahl in M. Allard)¹ o vpihavanju apna v grodelj, dalje skupine sodelavcev firme Hoesch-Westfallenhütte² z vpihavanjem zmesi apna in sode v grodelj. Pri Hoesch-u so ta način odžveplanja razvili do zanesljivega industrijskega postopka.

Pred podobnim problemom stoji tudi Železarna Jesenice. Znane so težave odžveplanja v Siemens Martinovih pečeh, posebno še, kadar sta mazut in apno slabše kakovosti (preveč žvepla). Zaradi tega mora plavž obratovati tako, da z gotovostjo proizvaja kvaliteten grodelj z največ 0,060 % S. To seveda ni ekonomično. Izračunali smo, da je proizvodnja plavžev za okoli 3 % nižja, kakor je bila pred tem, ko sta obratovala s povprečno višjim žveplom.

Rešitev je v obratovanju plavžev s kislom žlindro, z baziciteto okrog 1,0. Takšno obratovanje daje manjše količine žlindre z nižjo talilno toploto. Rezultat se kaže v manjši porabi koksa in višjem žveplu v grodlju. Grodelj pa je potem treba odžveplati izven plavža v ponovci.

Vpihavanje apna v ponovco s surovim železom skozi posebno sondo

Zaradi že omenjenih težav z žveplom v grodlju in odžveplanjem v jeklarni je bila pred raziskovalni oddelek postavljena naloga, da začne s poskusi odžveplanja grodlja izven plavža. Odločili smo se za vpihavanje fino mletega apna v grodelj, ker je tehnično to najlažje izvedljiv način.

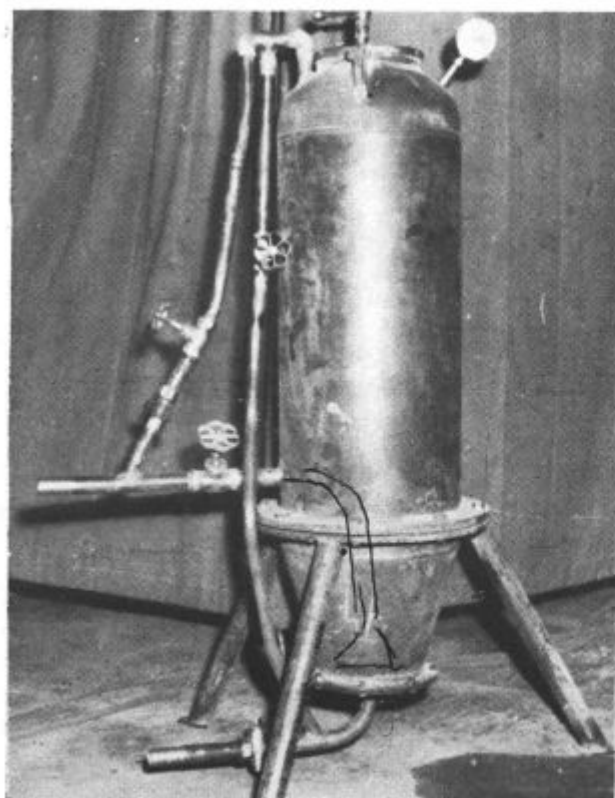
V ta namen smo na našem oddelku izdelali posebno napravo, ki jo v izpopolnjeni obliki prikazuje slika 1.

Posoda ima 80 l prostornine in sprejme do 75 kilogramov apnenega prahu s prostorsko težo 1.

V tej napravi se apno spravi v lebdeče stanje, tvori se nekakšna zmes apnenega prahu in zraka, ki se jo da transportirati in tako vpihati v surovo železo. Zmes fino zmletega apna in zraka se vpihava skozi posebej za to izdelano sondo iz ognjeodpornega betona čim globlje v surovo železo v ponovci. (Glej sliko 2.)

Naša sonda je izdelana zelo enostavno. Cev s premerom $\frac{3}{4}$ " in dolga 2300 mm je na koncu zakrivljena za 90° in zabetonirana v posebnem kalupu z ognjeodpornim betonom. Pri temperaturah do 1400°C je ta ognjeodporni beton zelo dobro obstojen.

Apno naj bi bilo zmleto pod 0,1 mm, kar pa v našem primeru ni bilo mogoče v celoti doseči, ker za mletje apna nimamo odgovarjajočega mlina. Sejalno analizo apna kaže spodnja razporednica:



Slika 1

zrno	%
1,5—1,0	1
1,0—0,5	3,0
0,5—0,1	39,0
0,1—0,0	57,0

Apno je dobavila apnenica Kresnice. Uporabljeno apno je imelo precej visoko žveplo (0,18 %) in včasih tudi precej visok odstotek vlage, kar je odvisno od relativne vlage v zraku in trajanja transporta. Zato smo apno po mletju sušili in



Slika 2

nato pakirali v vreče. Ta embalaža pa ni bila najboljša, ker dopušča navlaženje. V deževnem vremenu je v treh dneh vlaga v apnu narasla od 1 do 3 %. Apno za odžveplanje pa mora biti absolutno suho, ker vlaga pri ekspaniranju v grodlju povzroča močno izmetavanje grodlja.

Zrak za vpihavanje apna mora biti prav tako suh. Znano je, da je zrak v industrijski napeljavi precej vlažen. Te vlage je v suhem vremenu manj in v vlažnem več.

Vlago iz zraka smo očistili v dveh stopnjah. Najprej v grobem čistilcu, tako imenovanem ciklonu, nato pa še v posebnem filtru iz zdrobljenega trdnega natrijevega hidroksida. Pri tem se natrijev hidroksid utekočinja in ga je treba od časa do časa odtočiti skozi pipo na dnu čistilca:

Opis poskusov

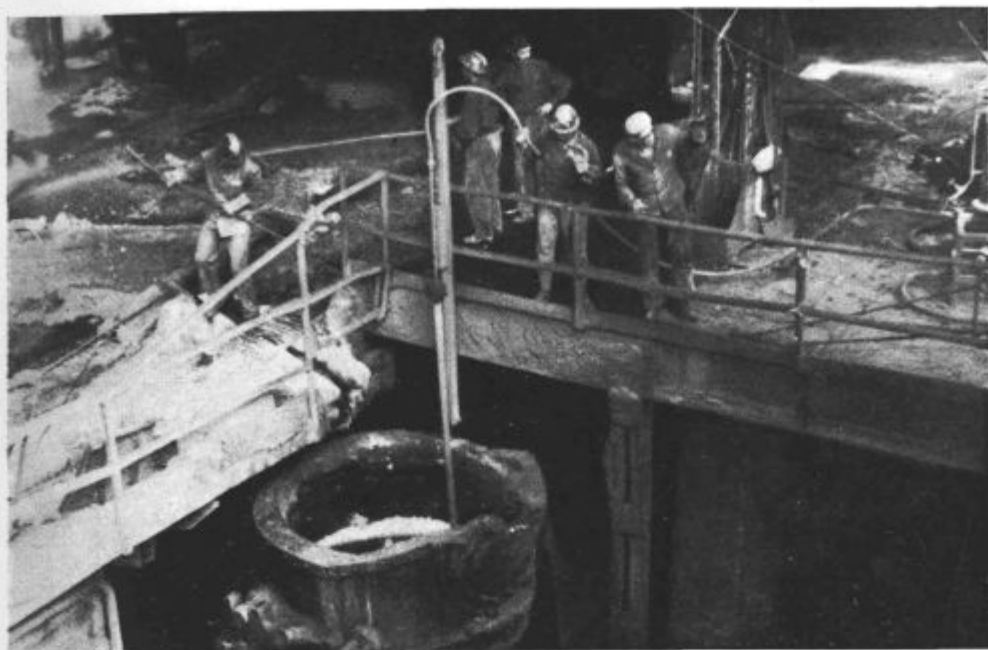
Poskuse odžveplanja smo vršili na plavžu št. 1. Apno smo pihali preko naprave, ki je bila izdelana doma (sl. 3), gumijaste cevi in že prej opisane sonde v grodelj v ponovci. Za spuščanje in dviganje sonde smo izdelali zelo enostavno napravo, ki jo kažeta sliki 3 in 4.

Sonda je narejena tako, da piha v vodoravni smeri. Zaradi reakcije v nasprotni smeri smo jo namestili tako, da je bila s svojim spodnjim koncem naslonjena na steno. Pihali smo vedno 1 m pod talino. Pritisk pri pihanju se je gibal od 2 do 2,5 atm. Hitrost pihanja pa je bila 0,65—0,72 kg/s. Naša poskusna posoda ima prostornino 80 l in smo jo za odžveplanje ene ponovce morali tudi po trikrat napolniti, ker je bila poraba apna pač tako velika. Zaradi tega je bilo pihanje precej zamudno. Težave smo imeli tudi z vzdržnostjo sond. Zaradi močnega tresenja pri pihanju je obloga odpadala, čeprav je ognjeodpornost zelo dobra. Največja vzdržnost, ki smo jo dosegli, je bila šest pihanj. Z boljšo in močnejšo konstrukcijo se bo vzdržnost vsekakor izboljšala.

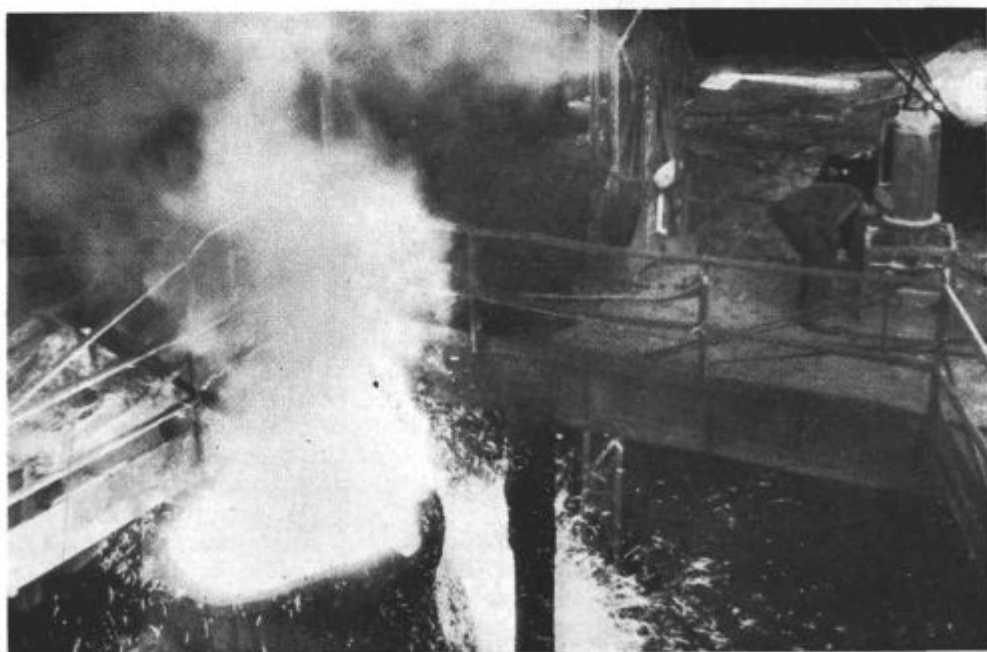
Kadar smo pihali s popolnoma suhim apnom, je površina grodlja le rahlo valovila, izmetavanja železa preko ponovce ni bilo. Če pa je bilo v apnu več kot 2 % vlage, je prišlo do močnega izmetavanja grodlja preko ponovce. V vsakem primeru pa se je med pihanjem razvijala precejšnja količina apnenega prahu. Kako takšno pihanje izgleda, se vidi na sliki 4. Eden od vzrokov za močno prašenje in izmetavanje je tudi prevelika poraba zraka na kg vpihanega apna. Ta je znašala pri opisanih poskusih 50—60 l/kg. Z nekaterimi izpopolnitvami nam je uspelo to količino skoraj petkrat zmanjšati, tako da znaša sedaj od 10 do 15 l/kg.

Rezultati in ocena

Zaradi pomanjkanja apna v prahu, zaradi premajhne posode za apno (samo 80 l) in tudi zaradi prevelikih izgub železa je bilo število poskusov precej skromno. Vendar pa smo se z rezultati lahko prepričali o učinkovitosti tega načina odžveplanja. Rezultati so zbrani v tabeli I.



Slika 3



Slika 4

Št. preboda peči I. in II.		8113	8435	3765	8437	8444
Teža grodlja v ponovci	kg	14300	14000	10000	24000	19000
Poraba apna na t grodlja	kg/t	9	10,7	15,9	11,8	8,8
Žveplo pred odžvepl. S_z	‰	0,088	0,035	0,054	0,062	0,082
Žveplo po odžvepl. S_k	‰	0,040	0,021	0,024	0,031	0,046
$\Delta S = S_z - S_k$	‰	0,048	0,014	0,030	0,031	0,036
Stopnja odžveplanja	$\frac{\Delta S}{S_z}$ ‰	55,0	40,0	55,5	50,0	44,0
Silicij pred odžvepl. Si_z	‰	0,43	0,44	0,59	0,28	0,16
Silicij po odžvepl. Si_k	‰	0,28	0,40	0,49	0,24	0,14
$\Delta Si = Si_z - Si_k$	‰	0,25	0,04	0,10	0,04	0,02
Mangan pred odžvepl. Mn_z	‰	1,48	2,27	2,60	1,72	1,75
Mangan po odžvepl. Mn_k	‰	1,50	2,22	2,50	1,67	1,68
$\Delta Mn = Mn_z - Mn_k$	‰	—	0,05	0,10	0,05	0,07

Tabela I.: Rezultati odžveplanja grodlja z apnom v prahu v ponovci.

Stopnja odžveplanja se giblje od 40—55 ‰ in je razmeroma nizka. To predvsem zaradi tega, ker so tudi začetna žvepla nizka in tudi poraba apna ni bila velika, saj se je gibala od 9 do 15,9 kg/t. Višji odstotek odžveplanja 70 in več procentov se doseže pri porabi apna okrog 15 kg/t pri začetnem žveplu, ki je večje od 0,170 ‰, ali pa z večjo porabo apna 20 in več kg na tono grodlja.

Pri naših poskusih je dosežena stopnja odžveplanja zelo dobra in istovetna s podatki, ki jih navajajo tuji avtorji.

Odgorek na siliciju in manganu je tako majhen, da ga lahko zanemarimo.

Izgube železa so bile precejšnje. Žal jih nismo mogli v celoti zajeti. Nekaj železa namreč obvisi v žlindri, ki se tvori iz vpihanega apna v obliki granalij. Ker je žlindra zelo trde narave, se te granalije ne izločijo in gredo v izgubo. Žlindre, ki smo jo posneli, nismo tehtali, zato nam te izgube niso znane. Drugi del izgub pa gre na račun izmetavanja grodlja. Tega nismo mogli vselej preprečiti, ker so bili ti poskusi izvedeni na improvizirani napravi, kjer ni bilo mogoče regulirati pritiska in količine zraka. Dalje tudi nismo imeli na razpolago dovolj suhega apna in ponovca ni bila pokrita.

Da je tehnologija odžveplanja pravilna, smo nesporno dokazali z našimi poskusi, s katerimi smo potrdili rezultate tujih avtorjev. Pri nadaljnjih poskusih bo treba stremeti za tem, da bomo izgube železa zmanjšali na minimum. To pomeni, da moramo, prvič: preprečiti obvisenje granalij železa v žlindri; in drugič: preprečiti moramo izmetavanje grodlja s pihanjem pri najnižje možnem pritisku z najmanjšo možno količino zraka pri pokriti ponovci.

Gospodarnost postopka

Obratovanje plavžev z nižjo baziciteto pri razmerju $CaO/SiO_2 = 1$ je rentabilno. To je dokazano. Prihranek na koksu in višja proizvodnja še bolj znižata proizvodne stroške na 1 tono surovega železa, kakor znesejo stroški odžveplanja grodlja izven plavža.

Ali pa se bo ta postopek uvedel tudi pri nas, je odvisno od sredstev, ki bodo na razpolago. Dobra volja še ni dovolj. Naprave za mletje apna in odžveplanje grodlja so obsežne in drage.

Poskusi uporabe apna v prahu na elektro peči

Znano je, da se na modernih elektro pečeh velikih zmogljivosti dandanes vedno bolj uvaja oziroma izključno uporablja le apno v prahu.

Apno v prahu ima pred kosovnim določene prednosti:

1. Ker je drobno mleto (pod 100 mikronov) se zelo hitro raztopi v žlindri in hitreje reagira, kar ima za posledico večjo produktivnost (prihranek na času).
2. Apno se melje takoj ko pride iz peči. Prevaža se v zaprtih posodah, pnevmatsko presipava s suhim zrakom in ima zato minimalne količine vlage. Analogno je tudi delež vodika v jeklu znatno nižji.
3. Poraba apna na tono jekla zaradi boljšega izkoriščanja znatno pade.
4. Pri mehaniziranem dodajanju apnenega prahu se zmanjša poraba delovne sile.

V svetu sta sedaj v rabi dva načina dodajanja apna:

1. Dodajanje apna v prahu na talino s posebno aparaturo (Hoesch — Westfahlen Hütte)
2. Injiciranje apna v talino (IRSID — postopek).

Prvi način dodajanja apna na talino je mogoč samo s takšno aparaturo, kjer je količina zraka, ki je potrebna za transport enega kilograma prašnatega materiala tako majhna, da ne povzroča prašenja. Seveda je tudi nadpritisk, s katerim izteka material iz cevi, minimalen in le tako velik, da premaguje upore v cevi.

Mi smo lahko delali le po drugem načinu, ker je aparatura (glej slika 1) grajena tako, da zahteva večje količine zraka za transport prašnatega materiala. Nadpritisk v loncu je bil 3 atn. Pihalo se je skozi $\frac{3}{4}$ " cev.

Zaradi pomanjkanja apna v prahu smo poskuse lahko izvedli le v omejenem številu.

		E 1864	T 7561	T 7561	T 7562	T 7562	T 7563	T 7563
		1	1	2	1	2	1	2
Žveplo pred pihanjem	%	0,049	0,069	0,040	0,068	0,040	0,053	0,029
Žveplo po pihanju	%	0,029	0,040	0,027	0,040	0,032	0,032	0,016
Odžveplanje A S	%	0,020	0,029	0,013	0,028	0,008	0,021	0,013
Stopnja odžveplanja	%	41	42	37	41	20	40	45
Poraba apna na tono jekla	kg/t	8	31	15	15	13	16,5	33

Za prvi poskus pihanja apna v jeklo pri šarži E 1864 nas je presenetil. V nekaj minutah, kolikor je trajalo pihanje, smo dosegli znižanje žvepla od 0,049 na 0,020 ali za 41 % pri 8 kg vpihanega apna na tono jekla. Stopnja odžveplanja je zelo dobra in je ekvivalentna rezultatom pri odžveplanju grodlja. Dobro odžveplanje pri tej šarži si lahko razlagamo z razmeroma dobro granulacijo apna (59 % zrna pod 0,1 mm), dočim je zrnatost pri naslednjih šaržah precej slabša (samo 37 % zrna pod 0,1 mm), kar se tudi odraža na relativno slabši stopnji odžveplanja glede na večjo porabo apna na tono jekla.

S temi poskusi smo tudi ugotovili, kako važen je način dodajanja apna v manjših porcijah. Pri šarži T 7561 smo namreč vpihali 31 kg apna na tono jekla naenkrat, pa se je naredila trda skorja apna in železa, ki jo je bilo treba ponovno raztaliti. Pri naslednjih dveh šaržah T 7562 in T 7563 smo apno dodajali v polovico manjših porcijah po 13 do 16,5 kg/t jekla. Apno se je že v nekaj minutah popolnoma razkrojilo v žlindri. Lahko zopet dodamo novo porcijo. Zaradi tako hitrega reagiranja apna teče odžveplanje znatno hitreje, rafinacija se močno skrajša.

Zaključek

S temi poskusi smo dokazali prednost uporabe apna v prahu v primerjavi s kosovnim apnom, predvsem v pogledu hitrega reagiranja in učinkovitega odžveplanja. Če bi hoteli dokazati manjšo porabo apna v prahu in znižanje vodika v jeklu, bi morali dlje časa obratovati izključno samo z apnom v prahu, kar pa pri današnjih razmerah ni mogoče.

Po podatkih tujih avtorjev se pri obratovanju z apnom v prahu

— 1. skrajša čas rafinacije povprečno za 30 min.,

- 2. povečanje vodika v jeklu na prehodu iz oksidacijske na rafinacijsko žlindro je za 50 % manjše kakor pri kosovnem apnu in
- 3. potreba po delovni sili se zaradi mehaniziranega dodajanja apna v prahu zmanjša za 1 moža na dnino.

Poskusi naogljčenja na 8 t elektro peči

Do sedaj običajni način naogljčenja jekla na elektro peči je takle: Iz jekla se posname žlindra; na golo kopel se nameče potrebna količina karborita (zmlete elektrode) z okoli 90 % ogljika. Karborit se z železnimi palicami zabije. Nato se naredi rafinacijska žlindra. Ta operacija je zaradi vlečenja žlindre zelo zamudna. Če je potrebna korektura ogljika, se to lahko stori, ali s pomakanjem elektrod, kar je zamudno, netočno in predvsem predrago, ali pa s ponovnim vlečenjem žlindre in naogljčenjem na golo kopel.

Naogljčenje z vpihavanjem zmletega karborita pa je silno enostavno, zelo hitro in točno. Razen navedenih ima še eno veliko prednost — naogljčenje je možno tudi pod žlindro. Če zaradi same tehnologije izdelave jekla ni treba vleči žlindre, je prihranek na času pri naogljčenju z injiciranjem karborita zelo velik, lahko računamo najmanj 30 minut.

Pri naših poskusih smo uporabljali posušeni karborit. Pri prvih treh šaržah smo pihali v golo kopel, kasneje pa samo pod žlindro. Pri vseh poskusih smo pihali z osušenim zrakom skozi 3/4" cev iz posode, ki jo kaže sl. 1. Pritisk v posodi je bil 3 atm. Pihanje je bilo izredno hitro. Pri dobro presejanem in suhem karboritu je znašala hitrost 0,82 do 0,86 kg/s.

Rezultate prikazuje tabela III.

Štev. šarže	Teža vložka t	predpis %	Ogljik pred pih. %	po pih. %	Naogl. ΔC %	Poraba za chg kg	karbor. za 0,01 % C kg/točko	Izkoristek ogljika
E 1834	8,8	0,75—0,85	0,17	0,81	0,64	74	1,15	95
E 1838	8,8	0,78—0,82	0,32	0,79	0,47	50	1,06	100
E 1847	8,8	0,78—0,82	0,09	0,80	0,71	76	1,07	100
E 1852	8,8	0,78—0,82	0,07	0,72	0,65	78	1,20	90 +
E 1852	8,8	0,78—0,82	0,72	0,78	0,06	8	1,33	81
E 1856	8,8	0,78—0,82	0,06	0,87	0,81	88	1,09	99
E 1860	8,8	0,78—0,82	0,07	0,75	0,68	79	1,16	94
E 1864	8,8	0,78—0,82	0,17	0,79	0,62	70	1,13	96
E 1868	8,8	0,78—0,82	0,70	0,80	0,10	11	1,10	98
E 1876	8,8	0,30—0,37	0,26	0,34	0,08	17	1,13	96
E 1881	8,8	0,30—0,37	0,15	0,30	0,15	8	1,0	100
E 1885	8,8	0,17—0,22	0,13	0,18	0,05	7	1,4	77 +
E 1890	8,8	0,31—0,37	0,20	0,34	0,14	15	1,07	100

Tabela III.: Poskusi naogljčenja na 8 t elektro peči

+ Izkoristek je slabši zaradi večjih izgub karbonita pri pihanju. Navedeni so rezultati naogljčenja šarž s pihanjem zmletega karborita v jeklo.

Rezultati so zelo dobri, dokazujejo veliko točnost tega načina naogljčenja in visok izkoristek ogljika.

Topnost ogljika v jeklu je močno odvisna od njegove temperature, in sicer narašča z naraščanjem temperature. Pri naogljčenju hladnega jekla je izkoristek ogljika zelo slab. Ko smo skušali naogljčiti šaržo takoj po raztalitvi, smo porabili tudi do 2,6 kg karborita za 0,01 % C v jeklu, kar je komaj 40 % izkoristek. Poskusi so tudi pokazali, da je topnost ogljika večja pri nižjih procentih C kakor pri višjih. Vendar razlika do enega procenta ogljika v jeklu ni velika.

Zaključek

Za te poskuse lahko rečemo, da so bili uspešni. Dokazali smo, da je mogoče spremeniti tehnolo-

Rezultate prikazuje tabela IV.

Rezultati poskusov nažveplanja navadnega in avtomatskega nerjavečega jekla:

gijo naogljčenja in doseči znatno skrajšanje rafinacije. Ta način naogljčenja v praksi ne bo težko vpeljati, ker je zelo hiter, enostaven, zanesljiv in manj naporen. Le napravo bo treba izpopolniti, spojit s silosom in postaviti na tehtnico, da ne bo ročnega polnjenja in tehtanja, ker se pri tem razvija preveč prahu.

Poskusi nažveplanja navadnih in nerjavečih avtomatskih jekel z injiciranjem

Avtomatska jekla se legirajo z žveplom tako, da se žveplov cvet (žveplo v prahu) meče v papirnatih vrečah v curek med prebodom. Ta način nažveplanja pa je močno odvisen od načina metanja v curek in je večkrat zvezan z velikimi odgoriki. Zato nas je zanimalo, kašen bo efekt nažveplanja s pihanjem žvepla direktno v talino. Žveplo smo pihali z že v prejšnjih poglavjih opisano napravo s pritiskom 1,5 do 2 atm skozi $\frac{3}{4}$ cev.

Pri prvi šarži smo pihali žveplo v peč. Pokazalo se je, da ta način ni primeren, ker se skoraj polovica žvepla veže na žlindro. Izkoristek je bil zelo slab, saj je odgorelo v peč kar 40 % žvepla.

Pri naslednjih štirih šaržah smo pihali žveplo v ponovco.

Sarža		7589	7619	7625	7728
Kvaliteta		Č 1190	Č 1290	Pr 11 S	Pr 11 S
Žveplo pred prebodom	%	0,011	0,022	0,025	0,017
Žveplo po pihanju	%	0,305	0,198	0,200	0,172
Količina žvepla	kg	6,7	4,75	4,0	3,9
Količina žvepla	%	0,344	0,250	0,222	0,210
Skupno žveplo rač.	%	0,356	0,272	0,247	0,227
Odgorek žvepla	%	0,050	0,074	0,047	0,055
Izkoristek žvepla	%	85,6	73,0	81,0	76,0

Tabela IV:

Poskusi so popolnoma uspeli. Pokazalo se je, da je izkoristek žvepla močno odvisen od načina pihanja. Ker so se ti poskusi vršili na mali elektro peči s težo šarže okrog 1850 kg, je bilo pihanje žvepla v tako majhno ponovco med prebodom, ki traja samo okrog 30 do 40 sekund, zelo težavno. Pihanje žvepla, ki je moralo biti dobro suho, je trajalo 15 do 20 sekund. Če v tem kratkem času cev zaradi odgorevanja samo za trenutek ni po- topljena v jeklo, ali da curek padajočega jekla pretali cev, že nastanejo znatne izgube na žveplu, kar je bil slučaj pri šaržah T 7619 in T 7728.

Zaključek

1. Pihanje v ponovco bo po dosedanjih izkušnjah laže izvedljivo na večjih ponovcah.
2. Napravo za pihanje bo treba izpopolniti, tako da bo količina zraka za transport žvepla čim manjša, da se brizganje jekla zmanjša na minimum.
3. Cev naj bo po možnosti izolirana, da se prepre- či odgorevanje cevi.
4. Zrak bo treba zamenjati z dušikom, čim ga bo na razpolago v zadostni količini, da se prepreči vsaka oksidacija jekla.

Literatura:

1. Rev. Metalurg. Mem. 53 (1956), str. 388/99
2. Stahl u. Eisen 83 (1963) 270/81.

Odgovorni urednik: Joža Arh dipl. inž. — Člani: Stanko Čop dipl. inž., Leon Mesarič dipl. inž., dr. inž. Marin Gabrovšek, Franc Vilman dipl. inž., Anton Grošelj, Joža Kramar dipl. inž., Teodor Okrožnik, Janez Bidovec dipl. inž., Avrelij Ravnik, prof. Bratko Škrlj, Edo Žagar.

Tisk: CP »Gorenjski tisk«, Kranj