

Prispevek k problemu izdelave jekel z majhno vsebnostjo ogljika

UDK: 669.187.25:669.14.018.5
ASM/SLA: D5, ST-f, CN-g

Joža Arh

Prispevek obravnava probleme, ki nastopajo pri izdelavi jekel z zelo majhno vsebnostjo ogljika, ki so legirana s silicijem in aluminijem. Težave so predvsem pri vodenju in kontroli oksidacije na meji ravnotežja pri majhnih vsebnostih ogljika.

Kako zagotoviti majhno vsebnost plinov in zadostno čistočo po oksidaciji, kar sta zelo pomembna vplivna dejavnika pri klasični izdelavi in nazadnje rafinaciji in odžveplanje v ponovci, osnovne pogoje za to, dosežene uspehe in meje, ki so takšni klasični tehnologiji postavljene.

UVOD

Pri tem gre za jekla z zelo majhno vsebnostjo ogljika od 0,02 do 0,03 %, legirana s silicijem in aluminijem za elektrotehnične pločevine.

Tako nizke vsebnosti ogljika v jeklih, ki so izdelana na klasičen način, torej le v peči, so med množico raznovrstnih jekel nekaj izjemnega. Za proizvajalca jekla pomeni takšna sestava zelo stroge, težko dosegljive zahteve in vodenje oksidacije na meji ravnotežja, kar pa pri naši vizuelni kontroli ni mogoče zanesljivo kontrolirati. Le temeljita tehnična opremljenost, to je možnost natančnega doziranja potrebne količine kisika za oksidacijo, in kontrola stopnje oksidacije, to je merjenje aktivnega kisika, bi lahko omogočila večjo natančnost zadetka ogljika pri oksidaciji in obenem zmanjšala možnost preoksidacije taline.

Tehnologijo za izdelavo teh jekel smo sicer kupili, vendar le-te nismo mogli direktno uporabiti, ker je bil jeklarski del prirejen za izdelavo s pomočjo vakuumске metalurgije v DH napravi, in sicer za degazacijo in dezoksidacijo pri normalni vsebnosti ogljika ter za razogljčenje v vakuumu pri vsebnosti ogljika okrog 0,01 % in manj.

Tehnologijo izdelave smo morali zato prikrojiti našim razmeram. V glavnem smo imeli z izdelavo teh jekel vsa leta veliko težav. Tehnologije nismo imeli nikoli »v rokah«, torej ni bila nikoli toliko dognana, da bi nam zagotavljala normalen izkoristek. Jekla nismo mogli nikoli dovolj očistiti velikih količin dezoksidacijskih produktov, ki nastajajo pri legiranju s Si in Al, zato je bilo vlivanje izredno težavno, vezano s stalnim mašenjem izlivkov (šmiranjem) in slabim vlivanjem. Posledice slabega vlivanja pa so nam vsem znane, to pa je trganje blokov pri valjanju, oziroma slab izkoristek pri direktnem valjanju bram v toplovaljane trakove.

Vendar je bil tak način dela nujen, če smo hoteli znižati žveplo in napraviti dobro jeklo. Livnost jekla pa je bila vsem ukrepom navkljub slaba, temperatura jekla je morala biti visoka, da je jeklo sploh teklo. Tako je znašala temperatura jekla v ponovci 120 do 130° C nad tališčem, kar je nenormalno visoko. Posledica je bila pretežno transkristalna struktura bloka, deloma brez globulizirane cone na robu, kar je povzročalo pogosto trganje blokov pri valjanju in visok izmeček, še posebno v vročih poletnih mesecih (vroče kokile). Zaradi visokih temperatur vlivanja pa se mnogo bram ni dalo stripati, ker je jeklo zajedlo kokilo. Četudi smo brame v jeklarni izbili iz kokile, je bil to izmeček, ker tega jekla v hladnem stanju ne moremo ogreti in valjati.

V letu 1981, to je v zadnjem letu pred spremembno tehnologijo, je znašal izmeček zaradi trganja blokov pri valjanju 4,4 %
neslečenih blokov 1,65 %
Skupni izmeček 6,05 %

Ta zelo visoki izmeček, nedoseganje proizvodnje in slaba vzdržnost peči kot posledica dolgega zadrževanja jekla v peči pri visoki temperaturi, so

nas vodili k nujni spremembi tehnologije, ki bi morala biti krajša, da bo mogoča večja in boljša proizvodnja, da bo izmeček manjši.

Predvsem je bilo treba zagotoviti boljšo čistočo jekla in znižati temperaturo vlivanja, s čimer vplivamo na izoblikovanje normalne makrostrukture bloka z dovolj debelo globulitično cono, kar edino lahko zagotovi valjanje blokov direktno v trak, to je dobro plastičnost v vročem.

Kaj se dogaja in kako poteka oksidacija jekla, ki naj ima 0,02 % C

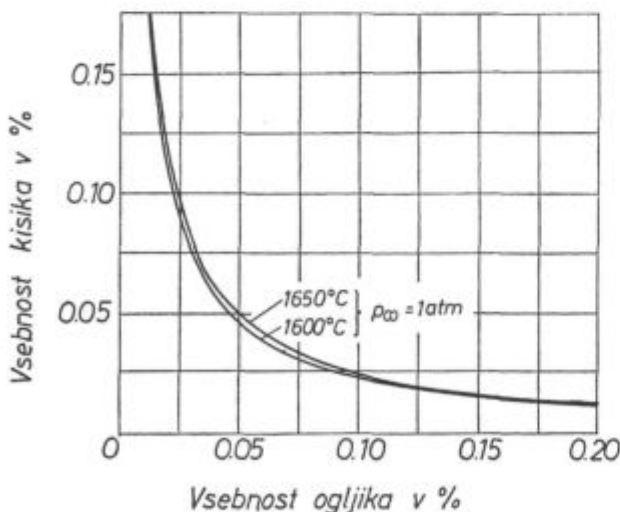
Glavni namen oksidacije je znižati vsebnost ogljika na 0,02 %, odstraniti pline iz jekla (H_2 , N_2) ter oksidacijske produkte taljenja in oksidacije. Vse to se da odstraniti le preko CO reakcije. Če naj dosežemo v talini nizko vsebnost dušika, ki je za to vrsto jekla predpisana, in talino očistimo produktov oksidacije, mora le-ta dovolj dolgo in intenzivno kuhati, za kar je potrebno vsaj 0,5 % C v talini pred oksidacijo.

Kaj se med oksidacijo dogaja, prikazuje ravnotežni diagram na sliki 1 za ravnotežje med C in O pri 1650° in 1600° po E. Schürmanu in sodelavcev.

Za to ravnotežje velja, da je produkt $[C] \times [O]$ po H. C. Vacker in E. H. Hamiltonu [% C] [% O] = $2,5 \times 10^{-3}$ pri $p_{CO} = 1$ b

Ta produkt zelo dobro velja prav pri majhnih vsebnostih ogljika, to je pri jeklih, o katerih teče beseda.

Iz diagrama na sliki 1 vidimo, da je temperaturna odvisnost ravnotežja med ogljikom in kisikom zelo majhna, kar potrjujejo podobni diagrami, ki so narejeni za višje temperature, do 1800° C.



Slika 1

Ravnotežni diagram C-O po F. Schürmanu in P. Hadjisarovu 1)

Fig. 1

Carbon — oxygen equilibrium (according to E. Schürmann, P. Hadjisarov)

Iz tega diagrama lahko razberemo, da bomo imeli pri 0,03 % C 700 ppm [O] in pri 0,02 % C že 1250 ppm [O], kar je pomembna razlika. To potrjuje tudi termodinamična analiza reakcije $C + O = CO$ B. Koroušiča 2)

Razlike pa so, odvisno od razpona ogljika, lahko še večje. Praktične meritve so pokazale, da se giblje vsebnost aktivnega kisika od 600 pa do 1500 ppm.

Oksidacijska reakcija, razvijanje CO, z zniževanjem ogljika pojenjuje in se pri 0,03 % C in 1 b pritiska približa ravnotežju, kar pomeni, da kuhanja taline ni več. To pa je tudi zunanji znak, da oksidacijo ustavimo.

Izkušnosti in presoji talilcev je prepuščeno, kdaj prenehajo pihati kisik. Ker gre za čisto vizuelno oceno in ker obenem pihamo velike količine kisika okoli 0,35 Nm³/t min., zelo hitro pristanemo zunaj ravnotežja, ko se ogljik le počasi oksidira, v jeklu pa hitro raste vsebnost kisika, ker se oksidira železo.

Poznavanje osnov vakuumske metalurgije nam to stanje potrjuje. Le zniževanje parcialnega tlaka CO lahko reakcijo $C + O = CO$ požene v desno in prepreči preoksidacijo taline.

Oksidacija ob tako labilnem ravnotežju, oziroma balansiranje okrog tega ravnotežja je metalurge v svetu že pred skoraj dvema desetletjema privedla do spoznanja, da takšno delo ne more biti dobro in ekonomično, ker je riziko prevelik. Pri izdelavi jekel z 0,02 % C ali manj, kot so posebna jekla za globoko vlečenje in za elektro pločevino, se je zlasti v zahodnem svetu uveljavilo razogljičenje in dezoksidacija v vakuumu kot najbolj smotrna tehnologija.

Kako izboljšati tehnologijo v naših razmerah?

Jeklarji smo se, zavedajoč se bistva težav: maščenja izlivkov, nečistega jekla in posledic, to je velikega deleža izmečka, iskali možnost za izboljšanje obstoječe tehnologije.

Rešitev je bila, dokler ne bo zgrajena vakuumsko naprava, ena sama, in to sekundarna obdelava jekla v ponovci.

Konec leta 1981 smo začeli v elektro jeklarni postopno uvajati prepričevanje jekla z argonom skozi porozne kamne v dnu ponovce. Skupaj z dolomitno obzidavo ponovc in uvedbo drsnega zapirala, ki smo ju uvedli že pred tem, so bile s tem dane osnove za sekundarno obdelavo jekla v ponovci. Takoj se je pokazala razlika v livnosti jekla med šaržami, ki so bile prepričane z argonom, in neprepričanimi.

Potem, ko smo imeli na razpolago dve ponovci, opremljeni z argonskimi kamni, je lahko v januarju 1982 nova tehnologija stekla. Sedaj v peči vložek le še raztalimo in oksidiramo v željene meje od 0,02 do 0,03 % C. Seveda v peči še vedno

veljajo vsi zakoni klasične metalurgije, če jekla v ponovci ne podvržemo vakuumski obdelavi ali obdelavi z vpihovanjem CaSi.

Ogljik naj bo na začetku oksidacije dovolj visok, da lahko znižamo pline v jeklu in jeklo obenem očistimo nečistoč, oziroma produktov oksidacije.

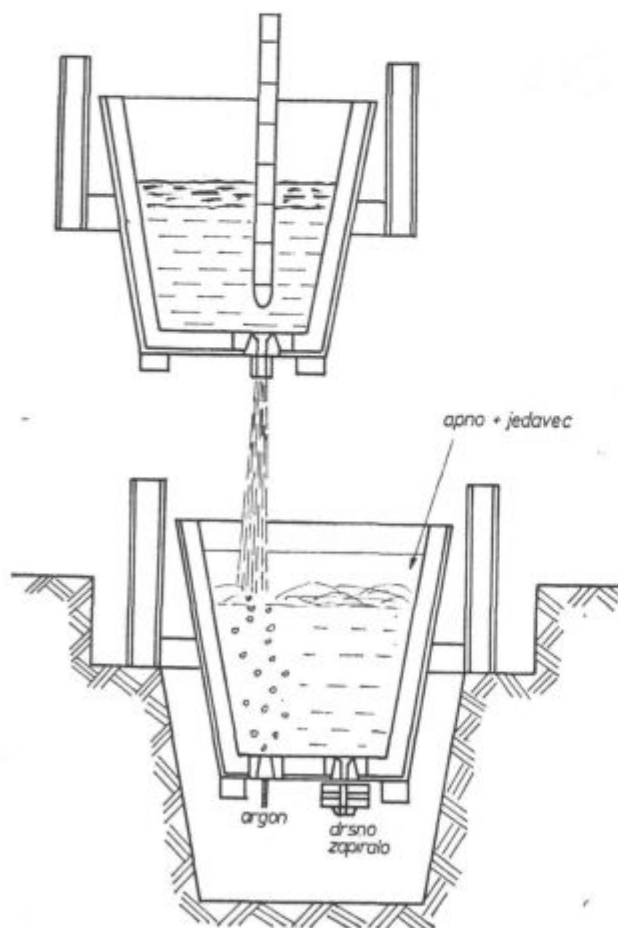
Zadostno vsebnost ogljika je treba zagotoviti z vložkom, bodisi z grodljem ali, če tega ni, z drugimi sredstvi za ogljičenje.

Oksidacija naj teče pri temperaturi, ki je ves čas za 120 do 150°C nad tališčem jekla; na začetku nižja, na koncu višja. Fluidnost jekla je za čiščenje, oziroma flotacijo nečistoč izrednega pomena.

Zagotoviti je treba zadostno bazičnost žlindre z dodajanjem apna, in sicer zaradi čuvarja stene peči, pa tudi zaradi zmanjševanja aktivnosti FeO v žlindri, in to v času taljenja, oksidacije in po oksidaciji do preboda.

Kisik je treba pihati tako, da odteče večji del prve žlindre, ki vsebuje tudi ves oksidirani silicij iz vložka, ki ga je pri naših razmerah lahko precej.

Z ustrezno obliko prebodne odprtine je treba preprečiti mešanje jekla in žlindre med prebodom.



Slika 2

Prikaz ločenja jekla od žlindre s prelivanjem

Fig. 2

Presentation of separation steel from slag by pouring over

Ločenje jekla od oksidacijske žlindre je važen pogoj za rafinacijo jekla v ponovci. Izvedemo ga s prelivanjem jekla iz ene ponovce v drugo, kakor prikazuje slika 2. Prva ponovca je zato šamotna z zamašnim drogom, druga ponovca, v katero jeklo prelijemo, pa je obzidana z dolomitom, opremljena z drsnim zapiralom in argonskim kamnom.

Legiranje in odžveplanje izvedemo v drugi ponovci z belo rafinacijsko žlindro. Obenem z rafinacijo nastavimo željeno livno temperaturo. Po obveznem mirovanju taline jeklo odlijemo v kokile.

Kratek opis sekundarne rafinacije jekla

Uvod v sekundarno rafinacijo je predeoksidacija jekla v prvi ponovci z 1,3 kg Al/t in delnim legiranjem s FeSi. Dodana količina aluminija ravno zadošča za vezavo, oziroma obarjanje kisika, ki ga jeklo prinese s seboj iz peči. Močno turbulentno gibanje jekla v času preboda poskrbi za dobro izločanje dezoksidacijskih produktov. Pri tem zaradi dezoksidacijskih reakcij in topilne toplote Si naraste temperatura v prvi ponovci. Prirastek temperature jekla je različen, odvisen je od stopnje oksidiranosti taline in od tega, ali se žlindra meša z jeklom ali ne. V povprečju je temperatura jekla v prvi ponovci večja od temperature jekla pred prebodom, in sicer za 40°C.

V času prelivanja v drugo ponovco jeklo dokončno legiramo s silicijem in aluminijem. Skupaj s potrebnimi legurami smo dali v ponovco tudi 4 do 5 kg apna/t jekla. Apno je mleto v prah. Z apnom damo tudi jedavec, da dobimo tekočo žlindro že na začetku prelivanja. Ves čas prelivanja, ki traja 8 minut, močno prepihujemo z argonom (pritisk 5 b), da tako dosežemo maksimalni možni kontakt tekoče bazične žlindre in jekla. Takšno močno mešanje jekla in žlindre, kot je sicer značilno za konvertorje, je možno, dokler ponovca še ni polna in je talina tudi zaščiten s plini, ki pri tej rafinaciji nastajajo. Proti vrhu ponovce pihanje umirimo tako, da talina le še rahlo valovi. Vse rafinacijske reakcije so potekle v času prelivanja. Pri nadaljnjem prepihanju taline vsebnost žvepla le še malo pade. Argon pihamo do željene temperature za livanje, ki je 70 do 80°C nad tališčem in je za 30 do 40°C nižje kakor pri stari tehnologiji. V povprečju traja prepihanje 20 minut, poraba argona pa znaša 70 do 100 l/t jekla.

REZULTATI

Za oceno tehnologije bomo uporabili vsebnost žvepla v končni sestavi in stopnjo odžveplanja v času sekundarne rafinacije v dugi ponovci med prelivanjem jekla.

Za primerjavo uspešnosti nove tehnologije vzemimo rezultate iz leta 1981, to je leto pred uvedbo te tehnologije.

Tabela 1: Vsebnost žvepla v končni analizi v letu 1981

Število šarž (junij, julij, avgust)	n = 187
srednja vrednost	X = 0,0142 %
standardni odklon	S = 0,0045 %

Analiza vzrokov za izmeček

Da bi prišli do pravih vzrokov, ki povzročajo izmeček, smo v okviru posebne naloge temeljito analizirali z matematično-statističnimi metodami vzroke nastajanja razpok pri valjanju blokov v slabe 3). Regresijska analiza rezultatov za preteklo leto in prva dva meseca letošnjega leta (1983) je dala zelo različne rezultate po mesecih in za celo leto. Pojasnilo upoštevanih vplivnih dejavnikov po posameznih mesecih je različno. Glavni vplivni dejavniki so od meseca do meseca različni. Skupna korelacija za celo analizirano obdobje je majhna, tako da ni mogoče najti res pomembnih vplivnih dejavnikov, ki povzročajo trganje blokov. Iz tega lahko tudi sledi, da so vzroki za trganje mnogo bolj kompleksni, kot jih je omenjena naloga zajela.

V tem delu pa smo skušali z enostavno analizo stanja ugotoviti, v katerih primerih nastaja največ izmečka, oziroma kakšna tehnologija daje najmanj, da bi v bodoče lahko razmere izboljšali.

Rezultati v tabeli kažejo število raztrganih slabov in delež glede na odlito število blokov ter skupni izmeček, izražen tudi v procentnem deležu.

Na enak način je prikazano število šarž, ki niso prepahane z argonom, in število šarž, ki ob raztalitvi niso imele več kot 0,30 % C, ki torej niso

vsebovale zadostne in potrebne količine ogljika. Do takšnih mehkih raztalitev pride največkrat zaradi tega, ker v vložku ni predpisane količine grodlja, dodatek drugih sredstev za ogličenje pa je bil premajhen.

V spodnjem delu tabele pa so prikazane le šarže, ki niso vsebovale dovolj ogljika ob raztalitvi, s pripadajočim številom raztrganih slabov in izmečkom zaradi trganja.

Ugotovimo lahko, da izmeček zaradi trganja slabov ni mnogo manjši, kot je bil še pri stari tehnologiji, da pa prispevajo glavni delež k izmečku šarže, ki imajo premalo ogljika, v aprilu celo 58 % vsega izmečka.

V tabeli 3 prikazujemo vpliv prepihovanja z argonom na razpoke in izmeček. Obdelane so le šarže, ki so bile zanesljivo prepahane z argonom. Primerjava s tabelo 2 kaže, da je manjše število raztrganih slabov od skupnega števila, pa tudi izmeček, ki je za 0,6 % manjši.

V tabeli 4 so prikazane šarže, ki so imele ob raztalitvi 0,30 % C in manj. Izmeček je kar za 2 % večji, kot je povprečje, kar dovolj zgovorno dokazuje, da so mehke raztalitve glavni krivec za izmeček, seveda ob dejstvu, da znaša delež teh šarž skupno kar 26 %.

Skoraj v celoti je odpadel izmeček zaradi nestrganih blokov. Tega pojava praktično ni več, kar je ugodna posledica nižjih temperatur vlijanja.

Vpliv izdelave jekla na stopnjo odžveplanja

Stopnja odžveplanja je zanesljiv kazalec kvalitete jekla in dela. Žveplo pade lahko le, če je aktivnost kisika v žlindri in v jeklu majhna.

Tabela 2: Prikaz rezultatov od septembra 1982 do maja 1983

	Sept. Kom. %	Oktober Kom. %	November Kom. %	December Kom. %	Januar Kom. %	Februar Kom. %	Marec Kom. %	April Kom. %	Maj Kom. %	Skupaj Kom. %
odlito blokov	453	559	308	467	296	697	635	624	530	4569
raztrg. slabi	65 14,4	60 10,7	65 21,1	36 7,7	38 12,8	123 17,7	231 36,2	124 20,2	44 8,3	785 17,2
izmet	17 3,7	19 3,4	28 9,1	12 2,4	9 3,3	46 6,6	34 5,35	24 3,85	7 1,3	196 4,3
neprep. z arg.	25 42	25 34,7	41 100	12 20	7 18,5	19 21,6	6 7,3	9 11,3	10 14,7	154 26,2
mehke razt.	16 27	8 11,0	11 27,0	14 23,4	8 21,0	19 21,6	25 30,4	42 53	10 14,7	153 26,0
raztrg. a	22 4,9	11 1,97	12 3,9	13 2,4	6 2,03	42 6,0	69 11,0	78 12,5	12 1,5	265 5,56
slabi b	34 18,3	11 18,3	12 19,5	13 36,0	6 15,8	42 32,6	69 30,0	78 58,0	12 18,0	265 32,6
izmet a	8 1,76	2 3,6	6 1,9	5 0,87	2 0,67	20 2,9	13 2,05	16 2,5	2 0,38	74 1,6
c	8 4,7	2 10,5	6 21,5	5 4,2	2 22,0	20 43,5	13 38	16 66,5	2 66,6	74 38,6

a procentni delež glede na število vlitih blokov

b procentni delež od raztrganih slabov

c procentni delež od skupnega izmečka

Tabela 3: Vpliv prepihanja z argonom na raztrganine — izmet

Prepih. z arg.	Sept. Št. %		Oktober Št. %		December Št. %		Januar Št. %		Februar Št. %		Marec Št. %		April Št. %		Maj Št. %		Skupaj Št. %	
Štev. blokov	239		374		371		234		610		566		561		450		3405	
Raztrgani	25	10,5	45	12	23	6,2	33	14,0	91	14,9	178	30,9	115	20,5	36	8	546	15
Izmet	9	3,8	9	2,4	9	2,43	7	3	41	6,7	28	4,9	20	3,5	1	0,22	124	3,6

Tabela 4: Prikaz rezultatov šarž, ki so raztalile z manj kot 0,30 % C

Mehke raztal.	September Št. %		Oktober Št. %		November Št. %		December Št. %		Januar Št. %		Februar Št. %		Marec Št. %		April Št. %		Maj Št. %		Skupaj Št. %	
Štev. blokov	119		60		82		108		63		150		194		331		78		1185	
Raztrgani	22	18,5	11	18,3	12	14,6	13	12,0	6	9,5	42	28,0	69	35,4	78	23,6	12	15,2	265	22,3
Izmet	8	6,7	2	3,3	6	7,3	5	4,6	2	3,2	20	13,2	13	6,7	16	4,8	2	2,5	74	6,2

V nadaljnjem prikazujemo stopnjo odžveplanja po mesecih in primerjamo le to s šaržami, kjer so se bloki trgali, in tistimi, kjer se bloki niso trgali.

V tabeli 5 je prikazana stopnja odžveplanja za štiri mesece v letu 1982 in pet mesecev v letu 1983 ter še za posamezne mesece od januarja do maja leta 1983, in to posebej za šarže, ki so obdelane z argonom, in za šarže, pri katerih argonski kamen ni deloval.

Razlika v stopnji odžveplanja je očitna, obdelava jekla z argonom zanesljivo poveča stopnjo odžveplanja. Zanesljivost delovanja argonskega kamna je v tem letu tudi mnogo večja, kot je bila v preteklem letu.

V naslednji tabeli pa prikazujemo stopnjo odžveplanja posebej za šarže, kjer so se bloki trgali, in za šarže, kjer se bloki niso trgali in sicer za mesec januar—maj 1983.

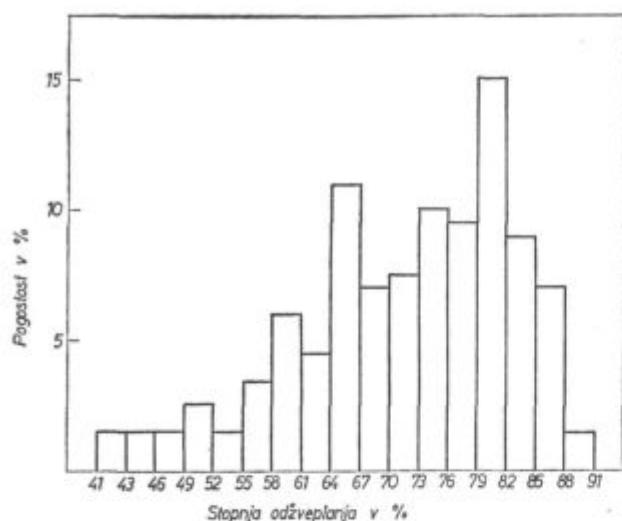
Iz tabele 6 vidimo, da je stopnja odžveplanja pri šaržah, kjer se bloki trgajo, manjša in raztros večji kot pri tistih, kjer se ne trgajo. To dokazuje, da je za trganje kriva izdelava jekla, oziroma čistoča jekla, ki smo jo dosegli.

V neposredni zvezi s stopnjo odžveplanja je vsebnost žvepla v končni analizi. Porazdelitev žvepla skupaj za 3 mesece v lanskem in letošnjem letu, za letos pa tudi po mesecih, prikazujemo v tabeli 7. Analogno s stopnjo odžveplanja je tudi vsebnost žvepla pri šaržah, ki so prepihane z argonom, nižja. V letošnjem letu odstopa zlasti mesec februar kot najslabši v tem pogledu, in tudi z največ izmečka (tabela 2).

Kot posebno prednost nove tehnologije moramo poudariti veliko stopnjo odžveplanja v ponovci. V povprečju 70 %-na stopnja odžveplanja je zelo dober rezultat. Velik raztros rezultatov seveda kaže na velike razlike v kvaliteti in izdelavi, kar obenem pomeni, da je zelo težko dosegati najboljše rezultate. Primerjava s staro tehnologijo kaže, da smo znižali vsebnost žvepla za 30 % (v letu 1981 je bila povprečna vsebnost žvepla 0,0142 % in najnižja 0,007 %), kar je zelo dober rezultat. Poudariti moramo zlasti vrhunske rezultate, ki jih ta tehnologija omogoča. Stopnja odžveplanja od 80 % navzgor do 91 %, kot doslej najvišje vrednosti le ob uporabi apna in jedavca, so sicer dosegljive le z vpihavanjem CaSi.

Tabela 5: Stopnja odžveplanja po mesecih

Mesec		Sept.—Dec.	Jan.—Maj	Januar	Februar	Marec	April	Maj
z argonom	n	129	306	31	78	74	71	58
	X (%)	71,4	69,6	70,4	65,0	71,7	70,8	73,2
	S (%)	12,5	12,9	14,3	13,1	11,0	12,1	10,5
brez argona	n	103	43	7	11	8	8	10
	X (%)	63,6	61,0	66,4	51,2	56,2	65,5	68,6
	S (%)	17,1	17,1	6,0	22,8	9,5	19,7	7,8



Slika 3

Porazdelitev stopnje odžveplanja za šarže, ki so prepihane z argonom

Fig. 3

Distribution of the desulphurisation degree

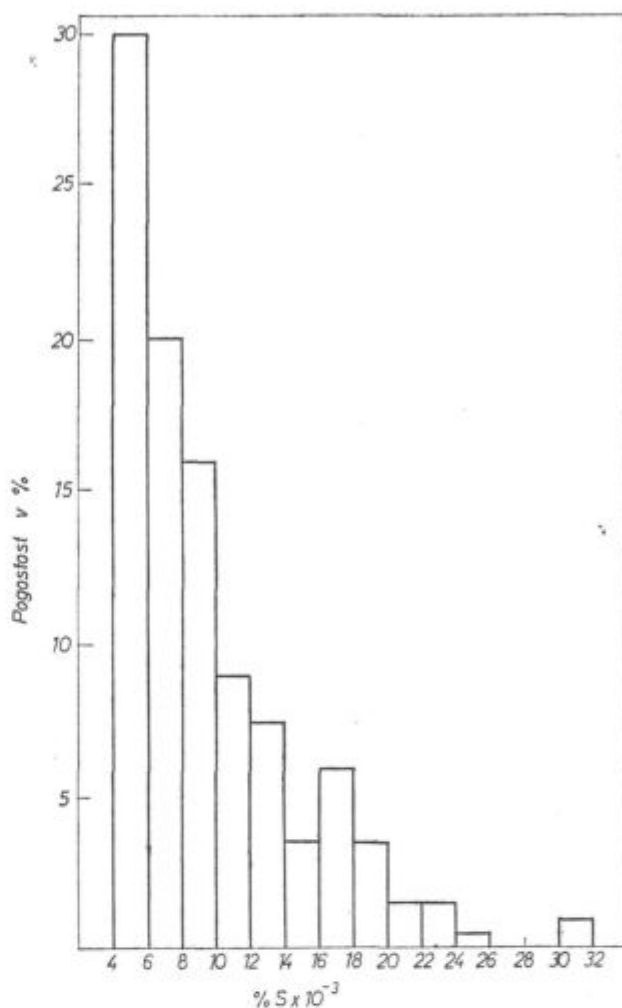
Tabela 6: Stopnja odžveplanja januar—maj 1983

	trganje blokov	brez trganja
n =	128	208
X (%)	65,0	71,6
S (%)	14,5	11,6

Porazdelitev stopnje odžveplanja in vsebnosti žvepla prikazujemo na slikah 3 in 4. Za mesece marec, april in maj za šarže, ki so prepihane z argonom.

Rezultati obdelave jekla s Ca v ponovci

Nezanesljivost izdelave in naša nemoč pri kontroli procesa sta nas prepričali, da sta možni le dve poti, in to izdelava jekla v vakuu, ki nam daje



Slika 4

Porazdelitev vsebnosti žvepla za šarže, ki so prepihane z argonom

Fig. 4

Distribution of sulphur content

tudi možnost razogljičenja na okrog 0,01 % C, ali obdelava jekla s Ca v ponovci kot zasilna rešitev. Le ogljik pri nizkem p_{CO} in Ca, vpihan globoko v ta-

Tabela 7: Vsebnost žvepla v končni analizi po mesecih

	Mesec	Sept.—Dec. 1982	Jan.—Maj 1983	Januar	Februar	Marec 1983	April	Maj
z argonom	n =	129	312	31	78	74	71	58
	X (%)	0,0082	0,0104	0,0094	0,0125	0,0098	0,0102	0,0096
	S (%)	0,0047	0,0053	0,0043	0,0057	0,005	0,005	0,005
brez argona	n =	103	43					
	X (%)	0,0098	0,013					
	S (%)	0,0055	0,0062					

Tabela 8: Porazdelitev stopnje odžveplanja in vsebnost žvepla pri šaržah, ki so obdelane s Ca v ponovci.

	Stopnja odžveplanja	Vsebnost žvepla
N	15	15
X (%)	84,3	0,00513
S (%)	3,6	0,00034

lino, imata moč vezati odvečni kisik in reducirati okside drugih kovin, ki so krivi za slabo plastičnost jekla v vročem.

Na napravi za vpihovanje CaSi v jeklo smo obdelali 15 šarž. Rezultati so prikazani v tabeli 8.

Glavna prednost te tehnologije je 100 % izkoristek direktnega valjanja, torej odlična plastičnost jekla v vročem, in to tudi pri mehkih raztalitvah. Med obdelanimi šaržami sta tudi dve z 0,10 % C ob raztalitvi.

Prednost s kalcijem obdelanega jekla je poleg visoke stopnje odžveplanja in majhne vsebnosti žvepla tudi izredno dobra livnost, saj smo normalno vplivi tudi šaržo, ki je bila le 30° C nad tališčem. Sicer pa so temperature livanja v povprečju za 20° C nižje od s Ca neobdelanih šarž.

Žal prostorska ločenost naprave, ki je namenjena le za obdelavo jekel za kontiliv, onemogoča stalno obdelavo jekel s kalcijem.

ZAKLJUČKI

Pričujoče delo načena probleme izdelave jekel z majhno vsebnostjo ogljika, ki so legirana s silicijem in aluminijem.

Oksidacija jekla v električni obločni peči do 0,02 % C daje zelo heterogene rezultate, ker z vizuelno kontrolo procesa oksidacije na meji ravnotežja ni mogoče več obvladati. Iz tega sledijo velike razlike v vsebnosti kisika po oksidaciji in s tem povezan nastanek zelo različnih količin dezoksidacijskih produktov, kar je končno posledica različna plastičnost jekla v vročem.

Vsi rezultati, ki so prikazani v tabelah, kažejo velika odstopanja od srednjih vrednosti, torej zelo velik raztros, in sicer pri rezultatih valjanja blokov direktno v toplovaljane trakove, pa tudi pri kazalcih kvalitete dela, kakor sta stopnja odžveplanja med sekundarno rafinacijo v ponovci in vsebnost žvepla v končni sestavi.

Nova tehnologija, ki smo jo vpeljali na začetku leta 1982, katere bistvo je intenzivna sekundarna rafinacija jekla v ponovci s tekočo žlindro, je v povprečju prinesla izboljšanje, in sicer se je vsebnost žvepla znižala za 30 %, enako pa se je znižal tudi skupni izmeček, vendar je raztros rezultatov ostal velik.

Le obdelava jekla s kalcijem (vpihavanjem CaSi) v ponovci tako izboljša plastičnost jekla v vročem, da se bloki ne trgajo več med valjanjem, pri skoaj 85-procentni stopnji odžveplanja in vsebnosti žvepla, ki je blizu 0,005 %. Livnost jekla pa se tako izboljša, da je mogoče vliivanje tudi še pri 30 do 40° C na tališčem.

Vsi rezultati kažejo, da je za doseganje bolj homogenih rezultatov, predvsem pa za izboljšanje plastičnosti jekla potrebna drugačna tehnologija.

V svetu so se za izdelavo takih jekel uveljavili postopki, ki omogočajo tudi razogljichenje, to so vakuumski postopki.

Poleg kalcija ima le ogljik pri nizkem tlaku pco moč reducirati okside drugih kovin in napraviti jeklo dovolj čisto. Istočasna zahteva po nizkem ogljiku daje prednost vakuumskim postopkom pred vpihavanjem CaSi.

Ko bo objavljen ta članek, bo na Jesenicah že v poizkusnem obratovanju VOD naprava, v kateri bomo poslej izdelovali ta jekla.

Literatura:

1. Helmut Knüppel: Desoxydation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen Band I 1970 Verlag Stahleisen MBH
2. Blaženko Koroušič: Prispevek k optimizaciji proizvodnje dinamo jekel ZELEDZARSKI ZBORNIK 1983 (1) str. 10
3. Alojz Poklukar: Strokovna naloga 1983

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erzeugung der Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,02 bis 0,03 % im Lichtbogenofen nach klassischer Arbeitsweise stellt ein grosses technologisches Problem dar.

Beim Frischen im Ofen das nur visuell kontrolliert werden kann ist eine Überoxydation der Schmelze sehr leicht möglich. Die Oxydation von Kohlenstoff nähert sich bei 0,03 % C den Gleichgewichtsbedingungen und nachdem die Kohlenstoffreaktion aufhört wird vorwiegend Eisen oxydiert, wenn nicht rechtzeitig das Sauerstoffblasen unterbrochen wird. In der Schmelze können deshalb sehr grosse Mengen von Sauerstoff enthalten sein die eine grosse Menge von Desoxydationsprodukten zur Folge haben und letztlich die Warmverformbarkeit beim Walzen der Blöcke verschlechtern.

Durch die Einführung der sekundären Raffination in der basisch zugestellten Pfanne unter stark basischer Schlacke, (schwarze Schlacke wird durch das Umgiessen völlig abgetrennt) bei intensiver Argonspülung ist uns gelungen den Stahl in solchen Umfang zu reinigen, dass die

Giesstemperatur um 30° C erniedrigt werden konnte, das Schmieren der Ausgüsse beseitigt worden ist, der Schwefelgehalt durchschnittlich um 30 % und im gleichen Ausmass auch der Gesamtauswurf erniedrigt worden sind. Die Streuung der Ergebnisse ist immerhin noch gross, was als ein Nachweis der schwierigen Erzeugung und immer noch einer grossen Unsicherheit angesehen werden kann.

Versuche mit der Kalziumbehandlung solcher Schmelzen in der Pfanne zeigten, dass dieses Verfahren eine Lösung des Problems schlechter Warmverformbarkeit sein könnte.

Es bleibt immer noch das Problem des zu hohen Kohlenstoffgehaltes für das Enderzeugnis. Deshalb werden die Stähle für Elektrobleche ausschliesslich in Vakuumverfahren erzeugt, wo durch die Entkohlung, Desoxydation, Entgasung und Legieren grössere Sicherheit bei der Erzeugung und optimale Eigenschaften gewährleistet werden können.

SUMMARY

Manufacturing steel with 0.02 to 0.03 % carbon represents a difficult technological problem.

In oxidation of carbon being visually controlled the overoxidation of melt can easily occur. Oxidation of carbon at contents about 0.03 % C reaches the equilibrium conditions, and when CO formation ceases the iron commences to be oxidized if blowing of oxygen is not stopped in time. Steel thus can contain high amounts of oxygen which causes formations of a great amount of deoxidation products, and the plasticity of steel in hot rolling is reduced.

Introduction of the secondary refining in a basic-lined ladle under highly basic slag (oxidic one is completely separated by pouring over) enabled at intensive stirring with argon to clean the steel to such an extent that the

casting temperature of steel was reduced for 30° C, the stuffing of nozzles was eliminated, the sulphur content was reduced in average for 30 %, and in the same extent also the overall rejection. Scattering of results is substantial which gives clear evidence of difficulties in manufacturing and of still a high degree of uncertainty.

Experiments of treating steel in ladle with calcium showed that this method could solve the problem of hot plasticity of steel.

But the problem of too high carbon content for final product remains. Therefore only manufacturing steel in vacuum is the suitable method for electrical steel where decarburisation, deoxidation, degassing, and alloying enables higher certainty in manufacturing and the optimal properties of steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовление сталей с содержанием углерода от 0,02 до 0,03 % классическим способом представляет большое технологическое затруднение.

При окислении углерода, которое проверяем визуально, может произойти переокисление расплава. Надо сказать, что окисление углерода при содержании 0,03 % C приблизится условиям равновесия, и как только реакция действия CO окончится то, если нам не удастся вовремя прекратить дувание кислорода, наступит окисление железа. Поэтому сталь содержит большое количество кислорода, а вследствие этого образование большого количества продуктов раскисления, и недостаточная пластичность стали при горячей прокатки. С введением вторичного рафинирования в ковше с основной футеровкой под основным шлаком (окислительный шлак был полностью удален при переплавке) и при интенсивном перемешивании с аргоном удалось получить сталь

такой чистоты что дана была возможность выполнять литье с температурой 30 градусов ниже, устранить закаливание сливных каналов и отверстий и уменьшить содержание серы и совокупного брака в среднем на 30 %.

Рассыпание результатов значительно; это указывает на затруднения при изготовлении стали и на всё ещё большую ненадёжность. Опытные обработки стали с кальцием показали, что применение кальция могло бы разрешить вопрос пластичности при горячей прокатки. Проблемой останется всё ещё высокое содержание углерода конечного продукта. Поэтому плавки стали, предназначенные для применения в электротехнике надо вести в вакууме где обезуглероживание способствует раскислению, удалению газов и легированию. Таким образом можно иметь надёжности при изготовлении и оптимальные свойства стали.