

Tehnološke možnosti izdelave kvalitetnih jekel z uvedbo postopka vpihovanja CaSi v SŽ Železarni Štore

UDK: 669.182.71:669.891
ASM/SLA:D8p

V. Prešern, T. Debelak, G. Manojlović, P. Bračun



Opisan je postopek izdelave jekla v jeklarni Štore, kjer jeklo odlivajo na 4-žilni napravi za kontinuirno litje gredic, dimenzij 100 mm × 100 mm ali 140 mm × 140 mm. Zaradi majhnih dimenzij izlivi jekla nismo smeli pomirjati z aluminijem. Da bi dobili čistejše jeklo z manj vključki in modificirano sestavo vključkov, smo uvedli sistem vpihovanja CaSi.

Prikazani so doseženi rezultati oziroma vpliv vpihanega CaSi na vsebnost nekaterih elementov v jeklu, pomirjenem z aluminijem (žveplo, kisik, silicij, aluminij); ter na število, obliko in vrsto nekovinskih vključkov.

Prikazana je okvirna nova tehnologija izdelave nekaterih kvalitet jekel.

1. UVOD

V SŽ Železarna Štore izdelujemo jeklo v dveh električnih obločnih pečeh, kapacitete 40 (Birlec) in 50 t (BBC):

Proizvodni program v glavnem obsega vzmetna jekla, nizko in srednjeogljčna jekla, nizko legirana cementacijska in jekla za poboljšanje.

Celotno količino izdelanega jekla odlijejo na 4-žilni kontinuirni livni napravi (Concast) v gredice, presekov kvadrat 100 mm ali kvadrat 140 mm.

Zaradi zelo majhnih izlivi tehnološki predpis ne dovoljuje pomirjanja jekla z aluminijem (max. do 0,006 %).

Predvsem zato, da bi dobili bolj čisto jeklo, da bi izboljšali livnost in povečali produktivnost izdelave jekla v električnih obločnih pečeh, smo se odločili za uvedbo postopka vpihovanja CaSi v tekoče jeklo v ponvi.

Številne tuje in naše publikacije s tega področja^{1,2,3} so nas prepričale o umestnosti uvedbe novega postopka in najvažnejši rezultati, ki jih daje postopek, so:

- obdelava jekla z vpihovanjem CaSi je vezana na predhodno izdelano talino s kompletno dezoksidacijo z aluminijem. To pa v primerjavi z dezoksidacijo s silicijem seveda pomeni bistveno manjšo vsebnost kisika in oksidnih vključkov;

- doseže se dodatno razžvepljanje, kar omogoča skrajšanje rafinacije v peči;

- prepreči se mašenje izlivi zaradi čistih Al_2O_3 vključkov, ki v običajno izdelanih jeklenih pogosto nastopajo v izrazito ostri in usmerjeni obliki. Po obdelavi s CaSi pa dobimo le okrogle neplastične kompleksne vključke, tipa $CaO-Al_2O_3$, s tališčem pod 1873 K (1600 °C); ki se pri predelavi drobijo;

- močno se zmanjša možnost segregacijskih razpok zaradi Mn-sulfidov v nizkoogljčnih jeklih, ker pride do efektnega razžvepljanja in modifikacije preostalih vključkov;

- kot rezultat dobre dezoksidacije, razžvepljanja in modifikacije vključkov dobimo zelo čisto jeklo in dobro površino konti gredic.

Po svetu obstojajo številne firme, ki ponujajo sisteme za vpihovanje drobnozrnatih materialov. Cena takih ponudb pa je od 400.000 US\$ naprej. Zato smo celotno napravo konstruirali in izdelali v Jugoslaviji. Glavni projekt so izdelali v firmi INŽENIRING Bled, napravo so nato izdelali v Laškem in v maju 1984 smo lahko pričeli testirati napravo. Poudariti moramo, da je bila cena naprave vsaj 5-krat nižja kot iz tujine in da dosedanji rezultati dokazujejo, da lahko naprava deluje izjemno uspešno.

2. OPIS PROCESA

Do danes smo v Štorah izdelali že več tisoč ton jekla, obdelanega z vpihovanjem CaSi v ponvi, obzidani z dolomitno opeko. Z uvodnimi poskusi smo določili osnovne karakteristike novega postopka in sicer:

- določili smo obratovalne pogoje naprave, ki zagotavljajo dovolj mirno in praktično skoraj stoodstotno zanesljivo delovanje naprave,

- poraba argona je 400 do 600 N l/min,

- hitrost vpihovanja CaSi pri ustreznih oz. primer- nih obratovalnih pogojih je 20 do 25 kg CaSi/min,

- potrební čas vpihovanja je 3 do 6 minut (kar ustreza količini CaSi 1,5 do 2,5 kg/t jekla);

- padec temperature jekla med vpihovanjem CaSi je 3 do 5 °C/min.

Zaradi uvedbe postopka vpihovanja CaSi in za zagotovitev možnosti doseganja optimalnih rezultatov smo morali prilagoditi tehnologijo rafinacije v električni obločni peči.

Jekla, ki niso pomirjena z aluminijem, pravzaprav nima smisla obdelovati s CaSi. Količina kisika v takem jeklu je namreč tako velika, da se vpihani kalcij predvsem porabi le za dodatno dezoksidacijo, kar pa je seveda mnogo predrago.

dr. Vasilij Prešern, dipl. ing. — SŽ Metalurški inštitut Ljubljana
mag. Tine Debelak, dipl. ing. — SŽ Metalurški inštitut Ljubljana
Gojko Manojlović, dipl. ing. — SŽ Železarna Štore Peter Bračun, dipl. ing. — SŽ Železarna Štore



Slika 1
Naprava za vpihovanje CaSi v SŽ-Železarna Štore
Fig. 1
View of the injection system in Steelworks Štore



Slika 2
Videz postopka vpihovanja CaSi med obratovanjem
Fig. 2
Installation during treatment

Zato smo pričeli s postopnim dodajanjem aluminija v peč in v ponovcu pri nekaterih vrstah jekel, ki smo jih izbrali za obdelavo s CaSi.

Da bi se izognili vplivu pečne žilindre, smo v ponvi z dodatkom apna in jedavca izdelali novo žilindro.

Z izdelavo nove žilindre pa se tudi zmanjša nevarnost, da ne bi zadeli predpisane kemične analize, saj nimamo redukcije Mn, Si in P:

Vsekakor pa je v ponvi potrebna žilindra, katere naloge so ^{4,5,6}:

- vezanje produktov reakcij dezoksidacije in razžveplanja (kar se dogaja med vpihovanjem CaSi),
- preprečevanje dostopa kisika iz atmosfere,
- preprečevanje poteka nekontroliranih reakcij med žilindro in jeklom.

Videz naprave za vpihovanje CaSi in napravo med vpihovanjem prikazujeta sliki 1 in 2.

Tehnološke rezultate izdelave nekaterih talin prikazuje tabela 1.

Tabela 1: Tehnološki podatki o izdelavi nekaterih talin

Talina	Kvaliteta	Kemična analiza jekla						CaSi		
		C %	Si %	Al _{tot} %	S %	O _{tot} %	ΔS %	O _a (pred) (ppm)	O _a (po) (ppm)	CaSi kg/t
15128	Č. 1221	0,19	0,22	0,016	0,007	0,0061	72	24,3	11,9	1,1
15178	Č. 1221	0,17	0,40	0,021	0,011	0,0052	59	20,5	8,8	1,1
15422	Č. 4830	0,51	0,38	0,020	0,011	0,0062	63	10,4	5,0	1,5
25966	Č. 4830	0,50	0,34	0,016	0,006	0,0059	78	12,7	5,2	1,9
15125	Č. 4830	0,52	0,32	0,014	0,008	0,0065	58	13,9	6,4	2,2
25668	Č. 4732	0,42	0,31	0,017	0,005	0,0061	71	12,9	5,8	2,1
25669	Č. 1531	0,47	0,29	0,026	0,003	0,0049	73	10,3	4,6	2,1
25968	60SiCr7	0,58	1,56	0,020	0,006	0,0056	63	7,1	4,5	1,6
25969	60SiCr7	0,58	1,44	0,015	0,005	0,0055	75	4,6	3,6	1,6
15426	60SiCr7	0,60	1,84	0,014	0,003	0,0058	87	6,7	3,6	1,6

3. ANALIZA REZULTATOV

3.1 Dezoksidacija

Osnovni namen novega postopka in spremenjene rafinacije z uporabo aluminija je povečanje čistosti jekla ter možnost uporabe cenejših ferozlitin (predvsem nadomeščanje Si metala s cenejšim FeSi 75, ki vsebuje tudi do 3 % Al).

Bistvo sprememb je, da z večjim dodatkom aluminija v peč pri preddezoksidaciji močno zmanjšamo aktivnost prostega kisika v jeklu in da z dodajanjem Al v ponvi dosežemo takšno vsebnost Al, ki zagotavlja majhno vsebnost oksidnih vključkov.

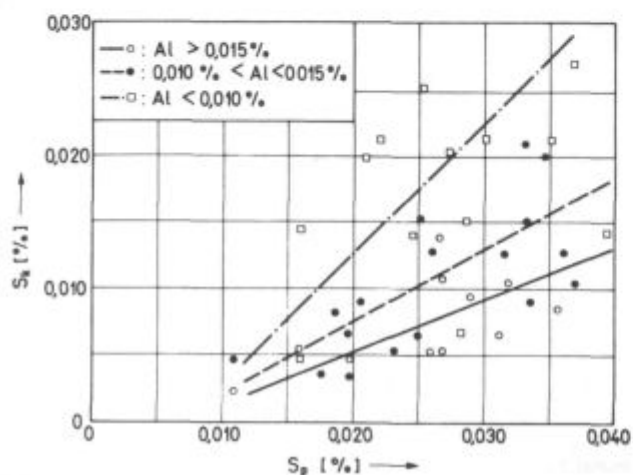
Doseganje željene končne vsebnosti aluminija je odvisno predvsem od:

- količine dodanega aluminija v peč in ponev,
- količine in sestave žilindre v ponvi,
- količine vpihanega CaSi.

Vpihani CaSi pa je v dovolj pomirjenih jeklih močno zmanjšal tudi aktivnost kisika v jeklu. Tako smo pri vzmetnih jeklih zmanjšali s CaSi aktivnost kisika za več kot 50 % (na povpr. 4,0 ppm) in tudi pri ostalih kvalitetah smo redno dosegali vrednosti med 5 in 10 ppm. To pa so že tako majhne vrednosti, ki zagotavljajo dovolj čisto jeklo^{7,8}.

3.2. Razžveplanje

Znano je, da dosežemo z vpihovanjem CaSi v z Al-pomirjeno jeklo v dolomitnih ponvah odlično razžveplanje^{9,10,11}. Na slikah 3 in 4 prikazujemo vpliv aluminija v jeklu na končno vsebnost žvepla in na doseženo stopnjo razžveplanja.



Slika 3

Vpliv aluminija v jeklu na končno vsebnost žvepla v jeklu pri vpihovanju CaSi

Fig. 3

Influence of aluminium on final sulphur content in the steel by CaSi injection

Razvidno je, da ima aluminij velik oz. odločilen vpliv na potek razžveplanja in da za doseganje majhnih vsebnosti žvepla niti ni pomembno, ali v dovolj pomirjeno jeklo vpihemo 1,5 ali 2 kg CaSi/t.

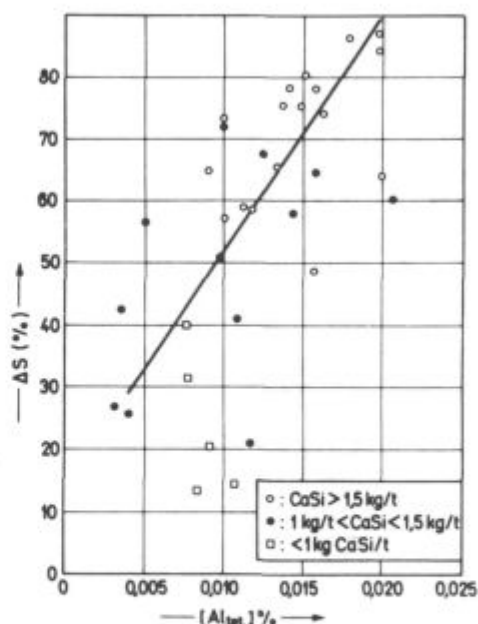
Z uporabo CaSi je sedaj mogoče, da spremenimo tehnološki predpis in da jekla, ki jih nameravamo obdelati s CaSi, izpuščamo iz peči tudi z žveplom cca 0,040 %! To pa lahko seveda pri posameznih šaržah pomeni občutno skrajšanje oz. pocenitev postopka!

Poglavje analiza obnašanja žvepla pri obdelavi jekla v ponvi s CaSi lahko zaključimo z ugotovitvijo, da smo dobili v roke resnično uspešno orožje za učinkovito in zanesljivo razžveplanje. Osnovni pogoji za uspešnost takega postopka pa so:

- dovolj pomirjeno jeklo (vsebnost Al v jeklu v ponvi več kot 0,015 %),
- pravilna sestava in količina žilindre v ponvi,
- zadostna količina in optimalna hitrost vpihovanja CaSi.

3.3 Metalografska analiza

Ugotovili smo jasno odvisnost tipa in količine vključkov od količine aluminija v jeklu in količine vpihanega CaSi^{12,13,14}. Pri zadostni (optimalni) količini alu-

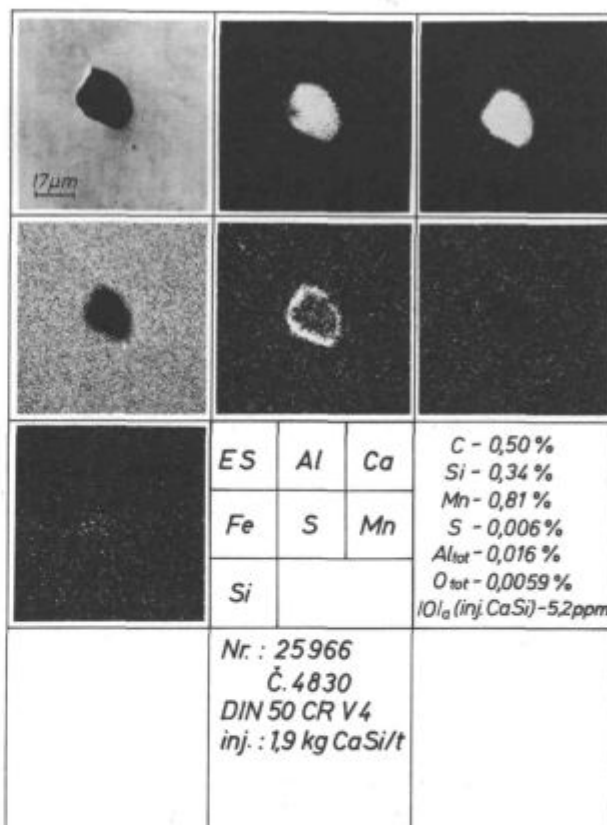


Slika 4

Vpliv aluminija v jeklu na doseženo razžveplanje pri vpihovanju CaSi

Fig. 4

Influence of aluminium on the degree of desulphurization by CaSi injection



Slika 5

Tipična sestava modificiranega vključka

Fig. 5

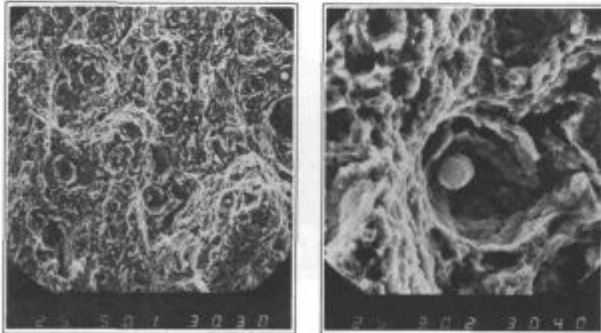
Typical composition of the modified inclusion

minija (več kot 0,015 %) in CaSi smo dobili v štorskih jeklih popolnoma novo sliko vključkov. Bistveno se je zmanjšala količina manganovih sulfidov; silikatnih vključkov praktično ni več, nastopajo pa globularni kompleksni vključki (pretežne sestave $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaS}$; slika 5).

Pri pravilno izdelanih talinah je prišlo do modifikacije aluminatnih vključkov in vključkov Mn-sulfidov v kompleksne vključke.

Ocenjujemo, da se je pri nekaterih kvalitetah jekel zmanjšalo število vključkov za več kot 50 %, pri nekaterih jeklih (npr. vzmetna) pa je število vključkov manjše za 30 do 50 %.

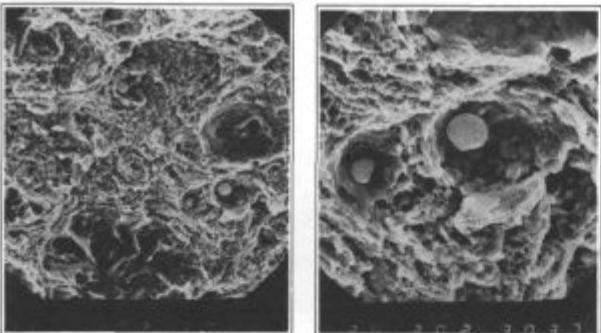
Modifikacijo vključkov so potrdile tudi analize prelomov (slika 6): Razvidno je, da so prelomi značilni za jekla z mikrostrukturo perlita. Vključki so redki, v glavnem v kroglasti obliki s premerom manj kot 10 mikronov.



Mag. 500x

Mag. 3000x

Nr. 25966 (Č. 4830, DIN 50 CR V 4) inj. 19 kg CaSi/t
C-0,50%, Si-0,34%, S-0,006%, Al_{tot}-0,016%, O_{tot}-0,0059%



Mag. 500x

Mag. 3000x

Nr. 15422 (Č. 4830, DIN 50 CR V 4) inj. 15 kg CaSi/t
C-0,51%, Si-0,38%, S-0,017%, Al_{tot}-0,020%, O_{tot}-0,0062%

Slika 6

Videz preloma jekla, obdelanega z vpihovanjem CaSi

Fig. 6

Influence of CaSi injection on the structure of fracture

4. 4. ZAKLJUČKI

Želeli smo doseči bistveno povečanje čistosti jekla in odlivanje takega jekla, pomirjenega z aluminijem ter obdelanega s CaSi, na kontinuirni livni napravi v štorski jeklarni. V redno obratovanje smo uvedli novo napravo za vpihovanje CaSi in optimizirali ter novemu postopku priredili tehnologijo izdelave jekla v električni obločni peči.

Ker dosežemo optimalne rezultate uporabe postopka vpihovanja CaSi le pri z aluminijem pomirjenih jeklih, smo postopoma uvedli novo tehnologijo predde-zoksidacije v peči in dokončne dezoksidacije v ponvi z aluminijem.

Dokazali smo, da lahko s primerno količino aluminija v peči in v ponovci dosežemo zelo majhne vsebnosti kisika, ki pa se kasneje med obdelavo s CaSi še zmanjšajo.

Za doseganje stabilnih pogojev izkoristka dodanega aluminija v ponev glede na kasnejše močno premešavanje žlindre in jekla med vpihovanjem CaSi, smo uvedli izlivanje jekla iz peči brez žlindre ter dodatek apna in jedavca v ponev za tvorbo nove pokrivne žlindre.

Po pričakovanih dobimo v jeklih z dovolj aluminija oz. dovolj majhno aktivnostjo kisika ter primerno količino vpihanega CaSi zelo majhne tudi končne vsebnosti žvepla (tudi 0,004 %).

Zaradi odlične stopnje razžveplanja (tudi 90 % od peči do gredice) smo predpisali, da s CaSi obdelana jekla izpuščamo iz peči z ne manj kot 0,040 % žvepla. To pa seveda lahko pomeni precejšnje skrajšanje rafinacije!

Zaradi velikega razžveplanja se močno zmanjša količina manganovih sulfidov v jeklu (kot zanimivost naj omenimo, da so bili Baumannovi odtisi včasih skoraj popolnoma beli). Zato se zmanjša tudi možnost tvorbe segregacijskih razpok v nizkoogljicnih jeklih.

Dokazali smo, da je prišlo do modifikacije aluminatnih vključkov v z Al-pomirjenih jeklih, kar omogoča odlivanje takih jekel na naši kontinuirni livni napravi za gredice.

Zaključimo naj z ugotovitvijo, da smo z novo tehnologijo izdelave jekla v SZ Železarna Štore dobili možnost za proizvodnjo bistveno bolj kvalitetnih jekel, kar se odraža v novih možnostih prodaje teh jekel, predvsem za izvoz.

Literatura

1. Prešern V., Kandare F., T. Mlakar: Radex-Rundschau, Heft 1/2, 1982, 771-779.
2. Prešern V., J. Arh, T. Mlakar: SCANINJECT III; P6:1-P6:20, Lulea, Sweden, June 15-17, 1983.
3. Prešern V., J. Arh: CCC 84, Voest-Alpine Continuous Casting Conference 1984, Paper No. 24.
4. Carsson G., T. Lehner: Radex-Rundschau, 1981, Heft 1/2, 374-379.
5. Szekely J., N. El-Kaddah: Symposium on Injection in Extraction and Refining, Proc. Symp. at University of Newcastle Upon Tyne, 1982, R1-42.
6. Holappa L. E. K.: SCANINJECT II; Paper 1, Lulea, Sweden, June 1980.
7. Jeanneau M., M. Poupon: Revue de Metallurgie, Juin 1981, 517-524.
8. Tahtinen K., R. Vainola: Modern developments in Steel-making, Paper 7.5.1-7.5.15., 16-18 February 1981, Jamshedpur, India.
9. Holappa L. E. K.: International Metals Reviews, 1982, Vol. 27, No. 2, p. 53-76.
10. Gruner H.: Stahl und Eisen, 1979, 99 (4): 725-737.
11. Grimm W., J. Feller: Radex-Rundschau, 1981, (1/2): 455-465.
12. Yoshimura M., S. Yushikawa: Scaninject II Conf., Lulea, June 1980, Paper 28.
13. Stubbs P.: 40th Electric Furnace Conf. Proceedings, Kansas City, Dec. 1982, 285-288.
14. Turkdogan E. T.: Arch. Eisenhüttenwes. 54 (1983), Nr. 1, Januar, 1-10.

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der neuen Technologie war eine wesentliche Verbesserung des Reinheitsgrades von Stahl und das Vergiessen diesen mit Al beruhigten und mit CaSi behandelten Stahles auf der Knüppelstranggiessanlage im Stahlwerk Štore. Eine neue Einblasanlage für CaSi (Bild 1 und 2) ist in Betrieb genommen worden. Diesem neuen Verfahren ist auch die Stahlherstellungstechnologie im Lichtbogenofen angepasst worden.

Die optimalen Einblasparameter sind wie folgt:

- CaSi Einblasrate cca 25 kg/min
- Trägergasverbrauch (Argon) 400 bis 600 Nl/min
- der Verbrauch von CaSi ist von der Stahlqualität abhängig und variiert von 1,2 bis 2 kg/t Stahl
- Temperaturabfall während der CaSi Behandlung beträgt bis 30°C.

Da der eingeblasene CaSi nur bei Aluminiumberuhigten Stählen voll zur Wirkung kommt ist nach und nach eine Technologie der Vordesoxidation im Ofen und der Desoxidation in der Pfanne mit Aluminium eingeführt worden.

Es ist bewiesen worden dass, mit einer richtigen Aluminiummenge im Ofen und in der Pfanne sehr kleine Sauerstoffgehalte erzielt werden können, welche mit der nachträglichen CaSi Behandlung noch weiter reduziert werden können.

Um stabile Bedingungen in Hinsicht des Ausbringens von Aluminium und gute Entschwefelung zu gewährleisten ist Schlackenfreier Abstich eingeführt worden.

Kalk und Flussspat werden zur Bildung neuer Auffangschlacke in die Pfanne gegeben.

Nach der Erwartung werden bei Stählen mit genügendem Al Gehalt bzw. genügend kleiner Sauerstoffaktivität und bei geeigneter eingeblasenen CaSi Menge auch sehr kleine Endschwefelgehalte (auch 0,004 %) (Bild 3 und 4) erreicht.

Wegen der hervorragenden Entschwefelung (bis 90 % vom Ofen bis Knüppel) werden mit CaSi zu behandelnde Stähle mit nicht weniger als 0,040 % S abgestochen. Das bedeutet jedoch eine beträchtliche Verkürzung der Refinationszeit.

Wegen des hohen Entschwefelungsgrades wird auch die MnS Menge im Stahl stark vermindert. (Schwefelabdrücke waren manchmal ganz weiss). Dementsprechend wird auch die Möglichkeit der Bildung von Segregationsrissen bei kohlenstoffarmen Stählen kleiner.

Es ist bewiesen worden, dass bei den Al — beruhigten Stählen eine Modifikation der Al₂O₃ Einschlüsse eingetreten ist womit das Vergiessen solcher Stähle auf der Knüppelstranggiessanlage möglich wird (Bild 5 und 6).

Mit der neuen Technologie der Stahlerzeugung im Hüttenwerk Štore ist die Möglichkeit gegeben wesentlich besseren Stahl zu erzeugen, womit neue Möglichkeiten für den Export dieser Stähle gegeben werden.

SUMMARY

The intention was to achieve essentially better purity of steel, and to enable continuous casting of such steel killed with aluminium and treated with CaSi. A new equipment for CaSi injection (Figs. 1 and 2) was introduced into the technological line, the process was optimized, and the technology of steelmaking in electric arc furnace was adjusted.

The following optimal injection parameters were determined:

- CaSi injection rate about 25 kg/min.,
- consumption of argon carrier gas is 400 to 600 l/min. at NTP,
- amount of CaSi depends on the quality, and it varies between 1.2 to 2 kg/t steel,
- temperature drop of steel melts during injection is up to 30°C,
- the given parameters can be obtained only by a correct combination of pressures of carrier gas, mixing gas, and the gas in the dispenser.

Since the optimal results in application of CaSi injection can be obtained only with the aluminium killed steel, the new technology of predeoxidation in the furnace and final deoxidation with aluminium in the ladle was gradually introduced.

It was proved that very low oxygen contents can be achieved by a suitable amount of aluminium in the furnace and the ladle, and they can be still reduced by the CaSi treatment.

In order to obtain stable conditions for the yield of aluminium in the ladle due to later strong agitation of slag and melt during the CaSi injection, the melt was tapped from the furnace without slag, but limestone and fluorspar were added into the ladle to form a new covering slag.

As expected, sufficient aluminium amount or sufficient low oxygen activity in steel and a suitable amount of injected CaSi gave very low final sulphur contents, even 0.004 % (Figs. 3 and 4).

Due to excellent degree of desulphurization (even 90 % from furnace to billet), the instructions were prepared that steel treated with CaSi should not be tapped with less than 0,040 % S. This can essentially reduce the refining time.

Due to high desulphurisation the amount of manganese sulphides in steel is highly reduced (previous sulphur prints were sometimes nearly quite white). Thus also the possibility that segregation cracks will appear in low-carbon steel is reduced.

It was proved that aluminate inclusions in aluminium killed steel were modified which enables casting of such steel on continuous billet casting machine (Figs. 5 and 6) in Štore Ironworks. The conclusion can be made that the new technology of steelmaking in Štore Ironworks gave the possibility for manufacturing essentially better qualities which will enable also higher export.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель авторов этой работы была в том, чтобы получить существенное увеличение чистоты стали, литье этой стали, успокоенное с алюминием и обработанное с CaSi в установке для непрерывного литья в сталеплавильном цехе металлургического завода Железарна Шторе. В регулярную работу введено новое устройство для вдувания CaSi (рис. 1 и 2) и этому новому способу приладили технологию изготовления стали в дуговой электропечи.

Определили оптимальные параметры вдувания, которые составляют:

- быстрота вдувания CaSi износит прибл. 25 кг/мин;

- затрата газ-носителя аргона — 400 до 600 л/мин;
- количество CaSi зависит от качества стали и составляет 1,2 до 2 кг/т стали;
- снижение темп-ры в течении вдувания составляет до 30°C.

Перечисленные параметры можно получить лишь при правильной комбинации давления газа-носителя отн. аргона, смешанного газа и газа в диспансере.

Так как оптимальные результаты применения способа вдувания CaSi можно получить лишь в сталях успокоенных с алюминием, то постепенно введена новая техноло-

гия предварительного окисления в печи и окончательное раскисление с алюминием в ковше.

Доказали, что с соответствующим количеством алюминия в печи и ковше в стали окажутся очень незначительное содержание кислорода, которое позже в течении обработки с CaSi ещё уменьшится.

Для достижения стабильных условий выхода доданного алюминия в ковш, имея во внимании познейшее сильное перемешивание шлага и стали во время продувки с CaSi, авторы ввели литьё стали из печи без шлага с добавкой извести и плавикового шпата, в ковш, чтобы получить новый шлак покрытия.

Как и ожидали в сталях с достаточным количеством алюминия отн. с достаточно низкой активностью кислорода, также с соответствующим количеством вдутого CaSi оказалось очень незначительное конечное содержание серы (также 0,004 %) (рис. 3 и 4).

Вследствии отличной степени удаления серы (от печи до заготовок даже до 90 %) оказалось, что сталь обработанная с CaSi выпускают из печи с содержанием серы не ме-

нее 0,040 %. Это, конечно, может означить значительное сокращение рафинирования.

Как следствие существенного удаления серы значительно уменьшается количество марганцовых сульфидов в стали (внимание заслуживает факт, что баумановские отпечатки были иногда совсем белые). Поэтому уменьшается также возможность образования сегрегационных трещин при малоуглеродистых сталях.

Авторы работы доказали, что в сталях успокоенных с алюминием произошло видоизменение алуминатных включений, что дает возможность выполнять литьё этих сталей в устройстве для непрерывного литья заготовок (рис. 5 и 6).

Как заключение приводим констатацию, что с новой технологией изготовления стали в металлургическом заводе Железарна Шторе получена возможность производства сталей существенно лучших качеств, а это отражается в новых возможностях для продаже этих сталей главным образом на экспортный рынок.