

Naogljčenje železa med redukcijo in taljenjem plavžnega vsipa

UDK: 669.162.263.25:669.046.562.2
ASM/SLA: D1b, D11n, C, 10—52

G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, J. Kramer, J. Zapušek, B. Sedlar

Naogljčenje železa med redukcijo postaja za plavžarje vse bolj pomembno, ker predelovalci grodlja, posebej pa sivega specialnega, zahtevajo čim večjo vsebnost ogljika v njem. Vsebnosti ogljika in silicija v grodlju lahko kažejo toplotno stanje talilnika plavža. V tem članku bomo obdelali potek naogljčenja grodlja v plavžih in v elektroredukcijskih pečeh ter vpliv posameznih dejavnikov na vsebnost ogljika v grodlju.

1.0 UVOD

V štorskem elektroplavžu se proizvaja sivi grodelj s kislo žlindro, bazičnosti $\text{CaO/SiO}_2 = 0,8 - 0,9$, zato ga je potrebno razžveplati po prebodu. Razžveplanje grodlja z različnimi razžveplevalci različno vpliva na končno vsebnost teh elementov v grodlju. Zato smo pri industrijskih poskusih zasledovali vsebnosti posameznih elementov v grodlju pred razžveplanjem in po njem. Na naogljčenje železa med redukcijo vplivajo v glavnem silicij, žveplo, mangan in fosfor ter drugi dejavniki, kot so: bazičnost žlindre, temperatura v plavžu, sestava vsipa in plinske zmesi.

Pri redukciji železovih oksidov s CO nastaja poleg železovega oksida nižje oksidacijske stopnje ali železa plina CO_2 še razkrojni ogljik. Razkrojni ogljik in ogljik iz koksa opravljata redukcijo železovih in drugih oksidov ter naogljčujeta že reducirano železo. Naogljčenje poteka zaradi intersticijskega raztapljanja ogljika v železu. Ko se kovinska faza nasiti z ogljikom, se ogljik pojavi v obliki nove faze Fe_3C ali pa se pojavi kot grafit. Zaradi tega nastajata v sistemu $\text{Fe} - \text{C}$ dva tipa ravnotežja, in sicer metastabilni in stabilni sistem. V prisotnosti grafita se železo naogljči in končno nasiti z ogljikom. Pri tem nastane trdna raztopina ogljika v $\gamma - \text{Fe}$. Koncentracija ogljika v železo narašča z naraščajočo koncentracijo CO v plinski fazi. Podobni pogoji kot za $\gamma - \text{Fe}$ veljajo tudi za $\alpha - \text{Fe}$, vendar s to razliko, da topi $\gamma - \text{Fe}$ veliko več ogljika kakor $\alpha - \text{Fe}$.

2.0 NAOGLJČENJE GRODLJA V SODOBNIH POGOJIH OBRATOVANJA PLAVŽEV

V zadnjih letih se je na velikih plavžih, ki obratujejo z dobro pripravljenim vsipom, visokim pritiskom na žrelu plavža, visoko predgretim kombiniranim vpihovanjem zraka, kisika in ogljikovodikov, občutno povečala vsebnost ogljika v grodlju. Potrebno je bilo ugotoviti, če je vsebnost ogljika v grodlju odvisna samo od temperature in vsebnosti nekaterih elementov, ali pa še od drugih dejavnikov, kot so: pritisk plina, vsebnosti ogljikovodikov v plinu in drugih. Za izračun vsebnosti ogljika v grodlju se je uporabljala enačba A. D. Gotliba, ki je dobljena s statistično metodo:

$$|\text{C}| = 4,60 - 0,27|\text{Si}| - 0,32|\text{P}| + 0,03|\text{Mn}| - 0,032|\text{S}|, \quad (1)$$

kjer pomenijo: (C), (Si), (P), (Mn), (S) vsebnosti teh elementov v grodlju v ut. %.

Literatura navaja tudi formulo I. S. Kulikova, ki upošteva poleg vsebnosti silicija, fosforja, mangana in žvepla še temperaturo grodlja:

$$|\text{C}| = 1,31 + 0,0026 \cdot \text{Tg} - 0,34|\text{Si}| - 0,33|\text{P}| + 0,003|\text{Mn}| - 0,38|\text{S}|, \quad (2)$$

kjer je Tg — temperatura grodlja v °C.

Vsebnosti ogljika v grodlju, ki so izračunane po formulah A. D. Gotliba in I. S. Kulikova, se razlikujejo od vsebnosti ogljika v grodlju, dobljenih iz kemičnih analiz. Razlike obstajajo zaradi tega, ker avtorja nista upoštevala v svojih formulah sodobnih pogojev obratovanja plavžev. Naogljčenje grodlja poteka v treh stadijih, in sicer po celotni višini plavža.

V prvem stadiju prehaja ogljik v železo v področju indirektno redukcije. Reducirano železo reagira s koksom in plinsko fazo. Na površini reduciranih kosov rude se odlaga ogljik, ki nastane po reakciji:



Ogljik reagira z železom po naslednji enačbi:



V odvisnosti od časa in hitrosti poteka reakcije (3) se povečuje količina razkrojnega ogljika, ki se odlaga na površini reduciranega železa.

S pogrezanjem vsipa se zmanjšuje njegova količina v coni visokih temperatur. Ogljik hitro difundira v železo, tvori raztopine in cementit, pri čemer hitrost difuzije močno narašča s temperaturo.

V. L. Pokviškin je ugotovil, da povečanje pritiska na žrelu peči povečuje količino razkrojnega ogljika in poma, da reakcija (3) poteka v desno. To vpliva na razogljčenje kovinskega železa v vsipu plavža. S. J. Jaroševski pa je ugotovil, da se povečuje količina ogljika v grodlju pri vpihovanju naravnega plina v plavž. Čeprav vpihovanje naravnega plina in drugih ogljikovodikov v zraku, obogatenem s kisikom, zmanjšuje hitrost redukcije železa v zgornjem delu plavža. G. I. Čufarov in A. N. Kulikov ugotavljata, da reducirano železo deluje kot katalizator reakcije (3), zato kombinirajo vpihovanje naravnega plina in kisika v zrak, da bi upočasnili začetek te reakcije po višini plavža, kar povečuje absolutni čas njenega delovanja. L. I. Slepšava pa ugotavlja, da obstaja povezava med vsebnostjo ogljika v grodlju in reduktivnostjo vsipa. Pri taljenju lahko reduktivnih sintrov je vsebnost ogljika v grodlju bistveno večja v primerjavi s težko reduktivnim. Analiza materiala iz vsipa »zamrznjenih« japonskih peči je pokazala, da je vsebnost ogljika v železu v spodnjem delu vsipa plavža znašala 2 %.

V drugem stadiju poteka naogljčenje železa v coni kapljanja. Grodlj prihaja v to cono naogljčen do 2 %. Kaplje grodlja tečejo po žareči koksi plasti, tako da prihaja do reakcije med ogljikom iz koksa in plinske faze, ki je verjetno še sposobna, da naogljči železo. V nivoju pihalice se ogljik delno raztaplja v kapljicah grodlja, delno pa zgori. V tem stadiju je malo raziskane, kar je povezano s tehnološkimi težavami modeliranja in eksperimentalnega raziskovanja nižjih con plavža. Po japonskih podatkih, ki so dobljeni iz »zamrznjenih« obratovalnih peči, prehaja polovica ogljika v grodlj v drugem stadiju. Grodlj vsebuje od 4,0 do 4,3 % C, kar je nekoliko manj od vsebnosti, ki jo ima grodlj pri izpustu.

Tretji stadij naogljčenja poteka v talilniku plavža, tako da se kaplje grodlja premešavajo z že zbranim grodljem, ki je v kontaktu s potopljenim koksom. Kontakt s plinsko fazo preneha takrat, ko je talina prekrita z žlindro. Temperatura grodlja znaša približno 1550 °C. V času od enega do drugega preboda se poveča vsebnost ogljika v grodlju od 0,1 do 0,5 % C.

Pri sodobnih plavžih poteka naogljčenje grodlja po celotni višini plavža. Pri plavžih, ki delajo s slabo pripravljenim vsipom, brez vpihovanja ogljikovodikov, z nizkim pritiskom plina na žrelu plavža in majhnim številom preboda na 24 ur, naogljčenje grodlja v glavnem poteka v talilniku plavža.

Pri raziskovanju vpliva bazičnosti vsipa na vsebnost ogljika v grodlju je ugotovljeno, da se pojavljata kot katalizatorja reakcije (3) reducirano železo in CaO, pri čemer aktivnost enega spodbuja aktivnost drugega. Pri tem se izloča razkrojni ogljik blizu delcev reduciranega železa v prvem stadiju naogljčenja, ki kasneje prehaja v grodlj. Razkrojni ogljik se izloča tudi na površini CaO, ne prehaja v grodlj, vendar sodeluje pri nastanku žlindre in opravlja direktno redukcijo njenih komponent. Obstaja realna možnost, da kosovnost in poroznost vsipnih komponent vplivata na naogljčenje grodlja.

Na osnovi eksperimentalnih rezultatov je J. S. Insfin s sodelavci postavil formulo za določevanje vsebnosti ogljika v grodlju in temperature grodlja:

$$|C| = 8,73 + 0,288 \frac{CO}{CO + H_2} - 0,00182 \left(\frac{CO}{CO + H_2} \right)^2 - 0,244 |Si| + - 0,00143 \cdot Tg + 0,278 \cdot P_{CO} \quad (5)$$

% CO — preračunan na zmes (CO + H₂) v žrelnem plinu

% Si — vsebnost silicija v grodlju

P_{CO} — parcialni pritisk CO v žrelnem plinu

Tg — temperatura grodlja v °C

$$Tg = 1210 + 23,37 |Si| + 16,99 C + 28,74 \cdot Bž + 212,1 \cdot P_{CO} \quad (6)$$

Bž — bazičnost žlindre CaO/SiO₂

Rezultati raziskav so pokazali, da vsebnost ogljika in silicija v grodlju lahko uporabljamo kot merilo za toplotno stanje plavža².

Pri obratovanju sodobnih plavžev je vsebnost ogljika v grodlju odvisna ne samo od temperature in vsebnosti nekaterih elementov v njem, temveč precej tudi od sestave vsipa ter pritiska in kemične sestave plina.

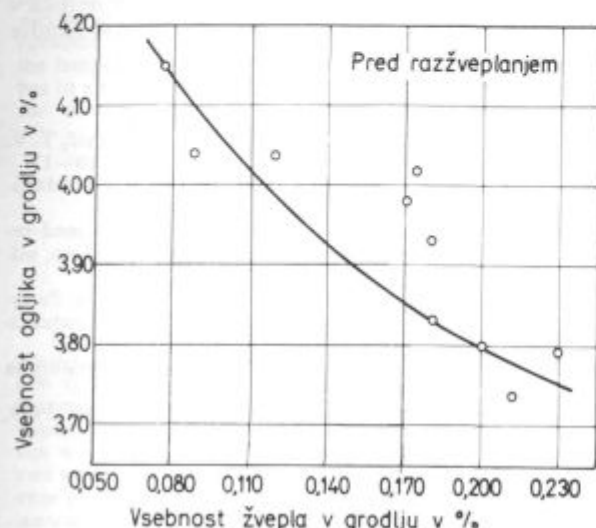
3.0 EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Naogljčenje smo zasledovali na štorskem elektroplavžu pri proizvodnji sivega specialnega grodlja za nodularno litino. Sestava vsipa je prikazana v tabeli 1. O vplivu žvepla na naogljčenje železa med redukcijo so bili izvršeni poskusi³ na plavžu v Sisku leta 1954. Uporabljali so metalurški koks s povečano vsebnostjo žvepla, kar je vplivalo na povečanje njegove vsebnosti v grodlju in zmanjšanje vsebnosti ogljika. Karakteristično je za te poskuse, da je dobljen sorazmerno nizek odstotek ogljika v grodlju pri sicer normalnih količinah silicija, mangana in žvepla. Če naraste vsebnost žvepla bolj, kot so njegove normalne vrednosti v grodlju, potem pad vsebnost ogljika še močneje. To pomeni, da med žveplom in ogljikom obstaja medsebojen fizikalno-kemični odnos v tem smislu, da žveplo znižuje topnost ogljika v železu in povečuje topnost žvepla v grodlju ter s tem pospešuje proces razžveplanja. S tem se potrjuje že znano dejstvo, da je razžveplanje grodlja bistveno boljše v reduktivni kot v oksidativni atmosferi. Železo, ki je vezano na žveplo, se ne more naogljčiti. Zato začne potekati naogljčenje za del železa, ki je vezano na žveplo, šele ko železo razžveplamo.

Tabela 1: Sestava vsipa za proizvodnjo grodlja za nodularno litino v elektroplavžu

Proba št.	Komponente vsipa v kg						
	Sinter	Hematit	Žlindra	Koks 10—20	Koks 20—40	Boksit	Apnec
1	1250	1150	190	450	270	30	240
2	1300	1100	190	450	250	30	240
3	1300	1100	190	450	250	30	240
4	1300	1100	190	460	250	30	240
5	1300	1100	190	470	250	30	240
6	1300	1100	190	470	250	30	240
7	1300	1100	190	470	250	30	240
8	1300	1100	190	470	250	30	240
9	1300	1100	190	470	250	30	240
10	1300	1100	190	470	250	30	240

Pri poskusih⁴ na štorskem elektroplavžu smo dobili podobne odvisnosti med ogljikom in žveplom pred razžveplanjem in po njem (sl. 1 in 2). Krivulji na slikah kažeta, da topnost ogljika v grodlju z naraščajočo vsebnostjo žvepla močno pada. To pomeni, če uporabljamo metalurški koks s povečano vsebnostjo žvepla, ga bomo dobili več v grodlju oziroma manj se bo železo naogljilo. Zato je predvsem važno, da določimo zgornjo mejo vsebnosti žvepla v grodlju, da bi dobili ustrezni odstotek ogljika v njem. To lahko dosežemo z ustrezno bazičnostjo žlindre in temperaturo v talilniku plavža.

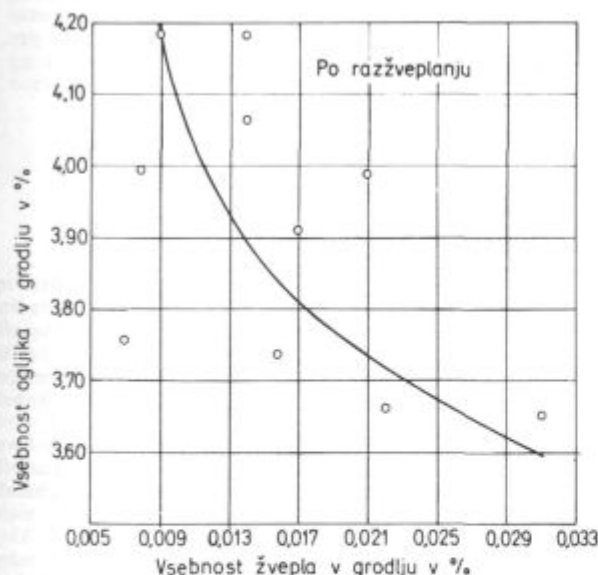


Sl. 1

Vpliv žvepla na vsebnost ogljika v grodlju pred razžveplanjem

Fig. 1

Influence of sulphur on the carbon content in pig iron before the desulphurization



Sl. 2

Vpliv žvepla na vsebnost ogljika v grodlju po razžveplanju grodlja z Na_2CO_3

Fig. 2

Influence of sulphur on the carbon content in pig iron after the desulphurization of pig iron with Na_2CO_3

Tabela 2: Kemična analiza grodlja, izdelanega v elektroplavžu pred razžveplanjem

Poraba št. št.	Kemična analiza v ut. %				
	C	Si	Mn	P	S
1	4,04	1,21	0,072	0,038	0,119
2	4,15	1,68	0,08	0,040	0,077
3	4,15	1,17	0,07	0,038	0,088
4	3,83	0,61	0,04	0,037	0,181
5	3,74	0,59	0,038	0,037	0,213
6	3,79	0,73	0,05	0,041	0,230
7	3,93	1,06	0,05	0,039	0,179
8	3,98	0,92	0,045	0,040	0,171
9	4,03	0,86	0,04	0,042	0,175
10	3,80	0,61	0,055	0,038	0,200

Tabela 3: Kemična analiza grodlja po razžveplanju z Na_2CO_3

Proba št. št.	Kemijska analiza v ut. %						Teža v t		Teža v kg
	C	Si	Mn	S	P	Ti	Grodelj	Žlindra	
1	3,76	0,78	0,07	0,007	0,032	0,012	14,0	5,0	150
2	4,19	1,25	0,07	0,009	0,036	0,035	15,0	7,0	150
3	4,19	0,96	0,07	0,014	0,036	0,021	16,0	6,0	150
4	4,07	0,14	0,07	0,014	0,038	0,001	16,0	7,0	150
5	3,65	0,18	0,07	0,031	0,032	0,001	15,0	6,0	150
6	3,99	0,34	0,07	0,021	0,038	0,001	16,0	7,0	150
7	3,99	0,40	0,07	0,008	0,038	0,004	14,0	4,0	150
8	3,66	0,62	0,07	0,022	0,036	0,009	15,0	6,0	150
9	3,91	0,52	0,07	0,017	0,038	0,003	17,0	7,0	150
10	3,74	0,21	0,07	0,016	0,037	0,001	14,0	7,0	150

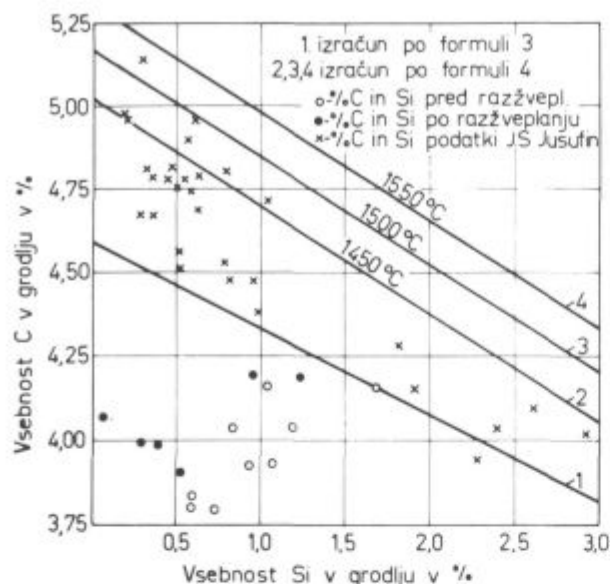
Nekateri avtorji^{5,6} trdijo, da žveplo zniža tudi vsebnost silicija v grodlju. Zato žveplo močneje vpliva na naogljčenje železa kot silicij. Po dosedanjih znanih podatkih je ugotovljeno, da aktivnost silicija in ogljika z naraščajočo vsebnostjo žvepla raste, kar pomeni, da višja vsebnost žvepla vpliva tako, da vsebnost ogljika in silicija v grodlju pada. Kemični analizi grodlja pred razžveplanjem in po njem sta prikazani v tabelah 2 in 3.

Na sliki 3 je prikazana odvisnost med silicijem in ogljikom, ki smo jo izračunali po formulah (1) in (2) za različne temperature grodlja. V diagram so vnesene tudi vsebnosti ogljika v grodlju, ki ga proizvajajo v novoliptičkih plavžih. Zaradi primerjave rezultatov smo vrisali tudi vsebnosti ogljika, ki smo jih dobili pri proizvodnji sivega specialnega grodlja pred razžveplanjem in po njem. Sivi grodelj vsebuje več silicija in žvepla (pred razžveplanjem) kot jeklarski, tako je tudi pričakovati nižje vsebnosti ogljika v njem.

Vsebnost ogljika v grodlju je odvisna tudi od reduktivnosti sintra in rude ter temperature v plavžu. To pomeni, čim lažje reduktivni sta ruda in sinte, tem prej se pojavlja kovinsko železo v plavžu, tako da ostane več časa za njegovo naogljčenje. Visoka temperatura v talilniku plavža pospešuje naogljčenje grodlja.

4.0 SKLEPI

Naogljčenje železa poteka že v jašku plavža pri pojavu kovinskega železa. Proces se nadaljuje v spodnjem delu plavža, ko kaplje grodlja tečejo po žareči plasti koksa in na ta način opravljajo naogljčenje. Naogljčenje se končuje v talilniku plavža, tako da se kaplje grodlja premešavajo z že zbranim grodljem, ki je v kontaktu



Sl. 3

Vpliv silicija in temperature na vsebnost ogljika v grodlju.

Fig. 3

Influence of silicon, and of temperature on the carbon content in pig iron

s potopljenim koksom. Pri taljenju lahko reduktivnih sintrov in rud je vsebnost ogljika v grodlju bistveno več-

ja v primerjavi s težko reduktivnim. Vsebnost ogljika v grodlju zvišujejo mangan, krom, titan, vanadij, znižujejo pa žveplo, silicij in fosfor. Zaradi tega je livarski grodelj manj naogljčen kot jeklarski, ker vsebuje večji odstotek silicija in manjši odstotek mangana. Posebno je važno poudariti, da grodelj, ki ga proizvajajo s kislom plavžno žlindro, vsebuje večji odstotek žvepla, zato je tudi njegova vsebnost v grodlju manjša. Če se poveča vsebnost žvepla bolj, kot so njegove normalne vsebnosti v grodlju, pade vsebnost ogljika še močneje. Žveplo znižuje topnost ogljika v železu, ogljik povečuje aktivnost žvepla ter s tem pospešuje proces razžveplanja. Zato je predvsem važno, da se določi zgornja meja vsebnosti žvepla v grodlju, da bi dobili ustrezní odstotek ogljika v njem. To lahko dosežemo z ustrežno bazičnostjo žlindre in temperaturo v talilniku plavža.

Literatura

1. J. S. Jusufin, M. A. Alter, P. P. Mišin, G. I. Urbanovič, T. V. Miskina, V. A. Šatlov: Metalurg, 1982, No. 11, str. 10—12
2. J. S. Jusufin, V. R. Grebenikov, V. V. Danšin, N. N. Martinov: Stal, 1983, No. 4, str. 10—12
3. B. Dobovišek: Študij naogljčenja in nažveplanja med redukcijo železovih rud, Poročilo Katedre za železarstvo, oddelka za Montanistiko FNT Ljubljana, 1963
4. Gl. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, J. Kramer, J. Zupšek, B. Sedlar, A. Valant: Naogljčenje grodlja med redukcijo, Poročilo Metalurškega inštituta Ljubljana, 1985
5. J. V. Fedulov, L. A. Avdenko, L. M. Moiseeva: Metalurgija čuguna, 1979, No. 9, str. 28—31
6. V. B. Šaškov, I. A. Pikulev, V. N. Kiselev: Metali, 1979, No. 2, str. 79—102

ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufkohlung von Roheisen ist sehr wichtig für die Hochofenleute und die Verbraucher, von denen ein bestimmter Kohlenstoffgehalt verlangt wird. Deshalb ist es nötig alle Faktoren die die Aufkohlung von Roheisen, beeinflussen festzustellen. Das reduzierte Eisen wird von Kohlenstoff aus Koks und dem Zerfallkohlenstoff aufgekohlt. Die Aufkohlung erfolgt durch die interstitische Auflösung von Kohlenstoff im Eisen. Es besteht eine Verbindung zwischen dem Kohlenstoffgehalt im Roheisen und der Reduktionsfähigkeit von Möller. Beim Schmelzen von leicht reduzierbaren Eisenerzen und Sintern ist der Kohlenstoffgehalt im Roheisen wesentlich höher als bei den schwer reduzierbaren Erzen. Die Aufkohlung von Eisen erfolgt schon im Hochofenschacht bei der Erscheinung von metallischem Eisen und endet im Nest wobei sich das Roheisen und die Schlacke mit dem getauchten Koks eng vermischen. Beim betreiben der modernen Hochöfen ist der Kohlenstoffgehalt im Roheisen nicht nur von der Temperatur und dem Gehalt anderer Elemente abhängig sondern im grossen Ausmass auch von der Zusammensetzung der Gassphase, der Zusammensetzung und der Reduktionsfähigkeit von Möl-

ler und der Porosität von Erzen. Den Kohlenstoffgehalt im Roheisen erhöhen Mangan, Chrom, Titan und Vanadin; Schwefel, Silizium und Phosphor erniedrigen den Kohlenstoffgehalt. Deshalb ist die Aufkohlung von grauem Roheisen für den Kugelgraphitgusseisen schlechter als beim Stahlroheisen. Die Untersuchungen zeigten, dass die Aufkohlung von Roheisen beim wachsendem Schwefelgehalt stark reduziert wird. Deshalb ist es vor allem wichtig die obere Grenze vom Schwefelgehalt zu bestimmen um einen entsprechenden Kohlenstoffgehalt zu gewährleisten. Das kann durch die entsprechende Schlackenbasizität und die Temperatur im Hochofen erreicht werden. Nach den bis jetzt bekannten Daten wächst die Aktivität von Silizium und Kohlenstoff mit dem wachsenden Schwefelgehalt, das bedeutet, dass beim hohen Schwefelgehalt der Silizium und Kohlenstoffgehalt im Roheisen fallen. Silizium und Kohlenstoffgehalt im Roheisen können als ein Maass für den Wärmezustand im Hochofen dienen. Eine hohe Temperatur im Hochofen beschleunigt die Aufkohlung von Roheisen.

SUMMARY

Carburization of pig iron is very important for smelters, and for the working characteristics of steel in which certain carbon contents are demanded. Therefore it is necessary to find all the parameters influencing the carburization of pig iron. Coke carbon and gas carbon carburize the already reduced iron. Carburization is the consequence of the interstitial solution of carbon in iron. There is a relationship between the carbon content in pig iron and the reducibility of the burden. In smelting easily reducible ores and sinters the carbon content in the pig iron is essentially greater than that with heavily reducible burdens. Carburization of iron takes place already in the furnace stack when metallic iron appears, and it is completed in the hearth where pig iron and slag are mixed with plunged coke. In operation of modern blast furnaces, the carbon content in pig iron depends not only on the temperature and the content of other elements in the iron but to a great extent also on the composition of the gas phase, the composition and the reducibility of burden, and the

porosity of ore constituents. Carbon content in pig iron is increased by manganese, chromium, titanium, vanadium, and it is reduced by sulphur, silicon, and phosphorus. Therefore the carburization of special grey pig iron for the spheroidal cast iron is lower than that of steel-making pig iron. The investigations showed that the carburization of pig iron is highly reduced by the increased sulphur content in it. Thus it is very important to fix the upper limit of the sulphur content in the pig iron to achieve a suitable carbon amount. This can be done by a choosing a suitable basicity of slag, and the temperature in the hearth. According to the known data it was found that activities of silicon and carbon increase with the increased carbon content. This means that higher sulphur content causes the reduction of carbon and silicon contents. Silicon and carbon contents in pig iron can be the measure for the thermal state of the blast furnace. High temperature in the hearth accelerates the carburization of pig iron.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Науглероживание чугуна имеет большое значение для доменщиков и для лиц, которые занимаются переработкой чугуна и требуют определенное содержание углерода. Поэтому необходимо определить все обстоятельства, которые влияют на науглероживание чугуна. Углерод из кокса и углерод разложения выполняют науглероживание уже восстановленного железа. Науглероживание выполняется вследствие внедрения твердого раствора углерода в железе. Существует связь между содержанием углерода в чугуне и восстановительной способностью шихты. При плавке руд и агломератов высокой восстанавливаемости содержание углерода существенно выше, чем при тяжело восстановительной шихте. Науглероживание железа выполняется в шахте домны при появлении металлического железа и оканчивается в гнезде, при чём происходит перемешивание чугуна и шлака с потопленным коксом. При работе современных домн содержание углерода в чугуне зависит не только от температуры и от содержащих в нём других элементов, а в большой мере от состава газовой фазы, состава и восстановительной способности шихты и пористости рудообразующих компонент.

Содержание углерода в чугуне увеличивают марганец, хром, титан и ванадий, а уменьшают сера, кремний и фосфор. Из-за этого науглероживание серого специального чугуна с шаровидным графитом слабее, чем передельного чугуна. Исследования показали, что науглероживание чугуна сильно падает с увеличением в нём серы. Поэтому главным образом надо определить верхнюю границу содержания серы в чугуне, чтобы получить соответствующий процент углерода. Это можно достигнуть с соответствующей основностью шлака и температуры в шахте домны. На основании теперь известных данных определено, что активность кремния и углерода с повышением содержания серы возрастает. Это значит, что увеличенное содержание серы действует так, что содержание углерода и кремния в чугуне уменьшаются.

Содержания кремния и углерода в чугуне можно считать как мерило теплового состояния домны. Высокая температура в шахте домны ускоряет науглероживание чугуна.