

УДК 669.162.263.455

Ю.В. Мосейко <sup>(1)</sup>, доцент, к.п.н.Ю.В. Куріс <sup>(1)</sup>, професор, д.т.н.О.С. Воденнікова <sup>(1)</sup>, доцент, к.т.н.Р.І. Беспалов <sup>(1)</sup>, доцент, к.т.н.Ю.С. Гаврилко <sup>(2)</sup>, інженер I-ої категорії

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ ОКСИДУ МАГНІЮ У ДОМЕННОМУ ШЛАКУ НА ВИДАЛЕННЯ СІРКИ З ЧАВУНУ

<sup>(1)</sup> Запорізька державна інженерна академія,<sup>(2)</sup> ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», м. Запоріжжя

Представлены результаты исследования влияния содержания оксида магния в доменных шлаках на их способность поглощать серу из чугуна. Установлено, что при увеличении содержания оксида магния в шлаке до 3,25 % возрастает его способность удалять серу из чугуна в интервале основности 1,26...1,36.

Ключевые слова: доменный шлак, оксид магния, чугун, удаление серы, основность

Подано результати дослідження впливу вмісту оксиду магнію у доменних шлаках на їх спроможність поглинати сірку з чавуну. Встановлено, що за збільшенням вмісту оксиду магнію у шлаку до 3,25 % зростає його спроможність видаляти сірку з чавуну в інтервалі основності 1,26...1,36.

Ключові слова: доменний шлак, оксид магнію, чавун, видалення сірки, основність

The results of research for influence of magnesia content in blast-furnace slags on their capacity to take up sulphur from cast-iron have been presented. It is set that at the growth of magnesia content in a slag to 3,25 % its capacity to delete sulphur from cast-iron in the interval of basicity 1.26-1.36 increases.

Keywords: blast-furnace slag, magnesia, cast-iron, removal of sulphur, basicity

*Вступ.* Високі вимоги до якості чавуну, що одержують за умов форсованого ходу доменних печей, які працюють на агломераті й окатишах з оптимальною питомою витратою коксу, потребують відпрацювання оптимального шлакового режиму зазначених печей, а також вибирання раціонального складу кінцевого шлаку. За забезпеченням вказаних умов сягають збільшення виходу чавуну через створення рівнішого ходу печі та поліпшення його якісних показників через зниження в нім вмісту сірки.

*Аналіз досягнень.* Відомо [1], що процес видалення сірки з чавуну успішно здійснюють за основним шлаком, у відновній атмосфері, а також за мінімальним вмістом оксиду заліза ( $FeO$ ) у шлаку.

Вивченню одержання у доменній печі чавуну з низьким вмістом сірки присвячена значна кількість робіт [2-8].

У роботі [2] відзначається, що під час плавлення у печі значна кількість сірки передається від коксу через газову фазу продуктам плавлення. Найбільша кількість сірки з газової фази переходить у шлак і метал на ділянці «горизонт фурменої зони – розпар».

Поліпшенню процесів переведення сірки до шлаку й одержання чавуну з її низьким вмістом сприяє робота доменних печей з повністю офлюсо-

ваним агломератом та виведенням сирого вапняку зі складу шихти.

Результати досліджень, яких виконано за виробничих умов [3], підтверджують, що під час роботи печей з використанням агломерату основністю 1,10...1,12 зафіксовано значне підвищення коефіцієнта розподілу сірки між чавуном і шлаком ( $L_S$ ).

Г.А.Воловиком [4] показано, що під час переведення доменних печей на використання офлюсованого агломерату спостерігається зниження винесення сірки з колошниковим газом та зростання її переведення у шлак на всьому шляху його формування, й, отже, підвищення величини коефіцієнта  $L_S$ .

Поліпшення процесу видалення сірки з чавуну [5] сягають за рахунок збільшення кількості випусків із печі, а, отже, і зростання кількості нижнього шлаку, який краще контактує із чавуном.

У монографії [6] виконано якнайповніший термодинамічний аналіз десульфуратії чавуну в доменних печах і розроблено практичні заходи щодо підвищення спроможності шлаку поглинати сірку під час виплавлення маломарганцевистого чавуну.

Авторами роботи [7] вивчено сполуки сірки, які поступають у доменну піч з матеріалами шихти. У офлюсованому агломераті значна частина сірка пов'язана з кальцієм в олівіні, а в зернах магнетиту спостерігається перехід певної кількості  $FeS$  на  $CaS$ , що створює тверді розчини в магнетиті. Отже,

застосування офлюсованого агломерату в доменних печах створює сприятливіші умови для зменшення вмісту сірки у чавуні шляхом активного її ошлаковування.

У роботі [8] наведено результати досліджень впливу витрати коксу, температури й основності шлаку на розподіл сірки між чавуном і шлаком. У разі виплавляння холодних малокрем'янистих чавунів (0,2...0,5 % кремнію) встановлено, що шлак у горні доменної печі має знижену температуру (1400...1450 °C). Як наслідок відбувається зменшення коефіцієнта  $L_S$  у 1,5...2,0 рази порівняно із шлаком, який має температуру 1500 °C, що можна пояснити впливом температури на в'язкість шлаку й активність у ній сірки.

Метою роботи є вивчення впливу вмісту оксиду магнію у доменному шлаку на видалення сірки з чавуну.

Основна частина досліджень. Експериментальні дослідження щодо вивчення міри поглинання сірки синтетичними шлаками, які містять 3,0...14,4 %  $MgO$ , та доменними шлаками, що вміщують 2,70...3,25 %  $MgO$ , виконували у печі опору із внутрішнім діаметром робочого об'єму 80 мм. Видалення сірки з чавуну здійснювали в графітовому тиглі, що розміщували у центральній частині робочого об'єму зазначеної печі – у зоні високої температури. Температуру в робочому об'ємі печі вимірювали протягом усього експерименту за допомогою оптичного пірометра ТЕРА-50.

Під час підготовки зразків сірчистого чавуну до плавлення шихту формували шляхом ретельного перемішування суміші, що складається з 100 частин чавуну і 1,2 частин чистої сірки. Таку суміш завантажували у корундовий тигель, встановлювали його в піч і спікали за температури 500...600 °C протягом 15 хвилин з одержанням сірчистого чавуну.

Зразки синтетичного шлаку характеризувалися вмістом  $MgO$  у кількості 2,5; 4,2; 5,8; 7,5; 9,1; 10,8; 12,4 і 14,2 %, а також наявністю 0,3...0,5 %  $FeO$ . Компонентами шлаку були хімічно чисті оксид магнію  $MgO$  та двооксид алюмінію  $Al_2O_3$ , а також вапняк  $CaCO_3$  і кварцовий пісок. Відповідну кількість компонентів ретельно перемішували й у графітовому тиглі завантажували в піч, де нагрівали до температури 1500 °C. Розплавлений шлак після витримки протягом 15 хвилин за вказаної температури виливали в спеціальну виливницю. Після охолодження шлак піддавали дробленню до фракції менше 3,0 мм і ретельно перемішували.

Зразки шлаку та чавуну масою 30 г завантажували у графітовий тигель і нагрівали до температури 1400 °C. Розплав піддавали витримці протягом двох годин і направляли на хімічний аналіз до

заводської лабораторії. Результати досліджень подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив  $MgO$  на здатність шлаку поглинати сірку (результати лабораторних досліджень)

Вміст $MgO$ в шлаку, %	Коефіцієнт розподілу сірки, $L_S$	Основність шлаку $CaO/SiO_2$	Сумарна основність шлаку $(CaO+MgO)/SiO_2$
5,88	33,00	1,05	1,20
7,84	21,40	0,96	
9,50	23,70	0,98	
12,01	22,20	0,89	
12,70	23,50	0,81	
13,69	19,00	0,81	1,25
4,41	46,10	1,12	
5,58	34,30	1,10	
7,54	42,00	1,05	
8,66	33,60	1,03	
11,82	42,00	0,96	1,30
14,40	28,40	0,87	
2,95	59,70	1,20	
4,48	44,00	1,18	
5,68	45,50	1,17	
6,40	41,80	1,17	
7,74	39,20	1,09	
8,13	42,50	1,10	
11,20	34,40	0,89	
12,50	33,20	0,96	

Таблиця 2 – Вплив основності шлаку на його здатність поглинати сірку (промислові дані, в шлаку 2,70  $MgO$  %)

Основність шлаку $(CaO+MgO)/SiO_2$	Доменна піч				Вміст кремнію в чавуні, %
	№ 4		№ 5		
	$L_S$	Кількість оброблених даних	$L_S$	Кількість оброблених даних	
1,26	32,7	2	42,2	1	0,85
1,28	42,5	3	46,0	7	0,91
1,30	40,2	9	41,5	27	0,83
1,32	42,9	36	45,0	60	0,85
1,34	46,1	46	46,5	59	0,84
1,36	49,5	29	52,0	31	0,86
1,38	56,9	12	53,6	15	0,90
1,40	58,7	3	58,9	4	0,88
середній	46,4		47,2		

Результати статистичної обробки даних роботи доменних печей № 4 і 5 ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» за вмістом у шлаку 2,70 і 3,25 %  $MgO$  дозволили визначити для кожного значення основності середнє значення  $L_S$  і середній вміст кремнію у чавуні (табл. 2 і 3).

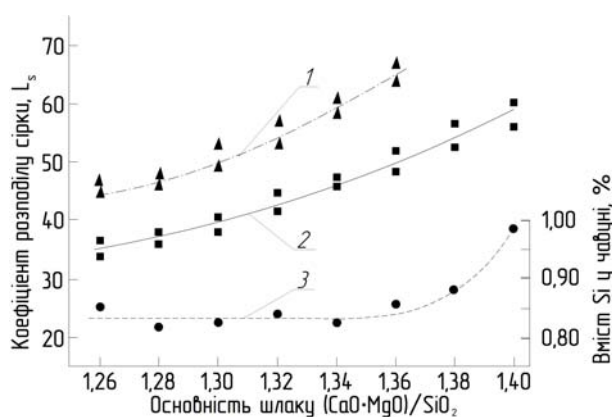
З використанням табл. 2 і 3 одержано залежність коефіцієнта  $L_S$  від основності шлаку (рис. 1), з якої випливає, що шлаки із вмістом оксиду магнію 3,25 % мають кращу спроможність поглинати сірку, чим шлаки з його вмістом 2,70 %.

Окрім того, встановлено, що з підвищенням основності шлаку зростає його спроможність поглинати сірку. Так, за основності шлаку 1,26 і збільшення вмісту  $MgO$  до 3,25 % коефіцієнт розподілу сірки зростає до 45,0, за основності 1,36 його зна-

чення підвищується до 66,0, тобто його приріст більший у два рази, ніж за основності 1,26.

**Таблиця 3** – Вплив основності шлаку на його здатність поглинати сірку (промислові дані; у шлаку 3,25 %  $MgO$ )

Основність шлаку ( $CaO+MgO$ ) / $SiO_2$	Доменна піч				Вміст кремнію в чавуні, %
	№ 4		№ 5		
	$L_s$	Кількість оброблених даних	$L_s$	Кількість оброблених даних	
1,26	44,7	2	-	-	0,80
1,28	46,6	5	47,2	4	0,88
1,30	53,2	11	45,5	7	0,85
1,32	60,2	9	46,8	8	0,87
1,34	56,2	3	58,9	3	0,88
1,36	-	-	66,2	4	0,78
середній	54,2		50,4		



1 - 3,25 %  $MgO$  в шлаку; 2 - 2,70 %  $MgO$  в шлаку; 3 - вміст кремнію у чавуні

**Рисунок 1** – Залежність  $L_s$  від основності шлаку за даними промислових досліджень

Крива змінювання вмісту кремнію у чавуні для інтервалу основності 1,26...1,38 є практично горизонтальною, що вказує на незначні коливання нагрівання горна печі. Отже, шлаки, що містять 3,25 %  $MgO$ , мають кращу спроможність поглинати сірку за рахунок зниження їх в'язкості, що прискорює процеси дифузії та покращує видалення сірки з чавуну під час просочування його у горн печі через шар шлаку. Окрім того, з одержаної залежності випливає, що підвищення вмісту  $MgO$  в шлаку з 2,70 до 3,25 % дозволяє працювати за промислових умов з використанням шлаків з меншою основністю, не знижуючи при цьому їх спроможність поглинати сірку. Наприклад, якщо шлак за вмістом 2,70 %  $MgO$  та основності 1,36 має  $L_s = 48$ , то шлак із вмістом 3,25 %  $MgO$  має те ж значення  $L_s$  за його основності 1,31.

**Висновки.** Результати виконаних досліджень дозволили встановити, що під час збільшення вмісту оксиду магнію у промислових доменних шлаках від 2,70 до 3,25 % спостерігається підвищення їх спроможності поглинати сірку в інтервалі основності 1,26...1,36. Переведення доменних печей на роботу з шлаками, які містять до 3,25 %  $MgO$ , дозволяє використовувати шлаки меншої основності.

### Бібліографічний список

1. **Шлаковий режим доменних печей** [Текст] : збірник статей / Под ред. Н. Л. Жило и М. Я. Остроухова. – М. : Metallurgia, 1967. – 488 с. – Библиография в конце статей. – 500 экз.
2. **Воловик, Г. А.** Повышение эффективности ошлакования серы в доменной печи [Текст] / Г. А. Воловик // Metallurgia и коксохимия : межвед. респ. науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 1968. – Вып. 13. – С. 93-99. – Библиогр.: с 98-99.
3. **Воловик, Г. А.** Снижение серы в передельном чугуна завода «Запорожсталь» в связи с совершенствованием технологии доменной плавки [Текст] / Г. А. Воловик, Ю. М. Потеня // Сталь. – 1964. – № 4. – С. 296-299. – Библиогр.: с. 299.
4. **Воловик, Г. А.** Оценка действительного распределения серы между чугуном и шлаком в доменной печи [Текст] / Г. А. Воловик // Сталь. – 1966. – № 5. – С. 398-404. – Библиогр.: с. 404.
5. **Потеня, Ю. М.** Резервы повышения эффективности доменного производства [Текст] / Ю. М. Потеня, В. Ф. Брагин, Р. Г. Рихтер и др. – Днепропетровск : Промінь, 1970. – 158 с. – Библиогр.: с. 156-157. – 150 экз.
6. **Куликов, И. С.** Десульфурация чугуна [Текст] / И. С. Куликов. – М. : Metallurgia, 1962. – 306 с. – Библиогр.: с 300-306. – 3250 экз.
7. **Воловик, Г. А.** Распределение серы между фазами, образующими структуру руды и агломерата [Текст] / Г. А. Воловик, И. Е. Лев // Metallurgia и коксохимия : межвед. респ. науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 1966. – Вып. 9. – С. 91-101. – Библиогр.: с. 100-101.
8. **Логинов, В. И.** Влияние расхода кокса, температуры и основности шлака на распределение серы [Текст] / В. И. Логинов // Metallurgia и коксохимия : межвед. респ. науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 1971. – Вып. 24. – С. 50-52. – Библиогр.: с. 52.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2014 р.  
Рецензент, проф. С.А. Воденніков