

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.184.046.546.2

Соколов И.Л., Соколова Е.В.

ОСОБЕННОСТИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ, НИЗКОКРЕМНИСТОЙ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ»

Аннотация. Вопрос десульфурации низкокремнистых сталей на агрегате «ковш-печь» является актуальным. Трудность процесса десульфурации этих марок обуславливается тем, что после раскисления металла алюминиевой катанкой окисленность шлака остается по-прежнему высока, что, в свою очередь, препятствует процессу обессеривания. А при дальнейшем раскислении получается стекловидный шлак, который также негативно влияет на процесс. В статье предлагается совершенствование технологии десульфурации низкокремнистых сталей в условиях ККЦ ПАО «ММК». Было подтверждено, что успех десульфурации стали напрямую зависит от степени раскисленности шлака, которую визуально можно оценить по качеству поверхности шлака. Также необходимо для сохранения жидкоподвижности шлака рационально распределять подачу извести по всему времени обработки. Для ограничения роста содержания кремния в стали необходимо оценить наличие конверторного шлака в сталеразливочном ковше на начальном этапе обработки.

Ключевые слова: десульфурация, низкокремнистые стали, агрегат «ковш-печь», «белый» шлак.

Десульфурация стали относится к наиболее важным процессам, которые влияют на качество металла [1]. В настоящее время низкое содержание серы в металле во многом обеспечивает обработка на агрегате «ковш-печь» (АКП). Вопросом повышения эффективности процесса десульфурации на АКП занимались многие авторы [2-8]. И сейчас эта тема остается весьма актуальной.

Интерес представляет десульфурация низкоуглеродистых, низкокремнистых сталей на агрегате «ковш-печь». Снижение серы в такой стали положительно влияет как на структуру металла, так и на его механические свойства. Листовой прокат из них используется для изготовления деталей методом холодной штамповки со сложной и особо сложной вытяжкой. Эти стали сочетают высокие показатели пластичности с хорошей прочностью и используются для производства деталей кузовов автомобилей [9].

Такие стали входят в сортамент ПАО «ММК». В табл. 1 приведен химический состав некоторых производимых на этом предприятии сталей такого типа.

Трудность процесса десульфурации этих марок обуславливается тем, что после раскисления металла алюминиевой катанкой окисленность шлака остается по-прежнему высока (8-10%), что, в свою очередь,

препятствует процессу глубокой десульфурации. А при дальнейшем раскислении получается стекловидный шлак, который также негативно влияет на процесс. Также необходимо отметить, что не всегда удается удерживать кремний в заданных маркой пределах.

Как известно, одним из условий десульфурации металла является глубокое раскисление шлака, его низкая окисленность. Характер зависимости величины коэффициента распределения серы между шлаком и металлом от содержания (FeO) показан на рис. 1.

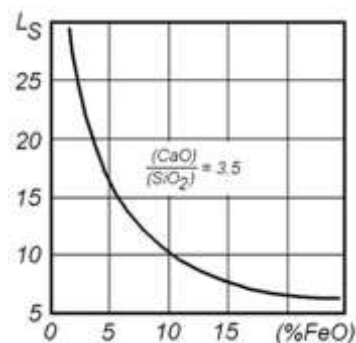


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения серы между шлаком и металлом от содержания FeO в шлаке

Таблица 1

Химический состав сталей с низким содержанием углерода и кремния

Марка стали	Массовая доля элементов, в диапазоне или не более %									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N	Al
08Ю	0,02-0,04	0,01	0,15-0,25	0,020	0,015	не более 0,10			0,007	0,03-0,06
A424	0,02-0,05	0,01	0,15-0,25	0,020	0,015	не более 0,10			0,007	0,03-0,06
DC05	0,02-0,04	0,01	0,15-0,25	0,012	0,015	не более 0,09			0,006	0,04-0,07
DC06	0,004	0,01	0,10-0,18	0,012	0,012	н/б 0,03	н/б 0,03	н/б 0,05	0,006	0,03-0,06

Важным моментом в известных технологиях обессеривания является получение так называемого «белого» шлака. На практике светло-желтый цвет шлака означает, что он нормально раскислен, а глубокая десульфурация будет обеспечена. Массовая доля $(\text{FeO})+(\text{MnO})$ при этом должна составлять менее 1,5%. Однако важное значение имеет оценка состояния поверхности шлака. В табл. 2 представлены критерии визуального анализа состава ковшевого шлака и рекомендации по его корректировке.

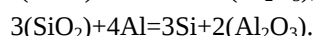
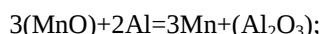
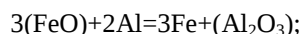
Таблица 2

Критерии визуального анализа состава ковшевого шлака и рекомендации по его корректировке

1. По цвету	
«Черный, темно-серый»	Массовая доля $(\text{FeO})+(\text{MnO})$ более 2%. Шлак необходимо дополнительно раскислить Al
«Серый»	Массовая доля $(\text{FeO})+(\text{MnO})= 1,5 - 2\%$. Необходимо дальнейшее раскисление шлака Al
«Белый» или «светло-желтый»	Шлак нормально раскислен $(\text{FeO})+(\text{MnO})$ менее 1,5%. Светло-желтый цвет указывает, что десульфурация прошла
«Зеленый»	Шлак имеет повышенное содержание оксида хрома (Cr_2O_3)
2. По состоянию поверхности	
Матовая и гладкая	Шлак требуемого состава
Зеркальная, (очень гладкая) и тонкая	Высокая доля $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$. Необходима добавка извести порциями по 0,4 кг/т
Гладкая и толстая	В холодном состоянии шлак должен распадаться. Если он не распадается, то высока доля (Al_2O_3) . Необходима добавка порций извести по 0,4 кг/т
Шероховатая / неровная	Высокая доля (CaO) . Если имеются нерастворенные частицы извести, то необходима добавка песка (SiO_2) и глиноземо-содержащего материала (Al_2O_3) порциями не более 0,1 кг/т

При раскислении катанкой растет оксид алюминия в шлаке, соответственно, получается зеркальная гладкая поверхность, что, в свою очередь, негативно влияет на проведение десульфурации. Задача получить матовую и гладкую поверхность шлака.

Протекают следующие реакции:



На рис. 2 представлен пример подобного конечного шлака. Поверхность – гладкая и матовая. По толщине куска можно сделать вывод, что шлак был достаточно жидкоподвижен, а цвет говорит об успешной десульфурации.



Рис. 2. Шлак с матовой и гладкой поверхностью

Основываясь на промышленном опыте, для повышения эффективности процесса десульфурации предлагается следующее:

1. На начальном этапе проводить раскисление гранулами АВ-87 в количестве 100-150 кг.

2. Дальнейшее раскисление проводить катанкой АВК с одновременной присадкой извести порциями 250-350 кг до получения гладкой матовой поверхности шлака.

3. Постоянный визуальный контроль за цветом и качеством поверхности шлака.

Необходимо отметить, что получение матовой поверхности на начальном этапе раскисления, соответствует наличию конверторного шлака в ковше. В этом случае становится проблематичным сдержать прирост кремния и фосфора.

С учетом вышеизложенных предложений на агрегате «ковш-печь» была проведена обработка опытной плавки. На рис. 3 представлено изменение содержания алюминия и кремния по ходу обработки. Из рисунка видно, что работа по данной схеме не только позволяет повысить эффективность десульфурации (удалось снизить серу с 0,02 до 0,009%), но и удерживать содержание кремния в заданных пределах (0,008%). Необходимо отметить, что процесс начинается еще при «черном» шлаке, а именно при сумме оксидов железа и марганца 5-6%. А получение «белого» шлака целесообразно только к концу обработки, в отдельных случаях необходимо остановить процесс раскисления на уровне 2-3%, в зависимости от интенсивности роста содержания кремния.

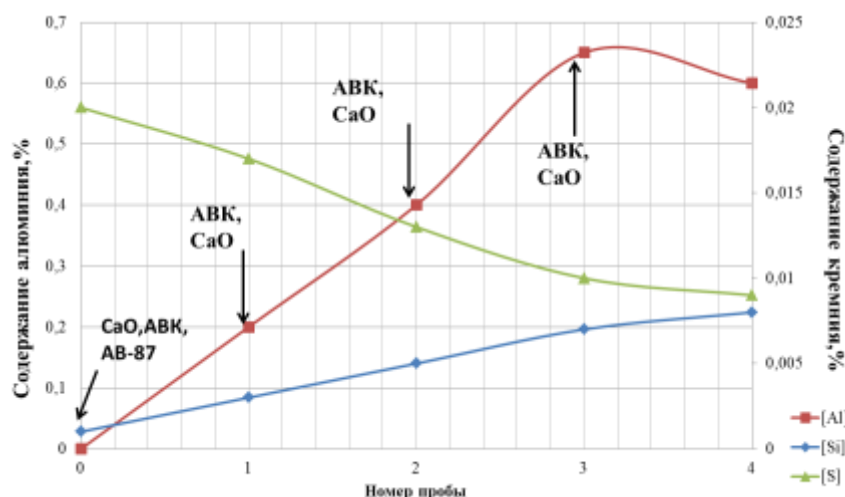


Рис. 3. Изменение содержания алюминия и кремния по ходу обработки стали марки 08Ю на агрегате «печь-ковш»

Таким образом, успех десульфурации напрямую зависит от шлака и его характеристик. Поэтому необходимо: получить низкое содержание оксида кремния в шлаке (менее 4%), соблюдать соотношение $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 2 \dots 2,5$, содержание $\text{FeO} + \text{MnO} = 4 \dots 6\%$ в середине процесса десульфурации.

Еще одно условие успешной десульфурации – распределение порций извести по всей продолжительности обработки для сохранения жидкоподвижности шлака. Также нужно отметить, что для удержания содержания кремния необходимо сделать выводы о наличии конверторного шлака на начальном этапе обработки.

Список литературы

1. Остроушко А. В. Повышение эффективности десульфурации стали печным шлаком при выпуске из электродуговых печей // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2000. №10.
2. Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф. Внепечная обработка стали: учебник для вузов. М.: МИСиС, 1995. 256 с.
3. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. М.: Металлургия, 1992. 336 с.
4. Лузгин В.П., Сёмин А.Е., Комолова О.А. Теория и технология металлургии стали. Внепечная обработка стали: учебное пособие. М.: МИСиС, 2010. 72 с. ISBN 978-5-87623-346-2.
5. Bažan Jiří. Iron and Steelmaking (Study Support) Ostrava: Technical University of Ostrava, 2015. 135 p.
6. Ковшовая десульфурация конвертерной трубной низкосернистой стали / Ушаков С.Н., Бигеев В.А., Столяров А.М., Потапова М.В. // Металлург. 2018. № 7. С. 50-53.
7. Повышение эффективности десульфурации на установках «ковш-печь» при обработке стали с низким содержанием кремния / Храпов Г.А., Шиловских О.Ю., Тюленев Е.Н., Долгих Ю.Н. // Сталь. 2016. № 3. С. 12-13.
8. Desulfurization of pig iron and steel / Yugov P.I., Romberg A., Yang D. // Metallurgist. 2000. T. 44. № 11-12. С. 556-559.
9. Изменение содержания шлакообразующих элементов по ходу ковшевой обработки стали с регламентированным содержанием фосфора / Соколова Е.В., Бигеев В.А. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2019. Т. 10. № 1. С. 46-50.

Сведения об авторах

Соколов Иван Леонидович – совместитель кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Соколова Екатерина Владиславовна – аспирант кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

PECULIARITIES OF DESULFURIZATION OF LOW-CARBON, LOW-SILICON STEEL AT LADLE-FURNACE UNIT

Sokolov Ivan L. – Moonlighter, Dpt. “Metallurgy and chemical technologies”, Institute of metallurgy, machine-building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Sokolova Ekaterina V. – Postgraduate, Dpt. “Metallurgy and chemical technologies”, Institute of metallurgy, machine-building and material processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. *Desulfurization of low-silicon steels at the ladle furnace is a topical issue. The difficulty of the desulfurization process for these grades is due to the fact that after the metal is deoxidized with aluminum wire rod, the oxidation of the slag remains high as before, which in turn interferes with the desulfurization process. And with further deoxidation, a glassy slag is obtained, which also negatively affects the process. The article proposes to improve the technology of desulfurization of low-silicon steels in the conditions of the oxygen-converter shop of the Public Joint Stock Company "Magnitogorsk Metallurgical Plant". It was confirmed that the success of steel desulfurization directly depends on the degree of slag deoxidation, which can be visually assessed by the quality of the slag surface. It is also necessary to rationally distribute the supply of lime throughout the processing time to maintain the fluidity of the slag. To limit the growth of silicon content in steel, it is necessary to assess the presence of converter slag in the steel-pouring ladle at the initial stage of processing.*

Key words: *desulfurization, low-silicon steels, ladle furnace unit, “white” slag.*

Ссылка на статью:

Соколов И.Л., Соколова Е.В. Особенности десульфурации низкоуглеродистых, низкокремнистой стали на агрегате «ковш-печь» // Теория и технология металлургического производства. 2020. №3 (34). С. 4-7.

Sokolov I.L., Sokolova E.V. Peculiarities of desulfurization of low-carbon, low-silicon steel at ladle-furnace unit. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 34, no. 3, pp. 4-7.