

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ НЕОФЛЮСОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

С.А. Теслев, ведущий инженер «ЮФЗ», Е.П. Теслева, к. ф – м. н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 6–44–32

Ферросилиций – это сплав железа с кремнием, который применяется для раскисления и легирования стали, а также для получения отливок из чугуна с заданным содержанием кремния [1, 2]. Вводить в сталь кремний в виде его сплава с железом, а не в чистом виде удобнее вследствие более низкой температуры плавления и выгоднее, так как стоимость сплава ниже по сравнению со стоимостью кристаллического кремния.

В любом восстановительном металлургическом процессе шихта состоит из рудной составляющей и восстановителя. В производстве ферросилиция рудным компонентом шихты является кварцит, а восстановителем – коксовый орешек. Для получения ферросилиция помимо кремниевой руды и восстановителя необходим железосодержащий материал.

Железо в шихту можно ввести в виде оксидов (руда, окатыши, окалина), в виде частично восстановленного материала (металлизированные окатыши, отходы от машин огневой зачистки слитков) или в виде стальной, чугунной стружки или их смеси – доменного присада.

Производство ферросилиция относится к бесшлаковым процессам, точнее – малошлаковым, поскольку кратность образующегося шлака составляет в среднем около 3% [3]. Шлак формируется в печи из примесей кварцита и золы восстановителя, поэтому традиционно, чтобы не увеличивать кратность шлака и не повышать удельный расход электроэнергии, железо в шихту вводится в виде стальной или чугунной стружки.

Требования к стальной стружке таковы:

1. Можно использовать стружку только углеродистых, нелегированных марок стали (СТ1-6 по ГОСТ 380-2005). Исключение допускается только для сталей легированных кремнием, например трансформаторной.

2. Стружка не должна быть загрязнена минеральными и органическими примесями (маслами, эмульсиями) более 3% по массе.

3. Стружка не должна быть спутанной. Допускается длина витков не более 50 мм.

Чугунная стружка в отличие от стальной не спутывается, хорошо дозируется, содержит минимум вредных примесей (хрома, никеля, меди), но при этом имеет в 4 раза большую концентрацию фосфора. Поэтому стружка из литейного чугуна обычного качества при производстве ферросилиция марок ФС45 и ФС65 имеет ограниченное применение (40-60% от массы стальной стружки), а при производстве ферросилиция марки ФС75 может заменять до 100% стальной стружки. При выплавке ферросилиция марки ФС45 неограниченное применение имеет стружка из рафинированного от фосфора синтетического чугуна, в котором концентрация фосфора находится на уровне сталей рядового качества.

Стальная и чугунная стружка, используемая в ферросплавном производстве, должна соответствовать ГОСТ 2787-75. Требования к химическому составу сталей и чугунов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к химическому составу сталей и чугунов

Марка стружки	Марка металла	Химический состав, %								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	S	P
14А	Сталь углеродистая	0,06-0,12	0,05-0,30	0,25-0,50	<0,30	<0,30	<0,30	--	<0,050	<0,040
	Ст2 -/-	0,09-0,15	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	--	-/-	-/-
	Ст3 -/-	0,14-0,22	-/-	0,30-0,65	-/-	-/-	-/-	--	-/-	-/-
	Ст4 -/-	0,18-0,27	-/-	0,40-0,70	-/-	-/-	-/-	--	-/-	-/-
	Ст5 -/-	0,28-0,37	-/-	0,50-0,80	-/-	-/-	-/-	--	-/-	-/-
	Ст6 -/-	0,38-0,49	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	--	-/-	-/-
	Стружка, фактически	0,20-1,70	0,16-0,64	0,56-0,90	0,23-0,94	0,16-0,75	0,12-1,20	0,007-0,014	0,035-0,057	0,021-0,046

Секция 2: Инновационные технологии получения и обработки материалов в машиностроении

Марка стружки	Марка металла	Химический состав, %								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	S	P
24А	Чугун литейный Л1-Л6	3,5-4,6	1,2-3,6	0,3-1,50	--	--	--	--	0,02-0,05	0,08-1,20
	Чугун специальный Gh1906л	3,25-3,35	2,10-2,20	0,5-0,7	0,10-0,20	0,15-0,35	0,50+0,70	--	<0,06	<0,06
	Gh75-50-03	3,60-3,80	2,60-2,80	0,5-0,6	<0,07	0,70-0,90	-/-	--	<0,012	<0,06
	Gh56-40-05	3,60-3,80	2,65-2,85	0,37-0,47	<0,07	0,80-0,90	0,10-0,30	--	<0,012	<0,06
25А	Доменный присад, фактически	н.д.	1,25	н.д.	0,23-0,26	0,31	н.д.	0,006	н.д.	0,029

Предприятия, которые занимаются производством ферросилиция, приобретают металлическую стружку у специализированных поставщиков.

На сегодня, в связи с резким изменением котировки курса доллара по отношению к рублю возникла проблема дефицита стружки. Основные специализированные поставщики стружки в 2015 году поспешили массово отгрузить весь имеющийся запас в зарубежные страны. Машиностроительное производство в России переживает спад выпуска продукции, и как следствие, выдает недостаточное количество стружки, которое не позволяет обеспечить потребность ферросплавной промышленности.

Таким образом, на сегодняшний день в Кузбассе возникла острая необходимость использования заменителей железной стружки. При выборе материалов, которые могли бы заменить стружку необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Максимальная концентрация железа в материале.
2. Минимальная концентрация фосфора.
3. Минимум оксидов алюминия и титана.

Химический состав некоторых железосодержащих материалов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав некоторых железосодержащих материалов

Наименование материала	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MqO	MnO	TiO ₂	Cr	P ₂ O ₅	S
Агломерат доменный	53,8	11,96	63,05	8,30	2,50	10,32	1,71	0,62	0,10	0,024	0,11	0,022
Агломерат литейный	57,4	14,76	65,76	8,60	2,50	5,34	1,67	0,62	0,10	0,024	0,11	0,019
Таштагольская руда	49,1	20,65	47,29	13,75	5,53	8,83	0,28	0,46	0,16	н.д.	0,12	0,350
Обоженные окатыши, Лебединский ГОК	65,4	1,00	92,30	5,70	0,30	0,20	0,30	н.д.	н.д.	н.д.	0,03	0,004
Обоженные окатыши, Михайловский ГОК	59,1	1,30	83,00	10,10	0,20	4,80	0,40	н.д.	н.д.	н.д.	0,02	0,020
Обоженные окатыши, Оскольский ЭМК	67,2	0,48	95,50	3,30	0,20	0,15	0,30	н.д.	н.д.	н.д.	0,015	0,001
Окалина прокатных цехов	63,0	--	90,00	7,25	1,17	0,20	н.д.	0,43	н.д.	н.д.	0,25	0,001
Металлизированные окатыши	78,1	21,74	--	12,48	0,80	0,78	0,55	0,56	н.д.	н.д.	0,03	0,001

Для сохранения текущих объемов производства ферросилиция в Кузбассе были проанализированы и проработаны возможные варианты замены железной стружки.

1. *Полная замена стружки железной рудой.* Одним из возможных вариантов является использование железной руды вместо стружки. Из опыта выплавки ферросилиция на «Ключевском заводе ферросплавов» (Свердловская обл.) известно, что в 1959г. на одной из печей, выплавляющих ферросилиций марки ФС75, железную стружку заменяли железной рудой. Позднее, в 1971 году П.В. Топильский и др. на УЗФ повторили опыты по полной замене стружки железной рудой [4]. Результаты этих опытных компаний показали, что данный способ замены возможен, но при этом значительно увеличивается удельный расход электроэнергии. По мнению М.А.Рысса [5] применение же-

лезной руды является нецелесообразным, т.к. она вносит большое количество шлакообразующих компонентов и требует дополнительных, значительных затрат электроэнергии и углерода на восстановление оксидов железа и нагрев шлака.

2. *Замена стружки металлическим ломом (скрапом).* В качестве заменителя стружки возможно применение высокоуглеродистого низколегированного лома. Однако для введения его в шихту необходимо провести работы по его измельчению и сортировке. Для этого предприятие должно приобрести соответствующую рубительную машину либо обратиться к организациям, имеющим данное оборудование. Недостатком данного метода является значительное увеличение стоимости продукта.

3. *Частичная замена стружки железистым кварцитом.* Опыт ОАО «Серовский завод ферросплавов» (Свердловская обл.) показывает, что при определенных условиях можно часть стружки заменять высококачественной кусковой железной рудой (в частности Криворожского бассейна). Куски железной руды в верхних горизонтах печи восстанавливаются богатым оксидом углерода (СО) противоточным газом. В связи с наличием железистых кварцитов с содержанием 34-44% Fe возможно их использование взамен части кварцита и железной стружки. Однако применение железистых кварцитов в кусковом виде затруднено по ряду причин. Структура железистых кварцитов такова, что кремнезем и минералы железа имеют тонкое прораствание. При температурах колошника и, тем более верхних горизонтов ванны, оксиды железа, восстановившиеся до закиси железа, активно взаимодействуют с оксидом кремния (SiO_2) с образованием легкоплавких составов на основе фаялита ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$). Образование жидкой фазы резко уменьшает электросопротивление содержимого в ванне печи, приводит к сегрегации компонентов шихты, спеканию колошника, что, в конечном счете, нарушает электрический и газовый режим работы печи [2].

Чтобы избежать приведенных выше недостатков, А.А.Чайченко и В.А.Кравченко [6] подвергли брикетированию и окатыванию хвосты обогащения железистых кварцитов совместно с газовым углем на сульфитно-спиртовой барде (8-10% от массы сухих материалов). Опытные плавки проводили в печи ОКБ-616 мощностью 1200 кВт. Полученный ферросилиций марки ФС75 по данным авторов отвечал требованиям стандарта. Удельный расход электроэнергии был на 12,3% ниже, чем в плавках на обычной шихте, а извлечение кремния в сплав – на 9,7% выше. Описанные опыты были проведены в 1971г. С тех пор существенно повысились требования к качеству ферросилиция по содержанию примесных металлов, усовершенствованы технологические параметры выплавки ферросилиция, а так же претерпела изменение стоимость различных материалов и технологических переделов.

4. *Частичная замена стружки железорудными неофлюсованными окатышами.* Окатыши – комочки измельченного рудного концентрата. Полуфабрикат металлургического производства железа. Является продуктом обогащения железосодержащих руд специальными концентрирующими способами [7].

Ферросплавная компания ОАО «Кузнецкие ферросплавы» используя положительный опыт работы А.А.Чайченко и В.А.Кравченко приступила к выплавке ферросилиция с использованием неофлюсованных железорудных окатышей АО «Соколовско-сарбайского горно-обогатительного производственного объединения» (Казахстан) (рис.1).



Рис. 1. Неофлюсованные железорудные окатыши

Окатыши и стальная стружка использовались в соотношении 30:70 и 20:80 (по количеству вносимого железа). Окатыши подавались на печь без дробления и отсева мелочи. В течение всего экспериментального периода постоянно контролировались следующие параметры: текущий контроль качества окатышей (химический гранулометрический состав, влажность), количество шлака, химический состав шлака (SiO_2 , SiC , $\text{Si}_{\text{мет}}$, C , Al_2O_3 , CaO , MgO), масса металла, состав металла (Si , Al , Ca , P), расходные показатели (шихтовые материалы, электродная масса, электроэнергия). В качестве шихты на время проведения опытной компании использовались: кварцит, длиннопламенный уголь, щепа, окатыши и стружка.

Проведение опытных плавов на ОАО «КФ» подтвердило результаты работы ОАО «СЗФ». В шихте образовались легкоплавкие составы на основе фаялита, что, в конечном счете, нарушает электрический и газовый режим работы печи.

Обобщив вышесказанное можно сделать следующие выводы:

1. Замена металлической стружки неофлюсованными железорудными окатышами при производстве ферросилиция возможна.
2. Использование окатышей требует подбора, как электрического режима, так и процентного содержания компонентов шихты.
3. При использовании окатышей как заменителя металлической стружки необходимо подобрать соответствующие флюсовые добавки.
4. Использование окатышей вызывает потери производства и перерасход электроэнергии.
5. Расчет экономической эффективности показывает, что низкая стоимость окатышей перекрывается высокой стоимостью перерасхода электроэнергии и вспомогательных материалов.

Литература.

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушева А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-изд., перераб и доп.-М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.:253 ил.
2. Зубов В.Л., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
3. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов. М.: Металлургия. 1992 г. – 241 с.
4. Топильский П.В., Друинский М.И., Рукавишников Н.В., Меликаев Н.П., Пасюков В.Н. Выплавка ферросилиция с частичной заменой стальной стружки губчатым железом. //Сталь. 1971. №1.-С.333.
5. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия. 1985. – 344с.
6. Чайченко А.А., Кравченко В.А. Исследование возможности производства ферросилиция из окискованных хвостов от обогащения железистых кварцитов. //Сталь. 1971. №10. – С. 915.
7. Окатыши // Википедия [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОСТОЙКИ В AUTODESK INVENTOR

Г.Д. Буялич, д.т.н., С.В. Увакин

Кузбасский государственный технический университет

650000, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4

E-mail: gdb@kuzstu.ru, noxious313@gmail.com

Для горных машин, подверженных циклическим и вибрационным нагрузкам, необходимо определять частоты собственных колебаний. Определение этих частот необходимо для исключения явления резонанса, которое может возникнуть при работе горной машины и привести её к выходу из строя. Определить собственные частоты можно методом модального анализа, который доступен в Autodesk Inventor [1, 2, 3].

В качестве примера рассмотрим модель гидростойки механизированной крепи и проведем её модальный анализ. Так как стойка имеет две ступени раздвижности и в рабочем состоянии может иметь различную длину, рассмотрим несколько положений. Первое положение будет при максимальной раздвижности, второе и третье – при сдвинутой второй ступени, четвертое – при максимально задвинутой второй ступени, пятое – при сдвинутой первой ступени. Такие положения обозначают движение ступеней гидроцилиндра при опускании механизированной крепи. Все пять положений представлены на рисунках 1–5.