

THE USE OF LIGNITE IN THE PRODUCTION OF CRYSTALLINE SILICON

Kim Sok Min¹, Rim Jae Ho²

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИГНИТА В ПРОИЗВОДСТВЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Ким Сок Мин¹, Рим Чжэ Хо²

¹Ким Сок Мин / Kim Sok Min - преподаватель, кандидат металлургических наук;

²Рим Чжэ Хо / Rim Jae Ho - заведующий кафедрой, кандидат металлургических наук,

кафедра чёрной металлургии, факультет металлургической технологии,

Чхонджинский горно-металлургический институт, г. Чхонджин,

Корейская Народно-Демократическая Республика

Аннотация: так как лигнит имеет металлургические свойства с древесным углем, лигнит может быть использован вместо древесного угля для производства кристаллического кремния. В этой статье рассматривается взаимосвязь между содержанием золы лигнита и количеством железа при использовании лигнита вместо древесного угля в производстве кристаллического кремния, и был предложен способ использовать лигнит для производства кристаллического кремния. Когда используется лигнит с содержанием золы в 10-11% вместо древесного угля при древесный уголь:нефтяной кокс = 60:40, содержание железа в кристаллическом кремнии увеличивается до 1% или более при соотношении смешивания лигнита на 60% или более. При плавении с соотношением смешивания сырья кварцит:нефтяной кокс:древесный уголь:лигнит = 100:26:19:20 в электрической печи 5000КВА, содержание железа в кристаллическом кремнии может быть гарантировано от 0,8 до 1,2%.

Abstract: so as lignite has metallurgical properties with charcoal, lignite may be used instead of the charcoal for the production of crystalline silicon. This article examines the relationship between the content of lignite ash and iron quality using lignite instead of charcoal in the production of crystalline silicon, and a method of use of lignite for the production of crystalline silicon has been proposed. When used with lignite ash content of 10-11% instead of charcoal in charcoal: = 60:40 petroleum coke, the content of iron in the silicon crystal is increased to 1% or more at a mixing ratio of lignite is 60% or more. When melt blending ratio of raw quartzite: Petroleum coke: charcoal: lignite = 100: 26: 19: 20 in 5 000KVA electric furnace, the iron content in the crystalline silicon can be guaranteed between 0.8 and 1.2%.

Ключевые слова: кристаллический кремний, лигнит, древесный уголь, нефтяной кокс, восстановитель, метод производства.

Keywords: crystalline silicon, lignite, charcoal, oil coke, reductant, production method.

Требование к восстановителю для плавки кристаллического кремния является очень высоким. Он имеет низкое содержание золы, высокую пористость, хорошую химическую активность(реактивность), высокое удельное сопротивление и постоянную механическую прочность при высокой температуре.

Как правило, при производстве кристаллического кремния, способ смешивания древесного угля и нефтяной кокс в качестве восстановителя широко используется [1].

Древесный уголь является лучшим восстановителем для плавления кристаллического кремния, но дорога производственная себестоимость и очень высока цена.

Много проводилось исследовательских работ для использования лигнита в производстве кристаллического кремния [2].

Лигнит имеет малую электропроводность, поэтому глубоко может погрузиться электрод, следовательно, ход печи может гораздо улучшиться, и производственную себестоимость кристаллического кремния понижает благодаря дешевизне лигнита.

Недостаток: из-за большого содержания золы лигнита надо ограничивать количество его использования в производстве кристаллического кремния.

1. экспериментальная плавка

Основной опыт для использования лигнита в производстве кристаллического кремния проводили в 40КВА однофазной электропечи.

Химические составы и промышленные анализы золы материалов, используемый в опыте, приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Среднее содержание главных компонентов кварцита и золы электрода и восстановителей, %

Сырьё	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	P ₂ O ₅	SO
Кварцит	98.87	0.13	0.51	0.34	0.12	-	-	-
Лигнит	53.01	4.32	19.3	6.35	3.55	0.8	0.68	6.9
Нефтяный кокс	58.18	16.37	7.98	10.69	4.35	-	0.33	0.5
Древесный уголь	43.84	2.58	10.13	28.53	6.94	-	2.26	1.6
Электрод	51.26	10.65	21.38	9.17	2.46	2.0	1.53	1.4

Таблица 2. Промышленные анализы электрода и восстановителей, %

Классификация	Промышленные анализы, %			
	C	A	V	W
Лигнит	48.68	10.50	32.24	8.58
Нефтяный кокс	83.03	0.54	10.18	6.25
Древесный уголь	70.67	4.08	15.00	10.25
Электрод	91.88	5.10	3.02	-

Содержание нефтяного кокса ввода восстановителя было установлено на уровне 40%, с тем, чтобы наблюдать содержание железа в продуктах в соответствии с соотношением смешивания лигнита, а содержание железа в продукте исследовали при постепенном уменьшении количества древесного угля, увеличивая количество лигнита.

На рисунке 1 показаны изменения содержания железа в кристаллическом кремнии в зависимости от соотношения лигнита.

Как показано на рис. 1, когда используется лигнит с содержанием золы около 10~11% в качестве восстановителя вместо древесного угля, содержание железа в кристаллическом кремнии увеличивается до 1% или более, когда соотношение смешивания превышает 50 ~ 60%.

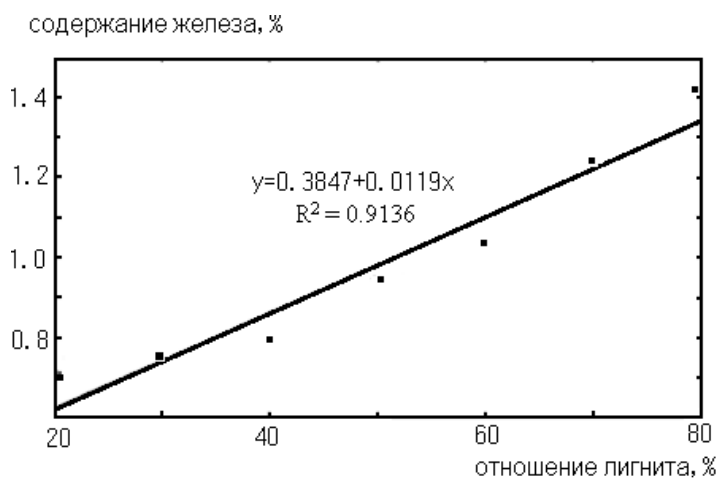


Рис. 1. Содержание железа продукта в зависимости от соотношения лигнита

2. промышленная плавка

На основе основных испытаний, рациональное соотношение смешивания лигнита определяли, а затем промышленное испытание проводили на электропечи 5000 КВА.

Производственный процесс кристаллического кремния лигнитом показан на рис. 2.

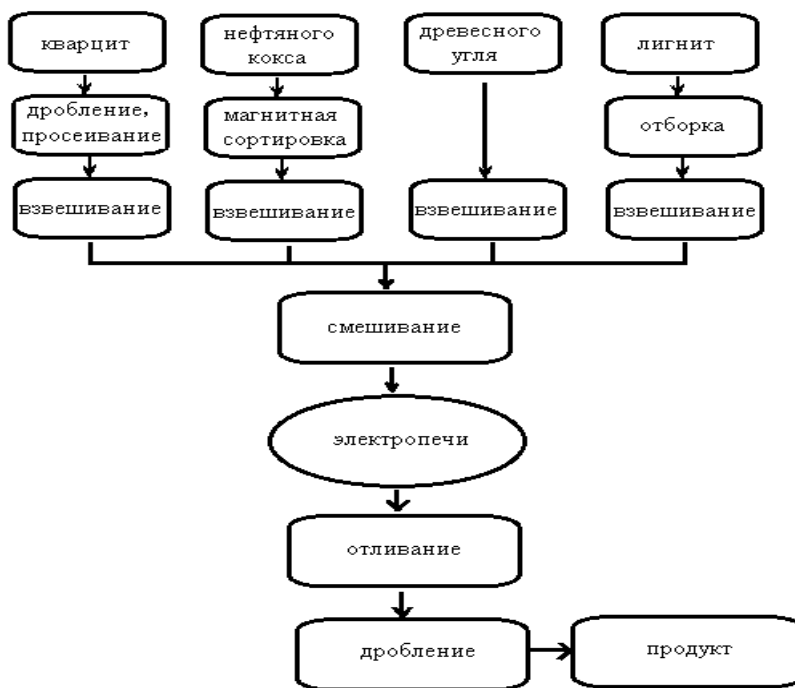


Рис. 2. Процесс производства кристаллического кремния лигнитом

Плавку кристаллического кремния лигнитом осуществляли следующим образом.

После полного предварительного нагрева печи, кристаллический кремний сначала расплавили на шихте древесный уголь: нефтяной кокс = 60:40. Когда печь входит в нормальную орбиту, сырье взвешивают и смешивают в соответствии с отношением смешения, подтвержденного в расчете, и основного теста, и загружают в электропечь.

Количество нефтяного кокса в тесте фиксировали без изменения электрических констант, а затем содержание железа в продукте исследовали путем замены части древесного угля лигнитом.

Соотношение смеси сырья кварцит: нефтяной кокс:древесный уголь:лигнит = 100:26:19:20. А именно нефтяной кокс 25.03 кг, древесный уголь 15,02 кг и лигнит 22.53 кг на 100 кг кварцита.

Соотношение смеси сырья не является фиксированным, но изменяется в зависимости от состава сырья и восстановителя и требований продукта.

Согласно термическому условию печи, выход железа проводился один раз в 4–6 часов, а железо было получено в ковше, помещенном на подвижном стенде.

Основной химический состав кристаллического кремния, производимого из лигнита в электропечи 5000 кВА, показан в таблице 3.

В начальной стадии плавки содержание железа в продукте значительно выше, а как процесс стабилизируется в соответствии с продолжением, и содержание железа кристаллического кремния, производимого из лигнита, перемещается из диапазона 0,8 ~ 1,2%.

Таблица 3. Основной химический состав кристаллического кремния, %

№	Основной химический состав, %			
	Si	Fe	Al	Ca
1	96.37	1.18	1.13	0.85
2	96.69	0.83	1.16	0.48
3	97.17	0.97	0.96	0.49
4	96.15	0.91	0.96	0.64
5	97.12	1.02	1.06	0.78
6	97.19	0.72	0.55	0.45
7	97.24	0.93	0.99	0.78
8	97.05	0.88	1.05	0.72
9	97.25	0.96	1.07	0.71
10	97.32	0.95	1.01	0.54

Вывод

Использование лигнита в производстве кристаллического кремния может снизить стоимость производства. Количество железа в кристаллическом кремнии может быть гарантированно от 0,8 до 1,2% при использовании в 60% от количества лигнита с 10 ~ 11% золы.

Литература

1. Толстогузов Н. В. и др. Шихта для производства кристаллического кремния, патент на изобретение RUS 2071939.
2. Тиунов Ю. А. и др. Шихта для выплавки кремния рудно-термическим восстановлением, патент на изобретение RUS 2431602.