

Таким образом, степень насыщения азотом металла после окончания ковшевой обработки на агрегате «печь-ковш» полупродукта для получения нержавеющей азотистой стали марки 55X20Г9АН4 изменяется от 0,27 до 0,47. Её величина статистически значимо зависит от трёх факторов: удельного расхода газообразного азота

на продувку в ковше, начальной степени насыщения металла азотом и конечного содержания серы в металле. Наиболее существенное влияние на степень насыщения азотом металла после обработки полупродукта оказывает удельный расход газа на продувку в ковше.

Библиографический список

1. Свяжин А.Г., Капуткина Л.М. Стали, легированные азотом // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2005. № 10. С. 36–46.
2. Свяжин А.Г. Высокоазотистые стали // Труды восьмого конгресса сталеплавильщиков / АО «Черметинформация». Ассоциация сталеплавильщиков. М., 2005. С. 319–323.
3. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали. М.: Мир. 2003. 528 с.

УДК 666.76

Ю.Н. Кочубеев, Н.А. Босякова, Ю.В. Неклюдова

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ШИХТЫ ДЛЯ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТОЙ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ЭСПЦ

Изучение механизма разрушения периклазоуглеродистых огнеупоров (ПУ) при контакте со шлакометаллическим расплавом показывает, что одним из значительных факторов износа является обезуглероживание рабочей зоны огнеупора. При температурах выше 500°C начинается окисление (выгорание) углеродистой составляющей (графита и углеродистой связки) и продолжается до максимальной температуры их службы [1]. Это приводит к разупрочнению изделий в интервале температур от 500 до 900°C, увеличению их пористости. После окисления всего углерода в поверхностном слое огнеупора происходит его ошлаковывание с последующим растворением периклазового порошка и вымыванием продуктов контакта.

Для защиты углерода от окисления в состав огнеупора вводят антиоксиданты в виде дисперсного порошка, количество которого оптимизируется для каждого вида изделий и, как правило, их содержание не превышает 5% [2]. Эти добавки быстрее окисляются кислородом и оксидами железа шлака, что снижает скорость окисления углерода. Несмотря на ограниченную долю в шихте, антиоксидантные добавки оказывают существенное влияние на различные свойства огнеупора: окислительные, термомеханические, коррозионные, фазовый состав огнеупора и др.

В цехе магнезиально-доломитовых огнеупоров (ЦМДО) ЗАО «Огнеупор» при изготовлении огнеупоров для футеровки шлакового пояса сталеразливочных ковшей в качестве антиоксиданта применяют алюминий металлический. С целью

совершенствования периклазоуглеродистых изделий проводятся работы по поиску более эффективных добавок, позволяющих повысить устойчивость к окислению и достичь более высокой стойкости футеровки в шлаковой зоне.

Анализ литературных данных свидетельствует, что борсодержащие соединения обладают еще большей по сравнению с алюминием активностью при нагревании в воздушной среде [3]. Такими соединениями являются диборид титана, карбид бора, диборид магния, нитрид бора и др.

Антиокислительное действие этих добавок объясняется двумя механизмами: окислением при температуре >1300°C с образованием расплава бората магния ($3\text{MgO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$) и газообразных продуктов реакции окисления боратов (B_2O_3 , Mg газообразный и др.). Образование жидкой фазы способствует снижению открытой пористости и тем самым предотвращает диффузию кислорода в огнеупор. Образующие газы снижают давление кислорода в порах кирпича, предотвращая окисление графита, диффундируют в направлении горячей поверхности футеровки и повторно окисляются, вследствие чего образуется вторичный оксид магния, уплотняющий структуру.

В качестве опытного антиоксиданта был исследован диборид титана, представляющий собой сплав титана с бором. Массовая доля титана в сплаве была в пределах от 71,16 до 72,86%, массовая доля бора – от 17,05 до 18,59%.

Окислительную активность опытного и серийно применяемого антиоксидантов оценивали

по степени увеличения массы в процессе нагрева при температурах 400, 600, 800 и 1000°C (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что диборид титана свои защитные свойства проявляет значительно раньше – в интервале температур от 400 до 800°C. Алюминий металлический наиболее активен при более высоких температурах – от 700 до 1000°C. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что применение диборида титана позволит защитить углерод в шихте углеродсодержащих огнеупоров в начальной стадии окисления, а комплексное применение данных антиоксидантов расширит температурный интервал защиты углерода от окисления от 400 до 1000°C.

С применением опытного и серийно применяемых сырьевых материалов (плавный периклаз, графит, СФП, этиленгликоль, алюминиевый порошок АПВ-П) были изготовлены лабораторные образцы. Составы шихт представлены в таблице. Для сравнения качественных показателей были изготовлены контрольные образцы, составы шихт которых соответствуют составам формовочных масс при изготовлении ковшевых изделий для стен (состав К-1) и ковшевых изделий для шлаковых поясов (состав К-2).

Опытный материал был поставлен в виде кусков размером 50–100 мм. С целью равномерного и воспроизводимого распределения антиоксиданта в объеме шихты его вводили в виде дисперсного порошка двух фракций 400 и 63 мкм, в чистом виде и смеси с алюминием металлическим. При подготовке опытного антиоксиданта отмечены его повышенная твердость и абразивность.

Образцы прессовали на гидравлическом лабораторном прессе при удельном давлении прессова-

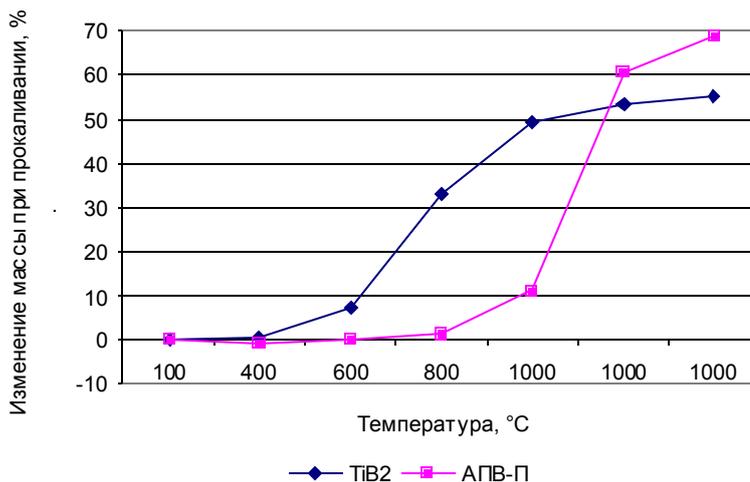


Рис. 1. Степень изменения массы антиоксидантов при нагревании

ния 150 Н/мм². После прессования образцы термообработывали в сушильном шкафу в воздушной среде при 220°C с выдержкой при максимальной температуре в течение 120 мин, нагрев от 25 до 220°C в течение 60 мин. Коксующий обжиг проводили в керамической емкости, в криптоловой засыпке при температуре 1000°C в печи. Качественные показатели лабораторных образцов после термообработки и после коксующего обжига представлены в таблице. Из таблицы видно, что добавка в шихту диборида титана приводит к повышению прочности и снижению пористости образцов.

Эффективность антиоксидантов оценивали по двум показателям – величине обезуглероженного слоя лабораторных образцов после нагрева в окислительной среде и степени увеличения их массы. Испытания производили следующим образом: лабораторные образцы нагревали в воздушной среде до 1000°C с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч и до 1200°C с выдержкой в течение 5 ч, затем охлаждали.

Результаты испытания лабораторных образцов с добавкой диборида титана

Номер состава	Антиокислительная добавка			Открытая пористость, %		Предел прочности при сжатии, Н/мм ²		Кажущаяся плотность, г/см ³		Окисляемость при термообработке в окислительной среде, %		Доля обезуглероженного слоя, %	Огнеупорность, °C	Степень шлакоразъедания, %
	Al _{мет}	TiB ₂ фр 400–63 мкм	TiB ₂ фр < 63 мкм	до коксующего обжига	после коксующего обжига	до коксующего обжига	после коксующего обжига	до коксующего обжига	после коксующего обжига	1000°C – 1 ч	1000°C (1 ч) + 1200°C (5 ч)			
К-1	–	–	–	3,8	13,8	49,0	24,4	2,92	2,84	3,5	13,3	67,5	> 1770	26,8
К-2	+	–	–	4,3	13,4	49,0	26,8	2,89	2,82	2,8	11,3	57,9	–	24,6
3	+	+	–	4,6	12,5	50,4	29,3	2,92	2,90	2,3	9,9	58,2	–	22,6
4	–	+	–	3,1	12,4	54,8	30,0	2,96	2,91	2,3	9,7	58,0	–	–
5	+	–	+	3,8	12,6	51,6	31,7	2,92	2,90	2,2	9,7	58,5	–	10,3
6	–	–	+	3,0	12,5	54,8	33,6	2,96	2,90	2,2	9,5	58,5	> 1770	14,0

Степень увеличения массы определяли взвешиванием образцов до и после термообработки. По результатам испытаний установлено положительное влияние добавки диборида титана на снижение степени окисляемости образцов.

Для определения величины обезуглероженного слоя образцы распиливали по оси цилиндра (рис. 2). С помощью штангенциркуля измеряли площадь распила (S_1) и площадь науглероженной зоны (S_2). Долю обезуглероженного (D_0) слоя вычисляли по формуле

$$D_0 = (S_1 - S_2) / S_1.$$

Доля обезуглероженного слоя образцов состава К-1 (см. таблицу) больше, чем у образцов с применением антиоксидантов $Al_{мет}$ и TiB_2 . При этом величина обезуглероженного слоя с применением серийного и опытного антиоксидантов практически одинакова.

Следует отметить различие в структуре обезуглероженного слоя:

- обезуглероженный слой у образцов состава К-1 (№ 1, рис. 2) рыхлый и сыпучий;
- у образцов состава К-2 (№ 2, рис. 2) структура рыхлая, но несипучая;
- при использовании диборида титана – составы № 3, 4, 5, 6 (см. рис. 2) обезуглероженный и переходный слой образцов приобрел дополнительную прочность, при этом обезуглероженный слой практически не отслаивается.

Огнеупорность обезуглероженного слоя образцов без антиоксиданта (состав К-1) и с добавкой TiB_2 (состав 6) одинаково высокая – выше $1770^\circ C$, что указывает на отсутствие легкоплавкой эвтектики в образце опытного состава.



Рис. 2. Лабораторные образцы после коксующего обжига

Для оценки устойчивости лабораторных образцов к шлаку использовали тигельный метод, сущность которого заключается в следующем: в образцах высверливали цилиндрические углубления – “тигель”, в который засыпали шлак, измельченный до зёрен размером менее $0,063$ мм. Испытываемые образцы со шлаком ставили в печь и нагревали до температуры $1600^\circ C$ с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч. Шлакоустойчивость образцов оценивали по степени шлакоразъедания, которую вычисляли как отношение площади, разъеденной шлаком, к площади углубления до испытания (см. таблицу).

Минимальную степень разъедания показали образцы составов № 5 и 6, где опытный антиоксидант представлен в тонкодисперсном виде. Образцы данных составов, по результатам петрографического исследования, отличаются плотной мелкопористой структурой. Следует также отметить, что введение опытного антиоксиданта в тонкодисперсном виде в комплексе с алюминием металлическим (состав 5, см. таблицу) более предпочтительно.

На основании проведенных лабораторных исследований для промышленного испытания был рекомендован состав шихты № 5 – с добавкой комплексного антиоксиданта, вводимого в виде тонкодисперсного порошка.

Библиографический список

1. Хорошавин Л.Б., Перепелицын В.А., Кононов В.А. Магнезиальные огнеупоры. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 576 с.
2. Стрелов К.К., Кашеев И.Д., Мамыкин П.С. Технология огнеупоров. М.: Металлургия, 1988. 528 с.
3. Антиоксиданты в углеродсодержащих огнеупорах / Бамбуров В.Г., Сивцова О.В., Семянников В.П., Киселев В.А. // Огнеупоры и техническая керамика. 2000. № 2. С. 2–5.