

Summary

Kiiashko T., Semykin S., Semykina O., Pishchida V., Onatskiy S.

Working out and approbation of resource-saving technology of metal refinement at melting in the converter with low-voltage influences

There is full scale tested a technology of converter melting with certain reversal of polarity of the imposed low-voltage potential that provides effective decrease of detrimental impurities content in metal and gases, increase of manganese residual level and increase of economy of deoxidants for melt.

Keywords

low-voltage potential, oxygen converting, detrimental impurity, polarity reversal

Поступила 04.07.11

УДК 669.76

А. Н. Смирнов, К. Е. Писмарев, А. А. Сердюков, А. Ф. Тонкушин, К. Н. Шарандин*

ООО «Пуянг-Керамет», Донецк

*Донецкий национальный технический университет, Донецк

Оптимизация показателей стойкости и снижение затрат на футеровку конвертера

В настоящее время в мировой практике производства стали в конвертерах наблюдаются доминирующие тенденции повышения стойкости футеровки и снижения удельных затрат на ее эксплуатацию. Представленные исследования выполнены в условиях ПАО «Алчевский металлургический комбинат». Достигнутая рекордная стойкость футеровки конвертера составила 3869 плавов с минимальными удельными затратами (1,67 \$/т стали).

Ключевые слова: конвертер, кампания, огнеупоры, стойкость футеровки, удельные затраты

Важнейшей целью в развитии конструкции футеровки конвертеров является достижение ее высокой стойкости, обеспечивающей такую эффективность работы агрегата, которая соответствует минимальным удельным затратам на огнеупоры [1, 2].

Разработка универсальных подходов к конструированию футеровки кислородных конвертеров с применением принципа сравнительного прогнозирования износа различных участков кладки в зависимости от специфики их «нагружения» – одно из приоритетных направлений исследований на ведущих металлургических предприятиях Европы и Азии. Поэтому проблема повышения стойкости футеровок является актуальной. Она может быть эффективно решена лишь при комплексном подходе, учитывающем основные факторы, влия-

ющие на стойкость: качество применяемых огнеупорных материалов; схема кладки; технологические параметры ведения плавки; способы ухода за футеровкой в течение кампании.

Применение высококачественных периклазоуглеродистых огнеупоров и дифференцированная схема кладки футеровки позволяют значительно увеличить длительность эксплуатации кислородного конвертера. Информация о процессе разрушения периклазоуглеродистых изделий [3, 4] и формировании зон наибольшего износа конвертера с помощью современных методов контроля остаточных толщин футеровки (лазерное сканирование) в течение кампании [5] позволяет совершенствовать качество данных огнеупоров и схему зонной кладки конвертера (рис. 1).

Сбалансированный износ футеровки (равностой-

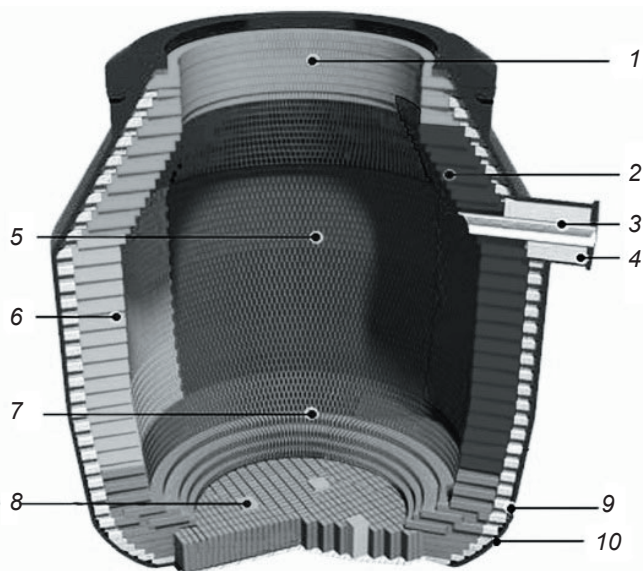


Рис. 1. Конструкция зональной кладки конвертера: 1 – горловина; 2 – сливная зона; 3 – леточный блок; 4 – гнездовой блок; 5 – цапфенная зона; 6 – загрузочная зона; 7 – днище и зона металла; 8 – продувочный узел; 9 – арматурный слой; 10 – металлический кожух

кость) в целом обеспечивается использованием в отдельных зонах различных по качеству и толщине огнеупорных изделий. При этом актуальной остается общая задача, связанная с повышением стойкости футеровки путем улучшения ее конструктивных элементов, что реализуется через постоянное усовершенствование проектов и способов ухода за футеровкой в течение кампании [6, 7].

С определенной степенью условности мероприятия по уходу за футеровкой можно разбить на три основных группы: торкретирование, подварка и раздувка подготовленного конечного шлака азотом.

Торкретирование – метод горячего ремонта футеровки конвертера, заключающийся в нанесении огнеупорной массы на внутренние, наиболее изношенные участки футеровки. Этот способ получил достаточно широкое распространение в конвертерном производстве. В металлургической практике хорошо известно применение мокрого, полусухого и факельного торкретирования [8, 9]. Недостаток мокрого и полусухого торкретирования – большая длительность операции, что приводит к снижению производительности цеха и увеличению расходов по переделу. Основным недостатком факельного торкретирования является высокая стоимость торкрет-массы, основу которой составляют магнезитовый порошок и горючий сланец.

Подваркой обычно ремонтируют завалочную и сливную стороны футеровки и днище, подвергающиеся наибольшему износу. В качестве подварки используются как б/у кирпич (огнеупорный бой), так и специальные подварочные массы на периклазовой основе. Основным недостатком способа – практическая невозможность ремонта цапфенных зон и горловины конвертера [8, 9].

Технология, предполагающая вдувание азота высокого давления через верхнюю кислородную или вспомогательную фурмы с целью разбрызгивания шлака по футеровке, представляется весьма

эффективной и технологичной. При этом шлак налипает на футеровку, охлаждается и затвердевает, создавая прочную защитную корку, препятствующую износу огнеупоров. Способ раздувки конечного шлака азотом может быть использован для ремонта всей поверхности футеровки конвертера [10].

Существенную роль в повышении эксплуатационной стойкости футеровки конвертеров играют современные методики контроля ее состояния, а также технологические приемы по уходу за кладкой [11-16].

Дополнительные факторы, обеспечивающие рост показателей стойкости футеровки конвертеров: применение специальных магнезиальных флюсов для формирования конечного шлака с повышенными гарнисажными свойствами и низкой «агрессивностью» [11, 16]; материал огнеупорной кладки; способ нанесения шлакового гарнисажа на стены агрегата и пр.

На сегодняшний день существуют, по меньшей мере, две доминирующие «концепции» по стратегии эксплуатации футеровки конвертера. Одна из них базируется на принципе постоянного ухода за футеровкой и обеспечения предельно возможного повышения ее стойкости. Она находит широкое применение в Китае, США и некоторых других странах. Увеличение длительности кампании конвертера на практике обеспечивает, в первую очередь, повышение производительности агрегата за счет использования возникающего резерва времени, сокращает затраты труда на перефутеровку, а также снижает себестоимость стали за счет уменьшения расхода огнеупорных материалов.

В США, например, известная рекордная продолжительность рабочей кампании футеровки конвертера составила 64 тыс. плавов. На конвертерах в КНР достигнута эксплуатационная стойкость футеровки в 20-25 тыс. плавов [17]. Такие результаты получены, в первую очередь, вследствие обеспечения кладки конвертеров только высококачественными огнеупорами, предпочтительно на основе плавленного периклаза. Кроме того, повышение стойкости футеровки достигается благодаря поддержанию на максимально допустимом уровне содержания оксида магния в шлаке за счет добавки определенного количества сырого доломита или магниесодержащих материалов (флюсов). Считается, что насыщенность шлака магнием в пределах 8-11 % предотвращает интенсивное растворение рабочего слоя футеровки и при надлежащем уходе способствует повышению ее долговечности [18].

Вторая «концепция» (европейская) выплавки стали существенно отличается. Она ориентирована, в первую очередь, на обеспечение максимального производства стали за счет минимального цикла плавки. При этом все операции по уходу за огнеупорной футеровкой сводятся к минимуму и строго регламентированы. В соответствии с этой «концепцией» отпадает необходимость не только в частом наведении высокомагнезиального шлака, но и в нанесении шлакового гарнисажа перед каждой плавкой, на которое затрачивается обычно 3-4 мин.

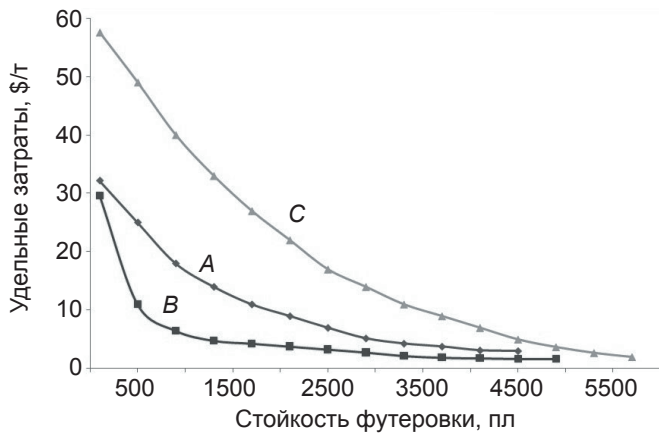


Рис. 2. Изменение удельных затрат на футеровку конвертеров (огнеупоры + уход): А — 300 т (постоянный уход); В — 300 т (периодический уход); С — 160 т (постоянный уход)

Следовательно, в этом случае основной упор делается на высококачественные огнеупоры и комбинированную продувку ванны через ее днище аргоном или азотом.

Конвертерные цеха Украины и ближнего зару-

бежья (в частности России) находятся в определенных специфических условиях в плане обеспечения требуемой эксплуатационной стойкости футеровки конвертеров. Прежде всего, отсутствие высококачественных огнеупоров для футеровки конвертеров отечественного производства обуславливает необходимость импорта огнеупорных изделий, которые предлагаются в большом количестве производителями из Европы и Азии. При этом изделия, предлагаемые иносфирмами, далеко не всегда в полной мере адаптированы к конкретным условиям выплавки стали и эксплуатации конвертеров. Например, внутренняя конфигурация рабочего пространства агрегата в конвертерах большинства заводов Украины отличается малым отношением (в пределах 1,3-1,4) высоты к диаметру сосуда. В то же время у западных аналогов это отношение H/D составляет 1,6-1,7. При этом следует отметить, что с уменьшением отношения H/D ухудшаются условия эксплуатации футеровки за счет ряда факторов, в том числе вследствие увеличения удельного объема конвертера, снижения прочности кладки и глубины жидкой ванны и т. п. Это, в конечном счете, обуславливает достаточно высокий

уровень удельных затрат огнеупоров на тонну стали.

Как показывает выполненный анализ, рациональной с экономической точки зрения является стойкость огнеупорной кладки 300-тонного кислородного конвертера порядка 4000-5000 плавков, а 160-тонного — 6000-7000, так как при более высокой стойкости затраты на уход за конвертером в течение кампании превышают затраты на новую футеровку (рис. 2). Дополнительно обращает на себя внимание тот факт, что работа «длинной» кампанией характеризуется длительной и интенсивной нагрузкой на все без исключения цеховое оборудование и, как следствие, возникает высокая вероятность непредвиденных аварийных ситуаций, внеплановых простоев и затрат.

Для анализа (рис. 2) были выбраны три кампании конвертеров, две — для 300-тонного и одна — 160-тонного конвертера. Причем кампании А и В взяты для одного и того же конвертера (300 т), но футерованного огнеупорами разных фирм-производителей (стойкость 3555 и 3869 плавков соответственно). Удельные затраты на футеровку 300-тонного конвертера при этом составили 3,91 и 1,67 \$/т соответственно. Кривая С соответствует кампании 160-тонного конвертера с достигнутой стойкостью 5800 плавков.

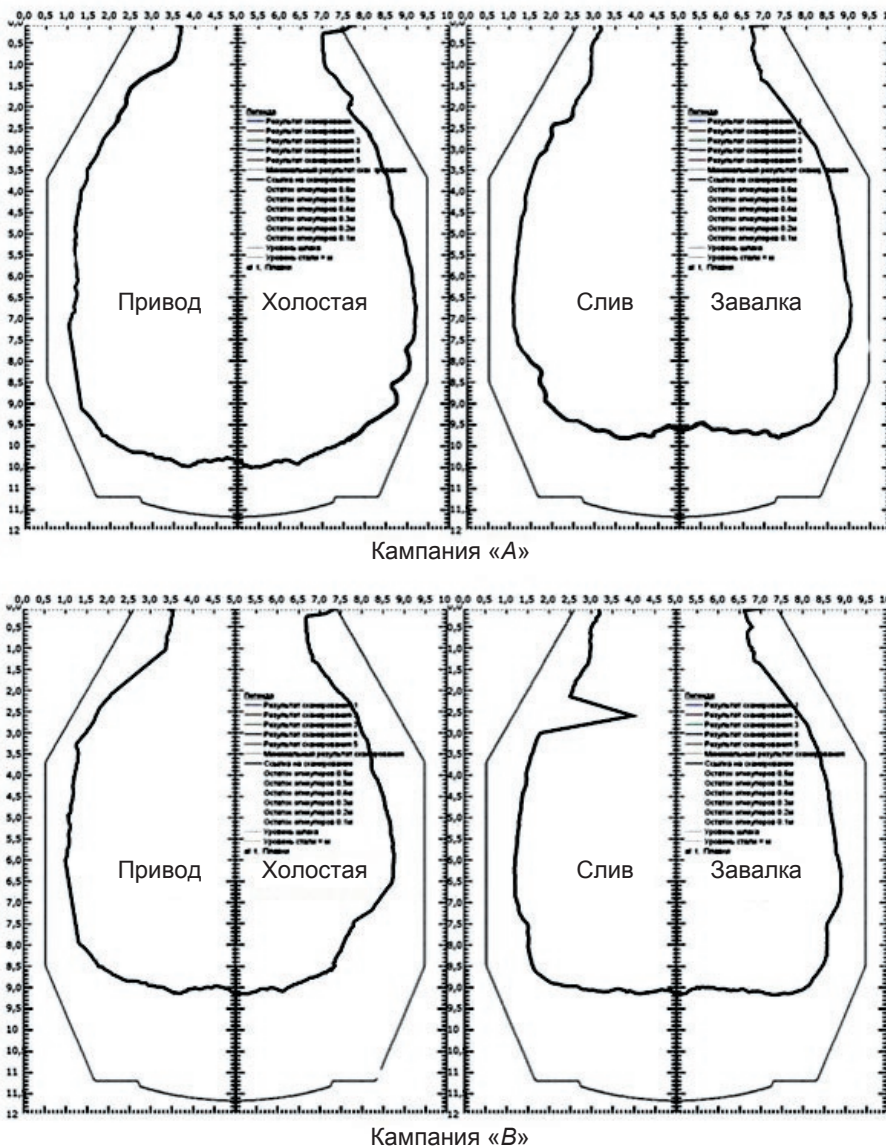


Рис. 3. Топографии износа 300-тонного конвертера (конец кампаний): кампания «А» (постоянный уход), кампания «В» (периодический уход)

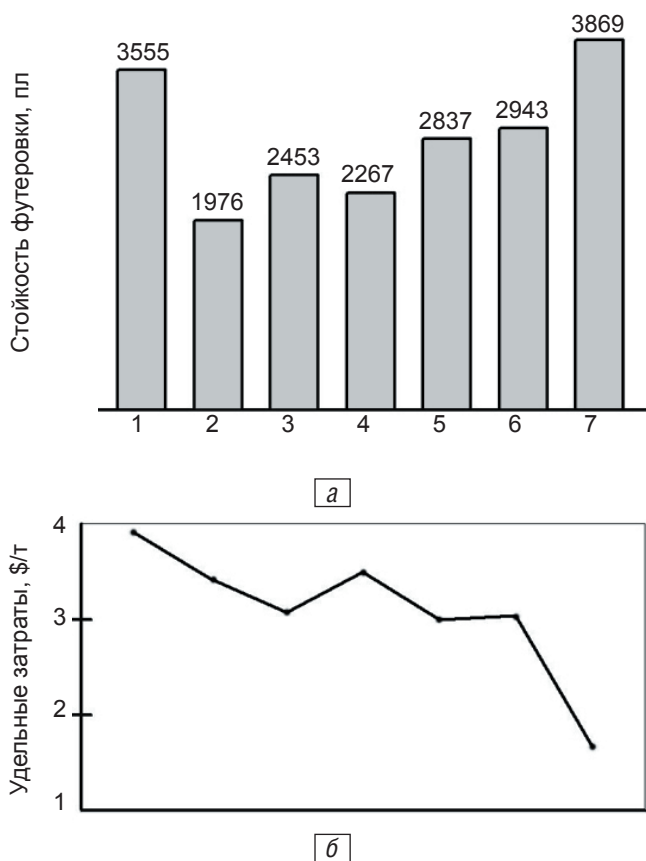


Рис. 4. Гистограмма (по кампаниям) достигнутой стойкости и соответствующих удельных затрат на футеровку конвертера ПАО «АМК»

Анализируя полученные графики А, В и С, следует отметить их весьма индивидуальный характер (рис. 1). Причина этого заключается в различном подходе к эксплуатации и уходу за футеровкой конвертеров. Так футеровки А и С подвергались постоянным (регламентированным) ремонтам с самого начала кампании, что обуславливает более плавный характер зависимости и более высокие удельные затраты на футеровку за счет расходных материалов на ремонт. Между тем, кампания «В» демонстрирует принципиально иной подход к эксплуатации футеровки. Она включает в себя обе вышеуказанные «концепции» – минимизацию количества ремонтов (особенно в начале кампании) и в то же время необходимые ремонты по показателям лазерного сканера. Первое позволяет сократить удельные затраты на футеровку, тогда как необходимые ремонты, в том числе и профилактические (главным образом вторая половина кампании), значительно продлевают срок эксплуатации конвертера. Как результат, в цехе достигнута высокая стойкость футеровки и низкие показатели удельных затрат на футеровку.

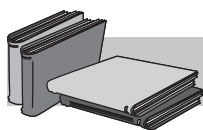
В качестве примера приведены две топографии, иллюстрирующие износ футеровки 300-тонного конвертера в заключительный период кампаний «А» и «В» (рис. 3), из которого видно, что остаточные толщины футеровки в конце кампании «В» несколько больше, чем в кампании «А». При сравнительно одинаковом характере износа верхнего конуса и цилиндрической части в обеих кампаниях остаточная толщина дна кампании «В» до двух раз больше, чем на топографии «А». Это достигнуто, главным образом, за счет периодической подварки. При этом уход за футеровкой производился лишь со второй половины кампании «В», тогда как кампания «А» характеризовалась постоянным уходом за кладкой. Следует отметить, что среднее содержание оксида магния в шлаке на протяжении всей кампании «В» не превышало 4,5-5,0 %.

В целом такая «концепция» реализована на ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (300-тонный конвертер, зафутерован высококачественными периклазоуглеродистыми огнеупорами китайской фирмы «PuYang») в период с 12.08.2010 по 03.05.2011 г. На этой футеровке конвертера достигнута рекордная стойкость – 3869 плавков с минимальными удельными затратами на футеровку – 1,67 \$/т стали. Сравнение стойкости и удельных затрат на футеровку семи кампаний 300-тонного конвертера ПАО «АМК» приведено в хронологической последовательности (рис. 4).

Выводы

Таким образом, в мировой практике производства стали в конвертерах наблюдаются доминирующие тенденции повышения стойкости футеровки и снижения удельных затрат на ее эксплуатацию. Между тем, существенным резервом повышения стойкости футеровки являются расширение и систематизация ремонтов рабочего слоя непосредственно в ходе эксплуатации. В то же время, применение специальных ремонтных масс предполагает повышение удельных затрат на тонну стали. Следовательно, выбор рациональной стратегии эксплуатации и ремонта футеровки конвертера должен выполняться с учетом специфики работы конкретного цеха и региона.

Исследования, выполненные в условиях ПАО «Алчевский металлургический комбинат», показали, что существенного снижения удельных затрат на огнеупоры удастся достигнуть в случае применения высококачественных периклазоуглеродистых изделий и минимизации количества ремонта в течение первой половины периода эксплуатации футеровки.



ЛИТЕРАТУРА

1. Converter life enhancement through optimization of operating practices / D. S. Kumar, G. Prasad, S. C. Vishwanath, P. K. Ghorui, D. Mazumdar, M. Ranjan, P. N. Lal. // Iron and Steelmaker. – 2007. – № 6. – P. 521-528.
2. Смирнов А. Н. Конвертируемый металл // Металл бюллетень. Украина. – 2007. – № 4 (125). – С. 64-74.

3. *Jansson S. A.* Study on the Influence of Steel, Slag or Gas on Refractory Reactions. – Stockholm: Doctoral Thesis, 2008. – 67 p.
4. *Li Z., Mukai K., Tao Z.* Reactions Between MgO-C Refractory, Molten Slag and Metal // *ISIJ International*. – 2000. – V. 40. – P. 101-105.
5. *Ламм Р., Винтьенс П.* Использование технологии 3-размерного лазерного сканирования в качестве технологического инструмента в конвертерном цехе // Тр. VIII конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация, 2002. – С. 97-102.
6. *Сердюков А. А., Тонкушин А. Ф., Смирнов А. Н.* Современная футеровка для крупных кислородных конвертеров // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 9-10. – С. 4-7.
7. *Martino M., Fenu M., Anfosso A.* Refractory Lining for Oxygen Converters: Recent Experiences in this Field // *Proceedings of 5-th European Steelmaking Conference, 26-28 June, 2006, Aachen, Germany*. – Dusseldorf: Steel Institute VDEh, 2006. – P. 229-233.
8. *Очагова И. Г.* Торкретирование в черной металлургии // *Новости черной металлургии за рубежом*. – 2001. – № 4. – С. 1-16.
9. Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы / Л. М. Аксельрод, А. П. Лаптев, В. А. Устинов, Ю. Д. Геращук // *Металл и литье Украины*. – 2009. – № 1-2. – С. 9-15.
10. A Review of Slag Splashing / K. Mills, Y. Su, A. Fox et. al. // *ISIJ International*. – 2005. – V. 45, № 5. – P. 619-633.
11. Использование MgO-содержащих флюсов при выплавке стали в конвертерах / К. Н. Демидов, Л. А. Смирнов, С. И. Кузнецов и др. // *Сталь*. – 2007. – № 4. – С. 22-25.
12. *Смирнов А. Н.* Развитие конвертерного производства стали в мире // *Металл*. – 2006. – № 11. – С. 18-27.
13. Пути достижения стойкости футеровки конвертеров более 5000 плавов / В. Ф. Дьяченко, И. М. Захаров, В. Г. Овсянников и др. // *Сталь*. – 2007. – № 2. – С. 51- 53.
14. Опыт эксплуатации и комплексная технология ухода за футеровкой конвертера / В. А. Шеремет, А. В. Кекух, С. В. Троший и др. // *Новые огнеупоры*. – 2006. – № 1. – С. 4-7.
15. *Айзатулов А. С., Протопопов Е. В., Соколов В. В.* Совершенствование способов ремонта футеровки 160-т конвертеров с применением нейтральных газов // *Сталь*. – 1999. – № 5. – С. 39-42.
16. The impact of synthetic slag on steel ladle refractory life time / C. Wohrmeyer, E. Elorza-Ricart, R. Jolly et. al. // *51-st International Colloquium on Refractories, 15-16 october*. – Aachen: Refractories for Metallurgy, 2008. – P. 80-83.
17. *Смирнов А. Н.* Перспективы развития рынка огнеупоров для сталеплавильного комплекса Украины // *Металлургический компас. Украина-Мир*. – 2010. – № 4. – С. 16-23.
18. *Аксельрод Л. М.* Развитие производства огнеупоров в мире и в России, новые технологии // *Новые огнеупоры*. – 2011. – № 3. – С. 106-120.

Анотація

Смирнов О. М., Пісмарєв К. Є., Сердюков А. О., Тонкушин А. Ф., Шарандін К. М.
Оптимізація показників стійкості та зниження витрат на футерівку конвертера

У світовій практиці виробництва сталі у конвертерах нині спостерігаються домінуючі тенденції підвищення стійкості футерівки та зниження питомих витрат на її експлуатацію. Представлені дослідження виконано в умовах ПАТ «Алчевський металургійний комбінат». Досягнута рекордна стійкість футерівки конвертера склала 3869 плавов з мінімальними питомими витратами (1,67 \$/т сталі).

Ключові слова

конвертер, кампанія, вогнетриви, стійкість футерівки, питомі витрати

Summary

Smirnov A., Pismaryov K., Serdyukov A., Tonkushin A., Sharandin K.
Converter lining life optimization and expenditure reduction

Now in the world practice of steel manufacturing in converters it is observed dominating tendency of increase of converter lining life and reduction of specific expenses for its operation. The presented researches are executed in conditions of PC «Alchevsk metallurgical industrial complex». The record of converter lining life (3869 hits) was reached with the minimum specific expenses (1,67 \$/t of steel).

Keywords

converter, campaign, refractories, lining life, specific expenses

Поступила 30.06.11