

#### Выводы

Исходное покрытие, имеющее в своем составе большую объемную долю хрупкой составляющей (~90% мартенсита от общего объема матрицы и карбиды  $M_6C$  и  $VC$ ) не способно эффективно сопротивляться износу и приводят к преждевременному выкрашиванию больших конгломератов композиционного покрытия. Покрытия после ЛО в оплавленных участках имеют только 47% мартенсита от общего объема матрицы, что позволяет эффективно релаксировать возникающие напряжения в этих областях и, следовательно, сохранять малую и не изменяющуюся интенсивность изнашивания в рассматриваемом диапазоне давлений.

#### Список использованных источников:

1. Phan H. T., Tieu A. K., Zhu H. A study of abrasive wear on high speed steel surface in hot rolling by Discrete Element Method // Tribology International. – 2017. – № 110. – P. 66-76.
2. Xu Liu., Wei Shi., Xing Jian. Effects of carbon content and sliding ratio on wear behavior of high-vanadium high-speed steel (HVHSS) under high-stress rolling-sliding contact // Tribology International. – 2014. – № 70. – P. 34-41.
3. Jia G. W., Hua L., Mao H. J. The influence of surface layer microstructure evolution of M2 steel cold-ring rolling mandrel roller on fatigue crack initiation // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – № 187-188. – P. 562-565.
4. Mingiia W., Songmei Mu, Feifei S. Influence of Rare Earth Elements on Microstructure and Mechanical Properties of Cast High-speed Steel Rolls // Journal of Rare Earth. – 2007. – № 25. – P. 490-494.
5. Chau A. S., Hudakova M. Wear resistance of high-speed steels and cutting performance of tool related to structural factors // Wear. – 2009. Vol. 267. P. 1051-1055.
6. Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G., Tarasov S. Yu. The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel // Applied Surface Science. – 2012. – № 263. – P. 215-222.
7. Gnyusov S.F., Tarasov S. Yu. Structural phase states and heat aging of composite electron-beam clad coatings // Surface & Coatings Technology. – 2013. № 232. P. 775-783.
8. Ion, John. Laser Processing of Engineering Materials - Principles, Procedure and Industrial Application. Elsevier. – 2005. 585 p.

#### ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ УПЛОТНЕНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

*С.А. Теслев, Е.П. Теслева, к. ф.- м. н., доц., Д.У. Досумкулов, студ.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

**Аннотация:** Рассматривается использование пневматического способа уплотнения микрокремнезема для получения продукции большой плотности и низкой слипаемости.

**Abstract:** The use of a pneumatic method for compacting microsilica to produce products of high density and low stickiness is considered.

**Ключевые слова:** производство ферросилиция, микрокремнезем, слипаемость микрокремнезема.

**Keyword:** production of ferrosilicon, microsilicon, adhesion of microsilicon.

В процессе производства ферросилиция, помимо основного формируется побочный продукт – микрокремнезем, который представляет собой мелкодисперсные частицы диоксида кремния ( $SiO_2$ ) [1-3]. Образование микрокремнезема происходит из основного компонента шихты – кварцита, который в процессе температурного воздействия в рудовосстановительной печи окисляется и вместе с печными газами отводится в газоочистной комплекс Печной газ с пылью проходит первую ступень очистки в циклонах, в которых происходит эффективное осаждение (улавливание) крупных посторонних включений, после чего чистый микрокремнезем осаждается в системе фильтров, поступает в установку уплотнения пыли и далее в установку упаковки.

Существует 2 вида микрокремнезема: неуплотненный с плотностью до  $0,3 \text{ т/м}^3$  (маркировка МК) и уплотненный с плотностью от  $0,3$  до  $0,8 \text{ т/м}^3$  (маркировка МКУ). Диоксид кремния применяется как компонент при производстве бетона и цементосодержащих смесей, а также при производстве фасадных панелей, керамической плитки и др., увеличивая их прочность, коррозионную устойчивость, влагостойкость, морозостойкость [4-5].

Количество уловленной пыли, ее химический состав, содержание основного элемента – диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), напрямую зависит от технологического хода печи и извлечения кремния в сплав. Чем лучше технологический ход печи, тем меньше возгонка микрокремнезема и ниже процентное содержание  $\text{SiO}_2$ . Жесткий контроль содержания диоксида кремния в готовой продукции обусловлен требованиями предъявляемыми потребителями материала, которое может варьироваться от 85% до 92%. Это связано с применением микрокремнезем на особо ответственных и сложных объектах (портовые причалы и сооружения, строительство высотных зданий, небоскребов и других объектов). Особые требования по посторонним включениям предъявляют потребители, где микрокремнезем применяют для производства панелей фасадов зданий, т.к. при колеровке посторонние включения дают локальные изменения цветности изделий. Отдельные потребители предъявляют требования к слипаемости материала, т.к. введение микрокремнезема в состав смесей пневмонасосами, приводит к налипанию микрокремнезема на участках с крутыми поворотами пневмотрасс.

Изменение плотности продукции производится в установке уплотнения, которая позволяет либо усреднять микрокремнезем по химическому и физическому составу, полученный с разных ферросплавных печей, либо производить селекционный отбор материала необходимого качества по заданным условиям.

С целью выявления факторов, влияющих на склонность уплотненного микрокремнезема марки МКУ к слипаемости на ОСП «ЮФЗ» были проведены две опытно-промышленные кампании. Первая опытная кампания получения микрокремнезема по экспериментальной технологии (без подачи «свежей» пыли во время уплотнения). Одним из отличий экспериментальной технологии является интенсификация продувки с увеличением расхода сжатого воздуха с 800 – 1000 (при стандартной технологии) до 1200 – 1500  $\text{м}^3/\text{час}$ .

Определение разрывной прочности пылевого слоя проб опытного МКУ показало среднюю степень слипаемости. Для сравнения была определена разрывная прочность пылевого слоя для образца рядовой МКУ и ряда образцов МКУ иностранного производства. Усредненные значения разрывной прочности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Усредненные значения разрывной прочности и оценка слипаемости образцов микрокремнезема марки МКУ

Наименование образца	Влажность, %	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Усредненная разрывная прочность, Па	Оценка слипаемости
«опытный»	0,09	0,66	146	Средняя слипаемость
«рядовой»	0,2	0,63	369	Высокая слипаемость
«Китай»	0,52	0,64	Ниже порога чувствительности метода	Низкая слипаемость

На рисунке 1 приведены фотографии образцов микрокремнезема, выполненных при помощи металлографического микроскопа. Из рисунка видно, что каждый из образцов содержит крупные сферические частицы, между которыми располагаются гораздо более мелкие частицы неуплотненного (слабоуплотненного) микрокремнезема. В образце «Китай» мелких неуплотненных частиц практически нет. Образец «неуплотненный» полностью состоит из неуплотненных частиц.



*а – «опытный»*



*б – «рядовой»*



*в – «Китай»*



*г – неуплотненный*

*Рис. 1. Фотографии структуры образцов микрокремнезема*

Оценив количество неуплотненных частиц каждого образца и сравнив с разрывной прочностью, была установлена следующая зависимость – чем больше мелких неуплотненных частиц в образце МКУ, тем выше разрывная прочность и склонность к слипаемости.

При проведении второй опытной кампании наряду с увеличением расхода сжатого воздуха до 1200–1500 м<sup>3</sup>/час увеличили длительность продувки в два раза.

Полученные в ходе второй опытной кампании образцы микрокремнезема экспериментальной партии были исследованы на степень слипаемости и на наличие мелких частиц.



*а*



*б*

*Рис. 2. Фотографии структуры образцов микрокремнезема двух опытных кампаний  
а – микрокремнезем опытной кампании №1, б – микрокремнезем опытной кампании №2*

Анализируя рисунки 2а и 2б можно сделать вывод, что в микрокремнеземе кампании № 1 больше крупных и мелких частиц, а в микрокремнеземе кампании № 2 больше средних частиц. Причиной такого явления может являться дополнительная продувка силоса в течение 5 суток после достижения максимальной насыпной плотности с увеличением расхода воздуха. При этом происходило укрупнение мелкодисперсных частиц в более крупные агломераты, имеющие меньшую слипаемость по сравнению с частицами микрокремнезема первой опытной кампании.

Выводы:

Использование пневматического способа уплотнения микрокремнезема позволяет:

- получать конечный продукт без изменения кристаллической структуры зерна, по сравнению с механическим уплотнением. Микрокремнезем полученный пневматическим способом имеет более высокую площадь поверхности частицы и индекс активности;
- гибко регулировать степень уплотнения конечного продукта, в зависимости от запросов потребителя с получением необходимого количества материала постоянной плотности.

Применяемая конструкция системы уплотнения и упаковки микрокремнезема позволяет:

- усреднить или селективно отобрать материал по химическому и физическому составу;
- вести непрерывный процесс уплотнения и упаковки материала;
- при необходимости в отдельно выбранных силосах производить микрокремнезем циклическим способом;
- - одновременно, в разных силосах, производить материал различного по плотности сортамента;
- система представляет полный закрытый цикл от сбора пыли до выдачи готовой продукции без применения промежуточной тары и транспорта для перевозки;
- гибко реагировать на запросы потребителей;
- производство уплотненного микрокремнезема с пониженной слипаемостью требует увеличенного расхода сжатого воздуха и времени производства, для реализации которого необходима модернизация воздухообеспечения предприятий.

Список используемых источников:

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. Теслев С.А., Теслева Е.П., Халтурина Д.В. Использование ископаемых углей при производстве ферросилиция // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Юрга, 24-26 Мая 2018. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018 - С. 94-96.
3. Чашин. Г.А., Кашлев И.М., Ефимов Г. П., Богдарев А.А. Освоение технологии производства товарного продукта .– уплотненного микрокремнезема // Металлург, 2009. С. 57-58.
4. ЛоховаН.А., МакароваИ.А., ПатраманскаяС.В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема. – Братск: БрГТУ, 2002. – 163 с., ил.
5. Бельский С.С., Бараускас А.Э. Микрокремнезем. свойства и применение // Перспективы развития технологии переработки углеродных и минеральных ресурсов, Иркутск, 19–20 апреля 2017 года. 2017. С. 74-76.