

УДК 65.011.8

*Д.В. ХАРИТОНОВ, Д.А. АНАШКИН, Д.А. МИХАЛЕВСКИЙ**АО «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология»
имени А. Г. Ромашина», г. Обнинск*

ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ФУТЕРОВКИ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Ключевые слова: инновация; ресурс; футеровка; футеровочная плитка; шаровая мельница.

Аннотация. Рост заказа на изготовления изделий из технической керамики и повышение цикличности технологии за счет использования забракованных изделий проявил недостатки существующей технологии изготовления и ремонта оборудования (шаровых мельниц), используемых для приготовления шликера, выраженные в длительности и сложности процесса изготовления и низком ресурсе футеровочных плиток. Ограниченность свободного производственного пространства и оборудования для изготовления футеровочных плиток для шаровых мельниц не позволил решить проблему за счет масштабирования – увеличение количества мельниц и оборудования для производства футеровочных плиток. Необходимо повысить ресурс футеровочных плиток и ускорить операцию ремонта шаровых мельниц.

Цель – поиск решений, позволяющих увеличить срок службы футеровок шаровых мельниц.

Задачи: проанализировать существующую технологию изготовления футеровочных плиток; проанализировать операцию ремонта шаровых мельниц; разработать новую технологию изготовления футеровочных плиток; реорганизовать операцию ремонта шаровых мельниц.

Гипотеза исследования: можно ожидать, что использование организационных, технологических, конструкторских и научных решений позволит дать синергетический эффект и позволит кардинально решить проблемы, возникающие от частого ремонта шаровых мельниц.

Методология: основными методами являются наблюдение, эксперимент, теория решения

изобретательских задач (ТРИЗ), бенчмаркинг, функциональный анализ, причинно-следственный анализ, диверсионный (инверсионный) анализ.

Результаты: организационные, технологические и конструкторские инновации в сумме позволили увеличить ресурс футеровки от 4,5 до 18 раз. Сократили загрузку печей для ее изготовления и материалов на 25 %. Разработаны новый корундовый материал и технология изготовления футеровочных плиток из него. Это позволит увеличить ресурс футеровки еще почти в два раза и существенно разгрузить загрузку печей для ее изготовления, а также высвободить 15 % площадей, используемых для установки шаровых мельниц.

Введение

В АО «ОНПП «Технология» имени А.Г. Ромашина» производится целый спектр изделий специального назначения из различных керамических материалов (рис. 1). В целях обеспечения гибкости производства и снижения себестоимости технология подлежит унификации там, где это возможно и рационально. Одной из важнейших операций для доминирующих по объему выпуска керамических изделий является помол исходного сырья в шаровых мельницах (рис. 2).

Для недопущения попадания в шликер инородных веществ используются специальный защитный слой (футеровка) и мелющие тела из материала, имеющего близкий химический состав с перемалываемым материалом. Конструкция шаровой мельницы состоит из металлического барабана, футеровки и адгезионного



Рис. 1. Примеры выпускаемой продукции

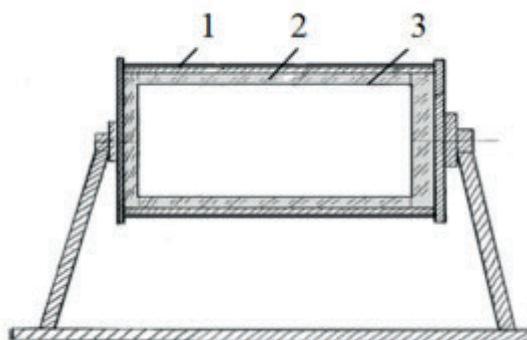


Рис. 2. Конструкция шаровой мельницы: 1 – металлический барабан; 2 – футеровка; 3 – рабочая область [3]

слоя между ними из эпоксидной смолы, выбранной из-за ее активного использования на производстве [3].

Материал

Исходное сырье имеет сложный химический состав, включающий в себя твердый и износостойкий оксид алюминия. Логичным решением стало изготовление футеровки именно

из него. Было принято простое и быстрое решение использовать материал ТСМ-303, разработанный в ОНПП «Технология» в 70–80-е гг. прошлого столетия для производства электроизоляторов в вакуумной технике [2]. Впоследствии массовое применение ТСМ-303 нашел как материал для производства свечей зажигания, представляющие собой небольшие тонкостенные профильные изделия, обжиг которых проводили в туннельной печи при относитель-

но низких температурах 1 540–1 560 °С.

Следует сказать, что изготовление достаточно массивных футеровочных плиток (ФП) 65х65х10 мм и крупных мелющих шаров (МШ) диаметром 40 мм всегда было проблематичным из-за трудности удаления связующего из объемных заготовок, что обуславливает высокий коэффициент запуска изделий (брака). Кроме того, для получения беспористых ФП и МШ таких толщин и размеров требуется повышение температуры их обжига до 1 600 °С и даже до 1 620 °С при большой загрузке изделий в печи.

При тоннажной наработке этих изделий остро обозначилась еще одна проблема, связанная с резким сокращением сроков эксплуатации газовой печи с волокнистой футеровкой, где проводится синтез шихты для ТСМ-303, а также электрических печей, в которых осуществляют обжиг изделий. Данная проблема обусловлена составом шихты, включающей в себя стеклообразующий оксид бора, пары которого разрушительно воздействуют на футеровку и нагреватели высокотемпературных печей [1].

На производстве в шаровых мельницах проводят процессы помола стеклогранулята (срок службы 1–2 месяца), стабилизацию шликера и непосредственно помол шихты для материала ТСМ 303 (срок службы 2–4 месяца). Для производства необходимого количества ФП требуется фактически полностью выделить на эту операцию электрическую высокотемпературную печь, которая используется и в других целях. При этом надо учитывать, что печь (в заводском исполнении) при обжиге изделий из материала ТСМ 303 после года активной эксплуатации потребовала замены камеры (4,5 млн рублей).

Ресурс газовой печи, используемой для обжига шихты для материала ТСМ 303, оценивается в три года, и ее ремонт обойдется в 13,6 млн рублей (в ценах 2021 г., далее для других сумм). Оценочно только на ремонт и обслуживание печей (электрической и газовой), используемых для производства плитки из материала ТСМ 303, необходимо закладывать около 8 млн рублей в год.

Проведенный анализ выявил несколько основных предпосылок для разрушения/выпадения ФП.

1. Низкое качество проводимых работ (коллективная безответственность), обусловленное отсутствием понимания важности операции футеровки мельниц. Исторически сло-

жившаяся практика, когда работа поручалась работникам несистемно и без учета умения выполнять ее качественно, и, как следствие, отсутствие стандарта ее выполнения, а сама деятельность проводилась длительно силами нескольких работников, из-за чего впоследствии было невозможно выявить персональный вклад каждого в конечный результат.

2. Неоптимальная конструкция, при которой плитка держится исключительно за счет адгезионной способности эпоксидной смолы.

3. Низкая твердость, высокая пористость и водопоглощение ФП приводят к быстрому износу и разрушению в процессе помола стекла.

4. Повышенный износ в результате помола обожженного материала ОТМ-357. В целях экономии и сокращения количества отходов для производства изделий стали использовать раздробленные, дефектные, уже обожженные изделия, которые отличаются повышенной твердостью, что является дополнительным фактором, негативно влияющим на ресурс футеровки мельницы.

Оценка негативных эффектов позволила выявить следующие потери.

1. Рост затрат на покупку материалов, из которых изготавливают футеровочные плитки.

2. Рост расходов на изготовление футеровочных плиток (зарплата, обслуживание оборудования, расходы на транспортировку).

3. Увеличение расходов на ремонт печей и длительность простоя печи на время ремонта.

4. Необходимость увеличивать количество барабанов для мельниц и находить место для их хранения из-за длительного и частого их ремонта.

5. Расходы, связанные с выполнением футеровки мельниц (зарплата, расходы на материалы и инструменты).

Цель исследования – поиск технических, конструкторских и организационных решений, позволяющих увеличить срок службы футеронок шаровых мельниц.

Алгоритм действий

Алгоритм работы включал следующие этапы.

1. Объективный сбор данных о всей технологической цепочке, при этом рассматривался не только основной технологический процесс, но и все вспомогательные операции.



Рис. 3. Изменение технологии изготовления ФП

2. Анализ результатов. Использовались: карта потока создания ценности; диаграмма Исикавы, Пять почему.

3. Выявление узких мест и причин их возникновения.

4. Поиск точек приложения усилий, дающий максимальный эффект с минимумом изменений. Инструменты: мозговой штурм, дерево текущей реальности, диаграмма разрешения конфликтов «Грозовая туча».

5. Планирование, поиск исполнителей, согласование изменений, выделение ресурсов и запуск работ.

6. Контроль работ, обобщение результатов (данная статья является одним из итогов работы).

Результаты

Для решения выявленных проблем был проведен ряд мероприятий.

1. Организационные. Определили работников, которые лучше укладывали футеровку и сделали для них эту работу основной. Это позволило получить быстрое улучшение. Повысить ресурс футеровки мельниц за счет уменьшения количества оторванных ФП через рост качества выполнения работ. Устранили коллективную безответственность. Ресурс футеровки вырос до шести месяцев.

2. Технологические. Изменить технологию операции формования ФП и МШ с литья на прессование, что позволяет исключить опера-

цию удаления воско-парафинового связующего и, следовательно, брак изделий, сопряженный с этой операцией. Как следствие, сокращается потребность в синтезе шихты для ТСМ-303 и непосредственно спекания ФП. Изменение технологии изготовления представлено на рис. 3 и позволяет сократить время технологических операций на 39 %.

3. Конструкторские. Изменить форму ФП. Была разработана конструкция ФП с арочным замком и увеличенной толщиной размерами (45–48) x125x20 мм и оформлена технологическая инструкция на его изготовление с применением способа прессования. Экспериментальная партия такой плитки из материала ТСМ-303, обожженная при 1 580–1 620 °С, успешно прошла испытания в условиях помола электрокорунда при получении шликера для изготовления плавильных тиглей, при этом ресурс службы футеровки мельницы увеличился до года, что еще больше уменьшит потребность в синтезе шихты для ТСМ-303 и непосредственно спекания ФП. На рис. 4 наглядно продемонстрирована разница в форме и толщине между старыми «тонкостенными» и новыми «толсто-стенными» плитками.

4. Организационные, технологические и конструкторские инновации в сумме позволили довести ресурс футеровки до 18 месяцев.

5. Научные. Разработка нового корундового материала и технологии изготовления из него ФП со спекающими добавками, которые не содержат летучие стеклообразующие ком-



Рис. 4. Наглядное сравнение формы и размеров ФП: А – «старые» тонкостенные; Б – «новые» толстостенные

поненты, приводящие к выходу из эксплуатации высокотемпературных печей. Практически за один год был разработан материал на основе промышленных порошков электрокорунда с тугоплавкой добавкой смеси алюмомагниевого шпинели и муллита.

Проведение научного поиска шло с учетом важных пограничных условий: исходное сырье производится на территории РФ, учитывая ограничения, вызванные пандемией, и, как показали события 2022 г., отказ от поставок сырья из западных стран был крайне разумным; доля итогового содержания оксида алюминия не ниже 98,5 % (в соответствии с требованием ТЗ); открытая пористость не более 0,1 %; водопоглощение не более 0,03 %; температура спекания не более 1 620 °С; технология его получения не требует синтеза шихты и использования газовой печи; спекающие добавки не должны содержать летучие стеклообразующие компоненты.

Разработанный и паспортизированный керамический материал на основе электрокорунда ОТМ-943 имеет явные преимущества перед ТСМ-303 по свойствам и технологичности, сопоставим с керамикой на основе импортного глинозема «*Almatis*» (табл. 1) и может быть использован для производства различной продукции: ФП и МШ, бронезащиты и изоляторы.

ОТМ-943 превосходит ТСМ-303 по химической чистоте, плотности, микротвердости, модулю упругости и баллистическим характеристикам. Проведенные опытные испытания показали рост ресурса новой плитки до 130–140, с 70–80 циклов помола по сравнению со старой. Данный результат достигнут за счет увеличения толщины и физических ха-

рактеристик нового материала. По результатам работы получен патент № 2 775 746 «Шихта на основе оксида алюминия и способ ее получения».

ОТМ-943 изготавливается полностью из отечественного сырья при температурах обжига 1 580–1 620 °С в зависимости от назначения изделий и объема загрузки печи. Технология его получения не требует синтеза шихты и использования газовой печи; пресс-порошок готовится простым смешиванием компонентов в смесителе, и после прессования заготовки сразу направляются на окончательный обжиг. Важное достоинство разработанной технологии заключается в отсутствии в составе материала летучих стеклообразующих соединений, выделяющихся в процессе спекания, что позволит существенно увеличить срок службы высокотемпературных печей.

В соответствии с вышеизложенным переход на другую конструкцию футеровочной плитки и замена ТСМ-303 на ОТМ-943 позволит не только существенно увеличить работоспособность мельниц при помоле стеклогранулята, но и значительно снизить трудо-, энергозатраты и продолжительность технологического цикла, при этом появляется возможность вывести из техпроцесса изготовления ФП газовую печь и обойтись использованием только электрической печи при сравнительно умеренных температурах обжига. Предположительно использование мельниц с такой футеровкой позволит увеличить их ресурс до 24 месяцев.

Заключение

В конечном итоге сумма инноваций (новая

Таблица 1. Свойства корундовых материалов

Наименование характеристик	Значение показателей		
	ОТМ-943	ТСМ-303	Материал ВК-98,5 из глинозема СТ 800 FG «Almatis» [3]
Содержание Al_2O_3 , % мас.	98,0–98,8	97,0	98,5
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,78–3,87	3,65–3,70	3,82
Предел прочности при изгибе при 20 °С, МПа	280–380	235–350	290
Трещиностойкость, МПа·м ^{1/2}	3,9–4,2	3,2–3,5	3,5
Модуль упругости, ГПа	350–360	245–310	320
Микротвердость, HV 300, МПа	13 500–15 500	10 000–12 500	16 000

форма ФП + новый материал + новый подход к организации операции футеровки мельниц) должна дать существенный экономический эффект, обеспечить бесперебойность работы основного производства. Удалось высвободить примерно 15 % площади, используемые для установок мельниц. Существенно экономить на покупке материалов и ремонте печей. Разгрузить работников. При этом за счет уменьшения расхода газа, электроэнергии и уменьшения отходов достигается значимое повышение экологичности производства и снижение его углеродного следа.

Опыт и практика показывают, что инновационный путь развития при адекватном подходе за счет грамотной реорганизации вспомогательных операций и технологических улучшений позволяет совершенствовать как вспомогательные процессы, так и основные производственные. Важно найти и выбрать решения, имеющие наибольший синергетический эффект.

Опыт и практика показывают, что инновационный путь развития при адекватном подходе за счет грамотной реорганизации вспомогательных операций и технологических улучшений позволяет совершенствовать как вспомогательные процессы, так и основные производственные. Важно найти и выбрать решения, имеющие наибольший синергетический эффект.

Список литературы

1. Бабенко, А.А. Влияние основности и содержания оксида бора в шлаках системы $CaO-SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3$ на растворимость периклазоуглеродистых огнеупоров / А.А. Бабенко, А.Н. Сметанников, А.Г. Уполовникова // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76. – № 4. – С. 390–396.
2. Кузьмина, О.В. Исследование зависимости эксплуатационных свойств корундовых мелющих тел от технологических параметров их получения / О.В. Кузьмина, Г.И. Куликова // XIV международный семинар структурные основы модифицирования материалов МНТ-ХIV. – Обнинск : Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2017. – С. 92.
3. Непочатов, Ю.К. Разработка составов и технологии получения корундовой бронекерамики с радиопоглощающим феррит-содержащим покрытием : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.17.11 / Ю.К. Непочатов. – Томск, 2014. – 22 с.

References

1. Babenko, A.A. Vliyaniye osnovnosti i soderzhaniya oksida bora v shlakakh sistemy $CaO-SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3$ na rastvorimost' periklazouglerodistyykh ogneuporov / A.A. Babenko, A.N. Smetannikov,

A.G. Upolovnikova // Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii. – 2020. – T. 76. – № 4. – S. 390–396.

2. Kuz'mina, O.V. Issledovaniye zavisimosti ekspluatatsionnykh svoystv korundovykh melyushchikh tel ot tekhnologicheskikh parametrov ikh polucheniya / O.V. Kuz'mina, G.I. Kulikova // XIV mezhdunarodnyy seminar strukturnyye osnovy modifitsirovaniya materialov MNT-XIV. – Obninsk : Obninskiy institut atomnoy energetiki – filial federal'nogo gosudarstvennogo avtonomnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Natsional'nyy issledovatel'skiy yadernyy universitet «MIFI», 2017. – S. 92.

3. Nepchatov, YU.K. Razrabotka sostavov i tekhnologii polucheniya korundovoy bronekeramiki s radiopogloshchayushchim ferrit-soderzhashchim pokrytiyem : avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.17.11 / YU.K. Nepchatov. – Tomsk, 2014. – 22 s.

© Д.В. Харитонов, Д.А. Анашкин, Д.А. Михалевский, 2022