

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-112-121

^{1,*}Качаев А.Е., ²Чемеричко Г.И., ²Севостьянов В.С.¹Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: doctor_cement@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАЛЬЦЕВ ДЕЗИНТЕГРАТОРА

Аннотация. Рассмотрена методика оценки износостойкости круглых по форме поперечного сечения пальцев дезинтегратора на примере измельчения высокоабразивных слюдо-кристаллических материалов (вспученного вермикулита и его концентрата) в дезинтеграторе. Представлен конструктивный метод защиты рабочих поверхностей пальцев от абразивного износа при диспергировании подобных материалов в дезинтеграторе, разработанной конструкции. С помощью существующих методик оценены параметры износа пальцев мельницы, получены экспериментальные значения износа пальцев в зависимости от приведенной производительности дезинтегратора, их динамических параметров, средневзвешенного диаметра частиц готового продукта, твердости материала пальцев и прочностных характеристик измельчаемого сырья. Определено дифференцированное влияние варьируемых факторов на процесс абразивного износа пальцев дезинтегратора. С помощью графической интерпретации результатов экспериментальных исследований процесса абразивного износа пальцев дезинтегратора установлено, что их максимальный износ, определяемый пропускной способностью дезинтегратора, устанавливает величину его приведенной производительности с низким содержанием продуктов намола при кратности циркуляции двухфазного потока равной 2. Подтверждено, что с ростом приведенной производительности агрегата параметр износа пальцев достигает минимального значения. Это связано с тем, что при максимальной подаче измельчаемого материала наблюдается эффект самоизмельчения частиц в слое между концентрическими рядами пальцев агрегата. С целью снижения поверхностного абразивного износа пальцев дезинтегратора предложена и экспериментально подтверждена эффективность использования специальных защитных втулок из бадделито-корундовых материалов, устойчивых к абразивному износу силикатными слюдо-кристаллическими породами. Произведено сравнение предложенного конструктивного решения защиты рабочих поверхностей пальцев с ранее используемыми пальцами из закаленной до твердости HRC 50 стали марки 45.

Ключевые слова: дезинтегратор, пальцы, износ, приведенная производительность, двухфазный поток, вермикулит.

Введение. В настоящее время в индустрии строительства и строительных материалов активно развиваются малотоннажные гибкие технологии [1]. Одним из металло- и энергоемких процессов в таких технологиях является процесс помола сырьевых компонентов, который характеризуется определенными энергозатратами и эксплуатационными показателями надежности оборудования. Для такого оборудования важным технологическим параметром является приведенная к средневзвешенному размеру частиц производительность [2], снижение которой наблюдается в работе агрегатов в виду увеличения износа рабочих поверхностей пальцев. Показатель приведенной производительности дезинтегратора тесно связан с качеством готового продукта – его дисперсностью. Взаимосвязь этих показателей, главным образом, и определяет эффективность работы помольного оборудования.

Такое технологическое оборудование, как дезинтегратор, является наиболее эффективным и надежным в технологии измельчения материа-

лов, если величина среднего показателя удельного износа рабочих поверхностей его пальцев и помольной камеры не превышает 1 % от производительности такого оборудования [2]. Это связано с тем, что не допускается использовать определенные дисперсные материалы с металлическими включениями по технологическим причинам, так как это приводит к снижению физико-механических характеристик получаемых порошков и снижает их дальнейшую технологичность в целом [3]. Важно отметить, что большой износ пальцев дезинтегратора снижает эффективность его работы: уменьшается приведенная производительность, падает показатель средневзвешенного размера частиц в готовом продукте, возрастает энергопотребление [4].

Установлено [3, 4], что, при эксплуатации шаровых или вибромельниц, где также изнашиваются мелющие тела, при условии полного износа шаровой загрузки устойчивая работа этих агрегатов не нарушается. Они просто переходят в режим самоизмельчения материалов с повышенным расходом электроэнергии. Здесь важно

заметить, что качество помола материалов является одним из ключевых показателей эффективной работы измельчителей. Именно поэтому в технологическом процессе необходимо поддерживать работоспособность агрегатов на должном уровне.

Все помольные агрегаты роторно-центробежного типа подвержены износу рабочих элементов и поверхностей помольной камеры. Дезинтеграторные мельницы – не исключение. Одним из недостатков конструктивного исполнения дезинтеграторов в виду особенностей работы их однотипных помольных камер является малая продолжительность межремонтного периода (относительно срока службы пальцев роторов мельницы) [5]. Заметим то, что такой недостаток не является причиной не использовать дезинтеграторы в технологиях высокоскоростного диспергирования абразивных материалов малой и средней прочности. Известно, что именно этот фактор, определенным образом, сдерживает применение мельниц такого рода в технологиях измельчения твердого и высокоабразивного сырья [6, 7].

Для обеспечения противопожарных требований к зданиям и сооружениям на металлическом каркасе используются огнезащитные краски и покрытия на основе вермикулита. Огнезащитные покрытия на основе тонкомолотого вермикулита обладают высокой технологической возможностью для их нанесения на поверхности с помощью кисти, или пневматическим способом [8].

Дисперсный вермикулит, как вспученный, так и концентрат, применяется в производстве огнезащитных красок и покрытий зданий и сооружений более 30 лет. При этом отмечается, что наличие в дисперсной фазе вермикулита высокой доли металлических включений (более 4 % от объемной производительности мельницы) снижает его технологические характеристики в составе огнезащитных материалов [9–11]. Следовательно, для ученых, занимающихся вопросами измельчения, относительно технологии производства тонкомолотого вермикулита стоит задача снизить наличие продуктов износа ударных элементов мельницы в объеме производимого продукта [3]. Постановка вопроса для его решения является актуальной. Решение данного вопроса позволит повысить качество огнезащитных материалов и технологичность их нанесения на металлические поверхности каркасов зданий и сооружений, а также увеличить срок службы и повысить надежность дезинтегратора.

Целью исследования является снижение удельных показателей износа пальцев дезинтегратора за счет разработки новой конструкции с применением защитных втулок из бадделеито-

корунда, позволяющих существенно уменьшить наличие металлических частиц в порошкообразном вермикулите, а также повысить эксплуатационную надежность и технологичность дезинтегратора. Комплексный подход к решению проблемы износа пальцев с применением современных материалов позволяет увеличить эффективность бесперебойной работы дезинтегратора, а также применить простые и надежные методы защиты оборудования от износа при различных технологических режимах.

Методы, оборудование и материалы. Известно, что изучение процесса изнашивания пальцев помольных агрегатов проводилось рядом авторов [2, 3, 4, 12, 13] со всем многообразием существующих материалов определенного гранулометрического состава, из которых на сегодняшний день производятся дисперсные материалы. Ударные элементы мельниц – пальцы – выполнялись различной конфигурации, преимущественно из конструкционных, износостойких, нержавеющей и других видов сталей. Также при изучении вопроса износа пальцев для различных измельчителей рассматривались также рабочие органы, выполненные из органических материалов [14].

Испытание новой конструкции ударных элементов с защитными втулками из бадделеито-корунда проводилось в дезинтеграторе [15], общий вид которого представлен на рисунке 1.

Оригинальная конструкция дезинтегратора [15] представлена соединением наружного ротора, определяющего объем помольной камеры (рис. 1б), с внутренним (рис. 1в). Ряды пальцев роторов круглой формы входят друг в друга с относительным зазором между собой. Пальцы, расположенные в рядах роторов по концентрическим окружностям, осуществляют процесс измельчения материалов за счет действия ударных, истирающих и сдвиговых воздействий. Следует отметить, что для такой конструкции относительный зазор между рядами пальцев достигается за счет точности установки подшипниковых опор внутреннего ротора в полый вал внешнего ротора, а последнего – во внешние опорные узлы, расположенные в нижней и верхней частях корпуса мельницы и рамы.

Конструктив дезинтегратора позволяет осуществлять процесс измельчения с использованием внутримельничного классифицирующего устройства, которое возвращает крупку на доизмельчение в помольную камеру. Таким образом, осуществляется внутренний рецикл измельчаемых материалов внутри агрегата. Данная технологическая возможность делает конструкцию дезинтегратора отличной от существующих ана-

логов, определяет перед измельчаемыми материалами гибкую вариативность схем помола.

Оригинальная конструкция дезинтегратора [15] может быть использована для различных технологических задач не только в строительстве, но и в смежных отраслях промышленности: энергетической, медицинской, металлургической, фармацевтической и др. Рассмотрим при-

менение дезинтегратора оригинальной конструкции в технологии выпуска огнезащитных порошкообразных материалов с использованием дисперсного вермикулита. Агрегат позволяет получить продукт с заданным гранулометрическим составом и обеспечить высокий показатель приведенной производительности при низкой энергоёмкости процесса.



а



б

в

Рис. 1. Дезинтегратор: а – общий вид; б – наружный ротор со стальными ударными элементами; в – внутренний ротор со стальными ударными элементами

Исследовались в процессе измельчения не вспученный вермикулитовый концентрат Татарского месторождения со средневзвешенным начальным размером частиц 3–5 мм, твердость которого по шкале Мооса составила 5 единиц и вспученный вермикулит (агровермикулит) фракции 1–5 мм. Влажность исследуемых материалов составляла не более 5 %. Величину износа рабочей поверхности пальцев определяли по такому показателю, как средний удельный износ, в соответствии с методикой [16]. Объектом исследования является дезинтеграторная мельница с круглыми по сечению пальцами.

Установлено [17], что при измельчении в дезинтеграторах мягких материалов, таких как меловые породы, глины и известняки процесс изнашивания пальцев происходит на участке АВ, который показан на рисунке 2. При этом участок АВ подвержен износу наиболее интенсивно, величина его абразивного износа двухфазным потоком превосходит по данному параметру все другие участки круглого поперечного сечения пальцев. Динамика изнашивания на участке АВ выражается значительно по отношению к другим участкам круглого поперечного сечения пальцев [8–10].

Правильная оценка степени износа пальцев

необходима не только для повышения качества готового продукта, но и для надежной эксплуатации дезинтегратора: параметры конструктивной прочности деталей и узлов мельницы всецело зависят от поперечного сечения пальцев, а также моментов инерции внутреннего и наружного роторов, вращающихся в противоположные стороны. Важно понимать, что процесс износа рабочих поверхностей пальцев является стохастическим. При этом необходимо его оценивать по усредненному, аппроксимированному показателю, например, таким, как предложено в работе [16].

Средний показатель удельного износа ударных элементов для всех роторных мельниц, у которых имеются рабочие (ударные) элементы в виде бил, пальцев, оцениваем по зависимости [16]:

$$I_{cp} = f(Q_{\Sigma R004}, V_A, \sigma_B, \sigma_{II}, d_{cp}), \quad (1)$$

где I_{cp} – средний показатель удельного изнашивания пальцев, $г/кг$; V_A – абсолютная линейная скорость пальца ротора дезинтегратора, $м/с$; $Q_{\Sigma R004}$ – приведенная по ситу № 004 производительность дезинтегратора, $кг/ч$; σ_B – прочностная характеристика измельчаемого материала, $Па$;

σ_{II} – прочность (поверхностная твердость) материала, из которого выполнены пальцы, HRC; d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц (кусков) измельчаемого материала, m .

Анализируя функциональную зависимость (1), приходим к выводу, что все ее варьируемые факторы могут обладать максимальными и минимальными значениями, следовательно, необходимо определять средний показатель удельного износа ударных элементов по их средним показателям.

Аппроксимируя зависимость (1) степенным рядом, получим следующее выражение:

$$I_{cp} = A \cdot (Q_{\Sigma R004}^{\alpha} \cdot V_A^{\beta} \cdot \sigma_B^{\gamma} \cdot \sigma_{II}^m \cdot d_{cp}^n), \quad (2)$$

где A – коэффициент пропорциональности процесса износа пальцев в однородном двухфазном потоке; $\alpha, \beta, \gamma, m, n$ – степенные показатели, указывающие степень осреднения.

Величины значений коэффициента пропор-

циональности A процесса износа пальцев круглого поперечного сечения в однородном двухфазном потоке и степенных показателей, используемых в выражении (2) методики [16] были получены путем аналитической обработки экспериментальных данных по износу пальцев дезинтегратора. В результате обработки экспериментальных данных, параметры которых представлены в выражении (2), было определено, что: $A = (2,5-3,0) \cdot 10^{-4}$; $\alpha = 1,1 - 1,3$; $\beta = (29 - 35) \cdot 10^{-2}$; $\gamma = 2,0 - 3,2$; $m = 0,3 - 0,6$; $n = 1,6 - 2,2$.

Анализ экспериментальных данных процесса износа пальцев дезинтегратора показал, что их истирание в значительной мере зависит от абразивности и твердости измельчаемого материала. При помоле сырьевых компонентов с низкой абразивностью и малой прочностью, наблюдается относительно одинаковый по характеру износ пальцев [17]. При этом характер износа не зависит от вида материала, из которого изготовлены пальцы, он идентичен характеру, показанному на рисунке 2.

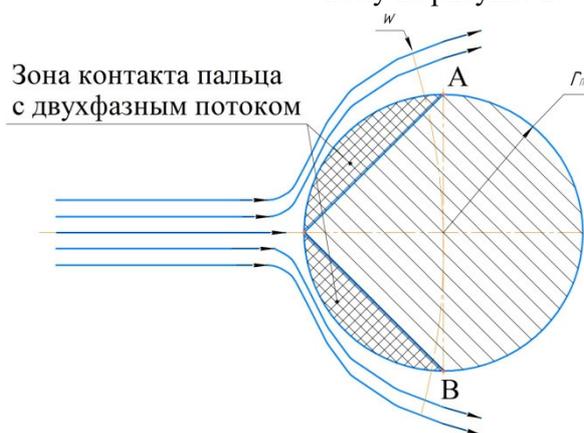


Рис. 2. Схематическое изображение процесса обтекания пальца дезинтегратора двухфазным потоком: ω – угловая скорость вращения ротора дезинтегратора, $1/\text{рад}$; r_{II} – радиус пальца, m

Следует обратить внимание на то, что при измельчении любого материала наблюдается зависимость качества получаемого порошка, производительности агрегата, его энергопотребления от временного фактора. Чем быстрее производится готовый продукт необходимого качества с меньшими затратами электроэнергии, тем эффективнее оценивается работа оборудования [2]. Именно поэтому необходимо оценивать не только показатель износа пальцев дезинтегратора, но их реальный срок службы до последующей замены.

Срок службы пальца до его полной замены в межремонтный период определяется по формуле [16]:

$$T_{II} = \frac{k_u \cdot G_{II}}{Q_{\Sigma R004} \cdot I_{cp}}, \quad (3)$$

где k_u – коэффициент запаса прочности (твердости) рабочей поверхности пальца при его износе,

$k_u = 0,35$; G_{II} – вес пальца, $кг$.

Установлено ранее [12, 16], что наибольшее изнашивание пальцев роторов дезинтегратора происходит в направлении к периферии помольной камеры – от оси вращения роторов к последнему ряду пальцев. Это связано с тем, что абсолютная скорость двухфазного потока от оси к периферии помольной камеры кратно возрастает. Для того чтобы увеличить время межремонтного периода измельчителя, предлагается рабочую поверхность круглых пальцев защитить втулками из бадделеито-корунда (рис. 3). Это предотвратит появление металлических включений в готовом продукте и повысит эксплуатационную надежность дезинтегратора.

Защитный материал – бадделеито-корунд – представляет собой спекшиеся горные породы, которые являются системой, представленной в виде $Al_2O_3 - ZrO_2 - SiO_2$ [18]. Такой материал об-

ладает необходимой высокой прочностью и износостойкостью, чтобы использовать его в защите пальцев дезинтегратора от потери ими конструктивной прочности и надежности, предотвратит их чрезмерный износ. Важно отметить, что бадделеито-корунд устойчив к восприятию циклических, ударно-стирающих нагрузок.



а



б

Рис. 3. Конструктивные особенности пальцев дезинтегратора с защитными втулками из бадделеито-корунда: а – защитные втулки; б – ударные элементы с защитными втулками

Основная часть. Измельчение вермикулитовых материалов проводилось в дезинтеграторной мельнице с внутренней циркуляцией загрузки [15] при кратности циркуляционной нагрузки равной 2. Изучение процесса износа пальцев проходило в два исследования. Дезинтегратор в первом исследовании был оснащен пальцами, выполненными из стали 45 и закаленными до твердости HRC 50. Во втором исследовании пальцы дезинтегратора представляли собой ось, защищенную втулками из бадделеито-корунда. Количество пальцев в помольной камере мельницы было постоянным. В процессе исследований загрузка материала осуществлялась автоматическим способом, обеспечивающим равномер-

Именно циклический характер сочетания удара с истиранием измельчаемого материала о поверхность, изготовленную из бадделеито-корунда дает хорошие показатели его эксплуатационного применения для пальца в конструкции дезинтегратора [19].

ность подачи сырья. После проведения исследования по определению среднего значения износа пальцев в зависимости от приведенной производительности дезинтегратора для стальных элементов были получены экспериментальные результаты, также были получены экспериментальные результаты и для элементов, защищенных втулками из бадделеито-корунда. Толщина втулок из бадделеито-корунда составляла 2,5 мм.

Максимальная величина приведенной производительности дезинтегратора по конечному продукту в исследованиях составила 150 кг/ч. Результаты исследований процесса износа пальцев дезинтегратора представлены в графическом виде на рисунке 4.

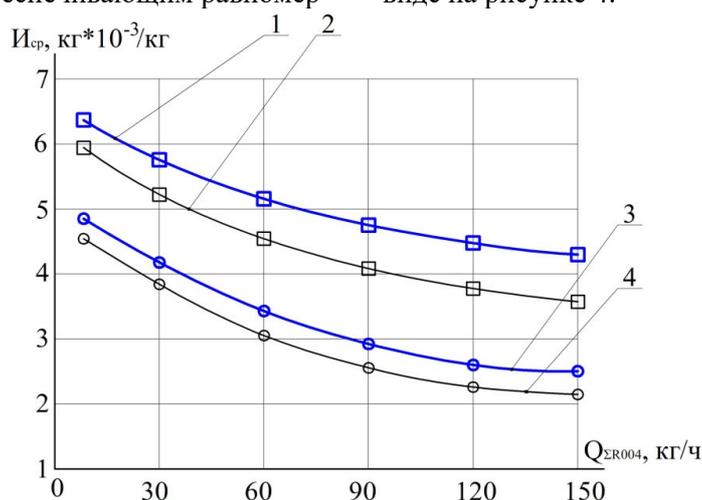


Рис. 4. График, устанавливающий зависимость показателя среднего удельного износа пальцев от приведенной производительности дезинтегратора: 1 – усредненный удельный износ пальцев дезинтегратора при измельчении вермикулитового концентрата, пальцы изготовлены из закаленной стали 45; 2 – усредненный удельный износ пальцев дезинтегратора при измельчении вспученного вермикулита, пальцы изготовлены из закаленной стали 45; 3 – усредненный удельный износ пальцев дезинтегратора при измельчении вермикулитового концентрата, пальцы защищены износостойкими втулками; 4 – усредненный удельный износ пальцев дезинтегратора при измельчении вспученного вермикулита, пальцы защищены износостойкими втулками

На основании выражения (3) и в соответствии с графиком, показанным на рисунке 4, видно, что применение в дезинтеграторе конструктивно-защищенных пальцев способствует увеличению срока их службы (по сравнению со стальными пальцами, изготовленными из закаленной стали) в 1,4 раза. Следовательно, в случае применения конструктивно-защищенных пальцев в дезинтеграторе намол металла в готовом продукте снизится не менее чем на 40 %.

Экспериментально установлено, что помимо физико-механических характеристик измельчаемого материала износ пальцев в значительной степени зависит от приведенной производительности $Q_{\Sigma R004}$ мельницы (доля – более 0,75). Используя в исследованиях один и тот же материал – вермикулит различной крупности, значением физико-механических характеристик измельчаемого материала пренебрежем.

С увеличением производительности $Q_{\Sigma R004}$ мельницы величина удельного износа пальцев снижается (рис. 4). Это объясняется падением плотности двухфазного потока внутри помольной камеры дезинтегратора. Абсолютная линейная скорость V_A движения материала внутри помольной камеры дезинтегратора также в значительной мере влияет на процесс износа, и в долях от единицы составляет 0,09. Совместное влияние таких параметров как σ_B, σ_{II} оценено в долях от единицы величиной в 0,11, а влияние средневзвешенного диаметра измельчаемого материала составило (в долях) менее 0,05. Статистическая погрешность в оценке степени влияния варьируемых факторов на процесс износа пальцев в соответствии с методикой [16] не превышает 5 %.

Из полученного графика заключаем, что при помол в мельнице вермикулитового концентрата с помощью пальцев из закаленной до твердости HRC 50 стали 45, с увеличением приведенной производительности агрегата от $Q_{\Sigma R004_{min}} = 10$ кг/ч до $Q_{\Sigma R004_{max}} = 150$ кг/ч средний удельный износ рабочих поверхностей пальцев уменьшится на 33 % (с $6,29 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$ до $4,15 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$). При измельчении материала с помощью пальцев, защищенных втулками из бадделеито-корунда, при соответствующих значениях производительности, средний удельный износ пальцев снизится на 48 % (с $4,65 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$ до $2,3 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$). Таким образом, применение в конструкции дезинтегратора пальцев, защищенных втулками из бадделеито-корундовых материалов, снижает износ в целом на 25 %. Повышает их эксплуатационную надежность и продолжительность в использовании на 33 %.

При исследовании помола вспученного вермикулита в измельчителе, где использовались

пальцы из закаленной до твердости HRC 50 стали 45, установлено, что с увеличением производительности от $Q_{\Sigma R004_{min}} = 10$ кг/ч до $Q_{\Sigma R004_{max}} = 150$ кг/ч средний показатель удельного износа поверхности пальцев уменьшится на 45 % (с $5,5 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$ до $3,0 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$). При измельчении материала с помощью пальцев, защищенных втулками из бадделеито-корунда, при соответствующих значениях производительности, средний удельный износ пальцев также снизится на 45 % (с $4,0 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$ до $2,25 \text{ кг} \cdot 10^{-3}/\text{кг}$). Значит, использование в конструкции дезинтегратора пальцев, защищенных втулками из бадделеито-корунда, снижает износ на 35 %, повышает их эксплуатационную надежность и продолжительность в использовании на 40 %. Это связано с тем, что вспученный вермикулит обладает более рыхлой структурой и менее абразивен, чем концентрат.

Оценивая величину металлических включений в объеме готового продукта можно определить, что в случае с вермикулитовым концентратом их содержание снизится на 32 %, а при измельчении вспученного вермикулита на 40 %. Оценка осуществлялась путем подсчета суммарной величины рабочих поверхностей пальцев круглого поперечного сечения относительно всех рабочих поверхностей помольной камеры.

Полученные результаты исследования показали целесообразность использования пальцев с защитными втулками из бадделеито-корунда при измельчении вермикулитовых материалов, используемых в составах огнезащитных покрытий.

Выводы.

1. Предложено преимущественное применение дезинтегратора для малотоннажных технологий, занимающихся производством огнезащитных материалов на основе вермикулита с низким содержанием металлических включений. В качестве усовершенствованного органа оригинального дезинтегратора предложена конструкция пальца, оснащенного защитной втулкой из бадделеито-корундового материала.

2. Установлен численно характер влияния таких параметров как абсолютная линейная скорость пальца, приведенная производительность дезинтегратора, прочность измельчаемого материала, твердость материала, из которого выполнены ударные элементы, средневзвешенный размер частиц (кусков) измельчаемого материала на средний показатель удельного износа пальцев. Существенное влияние на процесс износа рабочих поверхностей ударных элементов оказывает приведенная производительность дезинтегратора $Q_{\Sigma R004}$ – более 75 % (в долях – 0,75). Остальные параметры в исследовании не учитывали, так

как их суммарное влияние оценивается менее чем в 25 % (в долях – менее 0,25).

3. С использованием методики оценки износа рабочих поверхностей ударных элементов для процесса измельчения вермикулитового концентрата и вспученного вермикулита установлено, что усовершенствованная конструкция ударных элементов на 33 % и 45 %, соответственно, снижает показатель среднего удельного износа пальцев дезинтегратора.

4. В случае применения усовершенствованной конструкции пальцев в помольной камере дезинтегратора в 1,4 раза в межремонтном периоде увеличится эксплуатационная надежность дезинтегратора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Уральский В.И. Технологические модули для комплексной переработки техногенных материалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. №9. С. 43–45.
2. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Бороздин Е.А. Теоретическое исследование процесса измельчения материала в рабочей камере дисковой мельницы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 125–131. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-125-131.
3. Прокопец В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ // Строительные материалы. 2003. №9. С. 28–29.
4. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. М.: Госстройиздат, 1962. 601 с.
5. Керимов М.А. Измельчительные технологии: от микроразмерных фракций до наночастиц // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 1(58). С. 166–171. DOI 10.24411/2078-1318-2020-11166.
6. Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н. Повышение долговечности рабочих органов центробежно-ударных измельчителей // Российский химический журнал. Иваново. 2019. Т. LXIII, № 3–4. С. 40–44. DOI:10.6060/rcj.2019633.5.
7. Прокопец В.С., Акимов В.В. Увеличение работоспособности мельниц ударного действия с помощью твердых безвольфрамовых сплавов // «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века». 2005. №7. С. 50–51.
8. Енджиевская И.Г., Василовская Н.Г., Слакова О.В. Составы для огнезащитных покрытий на основе вспученного вермикулита Татарского месторождения // Вестник ТГАСУ. 2012. № 1. С. 117–122.
9. Белых С.А., Новоселова Ю.В., Скоков Д.В. Огнезащитное покрытие для древесины на основе жидкого стекла и тонкодисперсных отходов промышленности // Труды БрГУ. Серия: Естественные и инженерные науки. ФГБОУ ВПО «Братский государственный ун-т». 2013. Т.2. С. 176–182.
10. Халтуринский Н.А., Хрупкин В.Г. О механизме образования огнезащитных вспучивающихся покрытий // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т20. №10. С. 33–36.
11. Крашенинникова М.В. Огнезащитные вспучивающиеся материалы на основе органорастворимых пленкообразователей // Лакокрасочные материалы и их применение. 2006. № 12. С. 14–19.
12. Тюманок А. Н. Взаимодействие мелющих элементов круглого поперечного сечения и обрабатываемого материала // Сборник статей «УДА-технологии». Таллин, Валгус. 1980. С. – 33.
13. Xuemin L., Man Z., Nan H. Calculation model of coal comminution energy consumption // Minerals Engineering. 2016. No. 92. Pp. 21–27. DOI:10.1016/j.mineng.2016.01.008.
14. Romanovich A.A., Glagolev S.N., Babaevskiy A.N. Methods to improve efficiency of production technology of the innovative composite cementing materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Issue 3. 032009. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-116-123.
15. Пат. № 2377070, МПК7 В 02 С 13/22. Дезинтегратор / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Глаголев Е.С., Качаев А.Е. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», ООО «ТК-РЕЦИКЛ». - №2008118079/03; заявл. 06.05. 08; опубл. 27.12.09, Бюл. №36.
16. Бальмонт Т.М., Гуямджян П.П., Бальмонт Д.С. Износ ударных элементов ступенчатой мельницы // Региональное приложение к журналу «Современные наукоемкие технологии». 2009. №1. С. 57–60.
17. Севостьянов В.С., Качаев А.Е., Бойчук И.П., Кузнецова И.А. Теоретические исследования процессов в роторной мельнице с комбинированным воздействием на измельчаемый материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 9. С. 122–129. DOI: 10.12737/article_59a93b0aa409c9.96285097.
18. Пивинский Ю. Е. Неформованные огнеупоры. Т.1. Книга 1. Общие вопросы технологии: справоч. изд. Москва: Теплоэнергетик, 2004. 448 с.

19. Yinwei Y., Kai F., Jing X. A novel control method for roll gap of roller crusher based on FuzzyPID with decision factor self-correction // IOP

Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. No. 892. Pp. 12–19. DOI: 10.1088/1757-899X/892/1/012085.

Информация об авторах

Качаев Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства. E-mail: doctor_cement@mail.ru. Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета. Россия, 140402, Московская область, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, дом 408.

Чемеричко Галина Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: kafedramo120@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Владимир Семенович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: tkmm@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.10.2023 г.

© Качаев А.Е., Чемеричко Г.И., Севостьянов В.С., 2024

^{1,*}*Kachaev A.E.*, ²*Chemerichko G.I.*, ²*Sevostyanov V.S.*

¹*Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University*

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*

**E-mail: doctor_cement@mail.ru*

EXPERIMENTAL RESEARCH ON INCREASING THE ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF DISINTEGRATOR IMPACT ELEMENTS

Abstract. *A method for assessing the wear resistance of round cross-sectional disintegrator fingers is considered using the example of grinding highly abrasive mica-crystalline materials (expanded vermiculite and its concentrate) in a disintegrator. A constructive method for protecting the working surfaces of fingers from abrasive wear when dispersing similar materials in a disintegrator of a developed design is presented. Using existing methods, the wear parameters of the mill pins were assessed, experimental values of pin wear were obtained depending on the reduced productivity of the disintegrator, their dynamic parameters, the weighted average particle diameter of the finished product, the hardness of the pin material and the strength characteristics of the crushed raw materials. The differentiated influence of variable factors on the process of abrasive wear of the disintegrator fingers has been determined. Using a graphical interpretation of the results of experimental studies of the process of abrasive wear of the disintegrator fingers, it was established that their maximum wear, determined by the throughput of the disintegrator, sets the value of its reduced productivity with a low content of grinding products at a circulation rate of a two-phase flow equal to 2. It is confirmed that with an increase in the reduced productivity of the unit the finger wear parameter reaches a minimum value. This is due to the fact that at the maximum supply of crushed material, the effect of self-grinding of particles in the layer between the concentric rows of fingers of the unit is observed. In order to reduce the surface abrasive wear of the disintegrator fingers, the effectiveness of using special protective bushings made of baddeleyite-corundum materials, resistant to abrasive wear by silicate mica-crystalline rocks, was proposed and experimentally confirmed. A comparison was made of the proposed design solution for protecting the working surfaces of the fingers with previously used fingers made of grade 45 steel hardened to HRC 50.*

Keywords: *disintegrator, fingers, wear, reduced productivity, two-phase flow, vermiculite.*

REFERENCES

1. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Ilina T.N., Uralskij V.I. Technological modules for complex processing of technogenic materials [Tekhnologicheskie moduli dlya kompleksnoj pererabotki tekhnogennyh materialov]. Chemical and petroleum engineering. 2010. No.9. Pp. 43–45. (rus)

2. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A., Borozdin E.A. Theoretical study of the process of grinding material in the working chamber of a disk

mill [Teoreticheskoe issledovanie processa izmel'cheniya materiala v rabochej kamere diskovoj mel'nicy]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 11. Pp. 125–131. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-125-131. (rus)

3. Prokopec B.S. The influence of mechanical activation on the activity of binders [Vliyanie mekhanoaktivacionnogo vozdejstviya na aktivnost'

vyazhushchih veshchestv]. Construction Materials. 2003. No. 9. Pp. 28–29. (rus)

4. Hint I.A. Basics of production of silicalcite products [Osnovy proizvodstva silikal'citnyh izdelij]. M.: Gosstrojizdat. 1962. 601 p. (rus)

5. Kerimov M.A. Grinding technologies: from micro-sized fractions to nanoparticles [Izmel'chitel'nye tekhnologii: ot mikrorazmernykh frakcij do nanochastic]. News of the St. Petersburg State Agrarian University. 2020. No. 1(58). Pp.166–171. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-11166. (rus)

6. Kolobov M.Yu., Chagin O.V., Blinichev V.N. Increasing the durability of the working bodies of centrifugal impact shredders [Povyshenie dolgovechnosti rabochih organov centrobezhnoudarnykh izmel'chitelej]. Russian chemical journal. Ivanovo. 2019. Vol. LXIII, No. 3–4. Pp. 40–44. DOI:10.6060/rcj.2019633.5. (rus)

7. Prokopec V.S., Akimov V.V. Increasing the performance of impact mills using hard tungsten-free alloys [Uvelichenie rabotosposobnosti mel'nic udarnogo dejstviya s pomoshch'yu tverdykh bezvol'framovykh splavov]. "Building materials, equipment, technologies of the 21st century". 2005. No.7. Pp. 50–51. (rus)

8. Endzhievskaya I.G., Vasilovskaya N.G., Slakova O.V. Compositions for fire retardant coatings based on expanded vermiculite from the Tatar deposit [Sostavy dlya ognезashchitnykh pokrytij na osnove vspuchennogo vermikulita Tatarskogo mestorozhdeniya]. Bulletin of TGASU. 2012. No. 1. Pp. 117–122. (rus)

9. Belyh S.A., Novoselova Yu.V., Skokov D.V. Fire retardant coating for wood based on liquid glass and fine industrial waste [Ognезashchitnoe pokrytie dlya drevesiny na osnove zhidkogo stekla i tonkodispersnykh othodov promyshlennosti]. University proceedings of BrGU. Book series: Natural and engineering sciences. BrGU. 2013. Vol. 2. Pp. 176–182. (rus)

10. Halturinskij N.A., Hrupkin V.G. On the mechanism of formation of fire-retardant intumescent coatings [O mekhanizme obrazovaniya ognезashchitnykh vspuchivayushchihsy pokrytij]. Fire and Explosion Safety/ 2011. Vol.20. No.10. Pp. 33-36. (rus)

11. Krasheninnikova M.V. Fire-retardant intumescent materials based on solvent-soluble film formers [Ognезashchitnye vspuchivayushchiesya ma-

terialy na osnove organorastvorimyh plenkoobrazovatelej]. Paints and varnishes and their application. 2006. No. 12. Pp. 14–19. (rus)

12. Tyumanok A. N. Interaction of grinding elements of round cross-section and the processed material [Vzaimodejstvie melyushchih elementov kruglogo poperechnogo secheniya i obrabatyvaemogo materiala]. Collection of articles "UDA-technologies". Tallinn, Valgus. 1980. Pp. 25–33. (rus)

13. Xuemin L., Man Z., Nan H. Calculation model of coal comminution energy consumption // Minerals Engineering. 2016. No. 92. Pp. 21–27. DOI:10.1016/j.mineng.2016.01.008.

14. Romanovich A.A., Glagolev S.N., Babaevskiy A.N. Methods to improve efficiency of production technology of the innovative composite cementing materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Issue 3. 032009. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-116-123.

15. Gridchin A.M., Sevost'yanov V.S., Glagolev E.S., Kachaev A.E. Disintegrator. Patent RF, no. 2377070, 2009. (rus)

16. Bal'mont T.M., Guyumdzhyan P.P., Bal'mont D.S. Wear of the impact elements of the step mill [Iznos udarnykh elementov stupenchatoj mel'nicy]. Regional supplement to the journal "Modern Science-Intensive Technologies". 2009. No.1. Pp. 57–60. (rus)

17. Sevostyanov V.S., Kachaev A.E., Bojchuk I.P., Kuznecova I.A. Theoretical studies of processes in a rotary mill with a combined effect on the crushed material [Teoreticheskie issledovaniya processov v rotornoj mel'nice s kombinirovannym vozdejstviem na izmel'chaemyj material]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 9. Pp. 122–129. DOI: 10.12737/article_59a93b0aa409c9.96285097. (rus)

18. Pivinsky Yu.I. Unshaped refractories. [Neformovannye ogneupory]. Vol.1. Book no. 1. General issues of technology: reference book. ed. Moscow: Teploenergetik, 2004. 448 p. (rus)

19. Yinwei Y., Kai F., Jing X. A novel control method for roll gap of roller crusher based on FuzzyPID with decision factor self-correction // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. No. 892. Pp. 12–19. DOI: 10.1088/1757-899X/892/1/012085.

Information about the authors

Kachaev, Aleksandr E. PhD, Head of the Department of Construction Production. E-mail: doctor_cement@mail.ru. Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University. Russia, 140402, Moscow region, Kolomna, st. October Revolution, building 408.

Chemerichko, Galina I. PhD, Assistant professor. E-mail: kafedramo120@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sevostyanov, Vladimir S. DSc, Professor, Head of the Department of Technological Complexes, Machines and Mechanisms. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 16.10.2023

Для цитирования:

Качаев А.Е., Чемеричко Г.И., Севостьянов В.С. Экспериментальные исследования по повышению абразивной износостойкости пальцев дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №1. С. 112–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-112-121

For citation:

Kachaev A.E., Chemerichko G.I., Sevostyanov V.S. Experimental research on increasing the abrasive wear resistance of disintegrator impact elements. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 1. Pp. 112–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-112-121