

УДК 621.926.35:620.178.16(045)(476)

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УСКОРИТЕЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНЫХ МЕЛЬНИЦ

Таболич А.В. (НТЦ ОАО «НПО Центр», г. Минск, Беларусь), Бондаренко С.Н. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В статье рассматриваются перспективные конструкции ускорителей центробежно-ударных мельниц, которые при сохранении общей производительности и высокой эффективности процесса помола позволяют снизить эксплуатационные затраты за счет защиты рабочих элементов конструкции от износа. Приводятся сравнительные характеристики износа для ускорителей различных типов и анализ гранулометрического состава продуктов измельчения.

Введение

В настоящее время ударно-центробежные мельницы находят все более широкое применение для измельчения высокопрочных и абразивных материалов в технологиях обогащения руд и измельчения некоторых видов горных пород для строительной отрасли, успешно заменяя традиционно применяемые для этих целей шаровые мельницы [1, 2]. Измельчительное оборудование ударно-центробежного типа характеризуется достаточно низким энергопотреблением и относительно небольшим намолом материала размольной гарнитуры. При помоле в мельницах такого типа разрушение измельчаемого материала происходит по слабым связям, микротрещинам и граням спаянности, что позволяет получать целевой продукт с хорошо развитой поверхностью и зёрнами, имеющими выраженную изометрическую форму.

Однако, измельчение прочных горных пород, руд и материалов, обладающих высокой абразивностью, существенно повышает эксплуатационные затраты при производстве продуктов измельчения этих материалов. Значительный вклад в повышение эксплуатационных затрат при измельчении высокопрочных и абразивных материалов обусловлен очень высоким износом материалов рабочих органов размольной гарнитуры и, как следствие, необходимостью их частой замены. Для более эффективного использования в производстве ударно-центробежных мельниц необходимо предусмотреть ряд мер по защите от износа некоторых рабочих элементов мельницы, т.к. большие скорости вращения ускорителей и высокая скорость движения воздушного потока приводят к уменьшению ресурса конструкции и, соответственно, повышают эксплуатационные затраты.

Исследования, проведенные в данной работе, направлены на разработку эффективных конструкций ускорителей центробежно-ударных мельниц, которые при высокой эффективности общего процесса помола позволят снизить эксплуатационные затраты.

Конструкционные особенности центробежно-ударных мельниц, производимых ОАО «НПО Центр»

Принцип действия центробежно-ударных измельчительных комплексов ОАО «НПО Центр» основан на разгоне частиц исходного материала до большой скорости



Рисунок 1. – Мельница центробежно-ударная

Таким образом, в центробежно-ударной мельнице осуществляется непрерывный отвод измельченного до требуемой тонины материала и возврат крупных частиц на дополнительный помол. Крупность готового продукта может легко регулироваться в процессе измельчения без остановки работы оборудования.

Особенности футеровки рабочих элементов ускорителя

Как показывает практика, износ рабочих элементов измельчительных аппаратов за счет механических повреждений, обусловленных ударными, истирающими и налипающими воздействиями, можно существенно уменьшить путем специальной отделки поверхностей этих рабочих элементов – так называемой футеровки. Футеровка позволяет значительно продлить срок службы помольных агрегатов, к тому же замена отделочного материала намного дешевле, чем полная замена рабочего элемента конструкции [3].

Анализ особенностей и практика эксплуатации различных помольных аппаратов позволяет сделать заключение, что не существует идеальных футеровочных материалов, которые смогли бы полностью исключить износ рабочих элементов конструкции [4]. У всех материалов для футеровки есть предельный ресурс. При помолу высокоабразивных материалов износ тем выше, чем интенсивнее воздействие частиц материала на элементы конструкции и выше общая производительность работы самого оборудования.

Поэтому на основании анализа практики эксплуатации помольного оборудования можно сделать заключение, что самым эффективным решением проблемы износа рабочих органов ударно-центробежных мельниц является недопущение непосредственного воздействия на них частиц измельчаемого материала. Этот эффект может быть достигнут за счет организации движения потока таким образом, чтобы измельчаемый материал попадал непосредственно не на рабочие элементы конструкции, а его течение происходило по такому же измельчаемому материалу, т.е. необходимо предусмотреть

в межлопаточном пространстве ротора-ускорителя с последующим ударом об отражательные элементы. Схема работы самой центробежно-ударной помольной установки показана на рисунке 1.

Исходный материал поступает в центральную часть вращающегося ускорителя и, двигаясь по каналам от центра к периферии, разгоняется до скорости, обеспечивающей разрушение материала (85-120 м/с). При столкновении с отбойными элементами, расположенными на некотором расстоянии по периметру вокруг ускорителя, передняя часть частицы материала разрушается.

Измельченный материал подхватывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором, и направляется в зону классификации, где происходит выделение фракций требуемой тонины, а недостаточно измельченный материал направляется обратно в ускоритель для дальнейшего измельчения.

схему футеровки рабочих органов самим измельчаемым материалом в режиме «самофутеровки».

В центробежно-ударной мельнице наиболее изнашиваемыми элементами являются: боковая обечайка, лопатки ускорителя и отбойные элементы. Замена отбойных элементов на специальные карманы, в которых залегаёт слой материала, широко применяется в стандартных конструкциях дробильного оборудования серийно выпускаемого ОАО «НПО Центр».

Такой способ защиты от износа довольно эффективен, однако подходит только для получения крупнодисперсных материалов с размером частиц свыше 1 мм.

При получении тонкодисперсных материалов удар о поверхность, образованную залегающим материалом, будет идти по касательной, в то время как отбойные элементы всегда можно установить нормально к траектории движения частиц.

Самофутеровка разгонных лопаток ротора измельчаемым материалом (рисунок 2) эффективно защищает разгонные лопатки ускорителя от износа. Выполнение лопатки ускорителя в виде сектора логарифмической кривой позволяет залегать части материала на его поверхности, и в дальнейшем прохождение материала при его разгоне в ускорителе происходит по слою уже залегающего ранее материала.

Однако необходимо отметить, что данная конструкция не лишена недостатков.

Во-первых, условие создания самофутерующего слоя предполагает такую форму лопаток ускорителя, при которой частицы материала на поверхности имеют нулевую скорость. После набора слоя самофутеровки наблюдается снижение скорости вылета частиц из ускорителя за счет реакции от изогнутого профиля лопатки с самофутеровкой и более высокого трения материала о материал, чем при трении материала о металл. Это приводит к снижению общей эффективности помола, увеличению циклической нагрузки и, как следствие – к снижению общей производительности.



Рисунок 2. – Лопатка после самофутеровки измельчаемым материалом

Во-вторых, относительная сложность их изготовления, а так же более тяжелая конструкция ускорителя, что сказывается на стоимости изготовления и общих энергозатратах на помол.

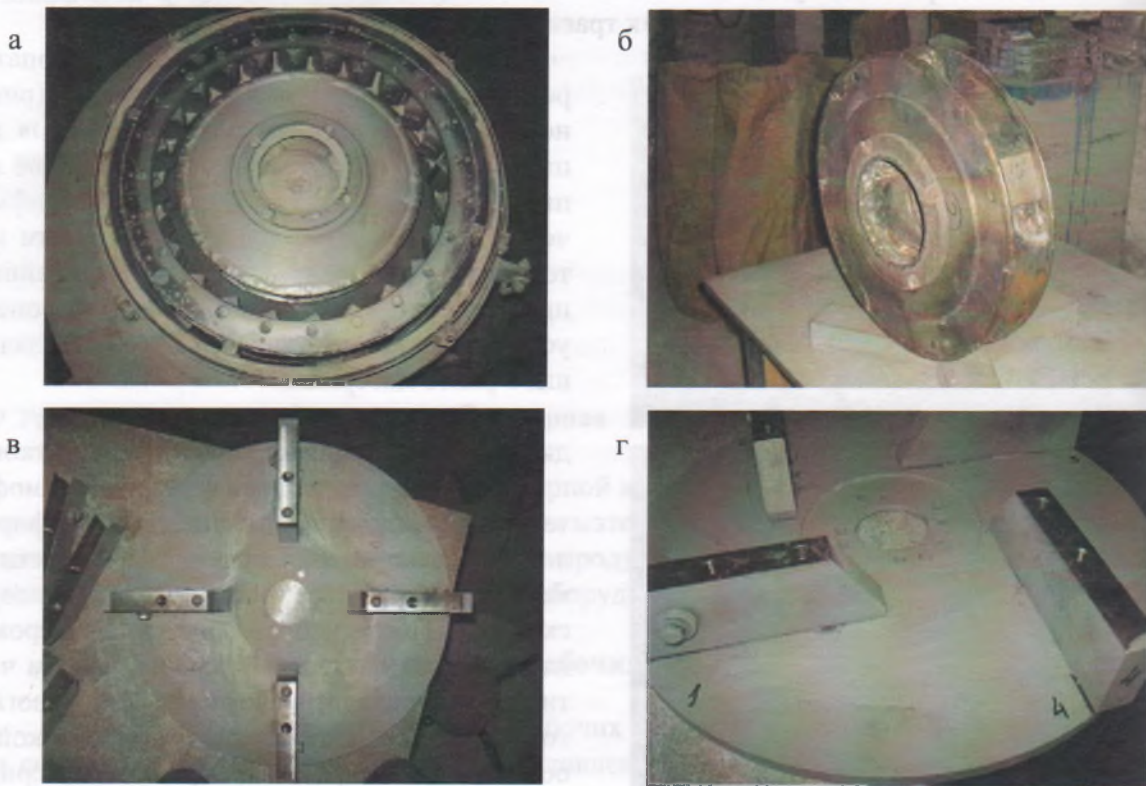
В-третьих, наличие боковой обечайки ускорителя, защита которой обычно осуществляется путем наплавки защитного слоя электродами из специальных устойчивых к износу сплавов. Эта поверхность работает в зоне, сложной с точки зрения износа. Материал, разогнанный в ускорителе, ударяется об отбойные элементы и зачастую не выносится сразу воздушным потоком, а ударяется о боковую поверхность ускорителя, что приводит к ее интенсивному износу.

Одним из вариантов решения этих проблем, стала так называемая «открытая» конструкция ускорителя, в которой не предусмотрено устройство боковой стенки, по-

этому материал, отлетая от отбойных элементов, попадает под удар частиц летящей ему навстречу основной массы разогнанного материала.

В такой конструкции ускорителя были использованы лопатки двух видов: прямые, с поверхностью из износостойких материалов, и в форме логарифмической кривой (аналогично закрытой конструкции).

Таким образом, главной целью проведенных экспериментов являлось сравнительное исследование ускорителей различной конструкции: закрытой (традиционной с лопатками в виде логарифмической кривой), открытой с прямыми лопатками, установленными под различным углом к оси вращения ускорителя, и открытой с лопатками в форме логарифмической кривой (рисунок 3).



а – закрытый ускоритель с отбойными элементами; б – открытый ускоритель с изогнутыми лопатками; в – открытый ускоритель с лопатками, установленными нормально к оси; г – открытый ускоритель с лопатками, установленными с наклоном вперед к оси по ходу вращения

Рисунок 3. – Различные типы ускорителей для исследований

Программа проведения исследований

Эксперименты по сравнительному исследованию различных типов ускорителей проводились в соответствии с предварительно разработанной программой исследований, содержание и условия реализации которой представлены в таблице 1. Материал, использованный для проведения исследований по измельчению – 100 % кварцевый песок фракции от 0 до 2,5 мм. Содержание фракции менее 0,5 мм в измельчаемом материале не превышает 10 %.

Для удобства отображения условий проведения исследований и соответствующих режимов работы технологического оборудования была введена система обозначений ускорителей, используемых в экспериментах.

Далее приводится введенное обозначение используемых ускорителей: ЗКС (закрытый), ОПС (открытый с лопатками вперед), ОНС (открытый с лопатками, расположенными нормально относительно оси вращения ускорителя), ОЗС (открытый с лопатками назад), ОЛС (открытый ускоритель с лопатками в виде логарифмической кривой).

Таблица 1. – Программа исследований

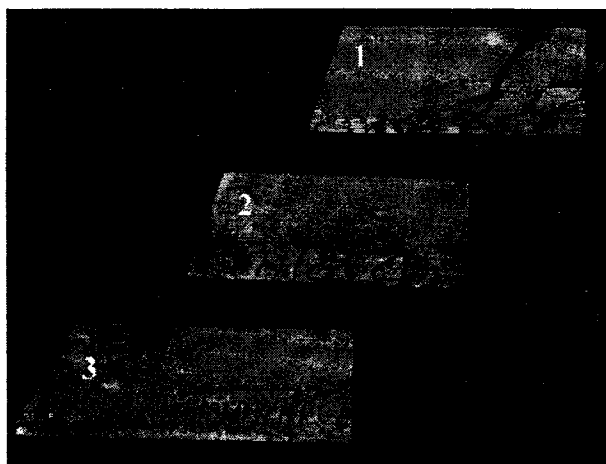
Описание работы	Условия проведения экспериментов	Контролируемые параметры
Исследование износоустойчивости основных элементов открытой и закрытой конструкций ускорителя	1. Технологические параметры: производительность 300 кг/ч. 2. Классификатор центробежный статический стандартной конструкции с поворотными лопатками. 3. Вентилятор транспортный, 3000 об/мин.	- обороты ускорителя; - рабочий ток; - расход воздуха; - гранулометрический состав материала; - износ элементов отбойной поверхности и ускорителя

Результаты исследований процесса износа элементов ускорителя

Износ элементов оценивался путем визуального осмотра и контролировался по потере веса элементов камеры измельчения путем взвешивания.

Для более четкого определения характера износа и обеспечения возможности сравнения показателей износа для разных типов ускорителей быстроизнашивающиеся элементы ускорителей были изготовлены из низкоуглеродистой стали без термообработки.

По результатам проведенных экспериментов износ подкладных листов, защищающих верхний и нижний диски закрытого ускорителя, практически не наблюдался; в закрытом ускорителе ЗКС и ускорителе ОЛС износ лопаток практически не наблюдался, т.к. вследствие конструктивных особенностей лопаток на них формируется слой материала, защищающий лопатки от износа. Износ элементов в открытом ускорителе идет более интенсивно т.к. рабочая поверхность не защищена слоем самофутерующего материала.



1 – лопатки, установленные назад относительно оси вращения ускорителя; 2 – установленные нормально; 3 – установленные вперед
Рисунок 4. – Износ лопаток ускорителя

Наибольший износ в открытом ускорителе наблюдался на лопатках. Износ лопаток, установленных вперед, нормально и назад относительно оси вращения ускорителя, показан на рисунке 4.

При всех углах установки лопаток наблюдался «чешуйчатый» характер износа. Это обусловлено направлением угла атаки частицами материала лопаток при их прохождении междискового пространства ускорителя, а так же характером движения пылевоздушного потока вдоль лопаток.

Сравнение характеристик износа различных типов ускорителей представлено в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2. – Сравнение характеристик износа различных типов ускорителей

Наименование параметра	Ускорители				
	ЗКС	ОНС	ОПС	ОЗС	ОЛС
Масса ускорителя перед экспериментом, кг	45,94	34,04	35,12	34,04	36,62
Масса суммарных потерь ускорителя, кг	0,26	0,50	0,22	0,50	0,11
Масса пропущенного материала, т	0,90	0,90	0,69	0,63	0,90
Масса износа ускорителя на тонну материала, кг	0,289	0,556	0,319	0,794	0,122
Износ относительно стандартного ускорителя ЗКС, %	100	192	110	275	42

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что наиболее защищенной от износа конструкцией является ОЛС (открытый ускоритель с лопатками в виде логарифмической кривой). Интенсивный износ в ней был замечен только на установленных по периферии ускорителя билах.

Износ конструкции ОЛС по сравнению со стандартной закрытой ЗКС конструкцией ускорителя менее интенсивный.

Выводы

По результатам экспериментов, проведенных для изучения показателей и особенностей процесса износа рабочих элементов ускорителей различной конструкции, было установлено, что относительно стандартного ускорителя ЗКС наименьший износ имеет ускоритель конструкции типа ОЛС (42 %). Наибольший износ показал ускоритель конструкции типа ОЗС (275 %); ускоритель типа ОПС показал износ, сопоставимый по величине с износом стандартного ускорителя типа ЗКС.

При анализе гранулометрического состава полученных продуктов было установлено следующее.

1. Материал с наиболее мелким гранулометрическим составом при одинаковом режиме работы центробежно-ударной мельницы можно получить при использовании открытой конструкции ускорителя с лопатками, установленными нормально к оси вращения. В этом случае режим помола требует меньших энергозатрат на процесс измельчения, чем при использовании ускорителя закрытой конструкции.

2. Самой эффективной с точки зрения износа является конструкция открытого ускорителя с лопатками, установленными с наклоном вперед по ходу вращения ОПС. Она обладает наименьшими энергозатратами на получение $1 \text{ см}^2/\text{г}$ удельной поверхности частиц измельчаемого материала. Однако при этом измельченный материал имеет более крупный гранулометрический состав по сравнению с ускорителем ОНС

Наименьший износ был зафиксирован в конструкции ОЛС. Главным преимуществом конструкции ОЛС по сравнению с открытыми конструкциями ускорителя с прямыми лопатками является отсутствие износа лопаток, которые защищаются самофутерующим слоем материала, что в разы повышает ресурс конструкции.

В среднем в открытом ускорителе ОЛС износ элементов ускорителя происходит медленней более чем в 2 раза, чем в ускорителях закрытого типа, в 5 раз медленнее по

Износ ускорителя из низкоуглеродистой стали на тонну измельченного материала, кг/т

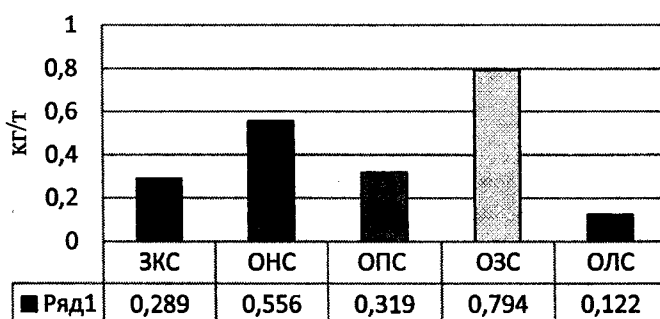


Рисунок 5. – Результаты исследований: сравнение характеристик износа

сравнению с ускорителями ОНС, в 2,5 раза медленней, чем в ОПС и в 7 раз – чем в ОЗС. Однако стоит отметить, что в процессе производства лопатки будут стандартно защищаться износостойким материалом, и разница в интенсивности износа будет значительно меньше.

Необходимо так же отметить, что ускоритель ОЛС имеет значительно меньшую стоимость изготовления по сравнению с традиционными ускорителями ЗКС. Это обусловлено отсутствием боковой обечайки (как следствие – отсутствие необходимости ее футеровки), общим облегчением конструкции и снижением трудозатрат на ее производство.

По сравнению с открытой конструкцией ускорителей с прямыми лопатками стоимость ускорителя ОЛС несколько выше за счет более сложного процесса изготовления лопаток. Однако эта разница компенсируется впоследствии за счет экономии на футеровке лопаток.

К недостатку конструкции ОЛС по сравнению со стандартным закрытым ускорителем можно отнести наличие более сильного вентиляторного эффекта, при котором часть энергии тратится на разгон воздушного потока в ускорителе. Поэтому при получении мелкодисперсных материалов такая конструкция будет более энергозатратной. Однако при измельчении цемента до требуемой нормативной крупности использование такой конструкции в производственном процессе вполне оправдано.

По результатам проведенных экспериментов были разработаны практические рекомендации по оптимизации параметров конструкции камеры измельчения, на основании которых в конструкторскую и технологическую документацию ударно-центробежных мельниц различных типоразмеров, производимых ОАО «НПО Центр», были внесены соответствующие изменения.

Список цитированных источников

1. Баклашов, И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. Нормативные документы, регламентирующие прочность / И.В. Баклашов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии (глава XVIII. Измельчение, грохочение и дозирование твердых тел): учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
3. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования / А.А. Тарасенко [и др.]. – М.: Недра, 1985. – 211 с.
4. Вайсберг, Л.А. Новое оборудование для дробления и измельчения материалов / Л.А. Вайсберг, Л.П. Зарогатский // Горный журнал. – 2000. – № 3. – С. 49-52.

Tabolich A.V., Bondarenko S.N.

Design opportunities to improve wear resistance of accelerators of centrifugal impact mills

The article discusses a prospective design of accelerators, centrifugal impact mills that reduce operating costs by a wear protection of working components while maintaining an overall performance and a high efficiency of a grinding operation. Comparative wear characteristics for different types of accelerators and an analysis of granulometric composition of grinding products are given.

Поступила в редакцию 23.05.2016 г.