

УДК 622.73

**О.Н. Шагарова**

## **УПРАВЛЕНИЕ СРЕДОЙ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*На примере магнитно-импульсной обработки кварцевого песка рассмотрены способы управления средой абразивного изнашивания с целью повышения долговечности горно-обогатительного оборудования.*

*Ключевые слова:* среда абразивного изнашивания, абразивная масса, магнитно-импульсная обработка, МИО, кварцевый песок, обогащение, дробление, повышение долговечности, износ оборудования.

---

**Г**орное-обогатительное производство характеризуется многостадийностью добываемого и перерабатываемого минерального сырья, обладающего большой абразивностью, поэтому абразивный износ является основным видом изнашивания горно-обогатительного оборудования.

Для абсолютного большинства горных машин моральная долговечность превышает 10 лет, но в связи с абразивным изнашиванием в процессе эксплуатации их физическая долговечность измеряется несколькими годами.

Процесс абразивного изнашивания следует рассматривать из наличия трех факторов его составляющих и оказывающих на него протекание основное влияние:

1. Абразивной массы, действующей на изнашиваемую поверхность.

2. Свойств (механических, химических, структурных) изнашиваемой поверхности.

3. Внешней среды абразивного изнашивания (САИ).

Под внешней средой абразивного изнашивания (САИ) следует понимать

внешние факторы, которые оказывают или потенциально могут оказывать влияние на процесс изнашивания.

Факторы, составляющие процесс абразивного изнашивания не только связаны между собой, но и их индивидуальные характеристики могут существенно влиять на интенсивность влияния и, как следствие этого на долговечность рабочих поверхностей оборудования. Вместе с тем, если в классической паре трения, представляющей собой совокупность двух подвижно сопряженных поверхностей, необходимо защищать от изнашивания обе взаимодействующие поверхности, то в процессе абразивного изнашивания в защите нуждается только поверхность, на которую воздействует абразивная масса.

Абразивная масса, в данной случае, представляет собой вторую поверхность. У нее могут изменяться как размеры зерен ее составляющих, так и их структурные характеристики. Кроме того, если в закрытых триботехнических парах САИ одновременно воздействует на обе трущиеся поверхности, то при абразивном износе она может воздействовать как на абразивную массу, так и на изнашивае-

мую поверхность избирательно и оказывать на них существенно различные влияния. Изменяя параметры и характеристики САИ можно существенно влиять на свойства как абразивной массы, так и на свойства изнашивающей поверхности.

САИ по воздействию на два других фактора абразивного изнашивания можно классифицировать по следующим основным признакам:

1. Химическому – среда может быть кислотной, основной, нейтральной.

2. Физическому – может быть низко или высоко температурной, электрической, иметь магнитное поле, подвергаться воздействию буждающих токов.

3. Физическому состоянию – она может быть газообразной и жидкой.

В жидкой среде при определенных параметрах могут возникать процессы струеударного и кавитационного изнашивания рабочей поверхности оборудования.

Следует предположить, что управляя параметрами САИ на определенных стадиях технологического процесса можно изменять характеристики абразивной массы, и тем самым управлять интенсивностью изнашивания. Так при производстве кварца молотого из обогащенных кварцевых песков, нашедшего широкое применение точного литья, отделочных процессов в строительстве, чистящих веществ как товаров народного потребления, долговечность узлов мельющего оборудования составляет от нескольких дней до 0,5 мес.

Это связано с тем, что процесс измельчения очень энергоемкий из-за высокой прочности зерен измельчающего материала. Измельчение производится как у нас в стране, так и за рубежом исключительно сухим методом, во избежание проблем, связанных с обезвоживанием и сушкой тонко измельченных продуктов.

В качестве основного измельчающего оборудования применяются барабанные мельницы, а измельчающей средой являются металлические шары или речная галька.

Использование воздухоструйных установок ХЦМ-12,62 позволяет более качественный продукт по содержанию аппаратного железа. Кроме того эти установки имеют ряд других преимуществ – они обладают более высокой степенью измельчения, полной герметизация установки способствует созданию в производственных помещениях условий, соответствующих санитарным нормам, имеют высокую степень очистки отработанного воздуха и возможность полной автоматизации работы.

Вместе с тем, процесс измельчения кварцевых песков является очень дорогим из-за высокого износа рабочих поверхностей воздухоструйной мельницы. Применяемые футеровки из карбида вольфрама не дают необходимого эффекта по увеличению долговечности. Исполнительные органы мельницы – размольная чаша и ролики служат 0,5 мес. И требуют замены (см. рисунок).

Для увеличения долговечности исполнительных органов мельницы необходимо снизить энергоемкость процесса измельчения, т.е. нарушить структурные связи в абразивных зернах. Это можно сделать только через влияние внешней среды (САИ) на размываемую абразивную массу изменения параметры ее решетки.

Одним из таких методов изменения параметров САИ является метод магнитно-импульсной обработки (МИО).

Метод магнитно-импульсной обработки позволяет воздействовать на структуру материала магнитным полем высокой напряженности с целью



### **Износ поверхностей размольной чаши и роликов воздухоструйной мельницы**

изменения ее энергетического состояния, т.е. поверхностных и внутренних напряжений. Это связано с движением дислокационных структур, а также возникновением и развитием микротрещин в материале, что является условием роста хрупкой трещины. Хрупкость материала возрастает и, в связи с этим, возрастает его способность разрушаться при деформации. Это позволяет:

1. Снизить энергоемкость процесса измельчения.

2. Снизить износ футеровок исполнительных механизмов воздухоструйной мельницы и как следствие этого повысить их долговечность.

3. Снизить содержание вредных примесей в готовом продукте.

Управлять МИО как средой абразивного изнашивания можно изменяя два его параметра: напряженность

магнитного поля и количество импульсов. Время длительности импульса является постоянным  $t = 0.01$  сек.

Объектом эксперимента по управлению САИ служил обогащенный кварцевый песок с карьера №10 производственного объединения «Фосфаты» ситовая характеристика гранулометрического состава которого представлена в табл. 1.

Методика эксперимента заключалась в сравнении гранулометрических характеристик исходного песка после его размола в шаровой мельнице без обработки МИО и размола в той же мельнице при аналогичных параметрах после обработки МИО.

Подтверждением влияния МИО на результаты эксперимента должны стать данные рентгенографических характеристик размоловых песков, подвергнутых влиянию МИО.

Варьировались два основных параметра, характеризующие процессы МИО:

- напряженность магнитного поля (варьировалась на 3-х уровнях –  $5 \cdot 10^4$  А/м;  $5 \cdot 10^5$  А/м;  $5 \cdot 10^6$  А/м.);
- количество импульсов (соответственно 1, 2, 3 импульса).

Для этого использовалось оборудование магнитно-импульсной обработки, разработанное в МГТУ им. Баумана.

Таблица 1  
**Среднее значение ситовой характеристики гранулометрического состава обогащенного кварцевого песка**

Фракция	+0,1	+0,8	+0,63	+0,5	+0,45	+0,2	+0,16	-0,16
Среднее содержание, %	2	2,5	3,5	7	7	62,5	10,5	5

Таблица 2

**Сводная таблица изменения молотого кварца вследствие воздействия различных режимов МИО**

№ опыта	Не обработанный	$5 \cdot 10^4$			$5 \cdot 10^5$			$5 \cdot 10^6$		
		1 имп	2имп	Зимп	1имп	2имп	Зимп	1имп	2имп	Зимп
+0,45	100	50	37,5	50	50	50	-	50	-	-
-0,45+0,2	100	87,7	85,1	80,8	82,5	81,8	79,9	81,8	70,2	80,5
-0,2+0,16	100	95,2	96,8	114,3	127,8	196,8	120,6	125,4	119,1	92,9
-0,16+0,1	100	106	103,8	98	98,5	110,6	98,5	91	103	107,6
-0,1+0,071	100	116,7	118,1	127,8	112,5	120,8	119,4	113,9	122,2	123,6
-0,071	100	120,8	122,9	120,8	122,2	127,8	118,1	120,1	140,7	130,6

Таблица 3

**Сравнительные рентгенографические характеристики проб исходного кварцевого песка и проб, подвергнутых влиянию МИО**

Проба песка	$d_{220}$	$d_{312}$	$d$	G	$V(A^3)$
Исх.	1,2284	1,0816	4,9136	5,4054	113,021
$10^6$ , 1 имп	1,2280	1,0812	4,9120	5,4034	112,905
$10^6$ , 2 имп	1,2278	1,0809	4,9116	5,4024	112,875
$10^6$ , 3 имп	1,2281	1,0819	4,9126	5,4044	112,954

Данные исследования представлены в табл. 2.

В результате проведенных исследований можно утверждать:

1. Применение метода магнитно-импульсной обработки, как управляемой САИ, существенно влияет на физико-механические свойства (размываемость) кварцевого песка. Количество мелких фракций увеличивается со 100 % при размоле необработанного МИО образца до 140,7 % в размолотом образце, обработанном МИО при напряженности магнитного поля  $5 \cdot 10^6$  А/м и двух импульсах. Это прежде всего связано с ослаблением межкристаллических связей в зернах кварцевого песка.

2. Увеличение напряженности магнитного поля приводит к увеличению тонких фракций при помоле.

Проведенные рентгенографические исследования характеристик проб кварцевого песка, подвергнутых влиянию МИО (табл. 3) показывает, что наибольшими параметрами обладает исходная проба кварцевого пес-

ка. Воздействие МИО приводит к снижению исследуемых параметров.

При этом наибольший эффект наблюдается для проб, подвергнутых воздействию при напряженности магнитного поля  $5 \cdot 10^6$  А/м 2 имп. По результатам исследования можно утверждать, что МИО как среда абразивного изнашивания оказывает существенное влияние на физико-механические характеристики (размываемость) кварцевого песка.

Метод магнитно-импульсной обработки (МИО) является одним из многих способов управления средой абразивного изнашивания (САИ). Управлять параметрами САИ можно технологическими методами. Так для уменьшения турбулентности и снижения вероятности возникновения кавитационных явлений при воздействии на изнашиваемую поверхность гидроабразивной пульпы можно изменять физические свойства жидкости (вязкость) добавляя определенного вида реагенты, что позволяет снизить интенсивность изнашивания.

---

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Солод Г.И., Шахова К.И. Русланов В.И. Повышение долговечности горных машин. – М.: Машиностроение, 1979.
2. Шагарова О.Н. Влияние минералогического состава сырья на долговечность оборудования технологических линий обогащения полезных ископаемых. – М.: Горное оборудование и электромеханика № 1. 2007.
3. Шахова К.И., Шагарова О.Н. Получение качественных кварцевых песков при обработке импульсным магнитным полем. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2005, №7. – С. 282-285.
4. Шахова К.И., Шагарова О.Н. Повышение долговечности оборудования технологических линий производства кварцевого песка. Горное дело: Труды второй международной научно-практической конференции «Горное дело и металлургия в Казахстане. Состояние и перспективы» - Алматы, 2006. Т1. – С. 298-300.
5. Малычин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин – М.: Машиностроение 1989.
6. Фомин В.В. Гидроэрозия металлов. – М.: Машиностроение, 1977.
7. Шагарова О.Н., Рабин Н.И. Содержание аппаратного железа в готовом продукте при изнашивании рабочих органов оборудования. – М.: МГТУ, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004, №11, с. 293.
8. Гончаренко С.Н. Оценка влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно-хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия. Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГТУ, №10, 2007.
9. Шагарова О.Н., Белянкина О.В. Повышение долговечности технологического оборудования добычи песка. – М.: МГТУ, Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении», 2011.
10. Гончаренко С.Н., Жуковский С.А. Анализ влияния производительности технологического оборудования на эффективность функционирования горнорудного предприятия. Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГТУ, № 10 (Отдельный выпуск «Информатизация и управление»), 2008. ГИАБ

---

## **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

Шагарова Ольга Николаевна – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры TMP, olimp@msmu.ru,  
Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



UDC 622.73

**ABRASIVE WEAR ENVIRONMENT MANAGEMENT AS WAY  
OF DURABILITY INCREASES THE MINING AND PROCESSING EQUIPMENT**

Shagarova O.N., Candidate of Engineering Sciences, docent, e-mail: olimp@msmu.ru,  
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

*On the example of magnetic-pulse processing quartz sand ways the abrasive wear environment management for the purpose durability increase the mining and processing equipment are considered.*

*Abrasive wear process components are not only interconnected but can individually affect the rate of abrasive wear and, thus, the durability of work faces of equipment.*

*Extension of durability of mill effectors requires reduction of the milling process energy intensity, i.e., breaking of structural bonds in abrasive grains. This is possible through change in the abrasive mass lattice parameters under external impact, for instance, magnetic-pulse treatment.*

*From the research findings, it is confirmed that the magnetic-pulse treatment, as the abrasive wear medium, greatly affects physico-mechanical characteristics of quartz sand (grindability).*

*Key words: abrasive wear environment, abrasive weight, magnetic-pulse processing, MIO, quartz sand, enrichment, crushing, durability increase, wear of the equipment.*

## REFERENCES

1. *Solod G.I., Shakhiva K.I., Rusikhin V.I.*, 1979. Extension of Durability of Mining Machines. Moscow: Mashinostroenie.
2. *Shagarova O.N.*, 2007. Effect of mineral composition of raw material on mineral processing equipment durability, J. Mining Equipment and Electromechanics, No. 1.
3. *Shakhova K.I., Shagarova O.N.*, 2005. Quality quartz sand production under magnetic pulse field action, Mining Information and Analysis Bulletin, No. 7, pp. 282–285.
4. *Shakhova K.I., Shagarova O.N.*, 2006. Extension of quartz sand processing equipment durability, Proc. II Int. Sci. Conf. Mining and Metallurgy in Kazakhstan: Current State and Prospects, Vol. 1, pp. 298–300, Almaty.
5. *Malychin B.V.*, 1989. Magnetic Strengthening of Instruments and Machine Parts. Moscow: Mashinostroenie.
6. *Fomin V.V.*, 1977. Hydroerosion of Metals. Moscow: Mashinostroenie.
7. *Shagarova O.N., Rabin N.I.*, 2004. Machine metal content of finished product under wear of the machine working parts, Mining Information and Analysis Bulletin, No. 11.
8. *Goncharenko S.N.*, 2007. Estimate of effect exerted by technological equipment efficiency on the mine performance, Mining Information and Analysis Bulletin, No. 10.
9. *Shagarova O.N., Belyankina O.V.*, 2011. Extension of sandstone mining equipment, Proc. Workshop on Modern Technologies in Mining Machine Engineering. Moscow: MGGU.
10. *Goncharenko S.N., Zhukovsky S.A.*, 2008. Analysis of the effect of technological equipment capacity on the mine performance, Mining Information and Analysis Bulletin, No. 10.



## ГОРНАЯ КНИГА



### Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 2. Сборник научно-технических работ горных инженеров СУЭК

2013 г.

368 с.

ISBN: 0236-1493

UDK: 622

В сборник вошли статьи по проблемам совершенствования производства, повышения уровня безопасности и производительности труда на угольных разрезах и шахтах, эксплуатации техники и оборудования, применения программно-технологических комплексов, дегазации угольных пластов, аэрогазопылевидинамических процессов на горнодобывающих предприятиях. Для специалистов горнодобывающих отраслей.