

К.С. Сидоров

ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГОРНЫХ МАШИН ОТ ИЗНОСА

Рассмотрены основные износостойкие материалы, нашедшие применение для защиты горных и горно-обогатительных машин и оборудования от абразивного износа. Сделан вывод о необходимости разработки научного обоснованного подхода к выбору материалов в зависимости от условий эксплуатации.

Ключевые слова: абразивный износ, защита от абразивного износа, эффективность оборудования, износостойкие материалы, способы защиты от износа.

Совершенствование работы оборудования горных предприятий во многом определяется мероприятиями, снижающими частоту непредвиденных и плановых остановок оборудования на техническое обслуживание. Так как добычное, транспортное и горно-обогатительное оборудование эксплуатируется в условиях абразивных сред, то одним из основных видов изнашивания рабочих поверхностей и деталей горных машин является абразивное изнашивание.

Эффективность использования оборудования можно определить с помощью показателя OEE (Overall Equipment Effectiveness) [1], который показывает, что остановки оборудования (простои) являются негативным фактором снижающим эффективность его использования (рис. 1. А, В), при этом, предприятие в целом несет убытки.

Обычно, влияние износа рабочих поверхностей горного и горно-обогатительного оборудования и их отдельных деталей в абразивных средах проявляется многофакторно, но, к сожалению, на практике очень часто учитывают только обстоятельства, связанные с потерями от простоев и их последствиями.

Абразивное изнашивание деталей и рабочих поверхностей в процессе эксплуатации оборудования является также причиной ухудшения технологических и энергетических показателей машин: снижаются не только эффективность работы (рис. 1. С, D), но и производительность, КПД, а также возрастают потери ценных компонентов и расход электроэнергии.



Рис. 1. Диаграмма составляющих показателя эффективности оборудования и формула показателя эффективности оборудования

Примером, могут служить песковые насосы, которые на обогатительных фабриках зачастую работают до полного износа. Исследования показывают, что КПД изношенного насоса на 15–20% ниже нового, в связи с чем, перерасход электроэнергии весьма ощутим.

Анализируя причины возникновения потерь, например, в гидромашинах, к которым относятся песковые насосы, можно найти резервы повышения их КПД. Известно, что все виды потерь в гидравлических машинах делятся на три категории: гидравлические, объемные и механические. Полный КПД центробежного насоса

$$\eta = \eta_r + \eta_{об} + \eta_m,$$

где η_r , $\eta_{об}$, η_m – КПД, учитывающие соответственно гидравлические, объемные и механические потери.

Применительно к песковым насосам, снижение гидравлической составляющей КПД зависит от увеличения шероховатости и износа входных и выходных кромок лопаток рабочих колес.

Износ стенок спиральных отводов, бронедисков, торцевых кромок лопаток рабочих колес и деталей уплотнений сопровождается возрастанием протечек, что, увеличивает объемные потери и снижает общий КПД.

С износом машин увеличиваются и механические потери. Так, неизбежная неравномерность износа рабочих колес песковых насосов и импеллеров флотационных машин вызывает нарушение их баланса, что, в свою очередь, обуславливает преждевременный выход из строя подшипников, односторонний износ вала, интенсивную вибрацию и снижение механического КПД.

На рис. 2 показана зависимость показателей работы землесоса от износа рабочих деталей насоса и объема перерабатываемой абразивной горной породы [2].

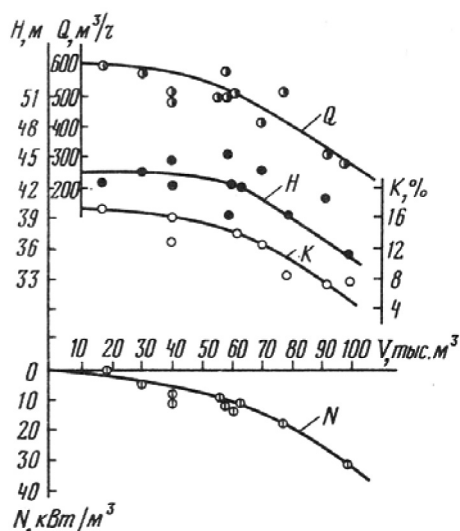


Рис. 2. Зависимости показателей работы землесоса от износа рабочих деталей насоса объема перерабатываемой абразивной горной породы

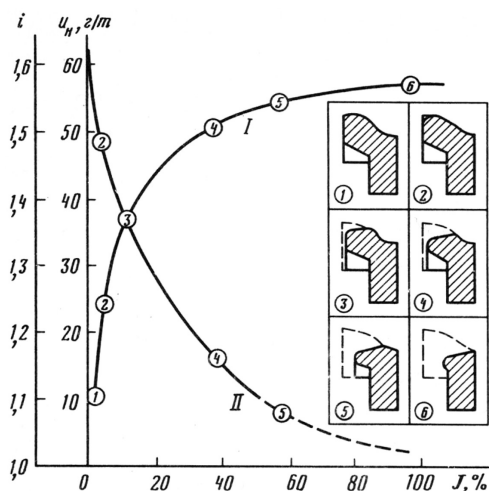


Рис. 3. Влияние степени износа J бил роторной дробилки на показатели процесса дробления при нерегулируемой ширине выходной щели: 1–6 – стадии износа

Из графиков видно, что по мере увеличения износа рабочих деталей насоса, растут затраты мощности электродвигателя, при этом напор H , подача Q и консистенция пульпы резко снижаются.

На щековых и конусных дробилках затраты на замену изношенных рабочих плит составляют около 30% расходов на дробление. В дробилках ударного действия эти затраты еще выше. На рис. 3 показаны зависимости, построенные по результатам экспериментов на роторной дробилке модели СМ-624 [2].

Кривая I отображает увеличение удельного массового износа u_n по мере увеличения степени их износа в первоначальный и конечный периоды. Так, била данной конструкции в конце срока службы имеют в 5 раз больший удельный массовый износ, чем в начале.

Кривая II характеризует изменение степени дробления i в зависимости от износа бил при неизменном положении отражательных элементов (ширину щели в опытах не регулировали). При работе дробилки в замкнутом цикле с увеличением износа бил возрастает циркулирующая нагрузка (до 200%).

Практика показывает, что детали оборудования горных и горно-обогачительных машин подвергаются либо одному, либо одновременно нескольким видам абразивного изнашивания. Общим для них будет характер взаимодействия свободных абразивных частиц с поверхностным слоем материала детали и наличия среды (жидкая или газообразная).

В соответствии с ГОСТ 27674-88, от даты последнего изменения 19.04.2010 (взамен ГОСТ 23.002-78), различают следующие виды изнашивания: механическое, коррозионно-механическое, абразивное, гидроэрозионное (газоэрозионное), гидроабразивное (газоабразивное), усталостное, кавитационное, при заедании, окислительное, при фреттинге, при фреттинг-коррозии, электроэрозионное.

Доказано существование и 13-го вида изнашивания – водородного, ко-

торый в настоящий момент не внесен в перечень видов изнашивания в государственных стандартах.

Стоит отметить, что в чистом виде ни один из перечисленных видов изнашивания не происходит. Процесс изнашивания всегда характеризуется главенствующим типом изнашивания и несколькими сопутствующими.

Выбор материалов для защиты быстроизнашивающихся деталей зависит обычно от конструкции и назначения узла, технологии изготовления детали, условий ее эксплуатации, требований к общей прочности и металлоемкости деталей, сроку их службы при учете стоимости материала и эксплуатационных расходов.

В настоящее время нашли применение следующие основные материалы, используемые для повышения износостойкости рабочих поверхностей и отдельных деталей оборудования:

Износостойкие высокомарганцовистые стали. Содержание марганца в высокомарганцовистых сталях составляет от 11 до 14%. Из них чаще всего изготавливают футеровки мельниц, молотки и роторы ударных дробилок, зубья и передние стенки ковшей, ножи скреперов и другие детали, работающие в условиях наклепа и абразивного изнашивания. Износостойкость высокомарганцевых сталей основана на феномене механического упрочнения, и определяется наклепываемостью стали, которая тем больше, чем выше удельная нагрузка. Пластическая деформация повышает число твердости по Роквеллу до 50–55 единиц. После закалки данные стали приобретают высокую прочность при значительной вязкости, а детали из нее – высокую износостойкость при больших удельных давлениях и нагрузках.

Высокие показатели ударной вязкости, прочности и пластичности обеспечиваются при соотношении $Mn:C \geq 10$. Этот комплекс свойств с учетом накле-

па сталей придает им высокую износостойкость.

Помимо высокомарганцевых сталей, за рубежом часто для защиты от износа и налипания используют стали типа Hardox с содержанием марганца 1,6%, при этом сталь является высоколегированной. Применимость данных сталей аналогична применимости высокомарганцевых сталей. Кроме марганца в ее состав входят кремний, хром, никель, молибден и ванадий.

Износостойкие чугуны. В основном, используются для изготовления деталей, которые в процессе эксплуатации подвергаются ударному воздействию малой интенсивности, например, детали песковых насосов, флотационных машин, гидроциклонов и т.д.

Перлитные и мартенситные чугуны. Сравнительно мягкая основа таких чугунов снижает их износостойкость. Большой износостойкостью, чем белый перлитный чугун, обладает белый мартенситный чугун типа нихард с содержанием 3–5% Ni и 1,5–2,5% Cr. Присутствие хрома стабилизирует карбид и подавляет графитизацию, повышает твердость карбидов и стабилизирует аустенит. Оптимальное соотношение графитизатора наклея и хрома в нихарде 3:1.

Никель, основной элемент в нихарде, определяет твердость и прочность матрицы.

Белые чугуны с карбидами M_7C_3 . В основном это хромомолибденовые и хромомарганцевые сплавы, более износостойки по сравнению с чугунами типа нихард. В них увеличено содержание хрома, более 10%, что обуславливает образование в их структуре первичного карбида $(Cr, Fe)_7C_3$. Эти карбиды располагаются в виде изолированных тригональных карбидов в аустенитной основе. Микротвердость этих карбидов 12–15 ГПа, что выше микротвердости кварца (10 ГПа).

Износостойкие наплавки и покрытия. Для защиты деталей горных машин, дробильного и измельчительного оборудования, зубьев и режущих кромок ковшей, ножей скреперов, винтовых конвейеров, лопастей смесителей, решеток грохотов, лотков и течек, дымососов, кузовов самосвалов, циклонов используют износостойкие наплавки. При помощи наплавки создают биметаллические изделия с высокой твердостью и абразивной стойкостью защитного слоя.

Износостойкая наплавка обычно осуществляется на изделия из:

- углеродистых и низколегированных сталей;
- марганцовистых аустенитных сталей.

По способу нанесения износостойких наплавки на рабочую поверхность оборудования различают:

- ручную наплавку электродами;
- полуавтоматическую или автоматическую наплавку с применением сплошной проволоки, порошковой проволоки, самозащитной порошковой проволоки;
- газопламенную наплавку и напыление порошковыми сплавами (наплавочные порошки);
- плазменную наплавку и напыление;
- наплавку с применением специальных присадочных шнуровых материалов.

Для износостойкой наплавки применяют:

- сплавы на основе железа (мартенситные, аустенитные и карбидосодержащие);
- сплавы на основе никеля и кобальта.

Для наплавки в качестве легирующих добавок используют хром, марганец, кремний, никель, молибден, вольфрам, ванадий и другие элементы.

Для защиты от абразивного износа предназначены и хорошо работают

сплавы с высоким содержанием карбидной фазы. Износостойкость наплавленных материалов существенным образом зависит от типа и количества карбидной фазы в сплавах.

Отечественная промышленность выпускает в основном наплавленные электроды по ГОСТ 10051-75.

Монолитный поликристаллический карбид кремния (МПК). Используют для защиты от износа деталей оборудования, работающего в условиях гидро- или газоабразивного износа, например, деталей гидроциклонов, флотационных машин, песковых насосов, и т.п.

Физико-механические свойства МПК следующие: плотность 2900–3100 кг/м³, микротвердость основной фазы (карбида кремния) 28–30 ГПа; микротвердость фазы кремния 10–12 ГПа, предел прочности при сжатии 2 ГПа, пористость 0,5–3%.

Высокая износостойкость футеровок из МПК позволяет в течение длительного времени поддерживать неизменными геометрические параметры изделия и обеспечивать, благодаря этому, стабильные технологические показатели работы оборудования.

Каменное литье. Материал кристаллического строения, искусственно получаемый из диабазов, базальтов, доменных шлаков или шлаков производства ферромарганца.

Наиболее ценные свойства каменного литья это высокая твердость и значительная сопротивляемость к истиранию.

Износостойкость изделий из каменного литья зависит от угла атаки. Наибольшая износостойкость наблюдается при малых углах атаки потока абразивных частиц. Так же каменное литье имеет сравнительно высокий предел прочности на сжатие, хорошо противостоит выветриванию, действию агрессивных вод и температурных колебаний, но обладает высокой хрупкостью.

Каменное литье широко применяют для футеровки лотков, внутренней поверхности гидроциклонов, перепускных желобов, рудных и коксовых шихтовых бункеров, течек, питателей, сгустительных воронок и рессиверов вакуумфильтров для шламов, контактных чанов подготовки шламов для флотации, резонансных грохотов для гидравлической классификации угля, ванн для регенерации магнетитовой суспензии, пульпопроводов, шламопроводов, рабочей зоны импеллеров флотационных машин, отсадочных машин, трубопроводов при гидродобыче и др.

Электрокорунды и корунды. Достаточно часто для футеровки деталей, например, корпусов песковых насосов, гидроциклонов и импеллеров флотомашин от абразивного износа используют электрокорунд, корунд (карбид кремния) и другие абразивы, связывая их частицы различными смолами, чаще всего бакелитом. Этот метод принято называть корундированием.

Заформованные детали полимеризуют в течение 9–36 часов. После полимеризации детали пропитывают жидким бакелитом и повторно полимеризуют, получая отдельные футеровочные элементы или корпуса и детали оборудования с износостойкими свойствами.

Керамические материалы на основе оксидов металлов. Используют для производственного оборудования, подверженного экстремальному воздействию износа и/или температур, для которого требуются тонкие покрытия или необходимо обеспечить гладкую поверхность, такие как трубопроводы для отвода пыли и золы, разгрузочные желоба, бункера, воздушные сепараторы, пылесборное оборудование, трубы для сбора пыли, дымососы, водоводы, латки и перегрузочные течи, воронки роторных сушилок, гидроциклоны, миксеры, шахтные спирали,

воздуховоды пневмотранспорта и др. Используют оксиды алюминия, титана, хрома, кремния. Наибольшей твердостью обладают керамики на основе оксидов алюминия.

Твердые сплавы. Они используются как сердцевина в шипах, привариваемых к поверхностям, подверженным абразивному износу. Помимо прямой защитной функции с их помощью создается своеобразный буфер из добываемой породы, создающий эффект самофутерования. Используются шипы также для защиты внутренней стороны ковшей экскаваторов, роторов и валков дробилок, поверхностей шнеков очистных комбайнов, винтовых рудоспусков и т.п.

Эластомеры. В борьбе с абразивным износом применяют гуммирование деталей оборудования специальными сортами резин.

Как правило, это детали, подвергающиеся ударному воздействию абразива без скольжения с углом соударения 70–90°, а также в условиях коррозии и эрозии.

Основными показателями, характеризующими резину, являются эластичность по отскоку, модуль упругости и относительное удлинение, в зависимости от этих показателей резина имеет различные области применения.

Также, для гуммирования используют полиуретаны.

Коэффициент трения полиуретановых эластомеров возможно изменять в широком диапазоне. Его можно понижать путем введения в основу дисульфид молибдена, графита или силиконового масла, но при этом возможно снижение стойкости к старению, т.е. возможно делать полиуретановые эластомеры низкофрикционными, при этом они будут абразивостойки.

К недостаткам полиуретанов относят их склонность к гидролизу. Для них опасна влажная атмосфера, кислая и щелочная среды. В таких условия де-

струкция происходит гораздо быстрее, чем в воде.

На работу резин на износ, большое влияние имеет толщина резинового слоя. Известно, что одним из основных свойств, характеризующих повышенную работоспособность резин при ударных нагрузках, является эластичность. При малой толщине резинового слоя, когда эластичные свойства проявляются не полностью, сказывается жесткое основание, энергоемкость резин уменьшается, а с увеличением толщины слоя износ уменьшается.

Исследования гуммированных деталей показали, что следует, в зависимости от энергии удара, толщину резинового слоя принимать не менее, чем в 1,5–2 раза большей глубины внедрения частиц при ударе, в противном случае износ идет за счет пробоя резины.

Резины используют не только для гуммирования деталей, например, гидромашин (импеллеров, статоров, корпусов и др.), но и в виде футеровок барабанов ленточных конвейеров, внутренней поверхности шаровых мельниц, спускных лотков, желобов, стенок бункеров, трубопроводов, резервуаров и т.д. Кроме того в настоящее время широкое применение получили резиновые и полиуретановые ситовые (просеивающие) поверхности для грохотов, в виде отдельных изделий, которые по износостойкости, по сравнению с металлическими, имеют срок службы в 3–4 раза выше.

Изнашивание деталей различных машин и оборудования, в том числе и абразивное – сложное физическое явление. Несмотря на длительное изучение процессов изнашивания к настоящему времени еще не созданы методы борьбы с износом, отсутствуют общепринятые критерии износостойкости. По этой причине машины различного назначения простаивают в ремонте, а в случае эксплуатации изношенных

машин их технологические показатели ухудшаются.

Необходим научно обоснованный подход к выбору материала с учетом конкретных условий эксплуатации оборудования и отдельных его узлов,

поэтому разработка методики оценки и выбора абразивостойкого материала, установление рациональных областей его использования имеет важное значение для горной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Общая эффективность оборудования*. – Группа разработчиков издательства Productivity Press: Институт комплексных стратегических исследований, 2007.

2. Пенкин Н.С., Капралов Е.И., Мalyarov П.В., Тарасенко А.А., Денисенко А.И., Чижик Е.Ф. Повышение износостойкости

горно-обогатительного оборудования / Под ред. Н.С. Пенкина – М.: Недра, 1992.

3. Конорев А.В. Изнашиваемые части дробильного оборудования // Горная промышленность. – 2012. – № 2 (102) март-апрель. – С. 62–64.

4. Пенкин Н.С. Гуммированные детали машин. – М.: Машиностроение, 1977. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Сидоров Кирилл Сергеевич – аспирант,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: SidorovKS@gmail.com.

UDC 62-03

THE REVIEW OF THE MATERIALS USED FOR PROTECTION OF SURFACES OF MINING MACHINES FROM ABRASION

Sidorov K.S., Graduate Student, Mining Institute,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: SidorovKS@gmail.com.

The main materials applied to protection of mining machines and equipment against abrasion is considered. The conclusion is drawn on need of development of scientific reasonable selection to a choice of materials depending on service conditions.

Key words: abrasion, protection from abrasion, efficiency of the equipment, wearproof materials, ways of protection from abrasion.

REFERENCES

1. *Obshchaya effektivnost' oborudovaniya* (Overall effectiveness of equipment) Gruppya razrabotchnikov izdatel'stva Productivity Press: Institut kompleksnykh strategicheskikh issledovaniy, 2007.

2. Penkin N.S., Kapralov E.I., Malyarov P.V., Tarasenko A.A., Denisenko A.I., Chizhik E.F. *Povyshenie iznosostoikosti gorno-obogatitel'nogo oborudovaniya*. Pod red. N.S. Penkina (Enhancement of mining and processing equipment wearability. Penkin N.S. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1992.

3. Konorev A.V. *Gornaya promyshlennost'*. 2012, no 2 (102) March–April, pp. 62–64.

4. Penkin N.S. *Gummirovannye detali mashin* (Rubber-coated parts of machines), Moscow, Mashinostroyeniye, 1977.

