

жины, как правило, пригодны для мягкой среды с коэффициентом крепости не более 0,5 по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Для более прочной среды необходимы наконечники, которые при внедрении в массив пропускают разрыхленную массу через отверстия наконечника и только частично уплотняют стенки скважины.

- На эффективность внедрения инденторов в массив существенное влияние оказывают технические параметры наконечника (диаметр, угол заострения) и технологические процессы внедрения (прочность массива, давления нагнетательной жидкости, глубина внедрения). Доказано, что применение гидропропылки при внедрении индентора в 2 раза снижает усилие внедрения и примерно во столько же раз увеличивает скорость, угол заострения наконечника не должен превышать 45-50°.

- Разработанные и испытанные в лабораторных условиях новые типы наконечников доказали возможность внедрения инденторов в угольный массив средней прочности при сравнительно небольших усилиях 70-120 кН. Последнее позволило разработать экспериментальный образец установки и технологию внедрения инденторов в угольный пласт в том числе в условиях щитовой отработки крутопадающих пластов полосами по падению.

- Результаты шахтных испытаний экспериментального образца установки для внедрения инденторов в угольный массив забоя откаточного штрека пласта K_7^4 - «Сорока» и щитовой лавы пласта m_3 – «Толстый» шахты им. Ф.Э. Дзержинского ГХК «Дзержинскуголь» подтвердили выводы лабораторных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические положения по исследованию методом фотоупругости напряженного состояния массива горных пород с учетом их хрупкого разрушения.
2. Сапожников В.Т. Предельно-напряженное состояние угольного пласта // ФТПРПИ. – 1988. - №3. – С.56-60.
3. А.с. 929862 СССР, МКИ² Е 21F 5/00, Е 21F 7/00 Способ управления состоянием породного массива и устройство для его осуществления / А.Ф. Булат, С.А. Габриелян, А.Т. Курносов (СССР). –№4923621/03; Заявл. 25.02.91; Опубл. 28.12.94. Бюл.№7.
4. Некрасов С.С. Сопротивление хрупких материалов резанию. – М.: Машиностроение, 1971.- 186 с.

РЕЗИНОВЫЕ ФУТЕРОВКИ РУДОРАЗМОЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

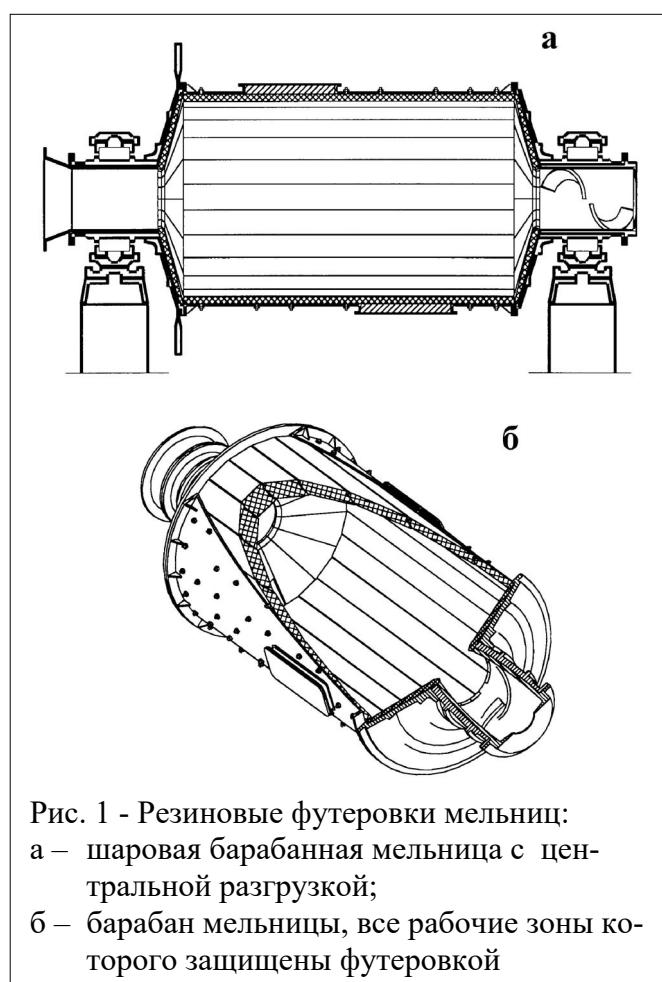
**Чижик Е.Ф., Гордиенко Н.А., Чижик Е.Е., Мельников О.К., Дырда В.И.,
«Полимет», ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск**

На сегодняшний день наиболее перспективным конструкционным материалом для защиты барабанов рудоразмольных мельниц от ударных нагрузок и износа является резина. Об этом свидетельствует многолетняя практика эксплуатации машин с резиновой футеровкой и многочисленные публикации, обзор которых дан в [1-3]; в этих публикациях подробно излагаются достоинства резиновой футеровки, ее преимущества по сравнению с другими типами футеровок, например, металлическими, ее экономическая целесообразность и технологические преимущества.

Следует подчеркнуть, что в таких сложных динамических системах как рудоразмольные мельницы резиновые футеровки выполняют не только защитные функции (в основном от ударов загрузки и абразивно-усталостного износа), но и участвуют непосредственно в самом технологическом процессе, определяя в ряде случаев качество исходного продукта. Сложность рудоразмольных мельниц, особенно мельниц большого диаметра, и, следовательно, большой производительности хорошо видна из общих схем, показанных на рисунке 1 и из данных, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры рудоразмольных мельниц.

Наименование мельницы	Диаметр барабана, м	Длина цилиндрической части, м	Рабочий объем, м ³	Частота вращения, об/мин
MMC 105-54	10,50	5,40	420	7,70-11,60
МШР 3,6×4,0	3,60	4,00	36	18,10
МШЦ 5,5×6,5	5,50	6,50	140	13,69



Мельница мокрого самоизмельчения MMC 105-54 (Россия, АК «Алроса») снабжена резиновой футеровкой типа «плита – лифтер» и предназначена для избирательной дезинтеграции алмазосодержащих руд. Максимальная крупность кусков руды до 1200 мм.

Мельница шаровая МШР 3,6×4,0 (Россия, ОАО «ОЛКОН», Оленегорский ГОК) снабжена резиновой футеровкой «бегущая волна» типа «плита с нишами» и предназначена для измельчения железосодержащих руд: металлические шары до 80 мм.

Мельница шаровая МШЦ 5,5×6,5 (Монголия, «ЭРДЭНЭТ») снабжена резиновой футеровкой типа «плита с нишами» и предназначена для измельчения полиметаллических руд: металлические шары до 100 мм.

На рис. 1 показан общий вид барабана рудоразмольной мельницы, все рабочие зоны которого – цилиндрическая часть, торцевая крышка и разгрузочная решетка – защищены резиновой футеровкой.

Ниже рассматриваются конструкции резиновых футеровок, уже получивших широкое признание специалистов.

Функциональное назначение резиновой футеровки. В рассматривающихся мельницах при вращении барабана перерабатываемый материал вместе с измельчающей средой (шары, рудная галя) с помощью специальной конструк-

ции профиля футеровки поднимается на определенную высоту, после чего падает (скатывается, сползает) вниз. Под действием падающей измельчающей среды и трения между слоями технологической загрузки материал измельчается. Процесс измельчения осуществляется вследствие ударных нагрузок и сил скальвания. При этом барабан с футеровкой подвергается разрушающему действию интенсивных ударных нагрузок и абразивному или абразивно-усталостному изнашиванию. От конструкции футеровки зависят технико-экономические показатели работы мельницы в целом. За счет выбора рациональной конструкции резиновой футеровки и подбора соответствующего материала можно повысить производительность мельницы по готовому классу и качество исходного продукта, снизить удельный расход электроэнергии (кВт/т материала), повысить срок службы футеровки, снизить расход материала футеровки (г/т материала).

Таким образом, функциональное назначение резиновой футеровки следующее:

- обеспечить оптимальный режим движения измельчающей среды в барабане мельницы;
- обеспечить защиту барабана от износа и ударных нагрузок.

Требования, предъявляемые к конструкции резиновой футеровки барабанных мельниц. Резиновая футеровка должна обеспечивать:

- эффективную защиту металлического барабана от действия ударных нагрузок и износа, что позволило бы уменьшить толщину его стенки до минимума, естественно, не нарушая жесткости всей системы в целом;
- высокую устойчивость всех элементов против действия абразивного и абразивно-усталостного износа, особенно при малых углах встречи с измельчаемым материалом;
- унификацию элементов для различных мельниц с целью сокращения номенклатуры запасных частей; взаимозаменяемость элементов;
- простоту монтажа и демонтажа; ремонтопригодность отдельных элементов;
- экологическую чистоту исходного продукта;
- соответствие технологическому процессу измельчения: конструкция резиновой футеровки не должна ухудшать процесс измельчения и качество исходного продукта;
- малый вес, что имеет важное значение для уменьшения динических нагрузок на подшипники и фундамент;
- устойчивость против агрессивной внешней среды;
- уменьшение вибонагруженности барабана мельницы и снижение звукового давления;
- устойчивость против ударных нагрузок и механических повреждений (порезы, сколы, вырывы и т.д.): для этого материал футеровки должен обладать достаточно высокой прочностью, быть высокодемптирующим и иметь высокую энергию распространения трещин.

Конструкции резиновых футеровок рудоразмольных мельниц.

На первом этапе существования рудоразмольных мельниц их защитные футеровки выполнялись, в основном, из металлов, металлических сплавов и силикатных материалов – каменное литье, карбид кремния и т.д. Повышенный износ, большая масса, загрязнение исходного продукта материалами износа,

повышенное звуковое давление, высокая вибонагруженность барабана и мельницы в целом, довольно высокая стоимость особенно для марганцовистых сталей, трудоемкость монтажных и демонтажных работ – все эти недостатки традиционных футеровок обусловили поиск альтернативных материалов. Этому же в значительной степени способствовало использование мельниц больших диаметров (например, мельниц типа ММС 105-54 с диаметром барабана 10,5 м) с большой скоростью падения крупных кусков – до 1200 мм в диаметре. Одним из таких перспективных материалов стала резина. Первые опыты по использованию резиновой футеровки относятся к 30-м годам. Однако широкому применению помешало несовершенство конструкции, плохой выбор резины и плохие конструкции крепления. Уже в 60-х годах две шведские фирмы «Скега» и «Треллеборг» (в настоящее время известны как фирма «Сведала») предложили ряд эффективных конструкций резиновых футеровок с надежным креплением к барабану. Особенности этих конструкций можно свести к следующему: футеровка выполняется типов «плита-плита» или «плита-лифттер»; крепление к барабану осуществляется через металлическую арматуру системой «винт-гайка». Эти особенности легли в основу конструкций многих из существующих систем резиновой футеровки.

Позже появилось большое количество разнообразных конструкций защитных футеровок [3] для широкого класса горных и строительных машин. Здесь же остановимся на наиболее характерных конструкциях и особенностях их проектирования с учетом требований технологии измельчения в рудоразмольных мельницах.

Преимущества резиновых футеровок. По сравнению с металлическими резиновые футеровки обладают рядом неоспоримых достоинств. Так, например, для шаровых мельниц при замене металлической футеровки на резиновую:

- удельный вес футеровки уменьшился в 2-3 раза по сравнению с футеровкой из марганцовистой стали;
- масса футеровки снизилась примерно в 4-5 раз;
- уровень звукового давления на всех частотах снизился до санитарных норм;
- трудозатраты на монтажные и демонтажные работы сократились примерно в 3 раза.

При этом, крепость перерабатываемого сырья незначительно влияет на износстойкость резиновой футеровки, в то время как для металлических этот параметр является одним из определяющих долговечность футеровки.

Особых ограничений на применение резиновой футеровки неизвестно. Однако имеется ряд эксплуатационных особенностей, которые должны учитываться инженерами-конструкторами. Среди них:

- температура в рабочей зоне мельницы во время процесса измельчения не должна превышать 80-90°C при использовании обычных марок резин; при этом температура в резиновом массиве футеровки должны быть в диапазоне 75-80°C, дальнейшее повышение температуры может привести к изменению физико-механических характеристик резин и быстрому разрушению футеровки;
- резина хорошо противостоит агрессивному влиянию перерабатываемого материала; однако при pH>10 желательно использовать специальные резиновые смеси;
- для шаровых мельниц при использовании шаров диаметром 100 мм и более необходимо применять резиновые футеровки специальной конструкции.

Выбор параметров и формы резиновых футеровок цилиндрической поверхности барабанов мельниц. Основными факторами, определяющими выбор резиновых футеровок, являются: геометрические размеры барабана, скорость его вращения, физико-механические характеристики измельчаемого материала (крупность, плотность, твердость, агрессивность пульпы, содержание твердого в пульпе, температура пульпы), размеры измельчающих тел.

В связи с разнообразием конструктивных особенностей рудоразмолльных мельниц, предназначенных для измельчения различных по твердости и абразивности материалов, не существует стандартных решений при выборе параметров и формы резиновых футеровок. Выбор диктуется, в основном, технологией процесса измельчения и рядом других факторов, среди которых далеко не последнее место занимают требования к качеству исходного продукта и цена на футеровку.

Вместе с тем длительная практика выработала некоторые общие критерии применения резиновых футеровок в мельницах различного типа. В настоящей работе авторы не ставят своей целью изложить все многообразие конструкций футеровок и их применимость в горном деле. Поэтому ниже ограни-

чимся лишь двумя самыми характерными примерами использования резиновых футеровок в рудоразмолльных мельницах.

Первый пример предусматривает использование футеровки типа «бегущая волна» (Рис. 2). На рис. 3, рис. 4, а показана конструкция такой футеровки предприятия «Полимет». Резиновые плиты укладываются внахлестку и прикрепляются к барабану системой «винт-гайка» через специальную металлическую планку, вставляемую свободно в Т-образную прорезь каждой из плит; четыре плиты с различной высотой создают рабочий профиль – «бегущую волну» (Рис. 4, а). Укладка резиновых плит, а, следовательно, и тип рабочего профиля, могут быть самыми различными в зависимости от технологических особенностей мельницы. Рабочая поверхность футеровки имеет специальные продолговатые несквозные ниши; в процессе работы в нишах заклиниваются металлические шары, предохраняя тем самым футеровку от интенсивного износа (рис. 3, в). Такая футеровка хорошо зарекомендовала себя в

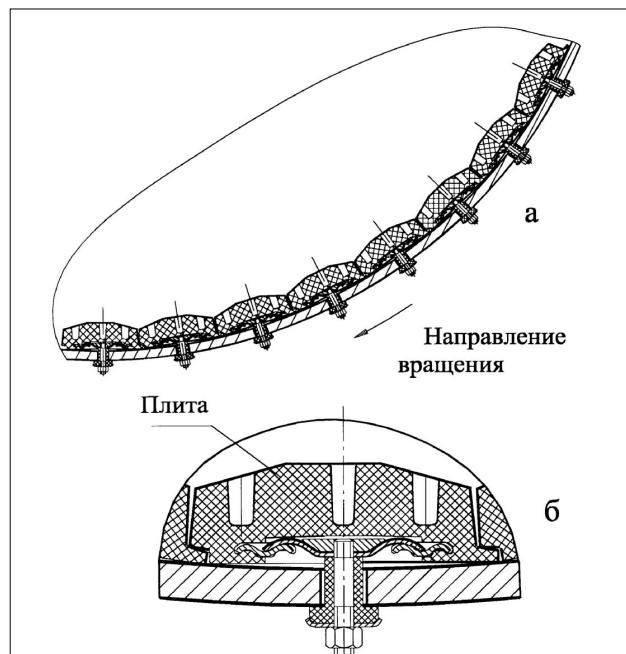


Рис. 2 - Резиновая футеровка типа «бегущая волна»

а – цилиндрическая часть барабана с раскладкой плит; б – резиновая футеровка типа «плита-плита»

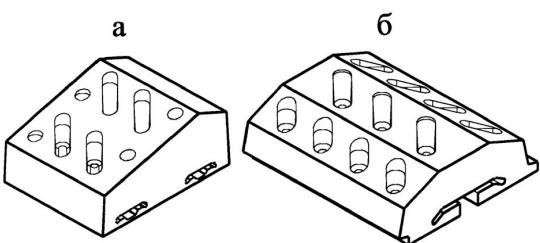
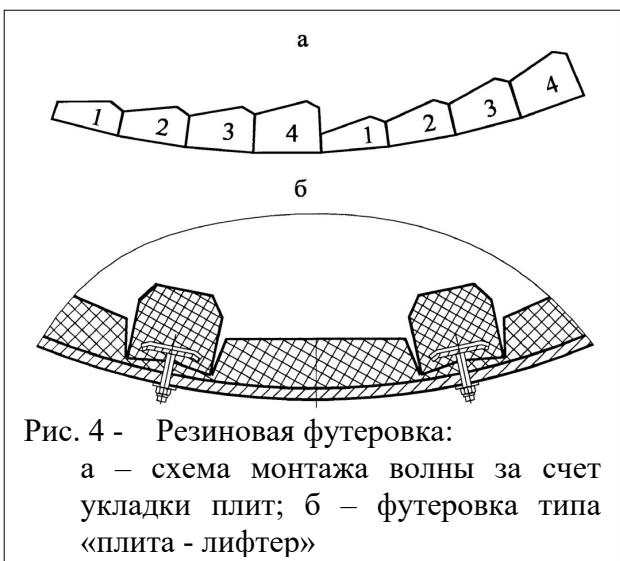


Рис. 3 - Резиновые плиты с нишами



эксплуатации: на предприятии «ЭРДЭНЭТ» (Монголия), шаровая мельница МШЦ $3,2 \times 4,5$, шары диаметром 80 мм, измельчение полиметаллических руд; на предприятии ОАО «ОЛКОН» (Оленегорский ГОК), шаровая мельница МШЦ $3,6 \times 4,5$, шары диаметром 80 мм, измельчение железосодержащих руд. В обоих случаях применения долговечность резиновой футеровки типа «бегущая волна» на 50% выше, чем у традиционных конструкций футеровок.

Второй пример относится к системе футеровки «плита-лифтер». Такая конструкция стала классической и с незначительными изменениями используется самыми различными изготовителями. На рис. 4, б показана резиновая футеровка этого типа конструкции фирмы «Полимет». Резиновые плиты удерживаются с помощью резиновых лифтеров, присоединяемых к барабану мельницы через металлические планки, свободно вставляемые в Т-образную прорезь лифтера системой «винт-гайка». Такая конструкция футеровки получила самое широкое распространение и не только для мельниц. Во всех машинах и устройствах, где имеются большие потоки крупнокускового материала – в вибрационных питателях, рудоспусках, скрипах, кузовах автомобилей и т.д. – система «плита-лифтер» оказалась весьма эффективной.

В мельницах долговечность такой футеровки определяется, как правило, формой, геометрическими размерами и материалом лифтера, который принимает основную нагрузку от перерабатываемого материала. Поэтому срок службы лифтеров иногда в 2-3 раза меньше срока службы футеровочных плит. Объясняется это тем, что при одностороннем вращении мельницы основные нагрузки воспринимает боковая сторона лифтера; от ударных нагрузок и износа происходит интенсивное разрушение выступающей над плитой части лифтера.

Важным при этом является соотношение между шагом установки лифтеров и их высотой; при большом шаге на поверхности резиновых плит образуются участки, на которых технологическая загрузка скользит, вызывая тем самым повышенный абразивный износ; при малом шаге между лифтерами и их небольшой высоте образуется пространство, заполняемое измельчающим материалом, – в этом случае футеровка работает как гладкая плита, а выступающие части лифтера подвергаются интенсивному изнашиванию. Помимо износа в обоих случаях снижается эффективность измельчения.

Износ резиновой футеровки «плита-лифтер» определяется, в основном, диаметром барабана, частотой его вращения, а также крупностью мелющих тел и технологической загрузки. Важным для долговечности футеровки является способ ее крепления к барабану. Эластичное крепление – лифтер крепится с помощью свободно вставленной в прорезь металлической планки – на 30-50 % повышает срок службы по сравнению с футеровкой, прикрепленной к барабану

методов вулканизации.

В качестве примера рассмотрим особенности разрушения двух резиновых футеровок на мельницах мокрого самоизмельчения типа ММС 105-54 в условиях эксплуатации АК «Алроса» при дезинтеграции алмазосодержащих руд.

Первая мельница конструкции Сызранского завода была снабжена резиновой футеровкой типа «плита-лифтер» конструкции «Полимет»; плита имела максимальную толщину 150 мм; три лифтера прямоугольного сечения при одинаковой ширине 300 мм имели следующие размеры по высоте: первый лифтер – 290 мм, второй – 380 мм и третий – 490 мм стальная арматура для крепления футеровки была привулканизана к лифтеру. По диаметру мельницы было уложено 72 ряда плит и лифтеров.

Через 800 ч наблюдался незначительный износ кромки лифтеров со стороны набегающего потока загрузки. Время наработки резиновой футеровки на отказ по критериям «Полимет» составило примерно 3800 ч. При этом плиты имели незначительный износ, а лифтеры были изношены до уровня высоты плит.

Вторая мельница, поставленная шведской фирмой «Сведала», была снабжена резиновой футеровкой «плита – лифтер» этой же фирмы. Конструкция футеровки была аналогичной, и различие было лишь в геометрических размерах плит и лифтеров. Лифтеры прямоугольного сечения со стороны набегающего потока имели сконченную кромку под углом примерно 60° ; размеры лифтеров при одинаковой ширине 250 мм имели следующие размеры по высоте: первый лифтер 240 мм, второй – 390 мм; толщина плит была равна 140 мм. Алюминиевая арматура для крепления футеровки была привулканизана к лифтеру. По диаметру мельницы было уложено 64 ряда плит и лифтеров. Через 1300 ч наблюдался интенсивный износ лифтеров; изношенные лифтеры имели кромку под углом примерно 45° ; со стороны набегающего потока лифтеры были изношены до уровня высоты плит, а с противоположной стороны имели высоту в среднем 220-250 мм. Износ плит был незначителен. Время наработки на отказ футеровки составило примерно 2400 ч; при этом износ лифтеров по высоте достигал уровня плит.

Механические и технологические параметры мельниц были практически одинаковыми; загрузка и качество измельчаемого продукта идентично; в обеих мельницах использовалось практически одинаковое количество крупных кусков руды (до 1200 мм) для улучшения процесса измельчения.

Как видно, долговечность резиновой футеровки «Полимет» в 1,5 раза выше, чем у аналогичной футеровки фирмы «Сведала».

На взгляд авторов, это обусловлено следующими причинами.

1. Футеровка «Полимет» имела меньший шаг между лифтерами (72 против 64, т.е. шаг был меньшим в 1,12 раза) и более широкие лифтеры. При осмотре мельницы в процессе эксплуатации было замечено заклинивание крупных кусков руды между лифтерами, что могло оказаться на уменьшении их износа за счет эффекта самофутеровки. Этому же способствовала и большая высота лифтеров конструкции «Полимет». К тому же, лифтеры «Сведала» были ослаблены скосом рабочей кромки непосредственно в активной зоне.
2. Большая высота трех различных по высоте лифтеров «Полимет» позволяла за счет меньшей изгибной жесткости и большей эластичности лучше противостоять удару круп-

ных кусков руды; этому же способствовала и большая эластичность резины: резина «Сведала» была более наполненной и футеровка имела большую жесткость на сжатие и сдвиг.

Следует также отметить некоторые важные свойства процесса разрушения сравниваемых футеровок:

- в обоих случаях износ плит был минимальным; основную долю ударных нагрузок и абразивного изнашивания принимали на себя лифтеры;
- температура поверхностного слоя резиновых футеровок была примерно одинаковая: специальные замеры не производились;
- футеровка «Сведала» имела интенсивный износ уже на первой стадии эксплуатации, о чем свидетельствует износ лифтеров через 1300 ч.

К сожалению, авторы на сегодняшний день не располагают более полной информацией по физико-механическим характеристикам резин фирмы «Сведала». Поэтому в настоящей работе авторы ограничились исключительно сравнением основных показателей работ футеровок, которые, тем не менее, имеют определенную ценность уже в силу своей объективности.

Конструкции резиновых футеровок торцевых крышек и решеток. В рудоразмольных мельницах для защиты торцевых крышек от износа также используются резиновые футеровки. Обычно износ торцевых футеровок по радиусу неравномерен и зависит от частоты вращения барабана и степени заполнения его загрузкой. Наибольшему износу подвергается часть секторов футеровки,

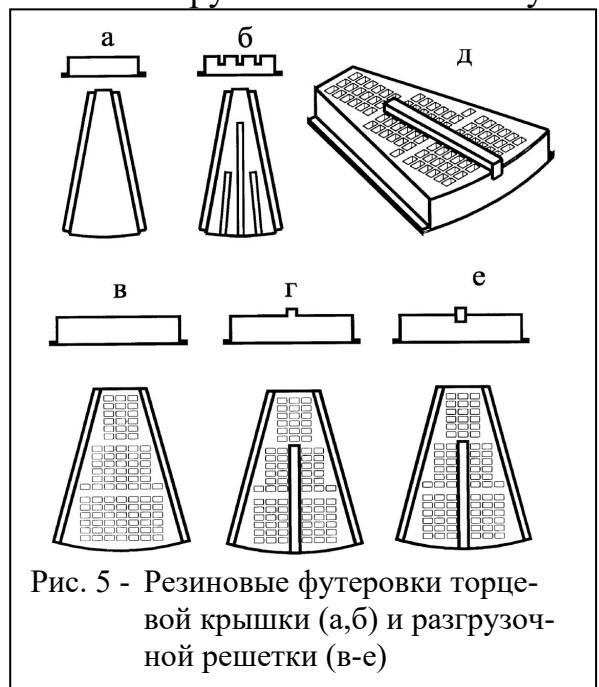


Рис. 5 - Резиновые футеровки торцевой крышки (а,б) и разгрузочной решетки (в-е)

наиболее удаленной от центра, что связано с проскальзыванием между слоями загрузки на траектории подъема. В шаровых мельницах с центральной разгрузкой футеровка выполняет лишь функции защиты от износа и не оказывает существенного влияния на технологические показатели машин.

На рис. 5 показана такая футеровка торцевой крышки мельницы. Сегментные плиты обычно крепятся лифтерами, конструкция которых аналогична конструкции лифтеров барабана. Гладкие сегментные плиты (рис. 5, а, б) имеют повышенный износ, и их применение ограничивается, как правило, мельницами ма-

лого диаметра. Радиальные выступы на поверхности сегментных плит (рис. 5, б) выполняют роль лифтеров, уменьшая скольжение загрузки и защищая футеровку от ударов и интенсивного износа. Во всех конструкциях мельниц футеровка торцевой крышки соединяется с футеровкой барабана с помощью уплотнительного кольцевого сегмента (рис. 1).

В мельницах с загрузкой через решетку торцевая футеровка участвует непосредственно в технологическом процессе и от ее конструкции зависит производительность мельницы в целом. Основной параметр такой решетки – «живое сечение» - вычисляют как соотношение площади отверстий решетки к об-

щей ее площади; считается, что оптимальный коэффициент «живого сечения» решеток мельницы находится в диапазоне 20-30 % [3]. Все разгрузочные решетки мельниц изготавливаются обычно с отверстиями сопловидной формы с углом расширения в сторону разгрузочной цапфы.

Конструктивно разгрузочная решетка обычно состоит из набора секторных плит со щелевидными отверстиями, расположенными, как правило, по хорде (рис. 5, д-е). Крепление секторных плит осуществляется с помощью лифтеров, которые защищают решетку от ударных нагрузок и износа.

Особенности процесса разрушения резиновых футеровок. Как уже отмечалось выше, в рудоразмольных мельницах при вращении барабана с помощью специального профиля футеровки технологическая загрузка вместе с измельчающей средой (шары, рудная галька, крупные куски материала) поднимается на определенную высоту, после чего падает вниз. Процесс измельчения материала осуществлялся за счет ударных нагрузок и трения между слоями технологической загрузки. Резиновая футеровка при этом в зоне контакта подвергается действию ударных нагрузок и интенсивному изнашиванию. При малых толщинах футеровки возможен ее «пробой» и повреждение металлической оболочки барабана. Поэтому остаточная толщина изношенных в процессе эксплуатации резиновых элементов футеровки – плит, лифтеров, сегментных плит торцевых крышек – для каждого типа мельницы регламентируется специальными нормами, выработанными при длительной эксплуатации конкретных конструкций футеровок.

Так, например, предприятие «Полимет» для резиновых футеровок рудоразмольных мельниц рекомендует следующие критерии отказа:

- для шаровых мельниц при использовании футеровок типа «бегущая волна» остаточная толщина плит в зоне максимального износа цилиндрической части барабана должна составлять: для мельниц малого диаметра (3,6 м) при размере мелющих шаров до 60 мм – не более 30 мм; для мельниц большего диаметра (4 или 5 м) при размере мелющих шаров до 80 мм – не более 45 мм; при размере шаров до 100 мм – 45-50 мм; при кусках руды до 500 мм в мельницах 7 и 9 м – не более 30-40 мм; при кусках руды 1000-1400 мм в мельницах диаметром 10,5 м – не более 40-50 мм;
- во всех случаях применения резиновой футеровки типа «бегущая волна» остаточную толщину плит можно принимать такой, чтобы в зоне максимального износа над металлической арматурой оставалась толщина резины не менее 5 мм;
- такие же критерии отказа (т.е. не менее 5 мм резины над металлической арматурой) предприятие «Полимет» рекомендует и для резиновых футеровок мельниц мокрого самоизмельчения при использовании системы «плита-плита» или «плита-лифтер»;
- износ футеровки торцевых плит обычно определяют визуально: не допускается эксплуатация резиновых решеток и сегментных плит при оголенной металлической арматуре.

Процесс взаимодействия резиновой футеровки и перерабатываемого материала, несмотря на кажущуюся простоту физической модели, изучен совершенно недостаточно. Трудность объясняется, прежде всего, нелинейностью и стохастичностью процесса, взаимным влиянием многих факторов – геометрических, физико-механических, химических, - трудностью проведения экспериментальных работ в натурных условиях. По этой же причине отсутствует и достаточно полная математическая модель процесса измельчения. Однако длительная практика эксплуатации рудоразмольных мельниц с резиновой футеров-

кой позволила установить ряд общих закономерностей, которые широко используются в инженерном деле [3].

1. Основными факторами, вызывающими разрушение резиновой футеровки, являются: ударная нагрузка, абразивный или абразивно-усталостный износ и агрессивное влияние перерабатываемой среды.

2. Удар является одной из основных составляющих разрушающего действия крупнокускового материала и измельчающих тел. Максимальный износ резиновой футеровки имеет место при углах соударения кусков с поверхностью близких к $20\text{-}30^\circ$, а минимальный – при углах, близких к 90° . Поэтому форма резиновых элементов футеровки должна быть такой, чтобы угол встречи всегда был не менее 70° . Большое влияние на процесс разрушения футеровки от ударных нагрузок оказывает скорость встречи крупных кусков и шаров с ее поверхностью. Следует подчеркнуть, что именно на долю ударных нагрузок приходятся такие разрушения как сколы, вырывы материала, глубокие трещины от внедрения в резиновый массив острых граней и т.д.

Как уже отмечалось, резиновая футеровка типа «плита-лифттер» хорошо противостоит ударным нагрузкам во всех случаях ее применения. При этом сила удара будет во многом зависеть от податливости всей системы, включая и конструкцию крепления. При большой эластичности системы (большая высота резинового слоя и, следовательно, малая жесткость; высокодемпфирующий материал плит и лифттеров; большое конструкционное демпфирование системы крепежа) время удара будет достаточно большим, деформация системы будет растянута во времени, релаксационные процессы в резине проявятся в полной мере и уменьшат разрушающее действие удара. По этой же причине эластичное податливое крепление лифттера к барабану увеличивает его долговечность по сравнению с лифттером, привулканизованным к металлической крепежной планке.

3. Абразивный и абразивно-усталостный износ резиновой футеровки обусловлен, в основном, проскальзыванием загрузки в различных зонах футеровки (эффект контакта) и действием ударных нагрузок при падении с высоты измельчающей среды и трения между слоями технологической загрузки (каскадный эффект). Скорость износа футеровки зависит от многих факторов. Среди них: геометрические размеры барабана и частота его вращения, конструкция и геометрические размеры резиновой футеровки, тип резины, физико-механические свойства перерабатываемого материала, размеры измельчающей среды (шары, рудная галя) и т.д.

За критерий износстойкости обычно принимают скорость изнашивания, т.е. уменьшение толщины футеровки за один час работы мельницы. Для футеровок из традиционных резин этот показатель равен примерно 0,001-0,004 мм/ч; для металлических – колеблется в пределах 0,008-0,012 мм/ч [3].

4. Влияние агрессивной среды на долговечность резиновой футеровки изучено совершенно недостаточно. Практика показывает, что используемые резины хорошо противостоят агрессивному влиянию перерабатываемых материалов горно-металлургической и строительной промышленности. Отмечается, что с повышением температуры влияние агрессивной среды усиливается [3]. Так,

работоспособность футеровки на основе СКИ-3 существенно уменьшается при высокой температуре среды ($>105^{\circ}\text{C}$) и водородного показателя рН (250-280 г/л щелочи).

Температура в зоне контакта сама по себе может оказать отрицательное влияние на долговечность футеровки. Приведем два примера.

Первый относится к измельчению железосодержащих руд в условиях Кривбасса: шаровая мельница МШР $3,6 \times 5,0$, шары диаметром 100 мм, резиновая футеровка типа «плиты внахлестку». После 1400 ч эксплуатации начался интенсивный износ резиновых плит, и в течение примерно 230 ч футеровка вышла из строя. Причина такого катастрофического разрушения в следующем: недостаток конструкции футеровочных плит, большой диаметр шаров и, как следствие, высокая температура в зоне контакта – свыше 100°C .

Второй пример относится к измельчению кокса на шаровой мельнице сухого измельчения: шары диаметром 40 мм, резиновая футеровка типа «плита-плита». В результате высокой температуры в зоне контакта ($>110^{\circ}\text{C}$) долговечность футеровки до отказа составила примерно 70 ч.

Как видно, при подборе подходящей конструкции резиновой футеровки следует использовать союз технologа и конструктора, так как при неправильном выборе технологических параметров измельчения или параметров конструкции, параметром, определяющим долговечность футеровки, может стать интенсивный износ, скорость которого может существенно возрастать при действии температурного поля в зоне контакта и агрессивного влияния среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резиновые детали в инженерной практике//Дырда В.И., Чижик Е.Ф., Кияшко В.П., Карабабан Н.Г. – Днепропетровск: Полиграфист, 1998. –303 с.
2. Резиновые детали в машиностроении/ Дырда В.И., Чижик Е.Ф. -Днепропетровск: Полиграфист,2000.-584 с.
3. Защитные футеровки и покрытия горнообогатительного оборудования // Тарасенко А.А., Чижик Е.Ф. и др. –М.: Недра, 1985. –204 с.

ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ УКРАИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Хорольский М.С., УНИКТИ «ДИНТЭМ», г. Днепропетровск

Введение. На пороге третьего тысячелетия хочется подвести некоторые итоги деятельности Украинского государственного научно-исследовательского конструкторско-технологического института эластомерных материалов и изделий (УНИКТИ «ДИНТЭМ»), который был создан по инициативе КБ «ЮЖНОЕ» и Южного машиностроительного завода (г. Днепропетровск) в 1966 году.

Что предшествовало появлению нового научного учреждения и каковы его задачи? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо мысленно вернуться в 60-е годы и вспомнить международную обстановку времен «холодной войны». Перед КБ «ЮЖНОЕ» и Южным машиностроительным заводом была поставлена задача: создать новые виды техники с подземным базированием, заданной