УДК 622.78

А.М.ВАСИЛЬЕВ
Металлургический факультет, группа ОП-98,
ассистент профессора

СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ СО СТАЛЬНОЙ МЕЛЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Проанализированы основные мировые тенденции интенсификации процесса измельчения в шаровых мельницах. Рассмотрены выбор оптимальной шаровой нагрузки, иллюстрированные конструкции новых мельниц, футеровка мельниц.

In given clause the basic global tendencies of improvement of process of crushing in spherical mills are considered. Are considered: a choice of optimum spherical loading illustrated designs of mills, liner of mills.

Вовлечение в эксплуатацию все более бедных и труднообогатимых руд усложняет и удорожает рудоподготовку, стоимость которой превышает половину всех затрат на обогащение. Требуется более обоснованный, комплексный подход к разработке прогрессивных проектов рудоподготовительных переделов, обеспечивающий снижение капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Данную проблему (снижение стоимости измельчения) можно решить, если подробно рассмотреть три основных направления:

- оптимальный выбор мелющей загрузки мельницы по всем параметрам;
- определение наиболее износостойкой, экономичной и с наибольшим сроком службы футеровки мельницы;
- выбор более энергонапряженных, экономичных измельчительных аппаратов.

Расход стали при измельчении оказывается в некоторых случаях решающим фактором выбора измельчения стальной средой или самоизмельчением. Большое значение имеет выбор оптимальной формы мелющих тел. Установлено, что лучшими по эффективности измельчения и в отношении износа оказались шары.

Важным является вопрос выбора оптимального метода догрузки мелющих тел с целью компенсации их износа. Для компенсации износа измельчающих тел в мельницах на практике используют два способа догрузки: 1) одноразмерными наиболее крупными измельчающими телами (шары, стержни, минеральная галька); 2) разноразмерными измельчающими телами при определенном соотношении тел различных размеров.

Состав мелющих тел и их масса в мельнице влияют на оптимальную циркулирующую нагрузку, пропускную способность мельницы и эффективность измельчения.

Важный момент – первоначальный состав мелющей загрузки. Он может быть подобран в соответствии с рекомендациями работы В.А.Олевского* (табл.1).

Для выбора шара наибольшего диаметра в первоначальной загрузке и при догрузке используется ряд эмпирических формул вида

$$d_{ш(ст)} = kd^m, \qquad (1)$$

где $d_{ш(ст)}$ – наибольший диаметр шара (стержня); k и m – коэффициенты пропорциональности, зависящие от физико-механических свойств (крупность, измельчаемость, плотность) измельчаемого материала, диаметра, частоты вращения барабана, а также типа мельницы.

---

* *Олевский В.А.* Размольное оборудование обогатительных фабрик: Справочное пособие. М.: Недра, 1963. 446 с.: ил.

Таблица 1

Характеристика крупности начальной шаровой загрузки, % по массе

Оптимальный состав равновесной начальной шаровой загрузки, мм	Крупность максимального шара, мм						
	115	100	90	75	65	50	40
115	23,0						
100	31,0	23,0					
90	18,0	34,0	24,0				
75	15,0	21,0	38,0	31,0			
65	7,0	12,0	20,5	39,0	34,0		
50	3,8	6,5	11,5	19,0	43,0	40	
40	1,7	2,5	4,5	8,0	17,0	45	51
25	0,5	1,0	1,5	3,0	6,0	15	49

Методика выбора оптимального размера шаров (стержней), догружаемых в барабанные мельницы, включает следующее:

- установление необходимости и целесообразности догрузки мельниц шарами или стержнями различных размеров, т.е. необходимость рационирования состава догружаемых измельчающих тел;
- определение размера догружаемых шаров или стержней;
- выбор неэффективного размера шаров или стержней (а также рудной гали) и целесообразность их удаления из мельницы.

Футеровка изнашивается в результате трения при скольжении измельчающих тел в среде абразивного материала и при соударении измельчающих тел между собой и с футеровкой при наличии прослоек абразивного измельчаемого материала. При этом происходит абразивное изнашивание, т.е. микрорезание и микроцарапание металла рудными частицами и отрыв частиц металла в виде стружки или выколов.

Насколько велика доля коррозии в общем изнашивании шаров, можно судить по данным американских исследователей (табл.2). Коррозионный износ при мокром измельчении является главной составляющей общего износа, вследствие чего расходные коэффициенты на порядок выше, чем при сухом измельчении.

При измельчении магнетитовых кварцитов Кривого Рога расход по нескольким фабрикам за длительный период работы шаров 1,2-2,2 кг/т; футеровок 0,14-0,2 кг/т. По медным флотационным фабрикам средний расход футеровки 0,1 кг/т; по свинцово-цинковым – футеровок 0,2 кг/т и по медно-никелевым – футеровок 0,12 кг/т.

Таблица 2

Расход металла на 1 кВт·ч полезной энергии при мокром (в числителе) и сухом (в знаменателе) измельчении, кг

Тип мельницы	Измельчающая среда	Футеровка
Шаровая	0,31	0,044
	0,04	0,006
Стержневая	0,46	0,057
	0,07	0,008

Для стальных шаров ударное и абразивное сопротивления находятся в противоречии друг с другом. Например, марганцовистая сталь имеет достаточное сопротивление удару, но низкое абразивное сопротивление, сталь на основе хрома обладает противоположными свойствами. Ударное сопротивление резины, используемой в качестве футеровки, особенно армированной металлом, может быть выше благодаря более высокому модулю эластичности (рис.1).

Любой фактор, который увеличивает энергию отдельных составляющих среды, приводит к более значительному износу.

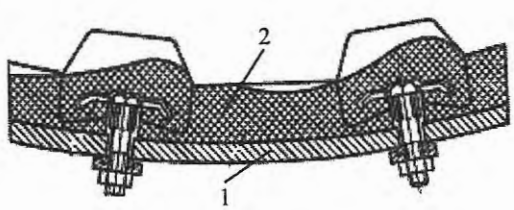

Рис.1. Футеровка мельницы
1 – сталь; 2 – резина

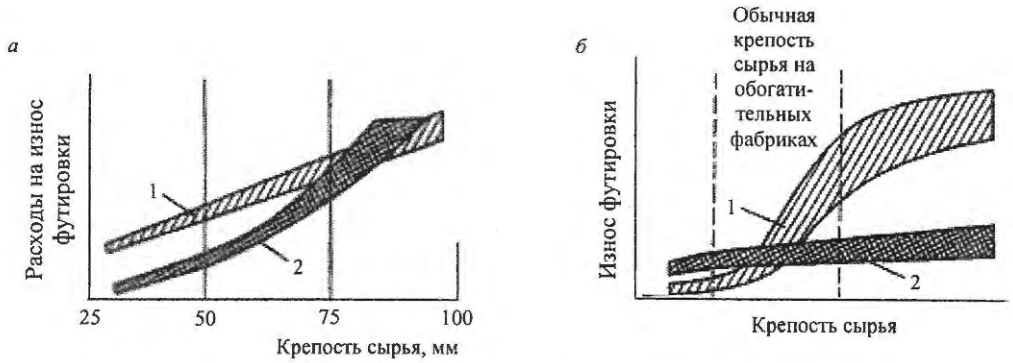

Рис.2. Сравнение стальной (1) и резиновой (2) футеровок

Установлено, что износ пропорционален квадрату скорости мельницы. С увеличением крупности мелющей среды расходы на износ возрастают (рис.2, *а*). Опыты по измерению действительной ударной силы, испытываемой измельчающей средой, показали что минеральная пульпа почти наполовину смягчает ударную силу. Важный вывод из этого – возможность быстрого разрушения футеровки при работе мельницы без руды.

Абразивное сопротивление металла – функция его твердости, но резина способна выдерживать большие деформации, поэтому она является превосходным материалом для применения при измельчении наиболее твердых минералов (рис.2, *б*).

В последнее время промышленное применение получают мельницы с большей скоростью приложения разрушающих усилий, чем у барабанных мельниц (применяемых в основном на производстве). К ним относятся вибрационные, центробежные, струйные, планетарные и другие. Удельная производительность таких мельниц в несколько раз выше, чем вращающихся шаровых.

Вибрационная мельница представляет собой камеру, заполненную загрузкой, состоящей из обрабатываемого материала, среды (газ или жидкость) и специальных обрабатываемых тел (шар, цилиндры, валки). В результате сообщения вибрационного движения в зонах контакта создаются высокие механические напряжения, которые приводят к разрушению твердых частиц.

Планетарные мельницы представляют собой агрегат из нескольких барабанных мельниц, смонтированных на вертикальном водиле. На оси каждой мельницы насажены шестерни, которые находятся в зацеплении с неподвижным зубчатом колесом. Данные мельницы имеют высокую удельную производительность, низкую металлоемкость и высокую энергоемкость.

Валковая мельница предназначена для размола до пылевидного состояния каменных и тощих углей. Материал в данной конструкции мельниц размалывается за счет центробежных сил.

Каждая из вышеперечисленных конструкций мельниц требует самостоятельного изучения.

Основными направлениями интенсификации процесса измельчения в барабанных мельницах со стальной средой являются:

- выбор оптимальной крупности максимального шара и оптимального гранулометрического состава первоначальной загрузки;
- выбор оптимального способа перегрузки мелющих тел с целью компенсации износа;
- применение мельниц все более крупных типоразмеров (до 600 м^3 шаровые и до 1000 м^3 рудного полусамоизмельчения);
- применение нетрадиционных технологических схем рудоподготовки (рудное само- и полусамоизмельчение и т.д.);
- создание принципиально новых конструкций измельчительных аппаратов (консольная, ударно-центробежные мельницы и т.д.).

Научный редактор к.т.н. доц. *Е.Е.Андреев*