

УДК 628.334.14: 669.15-198

Товажнянский Л.Л., Быков А.А., Асриян А.А.

### К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ФЕРРОХРОМА ДЛЯ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО КАРБИДНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ (ДКПЛ)

Технологический процесс диффузионного карбидного поверхностного легирования (ДКПЛ) относится к процессам химико-термической обработки, сопровождающийся тепло- и массопереносом. В результате процесса легирования карбидообразующими элементами на поверхности образуются сплошные карбидные слои, защищающие сталь от коррозии и изнашивания. Главным источником углерода, формирующим эти карбиды на поверхности, является сама сталь. Сплошной карбидный слой образуется лишь при достаточно высоком содержании углерода в металле основы. Минимальная предельная граница его массовой концентрации, соответственно зарегистрированному открытию [1], составляет  $0,2 \pm 0,03$  %.

На результат процесса ДКПЛ влияет множество различных факторов, но одним из решающих является активность насыщающей смеси. Она в свою очередь определяется, прежде всего, химическим и гранулометрическим составом активной составляющей, т.е. того вещества, которое является поставщиком диффундирующего элемента.

Химический состав насыщающей смеси на примере хромирования изучен достаточно полно [7]. Установлено, что с увеличением чистоты исходного низкоуглеродистого феррохрома повышается скорость насыщения и концентрация хрома в диффузионном слое.

Данные по гранулометрическому составу шихты в литературных источниках весьма ограничены. Известно лишь [5], что при использовании чешуйчатого феррохрома происходит налипание частиц к насыщаемой поверхности, что влияет на качество покрытия. Другие авторы [6] утверждают, что с увеличением размера гранул FeCr (более 1,2 мм) ухудшается качество поверхностных зон защитного слоя.

Таким образом, от размера и формы частиц, марки FeCr и его физико-механических свойств будут зависеть технологические параметры и конструкции размольного оборудования для процесса ДКПЛ.

Исходя из изложенного нами сделана попытка рассмотреть в этой статье:

- влияние физико-механических свойств феррохрома (твердость, хрупкость, пластичность) как основного компонента шихты на измельчаемость.
- способы измельчения феррохрома с учетом характеристики размольного оборудования.

В зависимости от физико-механических свойств материалов выбирают следующие способы измельчения:

- *твердый и хрупкий материал* – раздавливание и удар;
- *твердый и вязкий материал* – раздавливание;
- *хрупкий средней твердости материал* – удар, раскалывание;
- *вязкий средней твердости материал* – истирание, истирание плюс удар.

Для ряда марок низкоуглеродистого феррохрома определить дробимость на копре с падающим бойком невозможно вследствие высокой вязкости (например, для ФХ015). Для остальных марок этой группы дробимость значительно хуже, чем высокоуглеродистых марок, а истираемость значительно ниже (например, для ФХ650 показана

тель дробимости  $D = 23,3-25,0$ , коэффициент дробимости  $f = 0,85-1,63$ , истираемость  $I = 4,7 \%$ , а для ФХ010Б  $D = 8,6-9,0$ ,  $f = 0,76-0,68$ ,  $I = 0,3 \%$ ). Абразивность ( $A_{10-2,5}$ ) феррохрома практически не зависит от содержания углерода и изменяется в пределах  $0,02-0,06$ . Плотность ( $d$ ) низкоуглеродистого феррохрома изменяется в пределах  $6,43-7,68 \text{ г/см}^3$ . Из-за различного химического состава низкоуглеродистого феррохрома сильно изменяются значения временного сопротивления сжатию ( $\sigma_{\text{в}}$ , МПа) и твердость по Бринеллю (НВ), что также влияет на способ его измельчения [2]. Например,

|                           | ФХ010  | ФХ002  |
|---------------------------|--------|--------|
| $\sigma_{\text{в}}$ , МПа | 160±40 | 118±50 |
| НВ                        | 350±4  | 245±3  |

Так как некоторые марки низкоуглеродистого феррохрома являются твердым и хрупким материалом, а остальные марки – твердым и вязким материалом, то в соответствии с классификацией способов измельчения, необходимо рассмотреть оборудование раздавливающего и ударного действия. В общем, измельчение высокоабразивных прочных материалов (например, феррохрома) определяет специфику требований, предъявляемых к промышленной технологии и оборудованию. К ним относятся: надежность, возможность реализовать высокую единичную мощность и простота обслуживания. Очевидно, весь комплекс требований полностью удовлетворить практически невозможно, и поэтому главным критерием становится способность того или иного вида оборудования в наибольшей степени соответствовать условиям промышленного использования.

В этом отношении вне конкуренции на протяжении многих десятилетий остаются шаровые и трубные шаровые мельницы. Эти мельницы различаются отношением длины к диаметру. У трубных шаровых мельниц отношение длины к диаметру составляет от 3 : 1 до 6 : 1, а у шаровых 2 : 1. Расход энергии на одну тонну продукта составляет 35-50 кВт·ч, а расход легированной стали в виде продуктов износа мелющих тел и футерующих элементов – до одного кг и более.

Шаровые мельницы, несмотря на энерго- и металлоемкость, являются распространенным видом оборудования для измельчения низкоуглеродистого феррохрома. Наряду с недостатками они имеют ряд достоинств, обеспечивающих их долговечность как вида оборудования и широкое применение в промышленности. Прежде всего, это высокий уровень мощности и надежности, простота устройства и условий эксплуатации, способность в течение длительного времени обеспечивать получение продукта с заданной дисперсностью. Шаровые мельницы, наряду с измельчением, производят эффективное перемешивание компонентов шихты.

Принципиальной особенностью шаровых мельниц является использование в качестве рабочих органов свободных мелющих тел – шаров. Недостатком свободных мелющих тел является гравитационный принцип накопления и реализации энергии разрушения частиц материала, что накладывает жесткое ограничение на интенсификацию процесса. Отдельные попытки использования электромагнитов для привода шаров в движение или щитов – отражателей внутри мельницы приводят к ограниченному успеху. Но, именно свободные мелющие тела обеспечивают высокую живучесть этого типа оборудования. Мельница практически нечувствительна к попаданию в рабочую зону инородных не дробимых тел. Кинематическое звено “бронифутеровка – мелющее тело” имеет предельно высокую надежность в зоне интенсивных ударных нагрузок, высокой запыленности и температуры 150-200 °С.

Процесс измельчения в шаровой мельнице характеризуется широким спектром разрушающих нагрузок и является стохастическим по существу. Частицы подвергаются ударным нагрузкам, находясь между движущимися мелющими телами, причем взаимодействие мелющих тел определяется как центральным ударом, так и взаимодействием, близким к касательному. Имеет место также истирание материала между слоями мелющей загрузки. Сложность процесса не позволила к настоящему времени создать математическую модель мельницы, поэтому в исследованиях используются преимущественно экспериментальные методы.

Относительно недавно был создан, запатентован и апробирован в горнообогатительной промышленности ряд конструкций конусно-инерционных дробилок для мелкого дробления, механизм работы которых был известен давно, но возрожден на современном уровне машиностроения. Разрушение происходит под действием сжимающих усилий, но в отличие от вальцевого пресса, нагрузки носят динамический характер.

Например, в щековой дробилке дробление загружаемого материала происходит между двух щек, одна из которых неподвижна, а другая перемещается под действием коленчатого рычага. Материал измельчается путем раздавливания в сочетании с раскалыванием. Основные достоинства щековых дробилок: простота и надежность конструкции, широкая область применения для дробления крупнокусковых материалов большой твердости, компактность и легкость обслуживания. Эти дробилки можно было бы использовать для первоначального измельчения низкоуглеродистого феррохрома.

Периодический характер воздействия дробящего усилия и неполная уравновешенность движущихся масс вызывают шум и вибрацию при измельчении и относятся к недостаткам дробилок этого типа. Перебои в работе из-за поломки отдельных деталей, забивание рабочего пространства материалом при неравномерной его подаче также следует отнести к недостаткам щековых дробилок.

В конусных дробилках для мелкого дробления измельчение материала происходит в основном за счет давления и частично – за счет изгиба и в принципе не отличается от дробления в щековых дробилках. В этих дробилках отсутствует холостой ход, они продолжают работу при движении вала по кругу. Эти дробилки потребляют меньше энергии, производительность их в расчете на 1кВт·ч в 1,3-1,6 раз выше, чем у щековых дробилок.

Конусные дробилки по сравнению со щековыми дробилками отличаются высокой производительностью, уравновешенной работой, высокой степенью измельчения (для дробилок среднего и мелкого измельчения).

Недостатками конусных дробилок являются: сложная и дорогая конструкция, большая высота, при попадании крупных недробимых тел дробилка заклинивается и забивается, более сложное обслуживание.

В настоящее время в ряде отраслей распространение получают валковые мельницы, рабочий процесс которых состоит в раздавливании и истирании валками в количестве от 2 до 6 штук слоя материала, находящегося на вращающейся тарели. Вначале такие мельницы применялись для измельчения угля и цементного сырья, причем помол осуществлялся с сушкой. В качестве рабочих органов использовались шары диаметром 250-1000 мм, вертикальные или наклонные валки с прямолинейной образующей, а также валки с выпуклой периферией – типа MPS. Попыткам применения этих мельниц для помола высокопрочных материалов препятствовали вибрация валков при росте скорости их перемещения по тарели или увеличении толщины слоя материала. Износ рабочих органов ниже, чем у молотковых дробилок, но уступает показателям шаровых

мельниц. В настоящее время эти недостатки устранены, и валковые мельницы выпускаются рядом фирм Дании, Германии, Японии. Сообщается об экономии электроэнергии в сравнении с шаровыми мельницами на 20-30 %, их производительность достигает 120 т/час, а в отдельных случаях и 200 т/час. Однако, валковые мельницы весьма чувствительны к попаданию не дробимых тел и требуют строгого соблюдения технологических режимов, а также намного сложнее шаровых мельниц [3,4].

Подтверждением этого может служить появление вальцевого пресса, конструктивная схема которого принципиально не отличается от валковой дробилки с одинаковой частотой вращения гладких валков, но создает давление в рабочей зоне до 100 МПа. Пресс может работать в замкнутом цикле с сепаратором, если к удельной поверхности продукта не предъявляются высоких требований, либо агрегироваться с шаровой мельницей, если удельная поверхность превышает 4000 см<sup>2</sup>/г. В последнем случае достигается повышение производительности в 1.5 раза при сокращении общего расхода энергии до 30 %. Несмотря на то, что опыт создания вальцевых устройств для экстремальных условий эксплуатации имеется, например, в прокатных станах, конструирование и изготовление вальцевого пресса представляет сложную инженерную задачу.

Молотковая дробилка относится к ударно-центробежным дробилкам. Материал дробится под действием ударов быстро вращающихся молотков. Дробление происходит также при ударах кусков материала, отбрасываемых молотками, о плиты. Наконец, материал дополнительно измельчается путем удара, истирания, раздавливания на колосниковой решетке, через которую измельченный материал разгружается, падая вниз. Степень измельчения  $i = 10-15$ . Кроме однороторных молотковых дробилок применяются двухроторные, для которых степень измельчения достигает  $i = 30-40$ . Они отличаются высокой производительностью (на единицу веса машины), пониженным расходом энергии на дробление и высокой степенью измельчения по сравнению со щековыми и конусными дробилками. Молотковые дробилки широко применяются для измельчения хрупких, волокнистых и других материалов, а также материалов умеренной твердости и малой абразивности. Из-за сложности балансировки ротора, значительного износа молотков, плит и высокой твердости низкоуглеродистого феррохрома данный вид оборудования использовать не целесообразно.

Дезинтегратор представляет собой дробилку ударного действия, рабочим органом которой являются два вращающихся в разные стороны ротора. Одновременно с измельчением в аппарате происходит хорошее перемешивание компонентов измельчаемого материала. Степень измельчения составляет  $i = 10$ . С увеличением степени измельчения снижается производительность дезинтегратора. Самым уязвимым местом дезинтегратора являются пальцы барабанов. Они быстро изнашиваются, а их замена является громоздкой и длительной операцией. В связи с этим их целесообразней использовать для измельчения хрупких материалов и материалов с малой абразивностью.

### Выводы

1. Для измельчения феррохрома до получения определенного размера частиц, применяемого в процессе ДКПЛ, трубные шаровые мельницы являются оптимальным видом оборудования. Это обстоятельство придает актуальность исследованиям и разработкам, направленным на повышение технологических показателей трубных шаровых мельниц, и в первую очередь – сокращение удельного расхода энергии.

2. Для интенсификации процесса измельчения в трубных шаровых мельницах приоритетно совершенствование режимов работы мелющей загрузки с помощью новых типов бронефутеровок, поскольку это позволяет достичь весомого результата без дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат.

3. Изучение пульсирующего режима работы мелющей загрузки позволяет существенно увеличить производительность процесса и сократить удельный расход энергии.

4. Наибольшая эффективность результатов исследования может быть получена при комплексном исследовании процесса измельчения в различных камерах трубных мельниц, т.е. на всем протяжении процесса.

#### Литература

1. Закономерность изменения коррозионной стойкости черных металлов: Открытие диплом №368, Заявка № ОТ-11298/ Колотыркин Я. М., Заец И. И., Зайцев И. Д., Ткач Г.А., Новаковский В.М.; Заявлено 31.01.1986; Опубл. 13.07.1989, Бюл. №4.– С.3.

2. Мизин В.Г., Чирков Н.А., Игнатьев В.С., Ахманаев С.И., Поволоцкий В.Д. Ферросплавы. Справочное издание. // М.: Metallurgy. – 1992.

3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. // М.: “ХИМИЯ”. – 1971.

4. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. // М.: “ХИМИЯ”. – 1977.

5. Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Куницкий Ю. А., Киндрачук М.В. Диффузионные карбидные покрытия. // К.: Техника. – 1992.

6. Самсонов В.Г., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. // М.: Metallurgy. – 1973.

7. Дубинин Г.Н. Диффузионное хромирование сплавов. // М.: Машиностроение. – 1965.

УДК 628.334.14: 669.15-198

Товажнянський Л.Л., Биков А.О., Асріян А.О.

#### **К ПИТАННЮ О ПОДРІБНЮВАННІ ФЕРРОХРОМУ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ДИФУЗІЙНОГО КАРБІДНОГО ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ (ДКПЛ)**

Приведено фізико-механічні властивості ферохрому, які впливають на його подрібнювання. Проаналізовано подрібнювальне обладнання, за допомогою якого можна отримати оптимальну для процесу ДКПЛ гранулометрію ферохрому.