

тальные - слабокомкующиеся. Исследование кинетики капиллярного насыщения показало, что у исследованных порошкообразных окислов, гидроокислов и карбонатов высокая скорость распространения влаги в материале, высокие значения рабочей влажности гранулирования. Вероятно, простая механическая грануляция этих материалов будет затруднительна. Необходимо либо добавлять пластифицирующие и уплотняющие добавки, либо применять другие методы грануляции, например, формование шариков в индифферентной жидкости или в кипящем слое.

#### Литература

1. В.В.Нахалов, Н.Ф.Стась, Г.Г.Савельев, А.С.Гузенберг, А.М.Рябкин, Т.С.Горина. К вопросу об адсорбции углекислого газа окислами металлов. Настоящий сборник.
2. Н.Ф.Стась, Г.Г.Савельев, В.В.Нахалов, А.С.Гузенберг, А.М.Рябкин. Термодинамика хемосорбции углекислого газа и паров воды окислами металлов. Настоящий сборник.
3. В.В.Нахалов, Н.Ф.Стась, Г.Г.Савельев. Исследование адсорбции углекислого газа окисью алюминия. Настоящий сборник.
4. В.М.Витюгин, А.С.Богма. Известия вузов, "Черная металлургия", № 4, 18, 1969.
5. В.М.Витюгин, А.С.Богма, П.Н.Докучаев. Известия вузов, "Черная металлургия", № 8, 42, 1969.
6. А.М.Васильев. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. М., Стройиздат, 1953.
7. Б.В.Дерягин, Н.Н.Захаваева, М.В.Талаев. Прибор для определения коэффициента фильтрации и капиллярной пропитки. М., изд-во "Наука", 1953.

#### АДГЕЗИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССАХ МОКРОЙ АГРЕГАЦИИ

В.М.Витюгин, Э.Н.Чулкова, И.Н.Ланцман

В практике мокрого гранулирования, как правило, используются полидисперсные материалы. При этом активную роль в процессе формирования гранулята играет сравнительно небольшая по весу наиболее тонкодисперсная фракция, концентрирующаяся в поровой жидкости. Более грубодисперсные частицы, образующие каркас гранулы, определяют в основном плотность

структуры и геометрию порового пространства. При уплотнении гранулы каркас ее претерпевает деформации, характер которых оказывает решающее влияние как на скорость гранулообразования, так и на прочность гранулята.

Эффективный процесс агрегации возможен лишь при достаточном развитии пластических деформаций, так как формирование гранул в тарельчатых и барабанных окомкователях осуществляется при большой степени свободы объемных деформаций. Такие пластические деформации возможны лишь в случае заполнения порового пространства формирующейся гранулы коагуляционно-структурированной поровой суспензией. Действительно, как показывает практика, эффективное окомкование магнетитовых концентратов, лишенных в процессе обогащения наиболее тонкодисперсной фракции, требует присадки небольших количеств бентонита, обладающего способностью формировать пластичные коагуляционные структуры, диспергируясь в поровой жидкости.

При окомковании рыхлого увлажненного дисперсного материала в поровом пространстве гранул защемляется воздух и тем в большем количестве, чем выше дисперсность исходного сырья. Таким образом, формирующиеся гранулы представляют собой трехфазные многокомпонентные системы и результирующие показатели процесса будут определяться свойствами и объемным соотношением взаимодействующих фаз.

Основным показателем процесса является прочность структуры гранул. В настоящее время еще нет единого мнения о характере механизма связи частиц в сыром грануляте. Часть исследователей главное значение придает капиллярным силам /1,2/. Другие отдают предпочтение молекулярному механизму связи частиц /3/. Анализ результатов многочисленных исследований и практики окомкования позволяет предположить более сложный капиллярно-молекулярный механизм связности гранулы. В соответствии с этим механизмом каркасные частицы удерживаются в основном менисковыми силами структурированной поровой суспензии, а структурная прочность поровой суспензии обусловлена ван-дер-ваальсовскими силами. Ниже приводятся результаты исследования адгезионного взаимодействия частиц в магнетитовых гранулах, подтверждающие такой механизм связи.

При разрушении сырых гранул под действием внешних сил в

структуре их первоначально появляются трещины, локализующиеся в местах наименьшей связности частиц. Образование трещин обусловлено преобладанием разрывного действия внешних сил над связностью частиц в грануле. Количественную характеристику связности поэтому можно оценивать по силе разрыва пластинок из материала каркаса гранул при наличии в зоне контакта поровой суспензии. Сила отрыва будет, очевидно, пропорциональна смачиваемости пластин поровой суспензией, поверхностному натяжению и когезионной прочности поровой суспензии. Эти параметры, в свою очередь, будут определяться главным образом природой и количественным соотношением компонентов поровой суспензии.

Магнетитовые концентраты, поступающие на окомкование, как правило, имеют влажность 8,5–9,5%. Если прочносвязанная гигроскопическая вода при этом составляет в среднем 0,5%, то в формировании поровой суспензии сырых гранул принимает участие 8–9% воды. Присадка бентонита в зависимости от его качества обычно колеблется в пределах от 0,5 до 1,5%. Таким образом, весовая концентрация бентонита в поровой суспензии имеет пределы от 10 до 20%. Кроме бентонита в поровую суспензию переходит наиболее тонкодисперсная иловая фракция магнетитового концентрата, содержание которой в концентрате колеблется, как правило, в пределах 1–3%.

В качестве объектов настоящего исследования использовали шлифованные пластинки из чистого магнетита Соколовско-Сарбайского ГОКа, иловую фракцию (крупностью менее 30 мк) из магнетитового концентрата (2% от веса концентрата), фильтрат после обезвоживания магнетитового концентрата, различные бентониты и гидролизированный полиакрилонитрил (гипан). Минералогический анализ иловой фракции показал наличие в ней преимущественно нерудных минералов группы эпидота и небольшие количества хлорита и пирита. Характеристика использованных бентонитов приведена в табл. I.

Адгезионное взаимодействие между поверхностью магнетитовых пластинок и прослойкой суспензии, имитирующей поровую суспензию железорудных гранул, оценивали по силе отрыва магнетитовой пластинки с помощью торсионных весов. Отрывающую нагрузку прикладывали со скоростью 15 мг/сек и выражали в ньютонах на м<sup>2</sup> площади контакта. Вес отрываемой пластинки исключали из

величины отрывающего усилия. Пробы суспензий готовили в следующем порядке. В фильтрат вводили определенное количество бентонита и иловой фракции, тщательно перемешивали и после получасовой выдержки мерной пипеткой наносили каплю суспензии на нижнюю магнетитовую пластинку. Затем на каплю опускали верхнюю магнетитовую пластинку так, чтобы вся шлифованная плоскость пластинки имела контакт с каплей суспензии, и затем осуществляли отрыв. Параллельно определяли поверхностное натяжение и реологические параметры испытуемой суспензии соответственно методами отрыва кольца и на ротационном вискозиметре РВ-8.

Таблица I

Характеристика бентонитов

№ п/п	Бентониты	Содержание фракций менее I мк	Обменный комплекс мг-экв/100 г			
			Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
1.	Черкасский	21,5	16,20	0,64	36,40	0,32
2.	Даш-салахлинский	40,3	41,80	1,81	5,70	4,62

Предварительно измеряли силу отрыва магнетитовой пластинки при использовании в качестве жидкости чистого фильтрата. Усилие отрыва при комнатной температуре (22°C) составило 99,7 н/см<sup>2</sup> при величине поверхностного натяжения фильтрата 75,9 · 10<sup>-3</sup> н/м. При введении в фильтрат иловой фракции в количестве 20% по весу усилие отрыва магнетитовой пластинки практически не изменилось. Суспензия была нестабильной. Затем была исследована серия проб ил-фильтратных суспензий с добавкой в них различного количества бентонитов даш-салахлинского и черкасского месторождений. Результаты этих опытов представлены в таблице 2, из которой видно, что характер изменения усилия отрыва поверхностного натяжения и предельного сдвига с увеличением концентрации бентонита в суспензии одинаков. Значительный рост этих величин происходит в области концентраций 30-37% для черкасского бентонита и 14-20% для даш-салахлинского бентонита. Именно этим пределам концентраций бентонита в суспен-

зии соответствуют наибольшие значения пластичности ( $\psi$ ), рассчитанные по уравнению  $\psi = \frac{\sigma}{\eta}$ , где  $\eta$  - пластическая вязкость, выраженная в пуазах.

Таблица 2

Влияние концентрации бентонита на свойства поро-  
вой суспензии и ее адгезионное взаимодействие с  
магнетитом.

Бентонит	Концентрация суспензии по бентониту, %	Усилие отрыва, н/м <sup>2</sup>	Эффективное поверхностное натяжение $\times 10^3$ , н/м	Предельное напряжение сдвига, н/м <sup>2</sup>
Даш-салахлинский	10,0	127,5	110,0	-
	12,5	128,5	113,6	2,50
	15,0	301,2	149,5	6,1
	17,5	754,1	272,0	21,8
	20,0	1465,0	532,7	31,7
Черкасский	10,0	100,0	96,6	-
	25,0	119,7	108,9	2,20
	27,5	134,4	119,4	3,8
	30,0	332,0	163,9	6,8
	32,0	-	270,9	15,9
	35,0	-	414,1	31,0
	37,0	-	559,1	72,6

Величины усилия отрыва для малоконцентрированных (до 10%) суспензий бентонитов различного качества примерно одинаковы. Так, например, для 10%-х суспензий даш-салахлинского и черкасского бентонитов усилия отрыва соответственно составляют 1275 дин/см<sup>2</sup> и 1000 дин/см<sup>2</sup>; прочность влажных окатышей с этими бентонитами также различается незначительно. С увеличением концентрации суспензий наблюдаются существенные отличия в величинах усилия отрыва для разных бентонитов.

Так, при концентрации бентонитов в суспензии равной 17% усилие отрыва с даш-салахлинским бентонитом в 7,6 раз больше,

чем для суспензии с черкасским бентонитом такой же концентрации. Большое влияние на усилие отрыва оказывает время контакта бентонита с фильтратом. При изменении времени контакта с 30 минут до одного часа усилие отрыва для 10%-ных суспензий с даш-салахлинским и черкасским бентонитами увеличилось в среднем в 2 раза.

Введение в суспензию ил - фильтрат структурообразователя К-4 (гипан) из расчета 500 г/т концентрата увеличивает усилие отрыва с 100 н/м<sup>2</sup> до 160 н/м<sup>2</sup>. Это соответствует адгезионной прочности суспензии с даш-салахлинским бентонитом при концентрации 13%. Во всех опытах по определению усилия отрыва разрыв происходил по капле поровой суспензии, т.е. когезия суспензии, определяемая ван-дер-ваальсовыми силами, была меньше величины адгезии ил-бентонитовой суспензии к магнетиту. Таким образом, основной составляющей связности системы в данном случае являются капиллярные (менисковые) силы на границе между магнетитовыми пластинками и коагуляционно-структурированной суспензией. Полученные результаты объясняют отсутствие значительного повышения прочности сырых окатышей при добавлении бентонита к шихте и показывает, что слабым звеном структуры является поровая суспензия и, очевидно, разрушение формирующихся гранул происходит в зоне действия молекулярных сил.

#### Литература

1. Tjerschiöld M, Ylmoni P.A., Amer. Inst. Min Eng Proceeding of the Blast Furnace and Coke Oven, Raw Materials Conference, V9, 1950, p.18.
2. Ч. Таган, „Kohászati Lapok“, 1963, köt 96, № 12 № 529-533.
3. В.И.Коротич. "Теоретические основы окомкования железорудных материалов". Металлургия, 1966.
4. Masayoshi Wada, Osamu Tsuchiya, Proceedings IX International Mineral Processing Congress, 1970, Praga, CSR

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОПТИМИЗАЦИИ К ОЦЕНКЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТОДА АПН

А.А.Желтоножко, А.Ф.Федоров, А.А.Каплин, А.Г.Стромберг

При одновременном содержании в растворе нескольких элементов с близкими потенциалами анодных пиков анализ методом амаль-