

УДК 669.053

## НЕКОТОРЫЕ РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГРАНУЛЯЦИЯ ПОРОШКА ФИЛИЗЧАЙСКОЙ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ

Г.Р.Аскеров, М.М.Ахмедов, Ч.Д.Эфендиев, А.А.Гейдаров

*Институт химических проблем им. М.Ф.Нагиева  
Национальной АН Азербайджана  
AZ 1143 Баку, пр.Г.Джавида, 29; trpcht@itrpcht.ab.az*

*Определены некоторые реологические параметры порошка полиметаллической руды, влияющие на процесс её грануляции. Найдены оптимальные условия грануляции филизчайской полиметаллической руды на барабанном грануляторе: количество связующей воды 10–11%; скорость вращения барабана 50–52 об/мин.; время окатывания 12–15 мин., угол наклона гранулятора 1.7–2°. Прочность полученных окатышей (+5–10 мм) после их сушки на открытом воздухе достигает 9 кг/ок.*

**Ключевые слова:** порошки полиметаллической руды, реологические свойства, грануляция.

Известно, что грануляция сыпучих рудных материалов улучшает процесс их обжига, нормализует движение материала при непрерывном режиме работы и значительно уменьшает пылеунос, в результате чего улучшается экология проведения процесса и увеличивается производительность руднотермических печей [1, 2].

Всё это придаёт вопросу изучения условий грануляции филизчайской полиметаллической руды (ФПР) и факторов,

влияющих на неё, несомненную актуальность.

Грануляция порошковых материалов в значительной степени зависит от их физико-механических и реологических свойств, т.е. характеристика полученных окатышей зависит от их химического состава и дисперсности, формы частиц, а также от угла внутреннего трения, текучести, смачиваемости и прочих свойств исходного материала [3].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

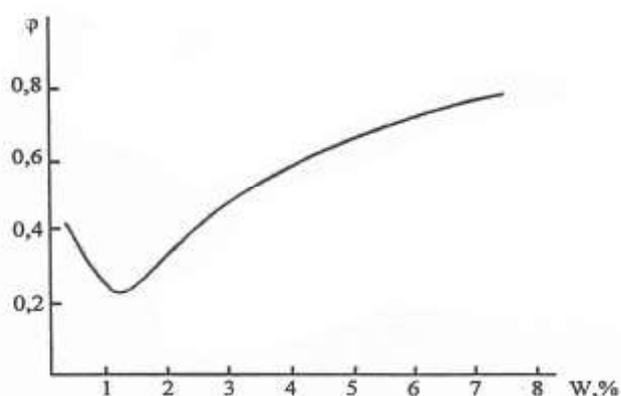
Исследования по определению некоторых реологических параметров, влияющих на процесс грануляции, проводились с порошком ФПР, полученным в результате грубого помола.

Угол внутреннего трения (УВТ). Сущность УВТ заключается в определении взаимосвязи между касательными и нормальными напряжениями в слое порошка. Определение УВТ рассчитывается по формуле  $\tau = \delta \text{tg}\varphi + C$ , где  $\text{tg}\varphi$  – коэффициент внутреннего трения (КВТ),  $\delta$  – величина нормальных напряжений,  $\tau$  – величина касательных напряжений,  $\varphi$  – УВТ,  $C$  – сила сцепления. При этом  $\delta = G_m / S$ , где  $G_m$  – масса материала в коробе,  $S$  – площадь сечения короба;  $\tau = (P_1 - P_x) / S$ , где  $P_1$  – показания динамометра при перемещении короба с навеской руды,  $P_x$  –

показания динамометра при тарировочном опыте.

Известно, что КВТ сильно зависит от влажности материала и отчасти от диаметра частиц. Было установлено, что при комнатной температуре влажность порошка филизчайской руды длительное время остаётся постоянной и составляет 0.38–0.40%. Определение КВТ порошка показало, что при такой влажности она равна 0.403 ( $\varphi = 22^\circ$ ). Результаты экспериментов показали, что зависимость КВТ от влажности не является линейной и имеет минимум при влажности материала 1–1.5% (рис. 1). Это объясняется тем, что вначале при подаче влаги снижается механическое сцепление твёрдых частиц и КВТ уменьшается. Дальнейшее добавление влаги, увеличивая капиллярно-адсорбционные связи, приводит к увеличению КВТ.





**Рис.1.** Зависимость коэффициента внутреннего трения от влажности материала

**Текучесть.** На текучесть порошковых материалов оказывает определённое влияние гранулометрический состав, состояние поверхности и форма частиц, удельный вес и т.д. Однако в основном она зависит от КВТ порошкообразного сырья. Текучесть порошка ФПР определяли следующим образом. Предварительно высушенный при температуре 100–108°C испытуемый порошок в количестве 100 г засыпали в коническую

воронку с углом 60° и диаметром выходного отверстия 4 мм. Текучесть выражалась числом граммов порошка, вытекающего из отверстия за 1 сек:

$\alpha = \frac{g}{t}$ , где  $g$  – навеска порошка в граммах,  $t$  – время высыпания порошка, сек.

В таблице 1 приведены результаты по текучести воздушно-сухого и просушенного при температуре 100°C порошка.

**Табл.1.** Текучесть порошка ФПР

№ опытов	Текучесть, г/сек.	
	Просушенный при 100°C	Воздушно-сухой (w – 0,40%)
1	7.25	не течёт
2	7.20	“ – “
3	7.20	“ – “

Как видно из таблицы 1, наличие влаги в порошке отрицательно влияет на его текучесть.

Зависимость текучести просушенного порошка от размеров его частиц показала, что фракции порошка размерами менее 0.063 мм обладают плохой текучестью.

**Смачиваемость.** При грануляции смачиваемость порошковых материалов играет существенную роль. Преимущество

или выбор способов окомкования (сухой, мокрый, полумокрый) определяется характером смачиваемости порошка. Скорость капиллярного распространения влаги в слое порошковых материалов различна для разных фракций.

В таблице 2 приводятся результаты по смачиваемости различных фракций порошка ФПР водой в зависимости от времени.

Табл. 2. Характеристика смачиваемости порошка ФПР, %

Время контакта, мин.	Фракция порошка, мм			
	Общая проба	+0.1–0.25	+0.063–0.1	< 0.063
0	0.4	0.4	0.4	0.4
10	5.9	6.1	6.1	5.8
30	9.0	11.8	11.7	11.5
60	11.6	11.8	11.7	11.5

Из таблицы 2 видно, что выравнивание влажности в материале происходит приблизительно через 60 минут после его увлажнения. Поэтому при окомковании ФПР была включена стадия предварительного увлажнения порошка. С этой целью в процессе полумокрого окомкования исходный сухой порошок предварительно перед поступлением в окомкователь увлажняли на 60–70% от оптимального содержания жидкой фазы и выдерживали не менее 1 часа перед подачей на окатывание. При этом интенсифицируется процесс образования зародышей окатышей, процесс легче регулируется, т.к. скорость формирования окатышей не лимитируется явлениями смачивания и капиллярной пропитки порошка [2].

Слеживаемость. При длительном хранении порошка ФПР на открытом воздухе идёт обратный процесс, т.е. порошок превращается в твёрдую массу.

Грануляция порошка ФПР проводилась на лабораторном грануляторе с размерами барабана:  $D = 300$  мм,  $l = 150$  мм,  $d_{отв.} = 210$  мм.

Хорошая гидрофильность руды (сульфатной серы в руде 4.76%) способствует тому, что при увлажнении её водой образуются прочные капиллярно-адсорбционные связи между частицами, которые дают возможность проведения гранулирования путём окатывания её в барабанном грануляторе. Насыпная плотность порошка руды составляла  $2.31$  г/см<sup>3</sup>.

Было определено влияние влажности материала на образование окатышей и установлено, что наиболее удовлетворительные результаты получаются при

влажности 10–11%. Результаты этих опытов показали, что при недостатке влаги в материале образующиеся окатыши быстро разрушаются, а избыток её способствует комкуемости материала, тем самым ухудшая процесс грануляции.

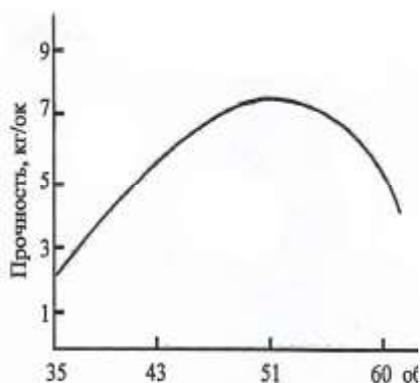
Было изучено влияние скорости вращения барабана на образование окатышей и установлено, что размеры полученных окатышей находятся в зависимости от скорости вращения барабана, т.е. для каждого класса крупности окатышей имеется определённый интервал скоростей вращения барабана. Для получения окатышей в интервале крупности +5–10 мм скорость вращения барабана составляла 50–52 об/мин. (рис. 2).

Исследовалось влияние времени окатывания на фракционный состав и прочность полученных окатышей. Установлено, что после образования гранул оптимальным временем их пребывания в зоне окатывания является 12–15 мин. (рис. 3).

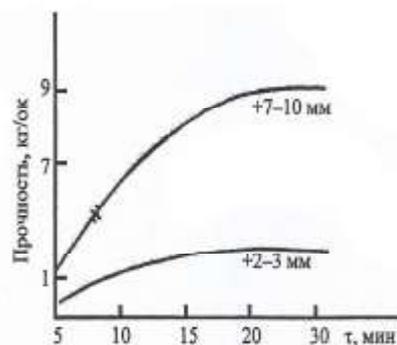
Дальнейшее увеличение времени окатывания приводит к чрезмерному уплотнению гранул, что в свою очередь ухудшает их газопроницаемость.

Изучение влияния угла наклона гранулятора на степень образования окатышей показало, что он не должен превышать 4°. В нашем случае оптимальным углом наклона гранулятора является 1.7–2°.

Гранулометрический состав окатышей, полученных в оптимальных условиях, приведён в таблице 3. Из данных таблицы 3 видно, что основную массу полученных окатышей составляют фракции размерами +5–10 мм (~ 85.0%).



**Рис.2.** Зависимость скорости окатышей от скорости вращения барабана



**Рис.3.** Зависимость прочности гранул от времени окатывания

**Табл. 3.** Гранулометрический состав окатышей ( $m = 1788$  г)

Класс крупности, мм Выход	+10	+7-10	+5-7	+3-5	-3
в граммах	236	1087	431	29	5
в %	13.20	60.79	24.11	1.62	0.28

Были определены насыпная и удельная плотности полученных окатышей, составляющие соответственно 2.26 и 3.87 г/см<sup>3</sup>, а также их пористость – 25.17%. На приборе Вика определены прочности

полученных окатышей размерами +2–3 мм и +7–10 мм в сыром виде и после сушки их на открытом воздухе, которые составляли от 1 до 1.5 кг/ок. и от 3 до 9 кг/ок. соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. Определены следующие реологические свойства порошка ФПР:

– Зависимость КВТ порошка от его влажности

– Текучесть. Имеет место только после сушки порошка

– Смачиваемость. За счет своей хорошей гидрофильности порошок ФПР хорошо смачивается водой и в течение одного часа смачиваемость во всех фракциях материала стабилизируется.

– Слеживаемость. При хранении на открытом воздухе порошок постепенно затвердевает.

2. Частичная сульфатизация ФПР и её гидрофильность дает возможность использовать воду, как связующую жидкость при окатывании в барабанном грануляторе.

3. Предварительное смачивание руды способствует быстрому образованию зародышей окатышей, уплотняющихся в дальнейшем за счет действия многочисленных микроударов. При уплотнении окатышей вода выдавливается на их поверхность, создавая тем самым условия для налипания новых порций порошка и укрупнения окатышей.

4. Образование окатышей и их размеры в основном зависят: от количества связующего (вода 10–11%), от скорости вращения барабана (50–52 об/мин.), времени окатывания материала (12–15 мин.) и угла наклона гранулятора (1,7–2°). При этих условиях прочность полученных окатышей (+5–10 мм) после их сушки на открытом воздухе достигает 9 кг/ок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. М.: Химия. 1991. 240 с.
2. Горное дело и обогащение. Т.1 // Труды Восточно-Казахстанского университета им. Д.Серикбаева. Усть-Каменогорск. 2009. 329 с.
3. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. М.: Metallurgy. 1978. 288 с.

**FİLİZÇAY POLİMETAL FİLİZ TOZUNUN BƏZİ REOLOJİ XASSƏLƏRİ  
VƏ DƏNƏVƏRLƏŞDİRİLMƏSİ**

**Q.R.Əsgərov, M.M.Əhmədov, Ç.C.Əfəndiyev, A.Ə.Heydərov**

*Üyüdülmüş (<0.25) Filizçay polimetal filizinin dənəvləşdirilməsinə təsir edən bəzi reoloji xassələri tədqiq olunmuş və baraban dənəvləşdiricisində dənəvləşmənin optimal şəraiti müəyyən edilmişdir: əlaqələndirici mayenin –suyun miqdarı – 11–12%, barabanın fırlanma sürəti – 50–52 dövr/dəq., dənəvləşmə müddəti – 12–15 dəq., dənəvləşdiricinin maillik bucağı – 1,7–2°. Optimal şəraitdə alınan və qurudulan dənəvlərin (+5–10 mm) möhkəmliyi 9 kq/dənə olmuşdur.*

*Açar sözlər: polimetal filiz tozu, reoloji xassələr, dənəvləşdirmə.*

**SOME RHEOLOGICAL PROPERTIES AND GRANULATION OF POWDER  
FROM FILIZCHAY POLYMETAL ORE**

**Q.R.Askerov, M.M.Akhmedov, Ch.J.Efendiyev, A.A.Geydarov**

*Some rheological parameters of the powder of polymetal ore influencing the process of its granulation have been established. Optimal conditions of granulation of Filizchay polymetal ore at the rotary granulator have been identified: quantity of linking water 10–11%; rates of rotation 50–52 r/min; period of dumping 12–15 min; angle of inclination of granulator 1,7–2°. Stability of obtained dumpers (+5–10 mm) after their drying in the open air is 9 kq/d.*

*Keywords: powders of polymetallic ore, rheological properties, granulation.*

*Поступила в редакцию 16.11.2012.*