

УДК 666. 646

**РЕОЛОГИЯ СИСТЕМЫ ВСКРЫШНАЯ ПОРОДА
АРГИЛЛИТОВОГО СОСТАВА - ВОДА**

Доктор техн. наук В.К. Бишимбаев
Кандидат техн. наук Д. А. Идрисов

В работе рассмотрено влияние неравновесности обеднения частиц аргиллитового порошка на его реологию. Изучено влияние технологических факторов на пластичность, тиксотропное упрочнение, пластическую прочность масс. Предложены обобщенные зависимости экструзии керамических масс из вскрышных пород.

При разработке угольных разрезов Экибастузского бассейна открытым способом на каждую тонну полезного ископаемого приходится до 2 м³ вскрышных пород. Эти породы при естественной влажности 3-5 % имеют плотность 2,0-2,5 г/см³ и предел прочности при сжатии 20-30 МПа. Такие высокие механические показатели пород связаны с их пелитовой и фитагмоалевролитовой структурой. В этой связи, несмотря на идентичность содержания оксидов, вскрышные породы качественно отличаются от глин по характеристике экструзии, что требует раскрытия особенностей реологии этих масс для проектирования формовочного оборудования.

Зерновой состав аргиллитов представлен следующим образом, %: менее 5 мм—50-58, от 5 до 10 мм—23-28, от 10 до 20 мм — 9-19, от 20-40 мм— 5-10.

Следует отметить, что специфика геологического строения и литологического состава вскрышных пород угледобычи обуславливает особенности их распределения по фракциям после дробления. С увеличением отметки горизонта залегания и приближением к верхним выветренным слоям наблюдается тенденция к увеличению количества мелких фракций. Крупные фракции чаще всего бывают представлены литологическими типами с наименьшим содержанием глинистой составляющей.

Для экспериментальной проверки вышеприведенного каждая фракция аргиллита по отдельности размалывалась до крупности менее 0,5 мм, затем определялась пластическая прочность при одинаковом влагосодержании 18 %.

Пластическая прочность порошка, полученного из различных фракций аргиллита, убывает с увеличением крупности исходной породы. Если определяемая величина для порошка, полученного из фракции породы менее 5мм, составляет 0,125 МПа, то из фракций породы 5-10, 10-20 и 20-40 мм соответственно составляет 0,118; 0,105 и 0,095 МПа. В этом же ряду убывает и интервал пластического состояния, от 1,9 до 1,5 %.

Аргиллиты относятся к трудноразмокаемым породам, следовательно уровень обводнения его частиц зависит от их дисперсности. Усредненную пробу породы размалывали до полного прохождения через сито 0,5, 0,25 и 0,125 мм. Пластическую прочность проб определяли при влагосодержании 18 %. Она составила для указанных фракций соответственно 0,11, 0,17 и 0,22 МПа. Эти данные свидетельствуют, что в порошках аргиллита различной дисперсности между частицами создается равновесная прослойка жидкой дисперсионной среды, толщина которой резко меняется, т.е. свободная энергия системы колеблется в широких пределах. Однако во влагоизолированном состоянии с течением времени эти различия сглаживаются. Так пластическая прочность проб различной дисперсности к 10-ти дневному сроку выравнивается на уровне 0,30 МПа. Это свидетельствует о том, что с течением времени прослойки жидкой дисперсионной среды утончаются и свободная энергия системы стремится к минимуму. Следовательно, при оценке реологических характеристик аргиллитов трудно оперировать интегральным влагосодержанием системы без риска значительных погрешностей.

Таким образом, выявлено, что пластическая прочность аргиллитов существенно зависит, кроме факторов, традиционных для глин, также от крупности исходной породы, дисперсности порошка, длительности увлажнения. Обобщенно на реологию аргиллитовых пород решающее влияние оказывает степень соответствия между дискретным и общим влагосодержанием.

Реологические свойства аргиллитовых пород носят многофакторный характер. В зависимости от дисперсности, влагосодержания, длительности предварительного увлажнения они имеют различную пластическую прочность в пределах рабочей консистенции. При этом аргиллитовые массы могут формоваться как на обычных ленточных прессах СМК- 325 и СМК- 217 с давлением в головке пресса 1,6-2,0 МПа, так и новых типах прессов СМК- 376 с давлением в головке пресса 3,0 МПа и СМК- 482 с давлением в головке 7,0 МПа. Процесс экс-

трузии на указанных прессах соответственно называют пластическим, полужестким и жестким, имея в виду понижение в указанном ряду экструзионного влагосодержания.

Очевидно, что реологические свойства экструзионных масс, а также давление прессования однозначно определяют скорость экструзии, т.е. производительность оборудования.

Выпускаемые в СНГ и вновь разрабатываемые в настоящее время ленточные прессы образуют типоразмерный ряд прессов производительностью 30, 50 и 100 т/ч, предназначенных для оснащения технологических линий предприятий годовой мощностью 15-18, 30 и 75 млн. шт. условного кирпича.

Соответствие вскрышных пород для формования на указанных прессах можно установить опытным путем. Трудоемкость этой задачи значительно облегчается, если пользоваться обобщенными зависимостями экструзии, полученными из теории размерностей.

Этот подход основан на относительности понятия размерных и безразмерных величин, подчиненности выбора единиц измерения от исследователя, что позволяет рассматривать структуру функциональных зависимостей между размерными величинами, выражающих собой физические закономерности, инвариантные относительно выбора систем единиц измерения. Общий вывод теории размерности, под названием П- теоремы заключается в следующем: связь, не зависящая от выбора системы единиц измерения, между $p+1$ размерными величинами a, a_1, \dots, a_i , из которых K имеют независимые размерности, может быть представлена в виде соотношения между $p+1-K$ величинами $\Pi, \Pi_1, \dots, \Pi_{p-K}$, представляющими собой безразмерные комбинации из $p+1$ размерных величин. Всякое физическое соотношение между размерными величинами можно сформулировать как соотношение между безразмерными величинами.

Рассмотрим структуру функциональной зависимости между давлением прессования F_n и другими параметрами экструзии вскрышных пород, от исчерпывающей совокупности которых зависит величина F_n . Такими параметрами являются пластическая плотность P_m , средняя плотность свежеформированного сырца γ_0 и скорость экструзии v_s . В совокупности функциональная зависимость указанных параметров определяет связь между прочностью сырца, производительностью и энергетической потребностью пресса.

Итак, мы имеем размерную величину F_n , которая является функцией независимых между собой размерных величин P_m, γ_0, v_s :

$$F_n = f(P_m, \gamma_0, v_s) \quad (1)$$

В правой части уравнения (1) имеются три размерные величины с независимыми размерностями.

Независимость размерностей означает, что формула, выражающая размерность одной из величин, не может быть представлена как комбинация в виде степенного одночлена формул размерности для других величин. Следовательно, из них нельзя образовать безразмерной комбинации, и поэтому функциональная зависимость (1) может быть представлена в виде:

$$F_n = CP_m^{n_1} \gamma_0^{n_2} v_0^{n_3}, \quad (2)$$

где: С - безразмерная постоянная, а степенные показатели n_1 , n_2 , n_3 легко определяются с помощью формулы размерности для F_n [кг/м³ × с²]:

$$F_n = CP_m^{1/2} \gamma_0^{1/2} v_0^{1/3}. \quad (3)$$

Безразмерную постоянную С можно определить, подставив в (3) результаты единичного эксперимента по экструзии сырца.

Таким образом, обобщенные зависимости экструзии аргиллитовых вскрышных пород приняли вид:

$$F_n = 0.76 \times 10^3 P_m^{1/2} \gamma_0^{1/2} v_0, \quad (4)$$

Полученное уравнение позволяет проектировать формующий агрегат при заданных характеристиках материала, или проектировать свойства материала при заданных характеристиках агрегата. При изменении каких-либо параметров экструзии отпадает необходимость в проведении дополнительных экспериментов для установления степени влияния этих изменений. Искомые параметры могут быть определены расчетным путем из уравнения (4).

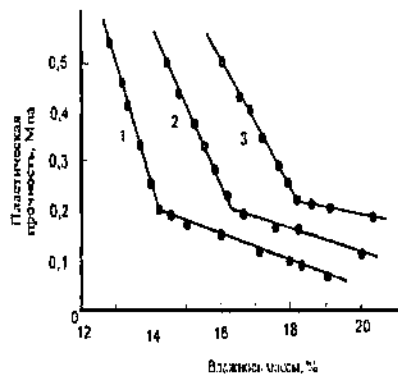
Уровень оводнения аргиллитовых частиц зависит от дисперсности и длительности вылеживания. Наибольшая степень несоответствия между дискретным и общим влагосодержанием наблюдается сразу после увлажнения аргиллитового порошка. Неравновесность состояния оводнения частиц сохраняется и после переработки массы перед формованием изделий. На этом явлении основана возможность экструзии аргиллитовых керамических масс пониженной влажности.

Степень неравновесности оводнения частиц аргиллитового порошка влияет на формовочную влажность массы:

В первой серии экспериментов определяли зависимость «пластическая прочность - влажность» для порошков аргиллита различной дисперсности без вылеживания 4-формовочной массы (рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что с уменьшением дисперсности порошка аргиллита формовочная влажность сдвигается в сторону меньших влагосодержаний, а соответствующая ей пластическая прочность незначительно падает. Также заметно, что кривые пластической прочности с увеличением дисперсности порошка выполаживаются, что свидетельствует об увеличении пластичности массы.

Зависимость пластической прочности аргиллитовых масс от влажности



1, 2 и 3 - максимальная крупность порошка, соотв. 0,5; 0,25 и 0,125 мм

Рисунок 1

Во второй серии экспериментов определяли пластическую прочность тех же образцов, что на рисунке 1, но предварительно выдержанных во влагоизолированном состоянии в течение 10 суток (рисунок 2).

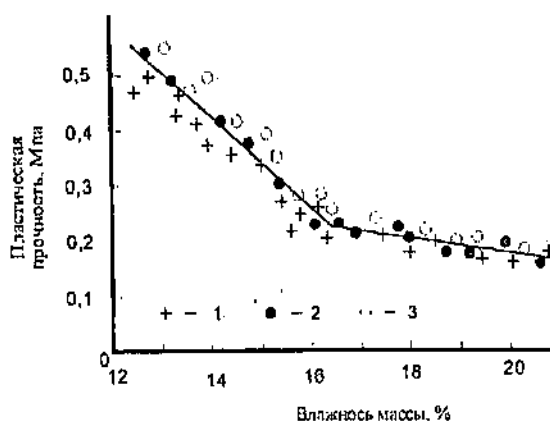
Как видно из рисунка 2, после 10-суточного вылеживания пластическая прочность аргиллитового порошка различной дисперсности группируется вдоль одной кривой, близкой к кривой пластической

прочности наиболее дисперсного порошка. Полученную кривую можно назвать равновесной, при которой прекращается тиксотропное упрочнение аргиллитового сырья.

Из полученных данных видно, что условиям жесткого формования керамического кирпича отвечает аргиллитовый порошок крупностью - 0,5 мм при влажности 14-15 %.

Известно, что вакуумирование улучшает пластичность глин. Установлено, что наиболее резкое возрастание пластичности глины происходит при разрежении в вакуумкамере свыше 700 мм рт.с. за счет удаления микродисперсного прилипшего воздуха и дополнитель-

Пластическая прочность аргиллитовых масс после вылеживания в течение 10 суток



1, 2 и 3 - максимальная крупность порошка, соотв. 0,5; 0,25 и 0,125 мм

Рисунок 2

ной гидрофилизацией глинистых частиц. Пластичность керамической массы, имеющая существенное значение для процесса формовки керамических изделий, определяется, в частности, пластической прочностью. Пластическая прочность позволяет судить о нормальной формовочной консистенции массы, о равномерности влагосодержания, о тиксотропном упрочнении вакуумированной массы при вылеживании и, наконец, о сушильных свойствах массы, поскольку, как показано

А.В.Лыковым, трещинообразование керамических изделий в процессе сушки возникает в результате деформации сдвига.

Следовательно, изменение пластической прочности аргиллитовой массы в процессе вакуумирования представляет особый интерес.

Нами было показано, что пластическая прочность аргиллитовых масс зависит от дисперсности измельченного порошка и крупности исходной породы. Последнее связано со спецификой геологического строения и литологического состава вскрышных пород угледобычи: с увеличением отметки горизонта залегания и приближением к верхним выветрелым слоям наблюдается тенденция к увеличению количества мелких фракций. Крупные фракции чаще всего бывают представлены литологическими типами с наименьшим содержанием глинистой составляющей.

В качестве объектов экспериментального изучения выбраны три порошка аргиллита вскрышных пород угледобычи с максимальной дисперсностью 0,6 мм, но полученные измельчением исходных пород различной фракции: менее 5 мм, 5-10 мм и 10-20 мм.

Поскольку при вакуумировании влажность массы падает на 1,5-2,0 %, количество воды, добавляемой к сухому порошку для получения рабочей формовочной влажности 15 %, соответственно повышалось.

Вакуумирование производилось на лабораторном ленточном вакуум-прессе с перфорированной решеткой, помещенной в вакуумкамере, для продавливания глины в виде тонких лент. Время пребывания глины в прессе при нормальной работе составляло 4-5 минут, а средняя скорость прохождения - 0,5 м/с.

Разряжение в камере создавалось масляным вакуум-насосом в пределах 300-700 мм рт.ст. и измерялось U-образным ртутным вакуумметром с компенсатором, исключающим возможность выброса ртути при неравномерной работе насоса.

Вакуумированная глина разрезалась на брусы, размером 80x80x300 мм, которые немедленно погружались в нейтральное машинное масло для хранения до опытов. При этом масло остается в тонком поверхностном слое (до 1 мм), который легко удалялся перед испытанием.

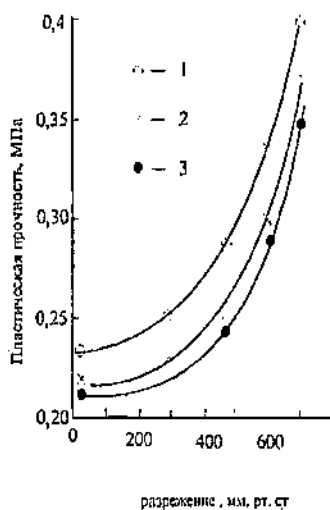
Пластическую прочность образцов определяли методом конического пластометра. В начале опыта из свежесформированного бруса режущим краем цилиндрической обоймы вырезали образец - цилиндр диаметром 60 мм и высотой 80 мм. Такие размеры образца исключали влияние обоймы на погружение конуса в массу. Верхняя открытая поверхность образца смазывалась тонким слоем машинного масла для предупреждения испарения влаги в процессе опыта.

Результаты определения пластической прочности вакуумированного аргиллита показаны на рисунке 3.

После вакуумирования аргиллитовые массы пониженной влажности приобретают пластическую прочность, достаточную для штабельной укладки свежеформированного сырца. Это позволяет в производстве стеновой керамики из аргиллитовых масс применить прогрессивную технологию штабельной сушки кирпича - сырца, исключая значительную часть трудоемких транспортно-укладочных операций.

На рисунке 3 видно, что с повышением степени вакуума при постоянной влажности пластическая прочность вакуумированной массы возрастает. Это объясняется уплотнением глины в процессе вакуумирования, в результате чего происходит повышение сцепления за счет сближения глинистых частиц. Повышение пластической прочности с увеличением степени вакуумирования происходит неравномерно. Для низкого вакуума (300 мм рт.ст.) характерно незначительное увеличение пластической прочности. Наиболее интенсивно пластическая прочность растет при глубоком вакууме.

Зависимость пластической прочности аргиллита от степени разрежения в вакуумкамере



1,2 и 3 - крупность исходной породы аргиллита, соотв. менее 5 мм, 5-10 мм и 10-20 мм

Рисунок 3

Следовательно, удаление микродисперсного воздуха в процессе вакуумирования влияет на увеличение пластической прочности аргиллита гораздо больше, чем удаление механически захваченного макродисперсного воздуха. Значительную роль здесь играет дефлокуляция частиц, способствующая увеличению числа и площади контактов в единице объема.

Известно, что боковые поверхности (ребра) глинистых кристаллов по своему поведению отличаются от отрицательно заряженных (гидрофильных) плоских поверхностей и имеют амфотерный характер/1/.

Измельченный и увлажненный аргиллит представляет собой гидрофильное коллоидное капиллярно-пористое тело, которое можно рассматривать как дисперсную систему твердое - вода - воздух. В этой системе имеются гидрофобизованные участки твердой фазы (например, ребра кристаллов), на которых при измельчении аргиллита происходит мгновенная адсорбция газов воздуха. Гидрофобизация твердых частиц в водной сфере влечет за собой примыкание этих частиц к газовым пузырькам с прорывом прослойки водной дисперсионной среды и с образованием конечного краевого угла вдоль трехфазной границы по А.Фрумкину /11/.

Наряду с адсорбированным и микродисперсным воздухом, в керамических массах присутствует и макродисперсный воздух, механически захваченный при переработке увлажненной массы. Следует предположить, что последняя форма связи воздуха преобладает в грубодисперсной аргиллитовой массе. В совокупности образовавшиеся воздушные включения, в конечном счете, отрицательно влияют на физико-механические свойства керамики.

Воздушная эмульсия, неравномерно распределенная в вязкой среде, как правило, рассматривается в качестве компонента, нарушающего связность и понижающий эластичность массы /3, 4/, хотя противоположное мнение отводит воздушной фазе роль смазки, понижающей трение между твердыми частицами /5, 6/.

Исследование влияния вакуумирования на пластичность аргиллита вскрышных пород Экибастузского угольного бассейна показало, что с повышением степени вакуума (падением содержания воздуха в массе) пластичность резко увеличивается (рисунок 4). В этих экспериментах дисперсность аргиллита составляла - 0,6 мм, влагосодержание 14 %. Вакуумирование производилось в вакуум камере при разрежении 200-700 мм рт.ст. Количество воздуха в вакуумированной массе определялось путем измерения с помощью мерной трубки воздуха, выделенного в момент распускания массы в воде.

Кривая полученной зависимости имеет два участка: криволинейный от начального воздухосодержания до содержания воздуха в массе

1,3 % и далее прямолинейный. Замедленное увеличение пластичности в начале вакуумирования (низкий вакуум), по-видимому, связан с удалением механически связанного макродисперсного воздуха, имеющего наименьшую энергию связи. При этом местами может происходить физическое нарушение связности массы, снижающее позитив роста числа контактов частиц в единице объема тела.

Начиная с воздухосодержания 1,3 % эффективность дезаэрации аргиллита резко возрастает, что необходимо рассматривать с точки зрения повышения гидрофильности твердой фазы. Гидрофобные участки поверхности твердых частиц, отдавая газовую оболочку, становятся силовым полем, связывают дополнительное количество воды. Дополнительная сольватация способствует повышению пластичности массы. Однако цена подобного эффекта - высокая: необходим глубокий и продолжительный вакуум, чтобы удалить адсорбированный и микродисперсный воздух. Из рисунка 4 видно, что соотношение легко- и трудноудаляемого воздуха в увлажненном аргиллите - в пользу первого (2:1).

Влияние вакуумирования на пластичность аргиллита

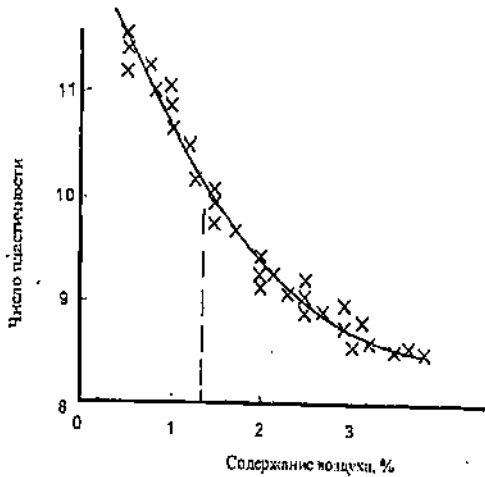


Рисунок 4

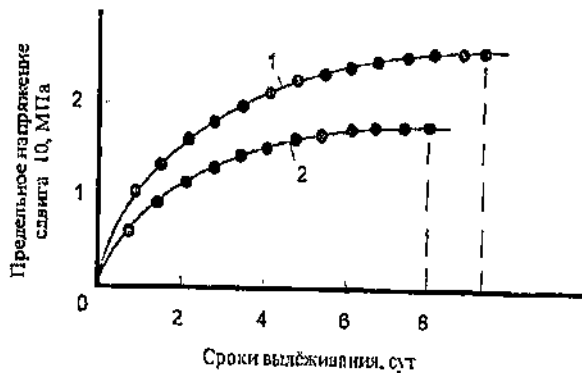
В связи с тем, что нами ранее была установлено сравнительно длительное тиксотропное упрочнение аргиллитовых масс [7], исследовали влияние дезаэрации на кинетику роста предельного напряжения сдвига исследуемого материала. Влияние дезаэрации на тиксотропию

аргиллита предсказуемо, т.к. механизм тиксотропии тесно связан с развитием водной оболочки частиц.

Предельное напряжение сдвига определяли методом конического пластометра /8/. Усредненную пробу аргиллитовон породы размалывали до полного прохождения через сито 0,6 мм и увлажняли (14 %). Результаты эксперимента показаны на рисунке 5.

На рисунке 5 видно, что тиксотропное упрочнение невакуум ирванной массы продолжается около 10 суток, а вакуумированной - 8 суток, однако по абсолютной величине оно меньше для вакуумированной массы. Пониженная способность глубоко вакуумированной массы (разрешение 700 мм рт.ст.) можно объяснить гидрофилизацией твердой фазы. При увеличении толщины водной прослойки между частицами она с расстоянием теряет прочностные свойства и начинает действовать как истинно-вязкая жидкость. В результате частицы дисперсной фазы оказываются разделенными слоем гидродинамической смазки, а вся система в целом, становясь более пластичной, в значительной мере теряет способность к тиксотропии благодаря уменьшению числа структурообразующих элементов в единице объема /9/.

Кинетика тиксотропного упрочнения аргиллитовой массы



1- невакуумированная масса; 2- вакуумированная масса

Рисунок 5

В невакуумированной глине гидратные оболочки водной дисперсионной среды прорываются на гидрофобных участках поверхности

твёрдой фазы и в этих участках частицы сцепляются с помощью микропузырьков, прилипающих с образованием конечного краевого угла/10/. В результате вся система приобретает некоторую жесткость и механическую прочность с образованием дополнительной флокуляционной структуры /10/, имеющей сильно выраженный тиксотропный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уоррел У. Глины и керамическое сырье-М.: Мир, 1978. - 237с.
2. Фрумкин А.Н., Журнал физической химии, т.12, №4, 1938.-С. 14-21.
3. Strainght H. Brick and ClayRec.,87, 40(1935).
4. Морозов В.И. Физические основы пластического формования кирпича -М.: Стройиздат, 1973. - 135с.
5. Garve T., Bull. Am Cer. Soc., 15, 335 (1936).
6. BrandJ..Ibid.,5,35(1922).
7. Идрисов Д.А. Пластическая прочность аргиллитовых масс пород угледобычи Экибастузского месторождения // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог -Материалы международных научно-технических конференций - Алматы, 1998.- С. 171- 172.
8. Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики - Киев: Наукова думка, 1968 - 76с.
9. Серб-Сербина Н.Н., Рябиндер П.А. Колл. Журнал, 9, 384 (1947). Ю.Рябиндер П.А. Роль газов и реагентов в процессах флотации // сб.статей, АН СССР.1950.-С. 42-49.

Таразский государственный университет им.М.Х.Дулати

АРГИЛЛИТ ҚУРАМДЫ АШЫЛҒАН ЖЫНЫСТАР-СУ СИСТЕМАСЫНЫҢ РЕОЛОГИЯСЫ

Техн.ғыл.докторы У.Қ.Бишімбаев
Техн.ғыл.канд. Д.А.Идрисов

Бұл жұмыста аргиллит ұнтақ бөлшектерін суландырудың реологиясына ықпалы қарастырылған. Массалардың пластикалық беріктілігіне тиксотропты қатаюына технологиялық факторлардың ықпалы зерттелген. Ашылған жыныстардан алынған керамикалық массалар экструзиясының жалпыландырылған тендеуі алынған.