

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Член-корреспондент АН СССР П. П. БУДНИКОВ и И. А. АЛЬПЕРОВИЧ

О ПРЕДЕЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ СДВИГА И ВНУТРЕННЕМ ТРЕНИИ ВАКУУМИРОВАННОЙ ГЛИНЫ

В предыдущих работах (¹⁻³) нами показано возрастание пластичности глины с увеличением степени ее вакуумирования. Там же установлено, что наиболее резко возрастание пластичности глины происходит при разрежении 700 мм рт. ст. и выше за счет удаления микродисперсного прилипшего воздуха в связи с дополнительным оводнением твердых глинистых частиц. Пластичность глины, имеющая существенное значение для процесса формовки керамических изделий, определяется ее физико-механическими свойствами: предельным напряжением сдвига и внутренним трением. Следовательно, эти факторы также зависят от наличия воздушной фазы в глинистой массе. Настоящее сообщение имеет целью показать зависимость предельного напряжения сдвига и внутреннего трения глины от степени удаления воздуха из массы в процессе вакуумирования.

В качестве объектов исследования использованы легкоплавкие монтмориллонитовые глины с последовательным понижением числа пластичности по Аттербергу: бескудниковская 17,5, кучинская 10,1, ашхабадская 4,77. Удаление воздуха из пластичной глинистой массы производилось в вакуум-камере ленточного пресса при разрежении 300—740 мм рт. ст. Предельное напряжение сдвига P_m исследованных глин, вакуумированных при различной степени разрежения, определялось методом погружения конуса, разработанным П. А. Ребиндером с сотр. (^{4, 5}). Коэффициент внутреннего трения f определялся на приборе ДОРНИИ, сконструированном по принципу одноплоскостного среза. Все исследования проводились на образцах с нормальной формовочной влажностью, отклонения от которой не превышали $\pm 0,1\%$.

Рис. 1 показывает, что с повышением степени вакуума при постоянной влажности предельное напряжение сдвига вакуумированной глины возрастает. Это объясняется уплотнением глины в процессе вакуумирования, в результате чего происходит повышение сцепления за счет сближения глинистых частиц. Увеличение предельного напряжения сдвига с повышением степени вакуума происходит неодинаково на различных стадиях вакуумирования. Для низкого вакуума (300 мм рт. ст.) характерно незначительное увеличение P_m (на 4,5—16%), тогда как при высоком вакууме (740 мм рт. ст.) предельное напряжение сдвига вакуумиро-

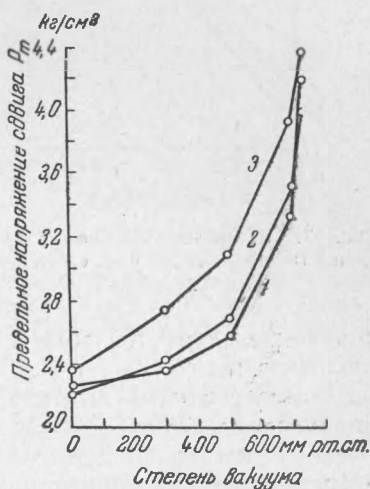


Рис. 1. Зависимость предельного напряжения сдвига глины от степени вакуума. 1 — бескудниковская глина, 2 — кучинская, 3 — ашхабадская

ванных глин увеличивается в сравнении с невакуумированными на 80—85%.

Из рис. 1 видно, что увеличение предельного напряжения сдвига бескудниковской глины в диапазоне 0—300 мм рт. ст. происходит всего лишь на 0,1 кг/см², а увеличение предельного напряжения сдвига кучинской глины в том же диапазоне — на 0,21 кг/см². С другой стороны, при высоком вакууме в диапазоне 700—740 мм рт. ст. P_m бескудниковской глины увеличивается на 0,85 кг/см², P_m кучинской глины — на 0,51 кг/см².

Следовательно, удаление микродисперсного прилипшего воздуха в процессе вакуумирования влияет на увеличение предельного напряже-

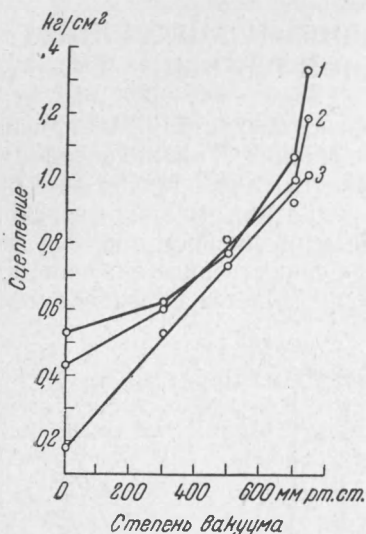


Рис. 2. Зависимость сцепления глины от степени вакуума. Обозначения см. рис. 1

сцепление глинистой массы (грунта) увеличивается с повышением ее дисперсности.

Интересно отметить, что величина P_m тощей ашхабадской глины в диапазоне 0—300 мм рт. ст. увеличивается на 0,38 кг/см², а в диапазоне 700—740 мм рт. ст. — на 0,44 кг/см², т. е. разница в увеличении предельного напряжения сдвига при высоком и низком вакууме, в отличие от пластичных глин, незначительна. Это объясняется, с одной стороны, равномерным увеличением сцепления ашхабадской глины с повышением степени вакуума (рис. 2), а с другой, отсутствием заметной дефлокуляции при высоком вакууме (6).

В отличие от тощей ашхабадской глины, повышение сцепления пластичных бескудниковской и кучинской глин происходит неравномерно. В диапазоне 700—740 мм рт. ст. сцепление пластичных глин возрастает особенно резко, что вполне гармонирует с резким возрастанием предельного напряжения сдвига (рис. 1). Более высокие величины предельного напряжения сдвига ашхабадской глины по сравнению с кучинской и бескудниковской глинами при одинаковой степени вакуума обусловлены меньшей формовочной влажностью ашхабадской глины, поскольку величина P_m резко возрастает с уменьшением влажности.

Характеристика пластичности, и следовательно, формовочной способности глинистой массы не исчерпывается предельным напряжением сдвига и сцеплением. Необходимым звеном в изучении пластичности глины является определение ее внутреннего трения. Рис. 3 указывает на понижение коэффициента внутреннего трения глины с увеличением степени

ния сдвига пластичных глин гораздо больше, чем удаление механически захваченного макродисперсного воздуха. Это объясняется не только большим уплотнением бескудниковской и кучинской глин при высоком вакууме. Значительную роль здесь играет явление дефлокуляции (6), поскольку сцепление глинистых частиц, обусловленное проявлением молекулярных сил, возрастает не только по мере их сближения, но и с увеличением числа и площади контактов. Дефлокуляция глинистых частиц (агрегатов) в процессе глубокого вакуумирования способствует увеличению площади сцепления и тем самым, дополняя фактор уплотнения, еще более резко повышает предельное напряжение сдвига.

Указанный вывод подтверждается как непосредственными опытами по определению сцепления (см. рис. 2), проведенными на приборе ДОРНИИ, так и данными, имеющимися в литературе (7, 8), согласно которым, при прочих равных условиях,

вакуума. Бросается в глаза резкое различие в характеристике кривых высокопластичной бескудниковской и среднепластичной кучинской глин, с одной стороны, и тощей ашхабадской глины, с другой. У пластичных глин основное понижение коэффициента внутреннего трения происходит при высоком вакууме и связано с удалением микродисперсного прилипшего воздуха, тогда как у тощей глины резкое падение коэффициента внутреннего трения имеет место при низком вакууме в связи с удалением воздуха, механически захваченного при увлажнении. Таким образом, можно сделать вывод, что воздух в глине, в какой бы форме он ни был, не может играть роль «смазки», понижающей внутреннее трение между частицами. Наоборот, как макро-, так и микродисперсный воздух являются факторами, повышающими внутреннее трение и понижающими пластичность глины.

Из рис. 3 видно, что глубокое вакуумирование пластичных глин влияет на понижение коэффициента внутреннего трения более резко, чем глубокое вакуумирование тощей глины. Так например, коэффициент внутреннего трения бескудниковской глины при вакууме 740 мм рт. ст. падает в 9 раз в сравнении с невакуумированной, тогда как коэффициент внутреннего трения ашхабадской глины падает при идентичном вакууме лишь в 2,5 раза. Из рис. 3 видно, кроме того, что наиболее резко величина коэффициента внутреннего трения пластичных глин снижается в диапазоне 700—740 мм рт. ст. Это явление, повидимому, также можно связать с дефлокуляцией глинистых частиц (агрегатов), имеющей место при высоком вакууме.

В литературе встречаются данные, свидетельствующие о том, что чем более дисперсен глинистый грунт, тем, при прочих равных условиях, меньше угол внутреннего трения^(8, 9). Результаты наших опытов (рис. 3) также подтверждают это правило: коэффициент внутреннего трения невакуумированной грубодисперсной ашхабадской глины приблизительно в два раза больше коэффициента внутреннего трения невакуумированных тонкодисперсных глин. Грубодисперсность ашхабадской глины в сочетании с ее физико-химической инертностью и неспособностью к дефлокуляции проявляется также в том, что предельно низкая величина коэффициента внутреннего трения этой глины, достигнутая при вакууме 740 мм рт. ст., остается все еще очень высокой ($f = 0,27$), намного превосходящей величину коэффициентов внутреннего трения бескудниковской ($f = 0,04$) и кучинской ($f = 0,09$) глин при том же вакууме. Большая величина коэффициента внутреннего трения ашхабадской глины в значительной мере является причиной ее высокого предельного напряжения сдвига (рис. 1). Возможно, что падение коэффициента внутреннего трения при вакуумировании ашхабадской глины, особенно при низком вакууме в связи с удалением микродисперсного воздуха, обусловлено, как и повышение пластичности^(2, 3), увеличением подвижности жидкой фазы в результате устранения поверхностного натяжения на границе макропузырьков — вода, т. е. устранения менисков, играющих всегда связующую роль.

Рис. 3 косвенно показывает, что коэффициент внутреннего трения ис-

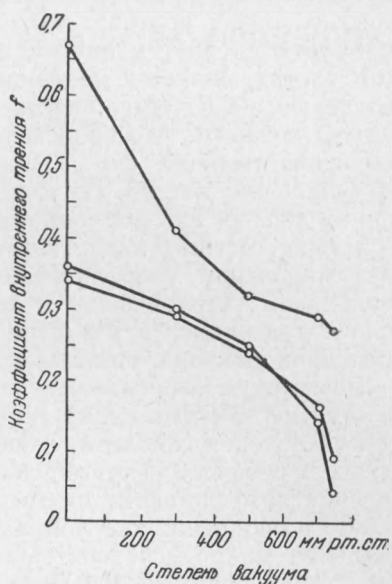


Рис. 3. Зависимость коэффициента внутреннего трения глины от степени вакуума. Обозначения см. рис. 1

следуемых глин, падая с увеличением степени вакуума, вместе с тем падает с повышением плотности испытуемых образцов. Падение коэффициента внутреннего трения глины с повышением ее плотности кажется нелогичным. Однако такая же закономерность наблюдалась рядом исследователей (⁸⁻¹⁰). Для объяснения этого явления следует указать, что коэффициент внутреннего трения представляет собой лишь часть предельного напряжения сдвига, зависящую от внешнего давления.

В тонкодисперсных пластичных глинах влияние внешнего давления на взаимодействие между частицами сравнительно невелико (⁸). Чем дисперснее глина, чем мельче ее частицы, тем незначительнее нагрузка, нормальная к плоскости сдвига, приходящаяся на каждую частицу. Поэтому в точках контакта такие частицы под действием нагрузки «мало вдавливаются друг в друга», и, следовательно, трение, возникающее в этом случае, является менее значительным, чем трение между крупными частицами, на которых передается большая часть нагрузки (⁸). К этому следует добавить, что происходящее при вакуумировании дополнительное оводнение твердой фазы, повидимому, вообще исключает взаимное «вдавливание» частиц. На наш взгляд, можно лишь говорить о «вдавливании» водных адсорбционно-связанных оболочек частиц, которое влияет на трение системы менее значительно. Поэтому уплотнение массы при вакуумировании, сопровождаемое для пластичных глин дополнительным оводнением твердой фазы и дефлокуляцией частиц, не вызывает увеличения коэффициента внутреннего трения. Наоборот, превалируют два последних фактора, понижающих внутреннее трение.

Резюмируя вышеизложенное, следует подчеркнуть, что с увеличением степени вакуума предельное напряжение сдвига глин возрастает за счет увеличения сцепления глинистых частиц, обусловленного уплотнением глины в процессе вакуумирования. Вместе с тем при этом наблюдается падение коэффициента внутреннего трения массы вследствие дополнительного оводнения твердой фазы и дефлокуляции глинистых частиц при удалении микродисперсного прилипшего воздуха, а также вследствие увеличения подвижности жидкой фазы при удалении механически захваченного макродисперсного воздуха.

Следовательно, глубокое вакуумирование (700—740 мм рт. ст.), повышая предельное напряжение сдвига и одновременно понижая внутреннее трение глины, тем самым увеличивает ее пластичность и улучшает формовочную способность, что имеет существенное значение для керамической технологии.

Поступило
12 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. А. Альперович, П. П. Будников, ДАН, 79, 651 (1951).
² П. П. Будников, И. А. Альперович, ДАН, 81, 659 (1951). ³ П. П. Будников, И. А. Альперович, ЖПХ, 25, 244 (1952). ⁴ П. А. Ребиндер, Н. А. Семененко, ДАН, 64, 835 (1949). ⁵ Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер, Колл. журн., 10, 323 (1943). ⁶ И. А. Альперович, Диссертация, МХТИ им. Менделеева, 1953. ⁷ Н. Я. Денисов, О природе деформаций глинистых пород, 1951. ⁸ Г. И. Покровский, Трение и сцепление в грунтах, 1941. ⁹ Н. М. Герсевич, Д. Е. Польшин, Теоретические основы механики грунтов, 1948.
¹⁰ А. А. Ничипорович, Сопротивление связных грунтов сдвигу, 1948.