

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ АДГЕЗИОННЫХ КОНТАКТОВ В СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕСЧАНЫХ СМЕСЯХ

В.А. Смолко, Е.Г. Антошкина

ON FORMATION OF ADHESIVE CONTACTS IN SYNTHETIC SAND MIXTURES

V.A. Smolko, E.G. Antoshkina

Рассмотрен вопрос формирования адгезионных контактов в синтетических песчаных смесях. Выявлено, что прочность синтетических песчаных смесей определяется характером и количеством адгезионных контактов. Приведена формула для оценки прочности синтетических песчаных смесей с учетом адгезионных контактов.

Ключевые слова: синтетические песчаные смеси, адгезия, прочность смесей.

The paper deals with the question of adhesive contacts in synthetic sand mixtures. It is revealed that the strength of synthetic sand mixtures depends on the nature and quantity of adhesive contacts. A formula for estimating the strength of synthetic sand mixtures is presented.

Keywords: synthetic sand mixtures, adhesion, strength of mixtures.

Синтетические формовочные (стержневые) смеси – это гетерогенные поликомпонентные системы с сильно развитой межфазной поверхностью и вследствие этого обладающие избыточной поверхностной энергией. В процессе структурообразования часть энергии, образующаяся в поверхностных слоях смеси, формирующих рабочую поверхность формы или стержня, расходуется на взаимодействие частиц, определяя механическую прочность образующейся поверхностной структуры. Доля скомпенсированной поверхностной энергии зависит от характера образующихся контактов: коагуляционных, фазовых или точечных. В случае коагуляционного структурообразования величина поверхностной энергии незначительна по сравнению с общей избыточной энергией системы. В коагуляционных контактах взаимодействие частиц ограничивается их соприкосновением через прослойку связующего. Такая структура наблюдается, например, в глинистых суспензиях, она имеет место и в синтетических песчано-глинистых смесях. Прочность коагуляционных контактов определяется в основном силами молекулярного взаимодействия и в соответствии с теорией молекулярных взаимодействий конденсационных фаз Де Бура-Гаммакера зависит от размера частиц (их радиуса) [5].

В противоположность коагуляционным прочность фазовых контактов обусловлена близкостоящими силами когезии, реализуемыми на значительных площадках. Фазовый контакт представляет собой сложный комплекс, на прочность которого влияет адгезия связующего к поверхности песка, и когезия, а также другие факто-

ры (размеры и форма манжеты, внутренние напряжения, природа связующего и др.).

Площадь контактов, а следовательно, и способность образующейся структуры сопротивляться внешним механическим воздействиям зависят от условий коагуляции. Меняя условия коагуляционного структурообразования, можно изменять величину поверхностной энергии системы и таким образом целенаправленно регулировать прочность получаемой структуры.

Оценка прочности образующейся структуры может быть получена на основе двух микроскопических параметров: 1 – средней величины силы взаимодействия частиц на индивидуальном контакте; 2 – количестве таких контактов на единицу площади поверхности разрушения стержня или формы:

$$P = f_a N_s,$$

где P – прочность; f_a – средняя величина силы взаимодействия частиц на индивидуальном контакте; N_s – количество контактов на единицу площади поверхности разрушения стержня или формы [1].

Величина f_a в первом приближении может быть определена по теории ДЛФО на основании некоторых допущений относительно средней толщины пленки адсорбированной воды в зоне контакта, геометрии контакта, распределения заряда по поверхности частиц, структуры двойного электрического слоя и т. д. Вместе с тем эксперименты показывают, что в ряде случаев подобные расчеты лишь ориентировочные, поскольку не учитывают ряда специфических особенностей кристаллохимического строения природных глинистых мине-

ралов, их энергетического состояния в различных средах и, особенно, при изменении рН среды.

Установлено, что структура глинистых систем и ее прочность резко изменяются при переходе от кислой к щелочной среде. Это явление связано с тем, что боковые сколы глинистых минералов в зависимости от рН могут изменять плотность и знак поверхностных зарядов. Последнее обусловлено образованием на боковых сколах глинистых частиц соединений алюминия, которые при переменных значениях рН ведут себя как типичные амфотерные вещества, диссоциируя по щелочному типу при $\text{pH} < 7$ и по кислому типу при $\text{pH} > 7$. В результате в кислой среде на боковых сколах возникает поверхностный заряд положительного знака, а в щелочной среде – отрицательного. Изменение величины и знака зарядов на боковых сколах частиц существенно влияет на условия структурообразования поверхностных слоев формы или стержня, которые не приняты в расчет классической теорией ДЛФО. В кислой и нейтральной средах между глинистыми частицами кроме молекулярных и ионно-электростатических взаимодействий, учитываемых теорией ДЛФО, появляются чисто электростатические (дипольные) взаимодействия между отрицательно заряженными базисными поверхностями и отрицательно заряженными сколами частиц с образованием контакта типа базис-скол. В щелочной среде характер взаимодействия меняется: появление на боковых сколах частиц дополнительного отрицательного заряда повышает стабилизацию частиц [3].

Параметр N_s определяется размером, формой и характером упаковки зерен кварцевого песка и других ингредиентов в структуре. В настоящее время его величина определяется на основе глобулярной пористой системы, предложенной П.А. Ребиндером, Е.Д. Шукиным и Л.Я. Марголисом [4]. Однако для ПГС ее применение будет неравномерным, так как она не учитывает анизотропию формы глинистых частиц, зерен кварцевого наполнителя, разную величину их поверхностной энергии, специфику геометрии контактов и образующейся структуры. Применительно к глинистым минералам и образованным из них структурам возможно применение модели «перекашивающегося карточного домика».

Разделение контактов на два типа условно, поскольку трудно однозначно провести между ними четкую границу.

Принципиальное различие указанных двух типов контактов заключается в полной обратимости коагуляционных и необратимости фазовых контактов по отношению к механическим воздействиям. Способность коагуляционных контактов самопроизвольно восстанавливаться после механического разрушения обуславливает тиксотропию коагуляционных структур. Фазовые контакты (и структуры с такими контактами) механически разрушаются необратимо.

В песчано-глинистых смесях образуются контакты переходного типа, особенностью которых является необратимость по отношению к механическому разрушению, что сближает их с фазовыми контактами, и обратимость по отношению к увлажнению, сближающая их с коагуляционными контактами.

В связи с отсутствием необходимых экспериментальных данных по влиянию полидисперсности, формы зерен песка и их шероховатости на число контактов, реальных формовочных смесей приближенный расчет числа контактов на 1 см^2 площади поперечного сечения образца N_s уплотненной смеси может быть выполнен по формуле

$$N_s = \frac{K}{3} M,$$

где K – координационное число (число контактов, приходящееся на одно зерно); 3 – число координат; M – число зерен песка в 1 см^2 площади поперечного сечения [2].

Координационное число K зависит от пористости, вида упаковки и изменяется в пределах от 6 для кубической, 10 – тетрагональной и до 12 для гексагональной упаковки. Для группы крупности 0315 в соответствии с формулой имеем $N_s = 42$, для песка 02 – $N_s = 50$. Замена песка 0315 на 02 увеличивает число контактов на единицу поверхности в 1,19 раз [2].

Координационное число K полидисперсного материала больше, чем монодисперсного. В полидисперсных смесях более мелкие частицы заполняют поры между крупными и тем самым увеличивают степень заполнения объема по сравнению с монодисперсными материалами. В связи с более высоким значением общего числа частиц, координационного числа и плотности упаковки полидисперсная смесь при равной степени уплотнения характеризуется большим числом контактов, а значит и большей прочностью по сравнению с монодисперсными.

Литература

1. Жуковский С.С. Прочность литейной формы / С.С. Жуковский. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
2. Зимон А.Д. Аутогезия сыпучих материалов / А.Д. Зимон, Е.И. Андрианов. – М.: Металлургия, 1978. – 288 с.
3. Осипов, В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород / В.И. Осипов. – М.: Наука, 1979. – 232 с.
4. Шукин Е.Д. Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Е.Д. Шукин. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 279 с.
5. Шукин, Е.Д. Коллоидная химия / Е.Д. Шукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. – М.: Высш. шк., 1992. – 414 с.

Поступила в редакцию 20 февраля 2012 г.