

Н. Б. УРЬЕВ, Н. В. МИХАЙЛОВ, академик П. А. РЕБИНДЕР

О ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР В ПРОЦЕССЕ ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ

В работе рассматриваются особенности уплотнения высоковязких структур с малым содержанием жидкой фазы, высоконаполненных тонкодисперсной твердой фазой, на примере «жесткой» смеси песчаного бетона, приготовленного по усовершенствованной технологии (¹⁻³).

При уплотнении дисперсных структур с малым содержанием жидкой фазы реологические свойства системы существенно меняются с изменением объема уплотняемой среды. Удаление газовой фазы и соответствующее снижение пористости приводит к резкому изменению в соотношении упруго-вязко-пластичных характеристик системы и изменению механизма воздействия вибрации на нее.

В отличие от пластичных структур, для которых при виброформовании преобладают процессы, связанные с изменением формы, сопровождающиеся активным разрушением коагуляционно-кристаллизационной структуры (например, в бетонных смесях), — при уплотнении «жестких» высоконаполненных структур типа смесей песчаного бетона (³) определяющими являются процессы изменения объема. Отличие в характере процессов формирования жестких (особо жестких) от пластичных и «литых» смесей предопределяет различный характер изменения при формировании реологических характеристик.

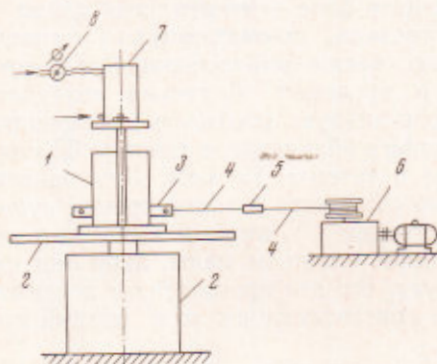


Рис. 1. Принципиальная схема прибора для исследования вибровязкости и кинетики уплотнения (описание в тексте)

Особенность процесса формирования жестких смесей, связанная с непрерывным уменьшением объема (ростом плотности) среды при уплотнении, создает особые трудности в оценке изменения реологических характеристик системы. Поэтому задача реологического описания жестких смесей при уплотнении состоит в том, чтобы установить изменение реологических характеристик уплотненных структур синхронно с изменением их плотности (объема). С этой целью нами разработан прибор для синхронного определения кинетики уплотнения и вибровязкости системы.

При работе с прибором цилиндр-форма (рис. 1, 1) последнего закрепляется на вибростенде 2 и в нее загружается отвешенная порция исследуемой системы. Рифленая подвижная пластина 3, одним из концов, при помощи гибкой нити 4, соединяется с динамометром растяжения с тензометрическим датчиком 5, связанным с механическим приводом 6, осуществляющим перемещение пластины 3 с равномерной заданной малой скоростью относительно закрепленных на днище цилиндра неподвижных

рифленых пластин. В пневмоцилиндр 7 с потенциметрическим датчиком перемещения подается через редуктор давления 8 сжатый воздух, создающий в цилиндре-форме нужный статический пригруз. Величина пригруза изменяется при помощи редуктора давления воздуха 8 и контролируется манометром.

Показания потенциметрического датчика перемещения и динамометра растяжения регистрируются многошлейфовым осциллографом на одной осциллограмме, что позволяет сопоставлять кинетику уплотнения с кин-

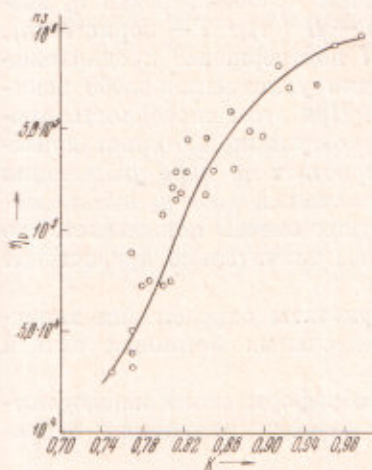


Рис. 2. Зависимость эффективной сдвиговой вязкости от степени уплотнения

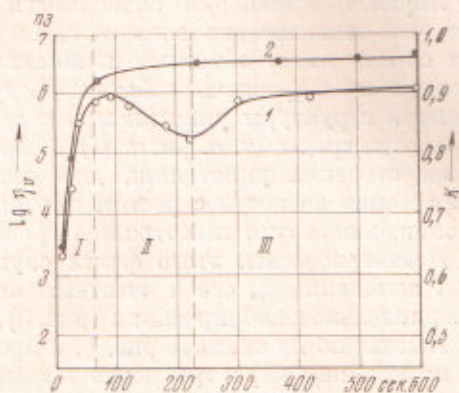


Рис. 3. Кинетика изменения эффективной сдвиговой вязкости (1) и коэффициента K -уплотнения (2)

нетикой изменения физико-механических свойств среды в зависимости от параметров вибрационных воздействий, состава смеси и величины статического пригруза.

За счет возможности смещения пластины с постоянной скоростью при помощи электродвигателя и декадного редуктора величина вибровязкости измеряется в условиях $d\varepsilon/d\tau = \dot{\varepsilon} = \text{const}$ (где ε — деформация, τ — время). При этом при различных (но постоянных в каждом случае) скоростях смещения удается получить виброреологические зависимости $\dot{\varepsilon}(P)$, где P — напряжение статического сдвига.

Таким образом, при помощи указанного прибора впервые удается синхронно связать кинетику процесса уплотнения с изменением в процессе уплотнения реологических характеристик уплотняемой при вибрации системы.

Исследования проводили на жесткой цементно-песчаной смеси состава (из расчета на 1 м³ плотного бетона): песок тучковского карьера с $M_k = 1,8-1600$ кг, вяжущее 600 кг — цемент + тонкомолотый песок в соотношении 80 : 20% с S по ПСХ-2 5000 см²/г, вода 180 л, ССБ — 0,2% (в пересчете на расход цемента). Бетонная смесь готовилась виброперемешиванием в течение 3 мин. в лабораторном вибросмесителе на базе вибромельницы М-10.

Отвешенная порция смеси засыпалась в цилиндр, после чего производилось уплотнение смеси при заданных режимах вибрации и давления пригруза. Запись перемещения дуансона и напряжений в динамометре, связанном с перемещаемой в уплотняемой смеси пластиной осуществлялась синхронно с момента включения вибрации.

Установленная независимость величины η_0 от $\dot{\varepsilon}$ при изменении $\dot{\varepsilon}$ при сдвиге рифленой пластины (в заданном диапазоне изменения $\dot{\varepsilon}$) позво-

лила определить η_0 при изучении зависимости η_0 от коэффициента уплотнения по одному постоянному значению ϵ статического сдвига рифленой пластины.

На рис. 2 приведена зависимость η_0 от степени уплотнения жесткой бетонной смеси.

Как следует из анализа кривой уплотнения, при вибрации с частотой $f = 50$ гц, амплитудой $A = 0,5$ мм, давлением пригруза 60 Г/см², вязкость особо жесткой смеси в процессе уплотнения изменяется в весьма широком диапазоне (на два и более порядков), причем особенно резко η_0 возрастает в зоне максимальных значений $K = 1 - P$ (где P — пористость).

Характер изменения зависимости η_0 от K подтверждает предположение, что основное значение в начальной стадии уплотнения особо жестких смесей имеет объемное изменение смеси. При этом способность проявления тиксотропных свойств и разрушения коагуляционно-кристаллизационной структуры уплотняемой системы возрастает по мере увеличения плотности среды (т. е. роста K). Однако интенсивный рост η_0 в зоне высоких степеней уплотнения для особо жестких смесей показывает, что возрастание вязкости с ростом плотности среды значительно превосходит ее снижение за счет тиксотропного разрушения.

Подтверждением этого факта служат результаты определения характера изменения η_0 особо жестких цементно-песчаных бетонных смесей при длительном вибрировании (рис. 3).

Как видно из анализа рис. 3, в процессе виброформования наблюдаются по крайней мере три четко выраженные периода изменения вибровязкости.

Первый период — резкое возрастание эффективной сдвиговой вибровязкости, связанное с изменением объема системы.

Второй период — снижение эффективной вязкости при незначительном возрастании достигнутой в первом периоде степени уплотнения. Это снижение η_0 объясняется проявлением тиксотропных свойств смеси и некоторым разрушением коагуляционно-кристаллизационной структуры, причем в бетонной смеси остается зацементированным некоторое количество газовой фазы, способствующей облегчению деформации системы и собственно формованию.

Третий период — возрастание эффективной вибровязкости вследствие дальнейшего удаления газовой фазы (сопровождающегося повышением плотности), а также структурообразованием, связанным с быстрой гидратацией тонкодисперсных композиций с малым содержанием жидкой фазы в условиях вибрации.

В соответствии с отмеченными периодами изменения эффективной вибровязкости, в процессе уплотнения особо жестких цементно-песчаных смесей следует разграничивать 3 периода процесса виброформования.

Первый период — изменение объема без существенного проявления тиксотропных свойств.

Второй период — с преобладанием процесса изменения формы, сопровождающегося перетеканием смеси, разрушением структуры в присутствии некоторого количества медленно удаляемой газовой фазы.

Третий период — окончание процесса изменения объема и формы с достижением максимальной при заданных условиях (режим вибрации, статический пригруз, состав смеси) степени уплотнения.

Установление трех периодов процесса уплотнения жестких смесей показывает, что нарушение процесса уплотнения, например, попытки осуществить изменение формы (т. е. собственно формование) за весьма короткий промежуток времени (за счет чрезмерного повышения величины пригруза, амплитуды вибрации) неизбежно приведет к разрывам сплошности в уплотняемой системе, появлению слоистости и других дефектов.

Для осуществления собственно формования жестких цементно-песчаных смесей, т. е. создания условий перетекания смеси под штампом без разрыва сплошности, необходимо перейти во второй период, т. е. в период преобладания разрушения коагуляционно-кристаллизационной структуры. При этом длительность процесса изменения формы должна быть соизмерима с периодом релаксации упругих напряжений от давления в системе, так как в противном случае также возможно появление разрывов сплошности.

Институт физической химии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
23 XII 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Н. В. Михайлов, Вестн. АН СССР, № 10 (1964).
² П. А. Ребиндер, Н. В. Михайлов, Основные положения физико-химической теории бетона и предложения по технологии бетона на основе выводов из теории. Н.Т.О. пром. строй материалов СССР, М., 1956. ³ Н. В. Михайлов, Основные принципы новой технологии бетона и железобетона, М., 1961. ⁴ Н. Б. Урьев, Н. В. Михайлов, Колл. журн., 30, № 5, 767 (1968).