

УДК 541.182.024

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. Б. УРЬЕВ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПОВЕДЕНИЯ СЛОЯ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА В ВИБРАЦИОННОМ ПОЛЕ (ОБРАЗОВАНИЕ И ДИСПЕРГИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ)

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 15 II 1971)

Ранее (¹⁻³) было показано, что процесс изменения объема при вибрации дисперсных структур, образованных частицами твердой фазы в газовой среде, сопровождается непрерывным разрушением контактов между частицами. В этой работе изучена зависимость свойств слоя тонкодисперсного порошка в процессе вибрации от параметров вибрационного поля.

Объектами исследований были порошки кварца ($S_{\text{вот}} = 1 \text{ м}^2/\text{г}$) и химически осажденного карбоната кальция CaCO_3 ($S_{\text{вот}} = 3 \text{ м}^2/\text{г}$). Исследовали влияние покрытия поверхности частиц мономолекулярным слоем поверхностно-активных веществ: октадециламином (ОДА) для SiO_2 и стеариновой кислотой для карбоната кальция (³). Гармонические вертикально направленные колебания осуществляли на электродинамическом стенде типа ЭДВ-1000, диапазон изученных параметров вибрации по частоте 50—500 гц с максимальным ускорением 20 g. Навеску тонкодисперсного порошка засыпали в стеклянный цилиндр $d = 10,5 \text{ мм}$, жестко закрепленный на вибростенде, высота слоя свободной засыпки до 200 мм. Определяли зависимость степени уплотнения системы $\phi = \rho_1/\rho_2$ от параметров вибрации, где ρ_1 — плотность двухфазной системы, ρ_2 — плотность самих частиц твердой фазы.

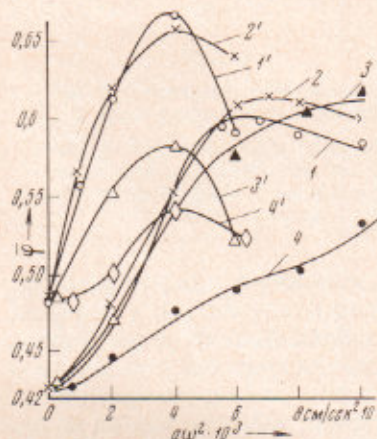


Рис. 1. Зависимость величины ϕ_{max} порошка тонкодисперсного кварца без п.а.в. (1—4) и с п.а.в. (1'—4') от ускорения вибрации. 1, 1' — $f = 50 \text{ гц}$, 2, 2' — 100 гц , 3, 3' — 300 гц , 4, 4' — 400 гц

Из рис. 1 следует, что с увеличением амплитуды вибрации при частотах 50—500 гц ϕ возрастает. Однако при низких частотах 50, 100, 150, 200 гц возрастание ϕ ограничено критическим значением $A\omega^2$, при превышении которого наблюдается снижение ϕ , связанное с переходом к активному виброкипению с разрыхлением слоя. Известно, что для грубодисперсных сыпучих систем, независимо от амплитуд и частот вибрации, переход к активному виброкипению происходит при постоянном ускорении вибрации, причем $A\omega^2/g \approx 1$ (⁴). Важная отличительная особенность перехода тонкодисперсных порошков, не обработанных п.а.в., в состояние активного виброкипения состоит в том, что критическое ускорение ($A\omega^2/g \gg 1$), соответствующее границе перехода от оживания к кипению, не постоянная величина (рис. 1), а возрастающая с ростом частоты и уменьшением амплитуды вибрации. В результате исследования зависимости ϕ от параметров вибрации для порошков, покрытых монослоем п.а.в., было установлено, что максимальная при данной частоте степень уплотнения достигается

при меньших ускорениях и интенсивностях вибрации, чем соответствующие $\bar{\varphi}$ порошков без п.а.в. при той же частоте.

Граница перехода к активному виброкипению порошков, поверхность которых покрыта монослоем п.а.в., в исследованном диапазоне частот характеризуется постоянной величиной критического ускорения $A\omega^2/g = \text{const} > 1$ (в изучаемом случае для SiO_2 с п.а.в. ОДА — $A\omega^2/g = \text{const} = 4$).

Структурно-механические свойства пористых систем, образованных высокодисперсными частицами твердой фазы, определяются главным образом условиями возникновения и прочностью контактов между ними (^{3, 4}).

В соответствии с теорией прочности пористых структур (⁵), с использованием установленной в работе (⁶) зависимости между приведенной прочностью контакта $\bar{F}_k$ и предельным напряжением сдвига P_m можно рассчитать величину $\bar{F}_k$ по известному значению P_m . P_m определяли в

Таблица 1

Зависимость предельного напряжения сдвига P_m и приведенной прочности единичного контакта $\bar{F}_k$ в тонкодисперсном порошке кварца ($S = 1 \text{ м}^2/\text{г}$) от параметров виброуплотнения ($f = 80 \text{ гц}$)

№№ п.п.	Параметры вибрации				$\bar{\varphi} = 0,488$		$\bar{\varphi} = 0,519$		$\bar{\varphi} = 0,55$	
	A, см	$A\omega$, см·сек ⁻¹	$A\omega^2/g$	$f \cdot 10^{-2}$, см ² ·сек ⁻²	$P_m \cdot 10^3$, Г/см ²	$\bar{F}_k \cdot 10^3$, дин	$P_m \cdot 10^3$, Г/см ²	$\bar{F}_k \cdot 10^3$, дин	$P_m \cdot 10^3$, Г/см ²	$\bar{F}_k \cdot 10^3$, дин
1	0,015	7,7	4	30	21,8	3,1	1130	80,0	>2260	>120
2	0,023	11,6	6	68	18,8	2,7	59,8	5,1	>2260	>120
3	0,031	15,6	8	122	16,0	2,3	48,3	4,15	1340	61,0
4	0,046	23,2	12	273	10,5	1,5	34,6	3,0	955	43,4
5	0,062	31,3	16	482	4,9	0,7	29,4	2,5	264	12,0
6	0,077	38,8	20	760	3,9	0,55	16,2	1,4	227	10,6

процессе уплотнения при фиксированных значениях $\bar{\varphi}$ при помощи прибора, описанного в работе (⁷). Рифленая пластинка, перемещаемая тангенциально в слое уплотненного до заданного значения $\bar{\varphi}$ порошка, располагалась строго в середине высоты слоя. Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Анализ результатов исследований зависимости P_m и $\bar{F}_k$ от параметров вибрации при одинаковых сравниваемых значениях $\bar{\varphi}$ позволяет высказать предположение об изменении свойств самих уплотняемых структур при изменении частот и амплитуд вибрации. Изменение $\bar{F}_k$ и P_m при $\bar{\varphi} = \text{const}$ может быть объяснено только в том случае, если допустить, что характер распределения тонкодисперсных частиц в слое уплотняемого порошка или прочность контактов между частицами зависят от того, при каком сочетании частот и амплитуд достигнута заданная фиксированная степень уплотнения $\bar{\varphi}$.

Очевидно, как это и следует из данных табл. 1, при малых амплитудах вибрации образуются структуры более прочные, чем структуры с тем же значением $\bar{\varphi}$, но уплотненные при повышенных амплитудах. Наиболее вероятно предположение, что в процессе вибрации с низкой частотой и большой амплитудой структура разрушается на отдельные агрегаты из частиц, слабо связанных между собой. С ростом частоты растет число агрегатов в единице объема, а их размер уменьшается; соответственно растет и число контактов между агрегатами, определяющих прочность структуры в целом.

В пределе при высокочастотной вибрации агрегаты разрушаются полностью, а прочность структуры определяется числом контактов между

всеми частицами ее образующими. Исследуемая система все более приближается к идеальной расчетной модельной схеме (^{5, 6}), в которой принято, что частицы-сферы монодисперсны, а прочность контакта между ними $F_k' = \text{const}$. В отличие от этой схемы в изучаемых порошках частицы твердой фазы полидисперсны, анизометричны, а поверхность их характеризуется энергетической неоднородностью и лиофобно-лиофильной макромозаичностью (⁵⁻⁸), что само по себе может приводить к отклонению расчетного среднего значения $\bar{F}_k$ от истинного (^{6, 9, 10}).

Вибрация с малой амплитудой и высокой частотой приводит к частым соударениям частиц, их взаимному сдвиговому перемещению и этим повышает вероятность сближения коагуляционных центров на поверхности с возникновением достаточно прочных контактов. Повышение амплитуды при снижении частоты вибрации, наоборот, препятствует этому и

Таблица 2

Приведенные значения прочности контакта $\bar{F}_k$ для порошков CaCO_3 и SiO_2 без п. а. в. и с п. а. в.

Вид порошка	φ	$\bar{F}_{k0} \cdot 10^4$ (без п. а. в.), дин	$F_{k1} \cdot 10^4$ (с п. а. в.), дин	$\bar{F}_{k0}/\bar{F}_{k1}$
SiO_2 ($S = 1 \text{ м}^2/\text{г}$) п. а. в. — ОДА	0,45	6,8	2,61	2,61
	0,5	22,5	2,25	10,0
	0,535	114,0	2,86	40,0
CaCO_3 ($S = 3 \text{ м}^2/\text{г}$) п. а. в. — стеариновая кислота	0,3	0,695	0,55	1,26
	0,35	1,22	0,425	2,88
	0,38	1,93	0,48	4,0

вероятность взаимного столкновения частиц по коагуляционным центрам их поверхности уменьшается.

Более чем 40-кратное увеличение средней расчетной прочности контакта F_k (табл. 1, 2) с увеличением частоты, снижением амплитуды или ростом φ вряд ли можно объяснить столь же значительным ростом истинной прочности контакта F_k' между частицами. Очевидно, что это отклонение связано с отличием реальной структуры от идеальной модельной системы. Если допустить, что изменение истинной прочности контакта F_k' с изменением частоты, амплитуды и φ незначительно, то основной причиной увеличения средней расчетной величины $\bar{F}_k$ с ростом частоты, уменьшением амплитуды и ростом φ является уменьшение размера агрегатов и рост числа контактов между ними в единице объема системы.

Допустив, что $F_k = \text{const}$ и пользуясь соотношениями, приведенными в работах (^{5, 6}), можно рассчитать средний размер агрегатов в зависимости от условий уплотнения и по известному значению $S_{\text{БЭТ}}$ определить среднее число частиц в агрегате.

Действие поверхностно-активных веществ проявляется в стабилизации поверхности частиц твердой фазы, на которой они адсорбируются, в снижении и в пределе ликвидации энергетической неоднородности и в уменьшении прочности контактов между частицами и прочности структуры в целом (^{1, 6, 10, 11}) за счет раздвижения частиц адсорбированными слоями.

Из анализа приведенных выше результатов исследования процесса уплотнения порошков в сочетании с п. а. в. (табл. 2) вытекает, что средняя расчетная прочность контактов в порошках, покрытых п. а. в. (в отличие от необработанных п. а. в.) существенно уменьшается, практически не зависит от φ , и степень изменения P_m структуры с изменением φ и режима виброуплотнения мала. Поэтому переход от виброоживления к виброкипению должен происходить, как это имеет место в грубодисперсных сыпучих системах, при изменении частоты и амплитуды в узком диапазоне критических ускорений вибрации.

Автор выражает благодарность акад. П. А. Ребиндеру и проф. Е. Д. Щукину за обсуждение работы и ряд ценных советов и замечаний.

Институт физической химии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
13 I 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Б. Урьев, Н. В. Михайлов, П. А. Ребиндер, ДАН, 184, № 2, 387 (1969); 184, № 3, 665 (1969). ² М. Р. Спасский, И. А. Добрушина и др., ДАН, 189, № 4, 767 (1969). ³ О. Мирза-Абдуллаева, Н. Б. Урьев, П. А. Ребиндер, Колл. журн., 31, № 1, 92 (1969). ⁴ В. А. Членов, Н. В. Михайлов, Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое, М., 1967. ⁵ П. А. Ребиндер, Е. Д. Щукин, Л. Я. Марголис, ДАН, 154, 695 (1964). ⁶ Е. Д. Яхнин, А. Б. Таубман, ДАН, 155, № 1, 179 (1964). ⁷ Г. К. Шишковский, Н. Н. Серб-Сербина и др., ДАН, 189, № 2, 361 (1969). ⁸ О. Мирза-Абдуллаева, В. В. Константинова и др., ДАН, 167, 607 (1966). ⁹ Е. Д. Щукин, Р. К. Юсупов и др., Колл. журн., 31, № 6, 913 (1969). ¹⁰ Г. И. Фукс, И. Н. Николаева, ДАН, 153, № 2, 398 (1963). ¹¹ А. Д. Зимон, Адгезия пыли и порошков, М., 1968.