

## ДОЛЯ СИЛИКАТА НАТРИЯ В ПОРЦИИ ШИХТЫ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА

Белорусский национальный технический университет  
Институт общей и неорганической химии НАН Б  
Минск, Беларусь

Конкуренентоспособность и рентабельность пористых проницаемых материалов, в частности, фильтрующих, во многом определяется стоимостью сырья. В этой связи для изготовления пористых проницаемых материалов актуально использование местного природного сырья, для республики Беларусь – кварцевого песка [1].

Технологии изготовления таких фильтроэлементов на основе песка известны и традиционно включают: подготовку шихты [2], прессование и спекание изделий [3]. Зачастую в таких технологиях регулирование структурных характеристик изготавливаемых изделий осуществляется использованием кварцевого песка различных фракций [4], что влечет и корректировку масс добавок в порции шихты [3] от размера частиц порошка песка и толщины слоя связки на поверхности частиц песка.

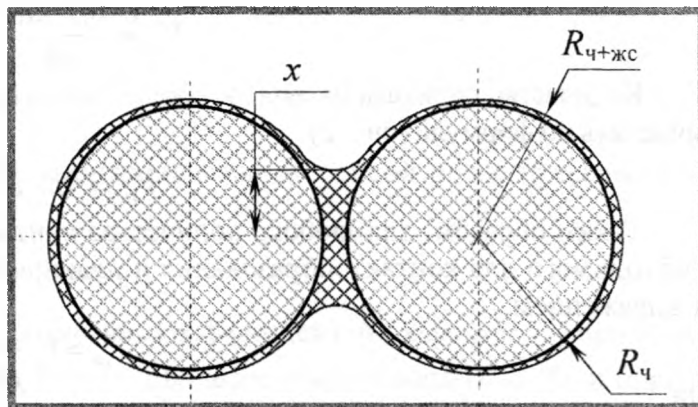


Рисунок 1 - Схема контакта сферических частиц

Следует отметить, что деструкция частиц кварцевого песка увеличивает их общее количество, число контактов частиц, и как следствие, увеличивается количество связующего (традиционно – жидкого стекла) потребного для консолидации песка в пористые тела.

Цель работы – расчет количества безводного силиката натрия, необходимого для формирования контактов при спекании прессовок.

Прежде чем переходить к определению количества связки в составе шихты, рассмотрим пару частиц. Поскольку стохастические корпускулярные структуры не поддаются точному физическому или математическому моделированию [5], на основании оценки реальной формы частиц песка [6] принята модель из 2-х контактирующих сферических частиц радиусом  $R$ , контакт которых имеет радиус  $x$ , толщина слоя силиката натрия на поверхности равна  $\delta$  (рис. 1).

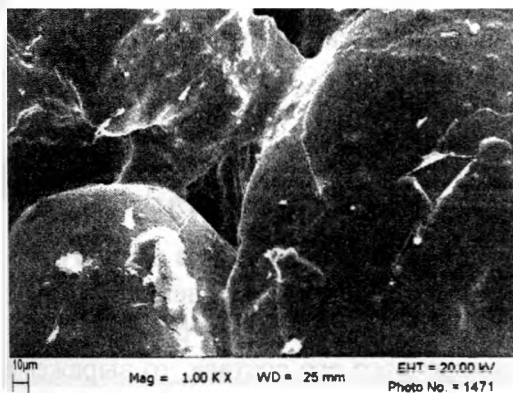


Рис. 2. Вид поверхности спеченных частиц песка

Модель основана на том, что: 1) частицы сферической формы, одинакового размера, с гладкой поверхностью; 2) взаимное расположение – контакт в точке, изначально связка равномерно распределена по поверхности частиц; 3) контактирующие частицы отдают на формирование контакта равное количество силиката натрия; 4) слой силиката натрия на поверхности частиц истончается до уровня прекращения растекания ( $>0,1$  мкм) [7].

Объем материала межчастичного контакта может быть рассчитан по уравнению [7]:

$$V_k = \frac{\pi \cdot x^4}{2R}, \quad (1)$$

Принимая во внимание известное положение о том, что приемлемое качество контакта в пористых материалах достигается при условии:  $x = 0,3 \cdot R$  [7], формула (1) для минимально необходимого объема материала  $V_{K_{min}}$ , образующего контакт, может быть записана в виде:

$$V_{K_{min}} = \frac{0,3^4 \cdot \pi \cdot R^3}{2}. \quad (2)$$

Для перехода к рассмотрению некоторой совокупности частиц, каждая из которых имеет  $K_\alpha$  контактов с соседними, оставаясь в рамках принятых допущений, предварительно отметим следующее: наиболее часто реализуем случай, когда  $K_\alpha = 6$  [7]

Уравнение (2) для частицы имеющей количество контактов больше одного приобретает вид:

$$V_c = \frac{0,3^4 \pi R^3}{4} \cdot K_\alpha, \quad (3)$$

Количество силиката натрия, остающегося на поверхности частицы после спекания можно вычислить по формуле (рис. 2):

$$V_n = 4\pi \cdot R^2 \cdot \delta. \quad (4)$$

Таким образом, для любого количества контактов одной частицы минимальный объем необходимого для контактообразования и плакирования связующего материала, определяется выражением:

$$V_{cv} = V_c + V_n, \quad (5)$$

или

$$V_{cv} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot (0,3^4 \cdot R \cdot K_\alpha + 16 \cdot \delta)}{4}, \quad (6)$$

Отметим, что на практике удобно пользоваться не абсолютными значениями объемов связующих материалов, вводимых в состав шихты, а их массовой долей по отношению к основному компоненту шихты. Для практического использования предложен коэффициент  $K_{cv}$ , характеризующий отношение массы связующего к массе кварцевого песка:

$$K_{cv} = \frac{m_{cv}}{m_{SiO_2}}, \quad (7)$$

где  $m_{cv}$  – масса силиката натрия (безводного), кг/м<sup>3</sup>;  $m_{SiO_2}$  – масса кварцевого песка, кг/м<sup>3</sup>.

С учетом выражения (6), для сферической формы частицы песка получим:

$$K_{cv} = \frac{3}{16} \cdot \frac{(0,3^4 \cdot R \cdot K_\alpha + 16 \cdot \delta) \cdot \rho_{джс}}{R \cdot \rho_{SiO_2}}, \quad (8)$$

где  $\rho_{джс}$  – плотность силиката натрия, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{SiO_2}$  – плотность кварцевого песка, кг/м<sup>3</sup>.

Технологически введение в состав шихты силиката натрия осуществляют в виде его водного раствора. Поэтому для инженерных расчетов интерес представляет определение величины коэффициента  $K_{cv}$  по отношению к жидкому стеклу. Поскольку концентрации раствора могут различаться в зависимости от модуля жидкого стекла и конкретного его состава, то выражение (7) для любого жидкого стекла можно представить в виде:

$$K_{cvl} = K_{cv} \cdot \frac{\rho_{джс}}{\rho_{жс}}, \quad (11)$$

или

$$K_{cв1} = \frac{3}{8} \cdot \frac{(0,3^4 \cdot R \cdot K_a + 16 \cdot \delta) \cdot \rho^2_{ажс}}{R \cdot \rho_{SiO_2} \cdot \rho_{жс}}, \quad (12)$$

Например, для случая  $d_ч=150$  мкм,  $\delta=1$  мкм,  $K_a=6$ ,  $\rho_{ажс}=2180$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{жс}=1440$  кг/м<sup>3</sup>,  $K_{cв1}=0,124$ .

Поскольку расчет  $K_{cв1}$  выполнен для одной сферической частицы песка, то формула (12) выражает минимальное количество жидкого стекла, которое должно присутствовать в составе шихты для образования качественных контактов между монодисперсными частицами основного компонента (песка) при спекании.

Деструкция частиц кварцевого песка при радиальном обжати увеличивает удельную поверхность порошка [6] и, соответственно, количество связующего, потребное для плакирования частиц. На основании рассева прессованной шихты установлено изменение размера частиц кварцевого песка, что стало основой для расчета удельной поверхности песка для фракций после прессования  $S_n$  [6] по уравнению:

$$S_n = k_1 \cdot S_1 + k_2 \cdot S_2 + \dots + k_i \cdot S_i, \quad (13)$$

где  $k_i$  – коэффициент, характеризующий отношение масс отсеянной после прессования и исходной фракций песка,

$S_i$  – удельная поверхность частиц фракции.

Для практического использования предложен коэффициент  $k_s$ , характеризующий увеличение удельной поверхности кварцевого песка в процессе прессования (рис. 3), и определенный по уравнению:

$$k_s = \frac{S_n}{S_н}, \quad (14)$$

где  $S_н$  – удельная поверхность порошка песка до прессования.

В качестве коэффициента пропорциональности масс связующего и жидкого стекла, учитывающего деструкцию частиц, предложен коэффициент  $K_{CB}$ , определяемый по уравнению:

$$K_{CB} = K_{cв1} + (K_{cв1} \cdot (k_s - 1)). \quad (15)$$

Попытки реализовать процесс спекания при рассчитанном по формуле (15) количестве жидкого стекла в составе шихты оказались неудачными.

Межчастичные контакты имели размер (радиус) в 4...6 раз меньше расчетного, кроме того, в объеме материала наблюдались соседние частицы, между которыми контакты не образовывались вовсе. Прочность получаемого материала оказывалась явно недостаточной для эксплуатации и, даже, для его испытаний на прочность.

Причин такого явления несколько.

- гранулометрический состав песка неоднороден. В пределах одной фракции размер частиц может различаться в 1,5 и более раза. Это изменяет вид укладки частиц порошка по сравнению с

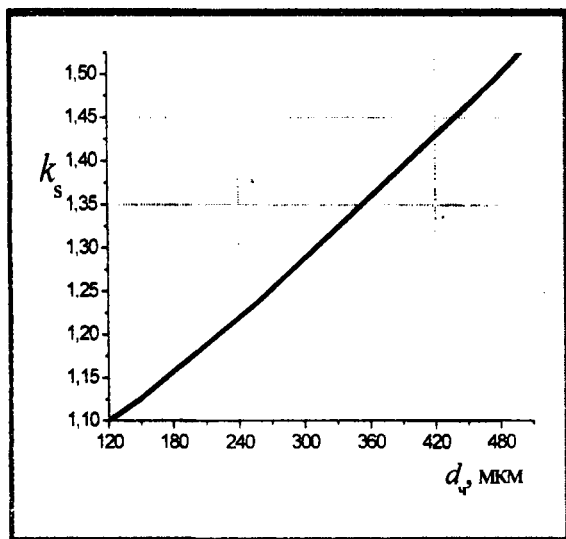


Рисунок 3 - Зависимость увеличения удельной поверхности песка от исходного размера частиц принятым при моделировании: увеличивается количество контактов;

- поверхность частиц песка не является гладкой, поэтому необходимо большее количество связующего материала для их полного плакирования;
- форма частиц отличается от сферической, поэтому площадь их поверхности больше, чем принятой при расчете сферы.
- толщина пленки связующего по поверхности частиц различна и имеет толщину более 1 мкм (см. рис. 2).

По результатам серии экспериментов, проводившихся с пошаговым увеличением содержания жидкого стекла в составе шихты, установлено следующее. Образование качественных контактов в пористом материале происходит при содержании жидкого стекла в 1,6..1,8 раза большем по сравнению с расчетным количеством.

Например, для случая  $d_q=150$  мкм,  $\delta=1$  мкм,  $K_\alpha=6$ ,  $\rho_{джс}=2180$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{жс}=1440$  кг/м<sup>3</sup>,  $k_s=0,07$ ,  $K_{св}=0,124+0,124 \cdot (1,15-1)=0,142$ . Экспериментальное значение отношения массы песка и жидкого стекла случая  $d_q=150$  мкм = 0,24.

Таким образом, для практического использования может быть предложена следующая зависимость:

$$K_{сд} = 169 \cdot K_{св}, \quad (16)$$

или

$$K_{сд} = 169 \cdot \left( \frac{3}{16} \cdot \frac{(0,3^4 \cdot R \cdot K_\alpha + 16 \cdot \delta) \cdot \rho_{джс}^2}{R \cdot \rho_{SiO_2} \cdot \rho_{жс}} + \frac{3}{16} \cdot \frac{(0,3^4 \cdot R \cdot K_\alpha + 16 \cdot \delta) \cdot \rho_{джс}^2}{R \cdot \rho_{SiO_2} \cdot \rho_{жс}} \cdot (k_s - 1) \right). \quad (17)$$

Получено уравнение определения доли связующего в порции шихты, учитывающее размер частиц песка и толщину пленки на поверхности частиц. Эффективность уравнения подтверждена экспериментально. Уравнение рекомендовано к практическому применению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хомич, П.Д. Кварцевые пески Беларуси, их использование в промышленности / П.Д. Хомич, Л.О. Острогорова, Р.П. Янюк // Горный журнал. – 2003. – № 7. – С. 18-19.
2. Витязь, П.А.. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег; под ред. П.А. Витязя – Мн: Высш. шк., 1987. – 162 с.
3. Петюшик Е.Е. Шихта на основе природного кварца для получения спеченных фильтрующих элементов / Е.Е. Петюшик, С.М. Азаров, А.А. Дробыш // Проблемы инженерно-педагогического образования Республики Беларусь: Материалы междунар. научно-практ. конф. – Минск: БНТУ, 21-22 октября 2004 г. – С. 221-223.
4. Смирнова, К.А. Пористая керамика для фильтрации и аэрации / К.А. Смирнова. – М.: Металлургия, – 1968. – 148 с.
5. Плаченков, Т.Г. Порометрия / Т.Г. Плаченков, С.Д. Колосенцев. — Л.: Химия, 1988. — 176 с.
6. Петюшик Е.Е. Деструкция порошков природного кварца при радиальном обжати / Е.Е. Петюшик, С.М. Азаров, А.А. Дробыш, Д.В. Макачук // Порошковая металлургия. – Мн., 2006.– Вып. 29. – С. 342 – 347.
7. Гегузин, Я. Е. Физика спекания / Я.Е. Гегузин. – М.: Наука, 1984. – 312 с.