**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ, ТЕКУЧЕСТИ И СКЛОННОСТИ К ЗАВИСАНИЮ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Цель:** Изучение влияния насыпной плотности на степень заполнения пресс-формы, влияния размеров частиц на текучесть.

**Теоретические сведения**

*Насыпная плотность*– это отношение массы порошка при свободной насыпке к его объёму. Величина ей обратная – это *насыпной объём.*

Насыпная плотность определяется действительной плотностью материала порошка, размером и формой частиц, гранулометрическим составом, свойствами поверхности частиц и ещё многими факторами. Насыпную плотность невозможно нормировать, но ГОСТ определяет единую методику определения насыпной плотности.

Насыпная плотность, как технологический фактор, определяет объём пресс-формы, необходимый для заполнения её при свободной засыпке, высоту подъёма верхнего пуансона, размеры бункера пресса и ёмкостей для хранения заданного количества порошка.

Усадка при спекании также находится в прямой связи с насыпной плотностью, поскольку она зависит от гранулометрического состава смеси. Чем меньше насыпная плотность, тем больше усадка и искажения формы спечённого изделия. Смешивая порошки различной насыпной плотности, можно получить безусадочную шихту, вернее – шихту с минимальной усадкой. Применение порошка постоянной насыпной плотности обеспечивает постоянство усадки и, как следствие этого – постоянство размеров спечённых изделий. Это особенно важно при объёмном дозировании во время прессования.

Одновременно следует отметить, что при одинаковой насыпной плотности порошки могут иметь различный ситовый состав, форму частиц, прессуемость, текучесть и т.д.

Степень укладки частиц порошка в засыпке определяется их формой, размерами и гранулометрическим составом. Насыпной объем зависит главным образом от взаимного расположения частиц порошка, контактов и сцепления между частицами, а также от междучастичных полостей (в эти полости могут попадать более тонкие частицы).

Насыпная плотность порошков со сферическими частицами (например, распыленных) больше, чем с угловатыми. Порошки со сферическими частицами менее склонны к образованию мостиков (связок) и вследствие относительно хорошей текучести сравнительно плотно располагаются в засыпке. Их насыпная плотность может составить до 50% плотности соответствующего компактного вещества. Крайне низки насыпные плотности чешуйчатых порошков, составляющие иногда ~ 10 % плотности компактной массы. Меньшие частицы тех же материалов из-за их большей удельной поверхности (и более сильного трения) обладают меньшей насыпной массой, чем более крупные частицы.

Плотность укладки определяется всей совокупностью физических свойств порошка. Чем крупнее и чем более компактную и правильную форму имеют частицы порошка, тем больше будет насыпная плотность; однако большее значение имеет не абсолютный размер частиц, а соотношение частиц разных размеров (кривая распределения зернистости). Например, независимо от абсолютного размера, одинаковые шары имеют постоянный коэффициент заполнения объема; комбинируя же шары разной величины, можно добиться значительного увеличения плотности — в предельном случае – до 100%.

Состояние поверхности порошка также имеет значение: частицы с гладкой «скользкой» поверхностью, естественно, укладываются плотнее, чем шероховатые, покрытые окисными пленками.

Таким образом, определение насыпной плотности позволяет косвенно учитывать такие факторы, которые не поддаются прямому количественному определению, но оказывают влияние на технологические свойства порошка. Насыпная плотность является чрезвычайно важной характеристикой, и ряд свойств порошка связан с насыпной плотностью простыми количественными отношениями.

Прежде всего, насыпная плотность (или точнее насыпной объем) учитывается при конструировании пресс-форм и выборе пресса. Дозировка порошка для прессования производится в большинстве случаев объемным методом, при этом соблюдение постоянства насыпного веса является совершенно необходимым условием.

*Текучесть* определяет способность шихты к транспортировке по коммуникациям – трубопроводам и лоткам пресса и особенно важно знать её, если прессование производится на прессе-автомате. Кроме того, текучесть, в основном, определяет скорость и полноту заполнения пресс-формы, то есть производительность прессования. Плохая текучесть пресс-порошка не только тормозит скорость заполнения полости пресс-формы, но и вызывает неравномерность заполнения. Средняя текучесть шихты должна быть такой, чтобы полость пресс-формы заполнялась за 1–2 сек.

Текучесть шихты зависит от множества факторов, из которых основными являются: форма частиц; размеры частиц; однородность шихты по размерам частиц; плотность материала частиц; свойства пластификатора (как клеящего вещества).

Текучесть зависит от множества факторов, учесть и повторить которые практически невозможно. Поэтому величина текучести не нормируется, но Государственный стандарт предусматривает единую методику определения текучести.

Для различных групп материалов (стройматериалы, металлические порошки, мука и крупы и т.д.) приборы имеют различные размеры, но методика одинакова – измеряется время истечения определённой массы материала, через калиброванное отверстие. Текучесть измеряют в секундах.

При большой удельной поверхности, как правило, при частицах менее 60 мкм, трение между частицами и частиц о стенки возрастает настолько, что течение порошка становится практически невозможным. С увеличением размеров частиц соотношение между силами трения и массой частиц становится меньше, и текучесть возрастает, но при дальнейшем увеличении размеров частиц начинают сказываться силы сцепления между частицами, обусловленные формой частиц, и текучесть вновь снижается.

Наибольшей текучестью обладают частицы шарообразной, эллипсоидальной и других округлых форм, а наименьшей – дендритной, пластинчатой и игольчатой форм.

Именно поэтому пресспорошки гранулируют, придавая конгломератам шарообразную форму. Грануляция преследует и ещё одну важную цель – гранулы стараются делать одинаковыми и этим создаются условия равномерного и одинакового заполнения пресс-формы.

Текучесть зависит от способа получения частиц порошка: осаждением, распылением, восстановлением и т.д.

Зависит текучесть и от длительности хранения. Поэтому текучесть проверяют непосредственно перед прессованием.

**Экспериментальная часть**

*Аппаратура и материалы*: Установка для определения насыпной плотности, весы, линейка металлическая 100 мм, секундомер, партии порошка различной крупности – 100 – 150 г.

*Ход работы*. Установка для определения насыпной плотности и текучести показана на рис. 1.



Рис. 1. Установка для определения насыпной плотности.

1 – штатив (стойка), 2 – воронка с калиброванным отверстием диаметром 5 мм,

3 – мерная ёмкость объёмом 25 см3

Порядок работы по ГОСТ 19440 при измерении насыпной плотности следующий (рис. 2).

Вначале взвешивают пустую сухую мерку (стакан), изготовленную из полированной нержавеющей стали. Мерку подставляют под отверстие в воронке и устанавливают расстояние между нижним краем воронки и верхним обрезом мерки равным 25 мм. Затем сухим пальцем снизу закрывают отверстие *D* = 5 мм воронки 2, заполняют её сухим порошком, открывают отверстие и дают порошку истечь в мерную калиброванную емкость 3. Ребром линейки одноразовым движением, не оказывая давления на поверхность порошка и не встряхивая его, снимают "верх".

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| А | Б | В |
| Рис. 2. Порядок определения насыпной плотности.1 - штатив, 2 - воронка, 3 - стакан емкостью 25 см3, 4 – мерная плитка. А – установка воронки на требуемой высоте над меркой, Б – засыпка порошка в воронку, В – мерка, заполненная порошком "с верхом". |

Для удобства переноски мерки с порошком на весы после выравнивания поверхности порошка слегка постукивают по внешней поверхности мерки, чтобы порошок слегка осел и не рассыпался при перемещении. Мерку с порошком взвешивают с точностью до 0,05 г, от веса заполненной порошком мерки вычитают вес мерки, определённый ранее, и чистый вес порошка делят на объем калиброванной емкости 25 см3. Определение выполняют на трёх испытуемых порциях.

Насыпную плотность γнас (г/см3) определяют по формуле

 ,

где G1 – масса мерки, г; G2 – масса мерки с порошком, г; V – объем мерки, см3 (25 см3).

Испытания проводят три раза и берут среднее арифметическое.

**Задание 1. Влияние насыпной плотности на степень заполнения пресс-формы**

Работу проводят, используя установку для определения насыпной плотности, которая показана на рис. 1.

Полость пресс-формы моделируют с помощью мерки.

Определяют насыпную плотность, результаты заносят в таблицу и строят графики зависимости массы заполненной мерки, которая является в данном случае моделью полости пресс-формы, от насыпной плотности соответствующего порошка и от его крупности.

Таблица

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер измерения | Размер частицпорошка, мкм | Массапорошка, г | Насыпнаяплотность, г/см3 | Среднее значение насыпной плотности, г/см3 |

**Требования к отчету**

Отчет должен содержать краткое описание теоретических сведений, порядок выполнения работы, протокол испытаний и вывод.

Протокол должен содержать следующие данные: наименование порошка; применяемое оборудование и приборы, таблицу результатов эксперимента, графики зависимостей.

**Задание 2. Зависимость текучести от размеров частиц порошка**

Установка для определения текучести показана на рис. . Порядок работы по ГОСТ 19440 при измерении текучести следующий (рис 5).

Вначале взвешивают пробу порошка массой 50 г с точностью 0,1 г. Затем сухим пальцем снизу закрывают отверстие *D* = 2,5 мм воронки 2, заполняют её сухим порошком, открывают отверстие, включают секундомер и дают порошку истечь в мерную калиброванную емкость 3. В момент прекращения истечения порошка секундомер выключают. Определение выполняют на трёх испытуемых порциях.



Рис. 4. Установка для определения текучести.

1 – стойка, 2 – воронка с калиброванным отверстием 2,5 мм, 3 – чашка,

4 – основание.

|  |
| --- |
|  |
| А | Б |
| Рис. 5. Порядок определения текучести. А – установка воронки и засыпка порошка в воронку, Б – истечение порошка. 1 – штатив, 2 – воронка, 3 – приёмный стакан. |

Испытания проводят три раза и берут среднее арифметическое.

По предложенной методике определяют текучесть для порошка с различными размерами частиц.

Результаты эксперимента заносят в таблицу и строят график зависимости текучести от размеров частиц.

Таблица

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер измерения | Размер частиц порошка, мкм | Массапорошка, г | Время истечения порошка, сек | Среднее значение текучести, сек |

**Требования к отчету**

Отчет должен содержать краткое описание теоретических сведений, порядок выполнения работы, протокол испытаний и вывод.

Протокол должен содержать следующие данные: наименование порошка; применяемое оборудование и приборы, таблицу результатов эксперимента, графики зависимостей.

**Задание 3. Определение склонности к зависанию и сводообразованию**

*Зависание (сводообразование)*– это явление застревания порошкового материала во внутренних полостях бункера, точек перегиба трубопроводов и в прессформе, которое обуславливается особенностями течения таких материалов, с одной стороны проявляющих свойства жидкости, а с другой – являющимися совокупностью твёрдых частиц, активно взаимодействующих друг с другом (трение, сцепление, схватывание) вследствие неупорядоченного расположения.

Порошковые текучие (сыпучие) материалы способны принимать форму сосуда и движутся потоком – в этом они похожи на жидкости. Каждая частица обладает вместе с тем свойствами твёрдого тела и их совокупность также способна воспринимать внешние сжимающие нагрузки – в этом сходство порошкового тела с твёрдым.

Сила сцепления частиц зависит от степени влажности, пористости, размера и формы частиц и так как сила сцепления пропорциональна суммарной площади контактов между частицами материала, то чем мелкозернистей порошок, то тем больше силы поверхностного сцепления между ними.

Если порошок загрузить в бункер, то под действием сил тяжести верхних слоёв в нижних материал уплотняется, сила сцепления увеличивается и текучесть уменьшается, что приводит к увеличению насыпной плотности и числа точек контакта между частицами. При этом из зазоров между частицами частично вытесняется воздух и возникают точки контакта между частицами, в которых действуют межмолекулярные силы. В результате этого затрудняется истечение порошка из отверстия бункера, в трубопроводах возникают зоны уплотнения порошка и пробки, полость прессформы, имеющая сужения, не заполняется (рис. 6).

Зависание и сводообразование – нежелательные явления, которые приводят к нарушению процессов дозирования, транспортировки и прессования порошков и которые следует учитывать при проектировании бункеров, трубопроводов и прессформ.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| А | Б |

Рис.6. Схема зависания: А – в виде свода над отверстием в модели бункера,

Б – схема образования пустот при заполнении прессформы.

Диаметр отверстия в бункере или проходное сечение трубопровода dкрит, в которых начинается зависание могут быть определены по эмпирической формуле

 ,

где 4,5 и 2,4 – эмпирические коэффициенты, *е* – основание натуральных логарифмов, *А* – средний размер зерна по Фишеру.

Часто для борьбы с явлением зависания в конструкцию пресс-автоматов вводят так называемые "встряхиватели" – небольшие устройства механического или электромеханического типа, которые периодически ударяют молоточком по местам бункеров или трубопроводов, где прогнозируется зависание или сводообразование. Этой же цели служат вибраторы, устанавливаемые в соответствующих местах системы питания пресса.

*Аппаратура и материалы*: Установка для определения склонности шихты к зависанию, шихта (порошок) – 450 г.

*Ход работы.* Установка для определения склонности шихты (порошка) к зависанию и сводообразованию показана на рис. 4. Порядок работы на установке следующий (рис. 7).

В воронку вставляют калиброванную дюзу (фильеру) диаметром 5 мм. Затем сухим пальцем снизу закрывают отверстие, заполняют воронку сухим порошком, открывают отверстие, и дают порошку истечь в приёмную ёмкость.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| А | Б |

Рис. 7. Установка для определения склонности шихты к сводообразованию и зависанию. 1 – штатив, 2 – воронка, 3 – приёмная ёмкость, 4 – сменные сопла (дюзы), 5 – свод при зависании порошка.

А – установка воронки и засыпка порошка в воронку, Б – истечение порошка

Затем дюзу с диаметром отверстия 5 мм заменяют на дюзу с отверстием диаметром 4 мм и опыт повторяют. Постепенно заменяя дюзы, определяют момент прекращения истечения порошка через отверстие – дюза с таким отверстием и будет той, при которой начинается зависание шихты и сводообразование.

Определение выполняют на трёх испытуемых образцах с различным размером частиц. Результаты измерений заносят в таблицу.

Таблица

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер измерения | Размер частиц порошка, мкм | Диаметр дюзы, мм | Отметка о наличии явления |

**Требования к отчету**

Отчет должен содержать краткое описание теоретических сведений, порядок выполнения работы, протокол испытаний и вывод.

Протокол должен содержать следующие данные: наименование порошка; применяемое оборудование и приборы, таблицу результатов эксперимента.