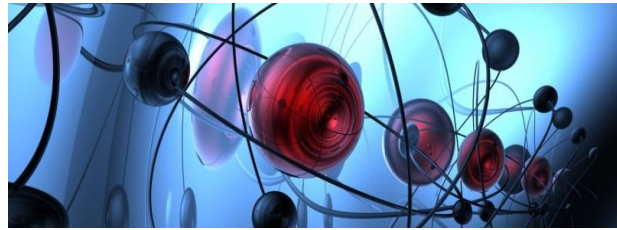


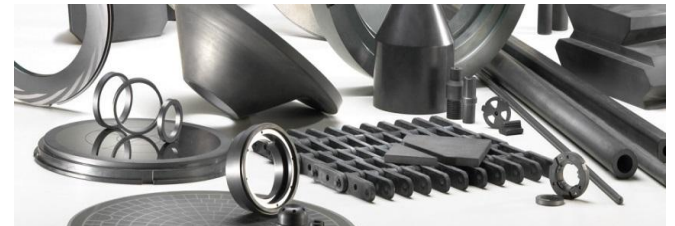


ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



ПОЛИТЕХ
Институт металлургии,
машиностроения и транспорта

Методы измерения плотности материалов



Определения

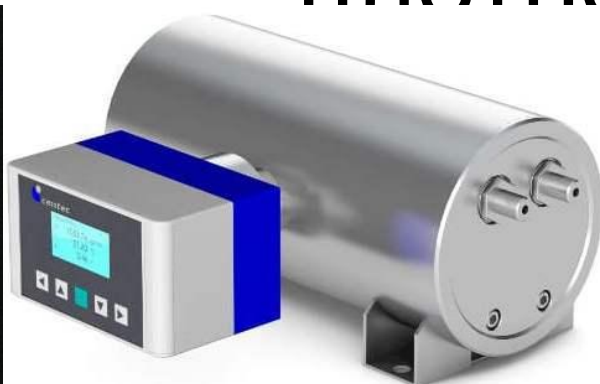
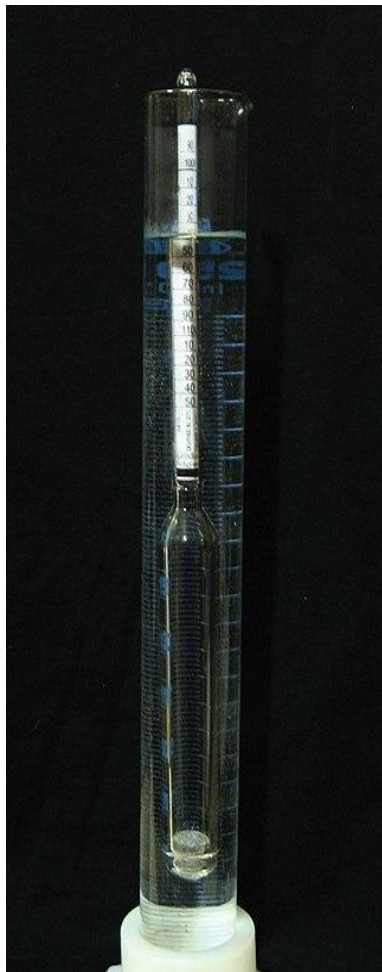
- Плотность – скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объему
- Средняя плотность тела
- Плотность вещества $\lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}$
- Плотность тела в точке

На атомном уровне любое тело неоднородно, поэтому необходимо остановиться на объеме, соответствующем используемой физической модели

Зачем определять плотность

- Плотность – важный показатель качества сырья и готовой продукции
- Неоднородность => качество конечного продукта, в т.ч. прочность, сопротивление растрескиванию и т.д.
- Путем измерения плотности проверяют чистоту материала
- ...

Приборы для измерения плотности



Ареометрический метод: закон Архимеда в действии

Согласно закону Архимеда, на тело, погруженное в жидкость частично или полностью, действует выталкивающая сила, направленная вверх. Величина этой силы равна весу жидкости, вытесняемой телом.





- Твердое вещество взвешивают в воздухе (А), а затем во вспомогательной жидкости (В) с известной плотностью. Плотность твердого тела ρ можно им образом:

$$\rho = \frac{A}{A - B} (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L$$





- ρ - плотность образца
- А - масса образца в воздухе
- В – масса образца во вспомогательной жидкости
- ρ_0 – плотность вспомогательной жидкости
- ρ_L – плотность воздуха.

Необходимо учитывать температуру жидкости, поскольку ее колебания могут изменять плотность на величину от 0,001 до 0,1 на один градус Цельсия. Изменения проявляются в третьем знаке после запятой.

Методы измерения плотности

	Гравиметрический метод, выталкивающая сила	Гравиметрический метод, вытеснение	Пикнометр	Цифровой плотномер
Методы	<p>Стакан для вспомогательной жидкости стоит на грузоприемной платформе или располагается под весами</p> 	<p>Стакан для вспомогательной жидкости стоит на весах</p> 	<p>Стеклянный сосуд определенного объема</p> 	<p>Осциллирующая трубка</p> 
Образцы	<ul style="list-style-type: none"> • Твердые вещества • Жидкости (с грузилом) 	<ul style="list-style-type: none"> • Пастообразные вещества (сферическое грузило из металла) • Жидкости (с грузилом) • Твердые вещества 	<p>Жидкости, взвеси</p> <p>Порошок</p> <p>Гранулы</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Жидкости • Газы
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> • Быстрый процесс • Гибкость в отношении размера образца 	<ul style="list-style-type: none"> • Быстрый процесс 	<ul style="list-style-type: none"> • Точный метод 	<p>Быстрый процесс</p> <p>Точный контроль температуры элементами Пельтье</p> <p>Автоматическое измерение плотности</p> <p>Образцы малого объема</p>
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> • Чувствительность к температуре • Необходимо тщательно увлажнение образца • Не должно быть воздушных пузырьков 	<ul style="list-style-type: none"> • Чувствительность к температуре • Требуется большой объем образца 	<ul style="list-style-type: none"> • Чувствительность к температуре • Трудоемкость • Требуется времени • Не должно быть воздушных пузырьков 	<ul style="list-style-type: none"> • Вязкие образцы требуют внесения поправки на вязкость (функция доступна в современных приборах)

Методы измерения плотности

	Гравиметрический, выталкивающая сила	Гравиметрический, вытеснение	Пикнометр	Цифровой плотномер
Методы	<p>Стакан для вспомогательной жидкости стоит на грузоприемной платформе или располагается под весами</p> 	<p>Стакан для вспомогательной жидкости стоит на весах</p> 	<p>Стеклянный сосуд определенного объема</p> 	<p>Осциллирующая трубка</p> 
Принцип измерения для твердых образцов	<p>Образец взвешивают сначала в воздухе, затем при погружении во вспомогательную жидкость с известной плотностью.</p> <p>Плотность твердого образца можно определить по известной плотности жидкости и двум значениям массы.</p> $\rho = \rho_L \frac{A}{A - B} (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L$ <p>A = вес образца в воздухе, B = вес образца во вспомогательной жидкости; ρ_0 = плотность вспомогательной жидкости; ρ_L = плотность воздуха</p>	<p>Вспомогательную жидкость с известной плотностью взвешивают до и после погружения образца (для непосредственного измерения разности масс можно использовать тару).</p> <p>По разности масс и плотности жидкости можно определить объем образца. На основании объема и массы образца рассчитывают его плотность</p>	<p>Пикнометр сначала взвешивают пустым, а затем наполненным жидкостью с известной плотностью. В очищенный и высушенный пикнометр добавляют порошок. Затем сосуд взвешивают для определения веса порошка. После этого пикнометр заполняют той же жидкостью, причем порошок не должен в ней растворяться. Сосуд снова взвешивают. Затем определяют вес вытесненной жидкости и рассчитывают плотность порошка</p>	<p>н/д</p>
Принцип измерения для жидких образцов	<p>Контрольное тело с известным объемом (стеклянное грузило) взвешивают один раз в воздухе и один раз в жидкости с неизвестной плотностью.</p> <p>Плотность жидкого образца можно определить по известному объему контрольного тела и двум значениям массы.</p> $\rho = \rho_L \left(\alpha \frac{A - B}{V} + \rho_L \right)$ <p>α = поправочный коэффициент для учета выталкивающей силы воздуха (0,99985); A = масса контрольного тела в воздухе; B = масса контрольного тела в жидкости; V = известный объем контрольного тела; ρ_L = плотность воздуха</p>	<p>Вес жидкости с неизвестной плотностью измеряют до (тарирование) и после погружения контрольного тела (стеклянного грузила или металлической сферы).</p> <p>По разности масс и известному объему контрольного тела можно определить плотность жидкого образца</p>	<p>Пикнометр сначала взвешивают пустым, а затем наполненным жидким образцом.</p> <p>Плотность жидкости вычисляется как разность результатов взвешивания, деленная на объем пикнометра.</p>	<p>Образец заливают в полную U-образную стеклянную трубку в приборе. Плотность образца определяется измерением частоты вибрации трубки. Чем ниже частота вибрации, тем выше плотность образца</p>

Проблемы при измерении

ПЛОТНОСТИ

Пузырьки

- Пользуйтесь смачивающим реагентом или органическими жидкостями (изменением плотности дистиллированной воды при добавлении пары капель смачивающего реагента можно пренебречь).
- Обезжиривайте твердые вещества, стойкие к действию растворителей.
- Регулярно очищайте оборудование.
- Не прикасайтесь к погружаемым компонентам голыми руками.
- Используйте тонкую кисть для удаления оставшихся пузырьков воздуха.

Взвешивание

Взвешивание играет значимую роль в точном определении плотности, поэтому важно использовать подходящие весы. Из-за небольшой массы образцов необходимо учитывать ограничения прибора по минимальному весу нетто. Если масса взвешиваемого образца меньше этого значения, нужный уровень точности не может быть гарантирован.

Обработка данных

Ручная регистрация данных образца, значений веса и расчета плотности также занимает много времени и может сопровождаться ошибками

Температура

Твердые вещества обычно настолько нечувствительны к колебаниям окружающей температуры, что соответствующее изменение их плотности пренебрежимо мало. Однако поскольку в измерении участвует вспомогательная жидкость, температуру необходимо учитывать. На жидкости температура оказывает большее влияние и вызывает изменение плотности от 0,1 до 1 % на 1°C. Этот эффект заметен уже в третьем знаке после запятой. Для получения точных результатов стоит во всех измерениях плотности всегда учитывать температуру вспомогательной жидкости. Эти значения можно найти в специальных справочных таблицах.

Пористость

- закрытые поры – не сообщающиеся с окружающей средой
- открытые поры – сообщающиеся с окружающей средой

Пористость и плотность материалов принято характеризовать следующими показателями:

1. Истинная (теоретическая) плотность $\rho_{\text{и}}$, г/см³ – плотность беспористого материала.
2. Кажущаяся плотность $\rho_{\text{к}}$, г/см³ – плотность материала, содержащего поры.
3. Относительная плотность $\rho_{\text{к}}/\rho_{\text{и}}$.
4. Истинная пористость $\Pi_{\text{и}}$ – суммарный объем всех пор, выраженный в процентах или долях к общему объему материала.
5. Кажущаяся (открытая) пористость – объем открытых пор, заполняемых водой при кипячении, выраженный в процентах к общему объему материала.
 - Путем взвешивания, измерения линейных размеров и расчета объема образца материала всегда определяется только кажущаяся плотность $\rho_{\text{к}}$.
 - Если материал образца имеет минимальную пористость (менее 0,5%), то значение экспериментально определенной плотности можно считать за истинную (теоретическую) плотность $\rho_{\text{и}}$.
 - Образцы с предполагаемой пористостью более 0,5% перед взвешиванием в жидкости пропитывают расплавленным парафином или другим веществом, не растворимым в жидкости. Это делается с целью закрытия открытых пор. Плотность подготовленных таким образом образцов будет кажущейся $\rho_{\text{к}}$.