

УДК 001.893:65.011.56:658.562

## ВЫБОР МЕТОДА И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ОТКРЫТЫМИ ПОРАМИ

Соколовский С.С., Астапович О.С.

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

В современном мире машиностроение и приборостроение не могут обойтись без применения композиционных материалов. Это связано с тем, что материалы, традиционно применяемые в данных областях промышленности, не всегда позволяют удовлетворять всё более разнообразные и растущие требования, предъявляемые к ним, исходя из современного уровня развития науки и техники. Развитие современной техники требует создания материалов, надежно работающих при воздействии агрессивных сред, излучений, глубокого вакуума и высоких давлений, сверхвысоких и сверхнизких температур и пр. В плане удовлетворения таких жестких требований весьма перспективным направлением считается использование различных композиционных материалов.

Для рассматриваемых в рамках данного исследования специальных антифрикционных композиционных материалов торговой марки Флувис основные физико-механические свойства напрямую связаны с их плотностью, поэтому данная характеристика выступает в качестве одного из основных контрольных параметров при изготовлении деталей из таких материалов.

Важно отметить, что для пористых тел, к которым можно отнести рассматриваемые композиционные материалы, различают нес-колько видов плотности [1]:

– объемная плотность – плотность, определяемая внешним объемом твердого образца, рассчитанная без вычета присутствующих в нем пустот (открытых и закрытых пор, трещин и щелей);

– истинная плотность – плотность, рассчитанная с вычетом всех присутствующих в твердом образце пустот, за исключением закрытых пор (эта величина наиболее близка к реальной плотности материала);

– кажущуюся плотность – плотность, рассчитанная с вычетом всех присутствующих в твердом образце пустот, определенных по количеству жидкости (газа) проникающей в поры [3].

При этом для контроля качества деталей, изготовленных из пористых композиционных материалов с открытыми порами, принято использовать объемную плотность, так как данный параметр больше всего влияет на прочность и износостойкость деталей.

С учётом описанных обстоятельств был проведен системный анализ существующих методов измерения плотности твёрдых тел с целью определения возможности их исполь-

зования при контроле качества рассматриваемой специфической группы материалов. В ходе такого анализа были рассмотрены следующие основные методы [1-3]:

- метод обмера и взвешивания;
- метод гидростатического взвешивания;
- метод жидкостной пикнометрии;
- метод суспензии (флотационный метод);
- метод газовой пикнометрии;
- метод измерения плотности с использованием газового объеммера.

Метод обмера и взвешивания является самым простым из вышеперечисленных. Сущность метода заключается в определении плотности вещества по отношению массы образца к его объему, определяемым непосредственно взвешиванием и обмером. Метод применяется для определения плотности тел правильной геометрической формы (ГОСТ 15139).

Определение плотности методом гидростатического взвешивания осуществляют по результатам двух измерений массы исследуемого предмета. Сначала в воздушной среде, затем в жидкости, с известной собственной плотностью. Обычно в качестве жидкости используют воду, например, дистиллированную. Объем объекта рассчитывают как отношение разности двух результатов измерения массы к плотности рабочей жидкости.

Измерение плотности методом жидкостной пикнометрии проводят с использованием пикнометра и данный метод основан на определении объема жидкости, вытесненной объектом исследования, масса которого предварительно измерена. Пикнометр представляет собой сосуд, изготовленный из стекла, объем которого известен с большой точностью.

Метод суспензии (флотационный метод) заключается в подборе рабочей жидкости плотность которой можно было бы приписать исследуемому объекту. В этом случае плотность рабочей жидкости, в которую погружают объект, должна примерно равняться плотности пробы, затем плотность жидкости меняют так, чтобы проба повисла в ней, не всплывала и не погружалась (ГОСТ 15139).

Измерение плотности методом газовой пикнометрии проводят с использованием газового пикнометра, путем перемещения газа из одной камеры пикнометра в другую в изотермических условиях.

Первоначально определяется масса образца, затем образец помещают в камеру. При открытии

впускного крана камера образца заполняется газом под давлением. После кран закрывают и измеряют избыточное давление  $P_1$ . Затем открывают перепускной кран, позволяя газу заполнить вторую камеру, после чего измеряют новое равновесное давление в обеих камерах  $P_2$ . Равновесные давления на обоих этапах регистрируют измерительными приборами (ГОСТ Р 57844).

Плотность образца рассчитывают по формуле:

$$\rho = m / (V_1 - P_2) / (P_1 - P_2) \cdot V_2, \quad (1)$$

где  $m$  – масса образца;  $V_1$  – объем кюветы образца;  $P_2$  – равновесное избыточное давление в кювете сравнения;  $P_1$  – равновесное избыточное давление в кювете образца;  $V_2$  – объем кюветы сравнения.

Используемый для анализа газ требуемой чистоты должен быть инертным и не абсорбироваться с материалом образца. Свойства газа должны быть максимально близки к свойствам идеального газа [5].

Метод измерения плотности с использованием газового объеммера заключается в следующем. В герметичный сосуд постоянной вместимости подают какой-либо газ и проводят измерение абсолютного давления газа, затем вводят испытуемое тело и снова измеряют абсолютного давления газа. При изотермическом процессе изменения объема газа на основании закона Бойля–Мариотта можно записать следующее выражение для вычисления плотности тела:

$$\rho = (M \cdot P_2) / V \cdot (P_2 - P_1), \quad (2)$$

где  $M$  – масса тела;  $V$  – вместимость сосуда;  $P_1$  – абсолютное давление газа до введения тела в сосуд;  $P_2$  – абсолютное давление газа после введения тела в сосуд.

Кроме этого, был проведен анализ методов измерения пористости материалов с целью определения возможности приспособить их для решения поставленной специфической измерительной задачи. При этом были рассмотрены следующие методы.

Метод ртутной порометрии для измерения пористости материала основан на том, что жидкость, не смачивающая твердое тело, проникает в его поры лишь при воздействии внешнего давления.

Таким образом, можно предположить, что используя в качестве рабочей жидкости ртуть можно измерить объемную плотность методом гидростатического взвешивания или методом жидкостной пикнометрии. Однако, более детальное изучение метода ртутной порометрии показало, что данное действие не оправдывает ожидания, так как ртуть имеет большую плотность  $13,6 \text{ г/см}^3$  и композиционные материалы группы Флувис, максимальная плотность которых составляет  $2,05 \text{ г/см}^3$  будут свободно плавать на поверхности ртути.

Если же предположить, что открытые поры можно сделать закрытыми, то в этом случае любой из методов позволит определить объемную плотность исследуемого объекта. Для закрытия пор можно использовать воск, им можно покрыть исследуемый объект и измерять плотность. Однако, применяя такой подход к измерению объемной плотности, возникают такие составляющие методической погрешности как, погрешность измерения массы использованного воска, а также погрешность измерения его плотности.

Факт, что для контроля качества деталей, изготовленных из рассматриваемых пористых композиционных материалов с открытыми порами принято использовать объемную плотность, ограничивает выбор методов для измерения плотности фактически до одного метода, метода обмера и взвешивания. Это связано с тем, что жидкости и газы заполняют открытые поры с течением времени, что приводит к нестабильным и завышенным результатам измерения. Что касается измерений геометрических параметров и массы исследуемых образцов с целью реализации выделенного метода, то инструментальное обеспечение таких измерений с требуемой точностью в настоящее время не представляет никакой сложности и в данном случае на первый план выдвигается задача минимизации методической погрешности измерения.

#### Литература

1. Измерение массы, объема и плотности / С.И. Гаузнер [и др.] – М.: Изд-во Стандартов, 1972. – 623 с.
  2. Крылов, А.П. Научно-технический энциклопедический словарь / А.П. Крылов Санкт Петербург, 2001. – 5784 слов
- Porometer.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.porometer.ru – Дата доступа 24.08.2018.