

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Медведева<sup>1</sup>, Д.М. Мордасов<sup>1</sup>, М.М. Мордасов<sup>2</sup>

*Кафедры: «Материалы и технология» (1); dmmordasov@rambler.ru;  
«Управление качеством и сертификация» (2), ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*

*Представлена членом редколлегии профессором С.В. Пономаревым*

**Ключевые слова и фразы:** классификация; неразрушающие и разрушающие методы; параметры пористой структуры; пористость; порометрия.

**Аннотация:** Приведена научная классификация методов контроля пористой структуры материалов. В основу классификации положены такие обобщающие признаки, как характер и природа воздействия на контролируемый материал, разрешающая способность, контролируемый параметр пористой структуры. Критический анализ методов контроля пористости на основе созданной классификации позволил выявить наиболее перспективные, к которым относятся методы, основанные на использовании возмущающего газового воздействия.

---

Обеспечение высокого качества высокотехнологичных изделий невозможно без применения эффективных современных методов контроля на всех стадиях производственного цикла: проектирование (разработка), изготовление, эксплуатация.

В последнее время неуклонно растет интерес к пористым полимерным материалам. Несмотря на то что данные объекты исследуются давно, научные и заводские лаборатории продолжают заниматься проблемой пористости, а именно, изучением структуры пористых полимерных материалов, вопросами получения, формирования и разложения пористых структур, поиском новых сфер применения.

Создание новых материалов неразрывно связано с всесторонним исследованием их свойств – механических, физико-химических, электрофизических, химических и др. В большинстве случаев эта задача может быть решена с помощью традиционных методов и средств измерения, контроля и диагностики. Однако очень часто исследователи сталкиваются с проблемой невозможности обеспечения контроля, вызванной несоответствием разрешающей способности средств измерения, характером воздействия на контролируемый материал, а также природой этого воздействия.

Одним из важнейших параметров, характеризующих пористые материалы, является пористость.

Пористостью  $\Pi$  называется отношение объема  $V_{\text{п}}$  пустот в материале к его полному объему  $V$ . Пористость определяют по одной из формул:  $\Pi = V_{\text{п}}/V$  или  $\Pi = (m_{\text{н}} - m)/(p_{\text{ж}}V)$ , где  $m_{\text{н}}$  – масса насыщенного жидкостью материала, кг;  $p_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – масса материала, кг.

Истинная пористость  $\Pi_{\text{и}}$  может быть определена по результатам измерения истинной  $\rho_{\text{и}}$  и объемной  $\rho_{\text{V}}$  плотности по формуле

$$\Pi_{\text{и}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{и}}}\right) \cdot 100 \% . \quad (1)$$

Поскольку измерение истинной плотности требует тщательного измельчения сыпучего материала до полного удаления из него газовых включений, то при проведении экспресс-контроля обычно определяют кажущуюся плотность  $\rho_{\text{к}}$ . При этом осуществляется измерение эффективной пористости  $\Pi_{\text{э}}$ , и формула для ее определения будет иметь вид

$$\Pi_{\text{э}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{к}}}\right) \cdot 100 \% . \quad (2)$$

В настоящее время известно большое число экспериментальных методов определения пористой структуры дисперсных материалов. К ним относятся: жидкостная, ртутная и газовая порометрии, метод проницаемости, газодинамические методы, методы непосредственного наблюдения пор, капиллярные и сорбционные методы [1].

Проблема выбора метода контроля в значительной степени может быть решена путем использования классификаций существующих методов и методик, а в некоторых случаях и за счет разработки новых методов, удовлетворяющих поставленным требованиям.

В настоящей работе на основе обобщения существующих методов контроля пористости материалов осуществлена их классификация.

Анализ методов и средств контроля пористости позволил выделить основные признаки, положенные в основу их научной классификации:

- по характеру воздействия на контролируемый материал;
- природе возмущающего воздействия;
- разрешающей способности;
- контролируемому параметру.

По характеру воздействия на материал все методы контроля пористости классифицируются на разрушающие, приводящие к утрате эксплуатационных, технологических, механических и других свойств образца, и неразрушающие.

На рисунке 1 представлена классификация разрушающих методов контроля пористости.

В основу гидравлических [2, 3] методов положены явления капиллярности и диффузии. Так, метод ртутной порометрии основан на том, что жидкость, не смачивающая твердое тело, лишь при воздействии внешнего давления проникает в его поры. Все разновидности метода жидкостной порометрии основаны на объемном или весовом определении количества жидкости, заполняющей поры материала или вытесняемой им при погружении в жидкость. Благодаря методам капиллярной дефектоскопии (КД) возможно выявление открытых пор размером больше 0,1 мкм путем заполнения их хорошо смачивающей индикаторной жидкостью – пенетрантом. Степень заполнения пор зависит от соотношения размера пор и молекул жидкости, от межфазного натяжения у входа в капилляр [2, 3].

Наличие эффективной пористости в материале увеличивает его свободную удельную поверхность. Величина свободной удельной поверхности может изменяться от  $10^{-2}$  до  $10^3$  м<sup>2</sup> на 1 г вещества в зависимости от дисперсности и объемной концентрации пор. Вследствие этого, для измерения пористости широко при-

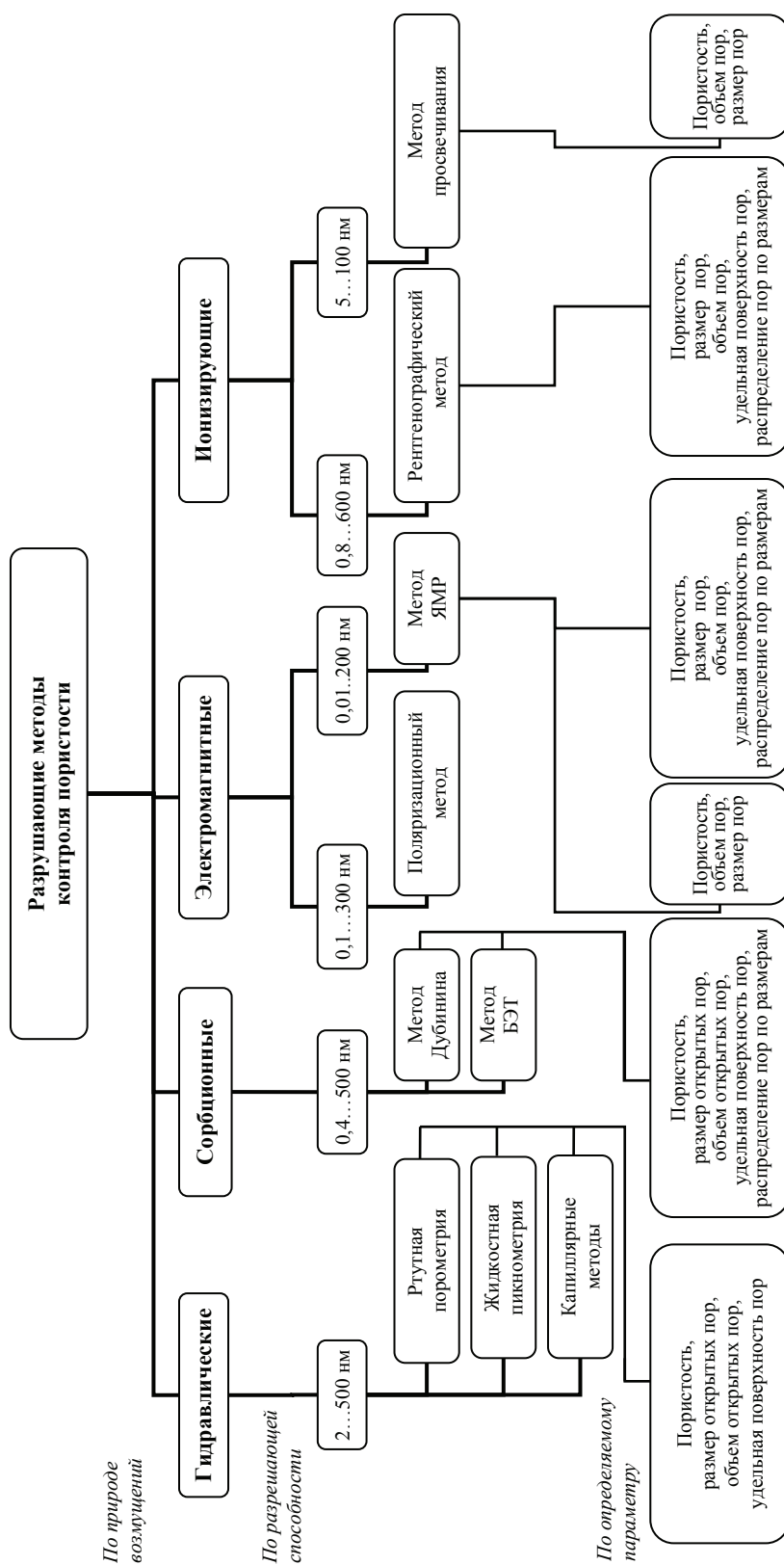


Рис. 1. Классификация разрушающих методов контроля пористости

меняют сорбционные методы, которые основаны на явлении конденсации газов на открытых поверхностях адсорбентов [1]. Основное достоинство сорбционных методов – возможность надежного определения такого важного параметра пористой структуры, как удельная поверхность [4, 5]. Наиболее чувствительными к параметрам пористости являются электромагнитные методы [7, 8], позволяющие регистрировать поры размером 0,1 нм, а методом ядерно-магнитного резонанса – до 0,01 нм. Ионизирующие методы [7] наряду с информацией об основных параметрах пористой структуры дают возможность подробного анализа закрытой пористости.

На рисунке 2 приведена классификация неразрушающих методов контроля пористости.

Для изучения макропор визуально-оптическим методом [4, 9] традиционно используют лупы, эндоскопы, микроскопы, гибкие телескопические приборы на основе светодиодов.

Газодинамические методы [10, 11] заключаются в измерении скорости изменения давления до заданного значения в двух емкостях одинакового объема, одна из которых является измерительной, в нее помещают материал, а вторая сравнительной.

Метод газовой порометрии (манометрический метод) [2, 5] основан на законе Бойля–Мариотта, согласно которому при одной и той же температуре произведение давления на объем газа остается постоянным.

Метод проницаемости [10] заключается в том, что пробу материала при известной плотности насыпного слоя и при известной площади поперечного сечения и высоте продувают воздухом. При этом измеряют потерю давления при прохождении определенного количества воздуха через слой пробы.

Рассмотренным методам присущи свои достоинства и недостатки. Основные недостатки связаны со сложностью аппаратной реализации и длительностью эксперимента. Методы жидкостной порометрии достаточно просты, однако их применение невозможно при контроле веществ, не допускающих смачивания.



**Рис. 2. Классификация неразрушающих методов контроля пористости материалов**

При измерении параметров пористости (общая пористость, закрытая пористость и др.) необходим тщательный выбор соответствующего метода с учетом его достоинств и недостатков. Возможно объединение нескольких методов определения пористости, например, сорбционного и гидравлического. Такое объединение ведет к взаимному устранению их недостатков и повышению эффективности определения сразу нескольких параметров пористости.

Анализ современного состояния контроля пористости на основе созданной классификации позволил выявить методы, перспективные как с точки зрения их применения в качестве измерительных, так и с позиций их развития и создания новых методов. К таким методам относятся пневматические [6], основанные на использовании газового воздействия на контролируемый материал. Газ легко проникает в поры размером до 0,2 нм, а выбор его природы и соответствующая подготовка не оказывают какого-либо негативного воздействия на образец. Кроме того, устройства, реализующие эти методы, относительно дешевы по сравнению с другими устройствами и имеют строгое математическое описание принципа действия и могут быть легко автоматизированы.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, контракт № 14.В37.21.0450.*

#### *Список литературы*

1. Епифанов, С.В. Обзор современного состояния контроля параметров пористости сыпучих материалов / С.В. Епифанов, Д.М. Мордасов // Труды ТГТУ : сб. науч. статей молодых ученых и студентов / М-во образования и науки Рос. Федерации, ГОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». – Тамбов, 2008. – Вып. 21. – С. 114–117.
2. Коузов, П.А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / П.А. Коузов, Л.Я. Скрябина. – Л. : Химия, 1983. – 143 с.
3. Израилевич, И.С. Прибор для определения истинной плотности дисперсных и пористых тел / И.С. Израилевич, С.Н. Новиков // Завод. лаб. – 1964. – Т. 30, № 10. – С. 1278–1280.
4. Репникова, Е.А. Пористость материалов и методы ее определения : учеб. пособие / Е.А. Репникова, В.В. Петрова. – Петрозаводск : Изд-во Петрозавод. гос. ун-та, 2007. – 97 с.
5. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов : монография / А.П. Карнаухов. – Новосибирск : Наука, 1999. – 469 с.
6. Мордасов, Д.М. Физические основы пневмодинамического измерения пористости веществ / Д.М. Мордасов, Н.А. Булгаков, М.М. Мордасов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 661–666.
7. Медведева, А.В. Методы контроля пористости материалов (классификация) / Д.М. Мордасов, А.В. Медведева // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы III Междунар. науч.-инновац. молодеж. конф., 31 окт. – 2 нояб. 2011 г. / под общ. ред. Д.О. Завражина. – Тамбов, 2011. – С. 130-132.
8. Слоущ, В.Г. Определение пористости огнеупоров / В.Г. Слоущ // Дефектоскопия. – 1988. – № 7. – С. 71–75.
9. Плаченев, Т.Г. Порометрия / Т.Г. Плаченев, С.Д. Колосенцев. – Л. : Химия, 1988. – 177 с.
10. Бобыренко, Ю.Я. Прибор для определения плотности дисперсных материалов / Ю.Я. Бобыренко // Завод. лаб. – 1965. – Т. 31, № 2. – С. 243–234.
11. Брюханов, Б.К. Измерение количества вещества, уровня, объема, давления, состава : учеб. пособие / Б.К. Брюханов, Б.К. Григоровский, В.Н. Ерицев. – Куйбышев: Изд-во Куйбышев. политехн. ин-та, 1986. – 90 с.

## Classification of Methods of Control of Porous Materials

A.V. Medvedeva<sup>1</sup>, D.M. Mordasov<sup>1</sup>, M.M. Mordasov<sup>2</sup>

Departments: "Materials and Technology" (1); [dmmordasov@rambler.ru](mailto:dmmordasov@rambler.ru);  
"Quality Control and Certification" (2), TSTU

**Key words and phrases:** classification; destructive methods; non-destructive; porosimetry; porosity parameters of the porous structure.

**Abstract:** The article presents the scientific classification of methods to control porous structure of materials. The classification is based on such generalizing features as the character and nature of the impact on the controlled material, resolution, the controlled parameter of the porous structure. Critical analysis of methods to control porosity based on the established classification enables to reveal the most promising methods, which include those based on gas perturbing effects.

---

### Methoden der Kontrolle der Stoffenporosität (die Klassifikation)

**Zusammenfassung:** Es ist die wissenschaftliche Klassifikation der Methoden der Kontrolle der porösen Struktur der Stoffe angeführt. Der Klassifikation sind solche verallgemeinernden Merkmale wie den Charakter und die Natur der Einwirkung auf den kontrollierenden Stoff, die Auflösung, den kontrollierenden Parameter der porösen Struktur zugrunde gelegt. Die kritische Analyse der Methoden der Kontrolle der Porosität auf Grund der geschaffenen Klassifikation erlaubte es, die perspektivischeren Methoden zu zeigen, und zwar die Methoden, die auf die Benutzung der störenden Gaseinwirkung gegründet sind.

---

### Classification des méthodes du contrôle de la porosité des matériaux

**Résumé:** Est donnée une classification scientifique des méthodes du contrôle de la structure poreuse des matériaux. A la base de la classification sont mis des indices généraux comme caractère et nature de l'action sur un matériel contrôlé, capacité de résolution, paramètre contrôlé de la structure poreuse. L'analyse critique des méthodes du contrôle de la porosité à la base de la classification créée a permis de révéler les plus perspectives méthodes dont celles qui sont fondées sur l'emploi de l'action gazeuse perturbante.

---

**Авторы:** *Медведева Анна Валерьевна* – аспирант кафедры «Материалы и технология»; *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология»; *Мордасов Михаил Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Першин Владимир Федорович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика и сопротивление материалов», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».