

УДК 681.2-52  
DOI: 10.12737/20268

Ю. Н. Можегова

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Представлена математическая зависимость пористости от параметров течения газа через материал. Обоснована конструкция устройства неразрушающего контроля пористости материалов. Определена точность контроля пористости материалов газодинамическим методом.

**Ключевые слова:** автоматизированный неразрушающий контроль, пористость, газодинамический метод, точность, измерительная камера.

Yu.N. Mozhegova

## COMPUTERIZED NONDESTRUCTIVE CHECK OF MATERIAL POROSITY

This paper reports the mathematical dependence of material porosity on material structure and conditions of gas flow through material controlled. The design of the device for porosity nondestructive check and a principle of its operation are presented. The results of experimental researches carried out on the products of complex ceramic systems are shown. The

accuracy in porosity control on the device offered is substantiated and the recommendations for its use in production are made.

**Key words:** computerized nondestructive check, porosity, gas-dynamic method, accuracy, mapping camera.

### Введение

Автоматизированный неразрушающий контроль в настоящее время широко используется отделами технического контроля на предприятиях машиностроения. В приборостроении при изготовлении устройств контроля предъявляются высокие требования к их точности и качеству проводимого контроля.

Одним из параметров, характеризующих физико-механические свойства пористых материалов (металлокерамических, керамических материалов, сложных

керамических систем), является пористость.

Целью работы является разработка на основе теоретически обоснованного способа устройства неразрушающего контроля пористости материалов и обоснование его точности.

Задачи исследования:

1. Разработать устройство неразрушающего контроля пористости материалов.
2. Обосновать точность способа определения пористости материалов.

### Теоретические исследования

К неразрушающим методам контроля качества изделий относится газодинамический метод, основанный на исследовании процесса течения газа через контролируемый пористый материал, при котором определяются параметры пористости материалов. Известен способ определения параметров пористости [1], согласно которому на основе уравнений газодинамики была получена математическая зависи-

мость пористости материалов от их структуры и свойств газа:

$$\Pi = \frac{2V_u l t_c (P_u - P_c)}{F^2 P_a (t - t_c)},$$

где  $t_c = \frac{db}{2D}$ ;  $V_u$  – объем газовой полости;  $l$  – линейный размер контролируемого ма-

териала в направлении фильтрации;  $t_c$  – время, соответствующее переходу от кнудсеновского к ламинарному режиму течения газа;  $P_u$  – текущее значение давления газа;  $P_c$  – давление, соответствующее переходу от кнудсеновского к ламинарному

режиму течения газа;  $F$  – площадь материала;  $P_a$  – атмосферное давление;  $t$  – текущее значение времени,  $t > t_c$ ;  $d$  – толщина контролируемого изделия;  $b$  – ширина контролируемого изделия;  $D$  – коэффициент диффузии газа.

### Разработка устройства для неразрушающего контроля пористости материалов

Для реализации способа разработано устройство неразрушающего контроля пористости материалов [2; 3], схема которого приведена на рис. 1.

Устройство снабжено измерительной камерой 1, установленной на одну из плоских поверхностей контролируемого материала. Образованные между измерительной камерой и контролируемым изделием герметичные полости 2 соединены через систему трубопровода 4 с вакуумным насосом 5. Герметизация этих полостей обеспечивается путем прижатия измерительной камеры к изделию с усилием  $Q$  и деформации прокладок из вакуумной резины 3. Число измерительных камер может

быть увеличено в соответствии с числом поверхностей, в направлении которых планируется осуществлять контроль пористости материала. Для исключения перетечки газа между полостями 2 имеется возможность отключения каждой из них от общей магистрали клапанами 6. Насос 5 отключается от магистрали посредством клапана 7. Каждая из полостей 2 имеет выход на датчики измерения давления газа ДД, информация с которых через систему управления 8 автоматически передается на ЭВМ 9. В ЭВМ 9 встроен датчик времени. В измерительную камеру 1 встроен датчик температуры 10, выход которого подключен к ЭВМ 9.

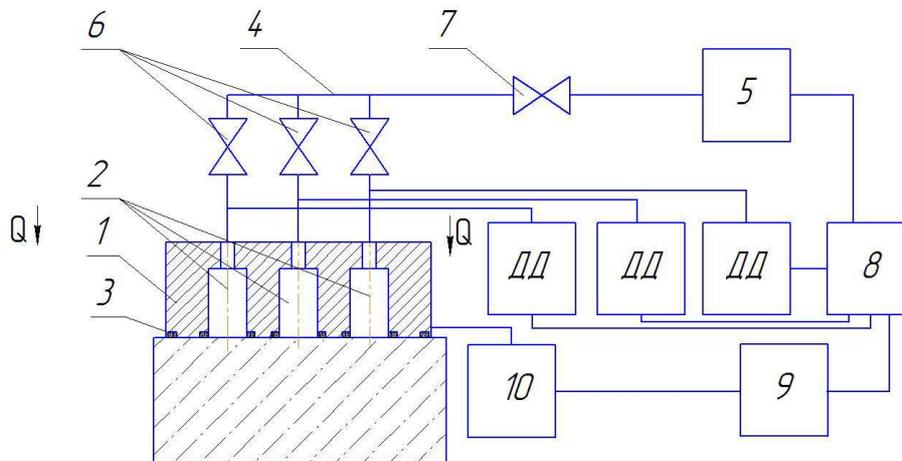


Рис. 1. Устройство неразрушающего контроля пористости материалов

Принцип работы устройства основан на процессе течения газа через исследуемый пористый материал. После установки измерительной камеры 1 на одной из граней контролируемого изделия и обеспечения герметизации полостей 2 осуществляются откачивание газа из этих полостей. Начинается процесс фильтрации газа из окружающей среды через контролируемое изделие в полости 2. На ЭВМ 9 запускается программное обеспечение для построения графических зависимостей изменения

давления газа в полостях 2 с течением времени (рис. 2). Передача данных с датчиков давления ДД, установленных в полостях 2, обеспечивается системой управления 8 (рис. 3). Программное обеспечение позволяет осуществлять построение графических зависимостей сразу по нескольким каналам, соответствующим полостям измерительной камеры 1 (до 8 каналов). При этом в зависимости от требований контроля в программе имеется возможность как выборочного подключения по-

лостей 2 одной измерительной камеры 1, так и запуска приема информации с датчиков давления ДД, подключенных к полостям 2 разных измерительных камер 1, установленных, например, на соседние грани

контролируемого изделия. Далее программа осуществляет автоматический поиск точки перехода с кнудсеновского режима течения газа на ламинарный и рассчитывает пористость материала.

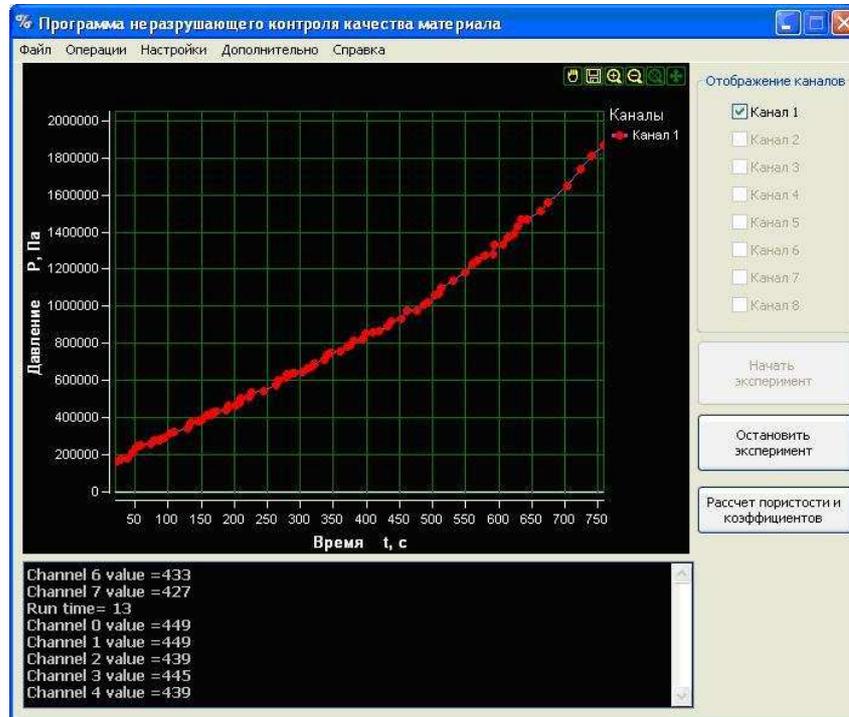


Рис. 2. Программное обеспечение для построения графиков изменения давления газа в зависимости от времени в полостях измерительных камер



Рис. 3. Система управления устройством

Путем последовательного смещения измерительных камер 1 по длине образца обеспечивается детальный контроль уча-

стков изделия на требуемое значение пористости, что позволяет выявить явный и скрытый брак. Вид и размеры измеритель-

ных камер 1 выбираются в зависимости от конфигурации детали или тех сечений, на которых необходимо определить пористость.

Для более детального исследования структуры и свойств детали целесообразно устанавливать измерительные камеры 1 на

все грани контролируемого изделия. Это позволит проанализировать течение газа не только вдоль контролируемого материала, но и в боковые поры и получить более точную картину параметров пористости изделия и наличия возможных дефектов.

**Экспериментальное подтверждение теоретических исследований**

Результаты эксперимента по течению воздуха через изделие из сложной керамической системы с водоцементным отношением В/Ц=0,6 и расходом цемента Ц=450 кг на 1 м<sup>3</sup>, изготовленное в формах

200×200 мм длиной 25 мм, приведены в табл. 1, а в табл. 2 – погрешности измерений.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Длина изделия <i>l</i> , м	Давление, Па			Время, с		Объем камеры <i>V<sub>к</sub></i> , м <sup>3</sup>	Площадь контакта камеры и изделия <i>F</i> , м <sup>2</sup>
	<i>P<sub>к</sub></i>	<i>P<sub>с</sub></i>	<i>P<sub>а</sub></i>	<i>t<sub>к</sub></i>	<i>t<sub>с</sub></i>		
0,25	1810,31	1721,02	10132,2	605,34	502,86	4,785 · 10 <sup>-6</sup>	4,785 · 10 <sup>-4</sup>

Таблица 2

Погрешности измерений параметров

Погрешность измерения длины изделия $\Delta l$ , м	Погрешности измерения давления $\Delta P_{к}, \Delta P_{с}, \Delta P_{а}$ , Па	Погрешности измерения времени $\Delta t, \Delta t_{с}$ , с	Погрешность измерения объема камеры $\Delta V_{к}$ , м <sup>3</sup>	Погрешность измерения площади контакта камеры и изделия $\Delta F$ , м <sup>2</sup>
0,001	0,015	0,01	7,275 · 10 <sup>-9</sup>	4,679 · 10 <sup>-7</sup>

Для обоснования точности способа найдем погрешность измерения пористости материала, зависящую от структуры материала, параметров устройства и их

точности при изготовлении, воспользовавшись выражением для определения погрешности косвенных измерений:

$$\delta I = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial V_{к}} \Delta V_{к}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial l} \Delta l\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial P_{к}} \Delta P_{к}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial P_{с}} \Delta P_{с}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial F} \Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial P_{а}} \Delta P_{а}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial t_{к}} \Delta t_{к}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial t_{с}} \Delta t_{с}\right)^2}$$

где  $\delta I$  – величина погрешности измерения пористости.

Коэффициенты влияния и погрешность измерения пористости материала были определены с применением MathCAD 15. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таким образом, пористость равна

$$I \pm \Delta I = 0,054 \pm 0,002.$$

Очевидно, что наибольшее влияние на точность измерений оказывают точность изготовления устройства контроля и размеры контролируемого изделия. При этом полученные результаты удовлетворяют требованиям производства.

Таблица 3

## Результаты расчетов

$\frac{\partial \Pi}{\partial V_{\alpha}}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial P_{\alpha}}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial P_c}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial t_c}$	$\Delta \Pi$
$9,442 \cdot 10^4$	$5,06 \cdot 10^{-4}$	$-5,06 \cdot 10^{-4}$	$5,307 \cdot 10^{-4}$	$1,909 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\partial \Pi}{\partial P_{\alpha}}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial F}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial l}$	$\frac{\partial \Pi}{\partial t_{\alpha}}$	
$-4,459 \cdot 10^{-7}$	-188,842	0,181	$-4,409 \cdot 10^{-4}$	

**Заключение**

На основании изложенного можно утверждать, что предлагаемое устройство следует рекомендовать к применению на производстве при проведении контроля пористости материалов изделий, а также контроля свойств материалов конструкций в процессе их эксплуатации. С целью универсального использования данного устройства предлагается изготовление измерительных камер различных форм и размеров, имеющих возможность смены их в устройстве в зависимости от размера контролируемого изделия. Это позволит су-

щественно сократить длительность контроля протяженных поверхностей изделия, исключив процесс перемещения измерительных камер по контролируемой поверхности.

В результате обоснования точности способа определения параметров, характеризующих поровую структуру материала, было выявлено, что точность измерения пористости лежит в пределах 4-6% и зависит от инструментальных источников. Данная точность контроля удовлетворяет требованиям производства.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Способ определения параметров пористости материалов: пат. 2305820 РФ: МКИЗ G01N15/08 / Житников Ю. З., Иванов А. Н., Матросова Ю. Н., Матросов А. Е. // Б. И. № 25, 2007.
2. Устройство измерения параметров пористости материалов: пат. 2560751 РФ: МКИЗ G01N15/08

/ Житников Ю. З., Можегова Ю. Н. // Б. И. № 23, 2015.

3. Можегова, Ю.Н. Обоснование точности способа автоматизированного определения минимального размера пор материалов / Ю.Н. Можегова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. - № 12. – С. 33-37.

1. Method for definition of material porosity parameters: 2305820 Pat. RF: ICI G01N15/08 / Zhitnikov Yu. Z., Ivanov A. N., Matrosova Yu. N., Matrosov A. E. // B. I. № 25, 2007.
2. Device Material Porosity Parameters Measuring: 2560751 Pat. RF: ICI<sup>3</sup> G01N15/08 / Zhitnikov Yu. Z., Mozhegova Yu. N. // B. I. № 23, 2015.

3. Mozhegova, Yu.N. Accuracy substantiation of computerized method for definition of pore minimum size in materials / Yu.N. Mozhegova // Assemblage in Mechanical Engineering, Instrument-Making. – 2015. - № 12. – pp. 33-37.

*Статья поступила в редколлегию 9.02.2016.  
Рецензент: д.т.н., профессор КГТА им. Дегтярева  
Житников Ю.З.*

**Сведения об авторах:**

**Можегова Юлия Николаевна**, к.т.н., доцент, директор энергомеханического колледжа Ковровской государственной технологической академии им. В. А. Дегтярева, e-mail: [kandy2701@mail.ru](mailto:kandy2701@mail.ru).

**Mozhegova Julia Nikolayevna**, Can.Eng., Assistant Prof., Director of Power-mechanical College of Degtyaryov State Technological Academy of Kovrov, e-mail: [kandy2701@mail.ru](mailto:kandy2701@mail.ru).