

УДК 620.179.15

Особенности морфологического анализа пористых материаловВ.Б. Харченко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.В. Батранин
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
 E-mail: vbh1@tpu.ru

Peculiarities of morphological analysis porous materialsV.B. Kharchenko

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.V. Batranin
 Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
 E-mail: vbh1@tpu.ru

Abstract. *In this work we evaluate the CTAn program for morphological analysis of porous materials with open and closed porosity. Results demonstrate consistent performance across porosity classes. Analysis of voxel size effects shows that relative parameters remain stable, validating the program's reliability at varying resolutions.*

Key words: *computed tomography, morphological analysis, porous material.*

Введение

Пористые материалы широко применяются в различных научных и прикладных областях. Такие параметры как размеры, формы, распределение и взаимосвязь пор в материале, оказывают существенное влияние на физико-химические свойства материала. Что приводит к необходимости проведения морфологического анализа. Основная цель этого анализа - исследовать внутреннюю структуру, распределение и взаимосвязь пор в материале.

Существует множество программных продуктов для проведения морфологического анализа Avizo, MIPAR, Synchrotron-based software и т.д. В данном исследовании применялась программа Computed Tomography Analyser (CTAn). [1, 2]

Целью данного исследования является изучить, каким образом результаты морфологического анализа в программе CTAn варьируются в зависимости от изменений масштаба исследуемого объекта, а также при выборе образцов различных классов, таких как образцы с открытой и закрытой пористостью.

Экспериментальная часть

Для получения модели объекта исследования в среде MATLAB был сгенерирован набор полутоновых изображений, которые имитируют томографические изображения. Полный набор изображений представляет собой куб со сферическими порами внутри. Число сфер по ребру 40 шт., а в выбранном объеме (volume-of-interest, VOI) составляет 64000 шт. Размер вокселя мы варьировали для оценки его влияния на результаты вычислений. Параметры VOI в зависимости от размера вокселя представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры VOI

Параметры VOI	Размер вокселя		
	1 мкм	10 мкм	100 мкм
Ширина, мм	0,880	8,800	88,000
Высота, мм	0,880	8,800	88,000
Длина, мм	0,880	8,800	88,000
Диаметр пор, мм	0,020	0,200	2,000

Для проведения морфологического анализа полученный сет данных был загружен в программу СТАн. Перед проведением анализа объекта была проведена бинаризация так, как только бинарные изображения могут быть проанализированы количественно. Бинарное изображение представляет собой тип изображения, где каждый пиксель может принимать одно из двух значений, обычно обозначаемых как 0 и 1. Черный цвет соответствует значению 1, а белый – значению 0. В контексте программы СТАн черный цвет интерпретируется как «пустота», а белый цвет кодирует объект. [3]

При помощи функции бинаризации было получено 2 образца для исследования:

Образец № 1 является однородным материалом, содержащим равные по размеру и равномерно распределенные сферы (рис. 1, а). Он служит моделью для материалов с закрытой пористостью, таких как вспененный алюминий, полипропиленовые пены, фиброволокнистые материалы и прочие аналогичные материалы.

Образец № 2 состоит из равных и равномерно расположенных сфер, окруженных пустым пространством (рис. 1, б). Этот образец иллюстрирует открытую пористость и представляет собой модель материала, где сферы исходного вещества формируют каркас, а пустоты между ними заполняются воздухом или другим газом, как, например, в аэрогелях.

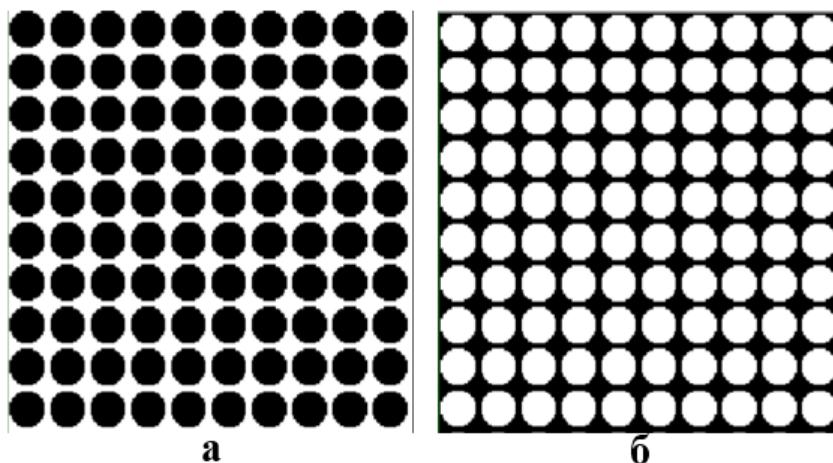


Рис. 1. Фрагменты образцов после бинаризации а) образец №1, б) образец №2

После того как образцы были получены, был поочередно проведен морфологический анализ всего VOI при размере пикселя 1 мкм, 10 мкм, 100 мкм.

Результаты

Результаты морфологического анализа полученных образцов представлены в табл. 2. В этой таблице отображаются измеряемые характеристики, в то время как производные параметры, такие как доля пористости, отношение поверхности металла к объему и др., были опущены. Полный список параметров, связанных с морфологическим анализом, можно увидеть в справочном материале к программе.

Программа использует размер вокселя как масштабный коэффициент, а базовые значения параметров не меняются. Поэтому с изменением размера вокселя изменяются пропорционально характеристики с единицами измерений, такие как объем, площадь и т.д., пропорции фаз остаются неизменными.

Рассчитанные значения параметров для образцов с закрытой и открытой пористостью находятся в соответствии друг с другом, что свидетельствует о достоверности проведенных расчетов и возможности применения данного программного обеспечения для анализа реальных образцов.

Морфологический анализ образцов

Параметры	Образец №1			Образец №2		
	1 мкм	10 мкм	100 мкм	1 мкм	10 мкм	100 мкм
Общий объем, мм ³	0.681	681.471	681470.681	0.681	681.471	681470.681
Объем металла, мм ³	0.416	416.007	416006.947	0.265	265.461	265461.333
Общая поверхность объекта, мм ²	4.643	464.331	46433.063	4.643	464.331	46433.063
Поверхность металла, мм ²	92.453	9245.272	924527.173	87.811	8781.070	878106.971
Поверхность пересечения, мм ²	4.624	462.411	46241.063	0	0	0
Кол-во объектов	1	1	1	64000	64000	64000
Кол-во закрытых пор	59319	59319	59319	0	0	0
Объем закрытых пор, мм ³	0.246	246.045	246045.326	0	0	0
Объем открытых пор	0.019	19.418	19418.408	0.416	416.009	416009.347
Объем порового пространства	0.265	265.464	265463.733	0.416	416.009	416009.347

Заключение

В ходе работы был смоделирован набор томографических изображений, который представляет собой куб со сферическими порами внутри. Данная модель используется для изучения особенностей морфологического анализа образцов с открытой и закрытой пористостью. Морфологический анализ был проведен в программе СТАн при значении размера пикселя равного 1 мкм, 10 мкм и 100 мкм. Программа достоверно производит расчет при разных классах пористости и при разных значениях размера вокселя. Планируется провести эксперименты аналогичных образом на образцах с различной геометрией пор

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания «Наука», проект № FSWW-2023-0004

Список литературы

1. Калиниченко А.С., Калиниченко В.А. Способы получения вспененного алюминия, области его применения и ряд особенностей механической обработки // Литье и металлургия. – Минск : Изд-во БНТУ, 2005. – № 2. – С. 164–169.
2. Rajak D.K., Gupta M. An insight into metal based foams: processing, properties and applications // Singapore. – 2020. – P. 133.
3. Акифьев К.Н., Стаценко Е.О., Смирнова В.В. и др. Методика исследования пористости образцов с жидкостью рентгеновским компьютерным томографом при одноосном сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. – № 2. – С. 11–21.