



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0106987
(43) 공개일자 2022년08월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) G06T 7/12 (2017.01)
G06T 7/40 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/0002 (2013.01)
G06T 7/12 (2017.01)
(21) 출원번호 10-2022-7018852
(22) 출원일자(국제) 2020년12월01일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2022년06월03일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2020/084145
(87) 국제공개번호 WO 2021/110690
국제공개일자 2021년06월10일
(30) 우선권주장
19213450.0 2019년12월04일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
바스프 에스이
독일 루트빅샤펜 67056, 칼-보쉬-스트라세 38
(72) 발명자
니테르회퍼, 플로리안
독일 67056 루트빅샤펜 칼-보쉬-스트라세 38 게베
이 - 체006
페레츠 메차, 빅토어, 디디어
독일 67056 루트빅샤펜 칼-보쉬-스트라세 38
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장덕순, 이귀동

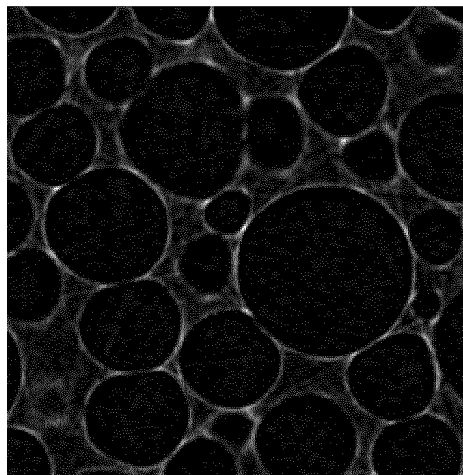
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **발포체 샘플로부터 재료 특성을 결정하는 방법**

(57) 요약

본 발명은 발포체 샘플로부터 재료 특성을 결정하는 방법의 분야에 관한 것이다. 본 발명은 (a) 샘플의 표현물을 제공하고, (b) 표현물로부터, 벽, 스트럿, 또는 노드를 포함하는 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하고, (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하고, (d) 재료 모델로부터 수신된 적어도 1개의 재료 특성을 출력하는 것을 포함하는, 발포체 샘플의 재료 특성을 결정하는 컴퓨터-구현 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2a



(52) CPC특허분류

G06T 7/40 (2013.01)
G06T 2207/10004 (2013.01)
G06T 2207/10056 (2013.01)
G06T 2207/10081 (2013.01)
G06T 2207/10088 (2013.01)
G06T 2207/10132 (2013.01)
G06T 2207/20152 (2013.01)

(72) 발명자

네스틀레, 니콜라우스

독일 67056 루드빅샤펜 칼-보쉬-스트라쎄 38

프리멜트, 라이너

독일 67056 루드빅샤펜 칼-보쉬-스트라쎄 38

명세서

청구범위

청구항 1

발포체 샘플의 재료 특성을 결정하는 컴퓨터-구현 방법이며,

- (a) 샘플의 표현물(representation)을 제공하고,
- (b) 표현물로부터, 벽, 스트럿(strut), 또는 노드(node)를 포함하는 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하고,
- (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하고,
- (d) 재료 모델로부터 수신된 적어도 1개의 재료 특성을 출력하는 것을 포함하는 컴퓨터-구현 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 표현물이, 샘플의 내부 구조를 보여주는 이미지로부터 생성되는 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 표현물이, 이미지로부터, 임계값 알고리즘을 적용하여 그레이-스케일 이미지를 세그먼트화함으로써 생성되는 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 세그먼트화된 이미지가 거리 함수 및 워터셰드(watershed) 알고리즘에 적용되는 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 5

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 이미지로부터 표현물을 생성하기 전에, 저장된 전처리 파라미터를 자동으로 적용함으로써 이미지를 전처리하는 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 샘플의 재료의 유형을 제공하는 것을 추가로 포함하며, 여기서 재료 모델은 재료의 유형에 특정한 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 표현물이 3차원 표현물인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 재료 특성이 사용자 인터페이스에 표시되는 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 적어도 2개의 구조적 특징이 표현물로부터 추출되어 재료 모델에 제공되는 것인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 샘플이 중합체 발포체인 컴퓨터-구현 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 방법의 단계들을 실행하기 위한 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램을 저장하는 비-일시적 컴퓨터 판독가능 데이터 매체.

청구항 12

발포체 샘플의 재료 특성을 모니터링 및/또는 제어하기 위한 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템이며,

- (a) 샘플의 표현물을 수신하도록 구성된 입력 유닛,
 - (b) 표현물로부터, 벽, 스트럿, 또는 노드를 포함하는 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하도록 구성된 처리 유닛,
 - (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하도록 구성된 처리 유닛, 및
 - (d) 재료 모델로부터 수신된 재료 특성을 출력하도록 구성된 출력 유닛
- 을 포함하는 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 입력 유닛이 샘플 내 각각의 상에 대한 재료의 유형을 수신하도록 구성된 것인 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템.

청구항 14

제12항 또는 제13항에 있어서, 처리 유닛(b) 및/또는 (c)가 원격 컴퓨터 시스템에 대한 인터페이스인 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템.

청구항 15

제12항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 입력 유닛 및/또는 출력 유닛이 사용자 인터페이스인 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 발포체 샘플, 특히 발포체 샘플 이미지로부터 재료 특성을 결정하는 방법의 분야에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 재료 특성, 예컨대 기계적, 열적 또는 화학적 특성은, 특히 발포체와 같은 다공성 재료의 경우에, 재료의 구조에 따라 거시적 수준에서만 아니라 미시적 수준에서 크게 달라진다. 재료 특성을 결정하는 데에는 통상적으로 많은 노력을 필요로 하는 시험이 요구된다. 샘플을 준비해야 하고, 적절한 시험 장비를 제공해야 하며, 시험 프로토콜을 엄격하게 준수해야 한다. 이러한 이유로, 잘 훈련된 인력이 필요하다. 그러므로 더 적은 인력 및 더 적은 장치를 필요로 하는 더 신속한 방식을 제공하는 것이 바람직하다.

[0003] WO 2015 / 080 912 A1에는 코어 샘플에 대한 컴퓨터 단층 촬영 이미지로부터 유전 저류층을 디지털 방식으로 모델링하는 방법이 개시되어 있다. 이러한 모델에 대해 시뮬레이션을 실행함으로써, 유전 특성을 획득할 수 있다. 그러나, 많은 특정한 가정 및 물리학이 모델에 적용되어야 하므로, 그것은 유전 분석 외에는 어떤 것에도 거의 적용될 수 없다.

[0004] WO 2018 / 206 225 A1에는 결함을 검출하기 위해 이미지로부터 대상을 모델링하고 그것을 그것의 요망되는 형상과 비교하는 방법이 개시되어 있다. 그러나, 재료 특성은 획득되지 않는다.

[0005] US 2014 / 044 315 A1에는 암석 샘플로부터 얻어진 목표 특성 값의 정확도를 증가시키는 방법이 개시되어 있다. 그러나, 이러한 방법은 발포체 샘플에는 거의 적용될 수 없다.

[0006] 사무엘 파르도 알론소(Samuel Pardo Alonso)는 2014년 3월 1일 "X-Ray Imaging Applied to the Characterization of Polymer Foams' Cellular Structure and Its Evolution"이라는 제목의 그의 PhD 논문에서

이미지로부터 3D 모델을 생성하는 방법을 개시하였다. 그러나, 재료 특성은 수득되지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 그러므로, 본 발명의 목적은 장치, 인력 및 시간의 측면에서 적은 노력을 들여 재료 특성을 결정할 수 있는 방법을 제공하는 것이었다. 이러한 방법은 광범위하게 상이한 발포체 재료들 및 크기 스케일에 따라 다양해야 한다. 이러한 방법은 신속하고 안정적인 것을 목표로 하였다.

과제의 해결 수단

- [0008] 이러한 목적은
- [0009] (a) 샘플의 표현물(representation)을 제공하고,
- [0010] (b) 표현물로부터, 벽, 스트럿(strut), 또는 노드(node)를 포함하는 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하고,
- [0011] (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하고,
- [0012] (d) 재료 모델로부터 수신된 적어도 1개의 재료 특성을 출력하는 것
- [0013] 을 포함하는, 발포체 샘플의 재료 특성을 결정하는 컴퓨터-구현 방법에 의해 달성되었다.
- [0014] 본 발명은 추가로, 선행 청구항 중 어느 한 항에 따른 방법의 단계들을 실행하기 위한 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램을 저장하는 비-일시적 컴퓨터 판독가능 데이터 매체에 관한 것이다.
- [0015] 본 발명은 추가로,
- [0016] (a) 샘플의 표현물을 수신하도록 구성된 입력 유닛,
- [0017] (b) 표현물로부터, 벽, 스트럿, 또는 노드를 포함하는 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하도록 구성된 처리 유닛,
- [0018] (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하도록 구성된 처리 유닛, 및
- [0019] (d) 재료 모델로부터 수신된 재료 특성을 출력하도록 구성된 출력 유닛
- [0020] 을 포함하는, 샘플의 재료 특성을 모니터링 및/또는 제어하기 위한 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템에 관한 것이다.
- [0021] 본 발명의 바람직한 실시양태를 설명 및 청구범위에서 찾을 수 있다. 상이한 실시양태들의 조합은 본 발명의 범위에 속한다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 가능한 구현예를 보여준다.
- 도 2a 내지 2g는 본 발명의 방법을 사용한 이미지 처리의 예를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명에 따른 방법은 발포체 샘플의 재료 특성을 결정하는 데 유용하다. 샘플은 재료의 작은 단편일 수 있고 완전한 공작물일 수도 있다. 발포체 샘플은 다공성 재료, 예컨대 중합체 발포체, 제올라이트, 배기 촉매를 위한 담체를 포함한다. 샘플의 내부 구조란 샘플 내 상 경계, 예를 들어 중합체 발포체 내의 공극과 중합체 사이의 상 경계의 분포를 의미한다. 내부 구조의 특징은 샘플 및 이미지의 해상도에 따라 상이한 크기 스케일, 예를 들어 마이크로-범위, 즉 0.1 내지 1000 μm , 또는 나노스케일, 즉 1 내지 100 nm로 나타내어질 수 있다.
- [0024] 재료 특성은 기계적 특성, 예컨대 영률, 탄성, 내인열성, 내마모성, 마찰 계수; 열적 특성, 예컨대 열용량, 열전도도; 전기적 특성, 예컨대 전기 전도도 또는 비저항, 유전 상수; 또는 광학적 특성, 예컨대 투명도, 굴절률, 확산 계수일 수 있다.

- [0025] 본 발명과 관련하여 샘플의 표현물은 샘플의 내부 구조를 포함하는 데이터 구조이다. 표현물은 해당 위치에서의 재료 또는 공극에 대한 샘플 정보에서 각각의 위치와 연관된다. 표현물은 2차원 또는 3차원, 바람직하게는 3차원일 수 있다. 표현물은 선행 작업에서 이미 존재하거나, 원격 컴퓨터 또는 클라우드로부터 수신되거나, 동일한 컴퓨터에서 본 발명에 따른 방법의 단계로서 생성될 수 있다. 바람직하게는, 표현물은 샘플의 내부 구조를 보여주는 이미지로부터 생성된다. 표현물은 비트맵, 예컨대 픽셀 또는 복셀 데이터, 포인트 클라우드, 삼각 측량 표면 모델, 예컨대 표준 삼각측량 언어 (STL)를 포함하는 다양한 형식을 가질 수 있다. 표현물의 형식은 재료 및/또는 공극에 대한 정보를 포함하기에 적합해야 한다.
- [0026] 샘플의 이미지는 다양한 방식으로 제공될 수 있다. 예를 들어, 그것은 측정 장치로부터 직접 취득될 수 있거나 선행 측정값을 포함하는 데이터베이스로부터 취득될 수 있다. 다양한 측정, 예를 들어 절단 또는 파손된 샘플에 대한 사진 촬영, 광학 현미경 검사 또는 전자 현미경 검사, 또는 비-파괴 방법, 예컨대 컴퓨터 단층 촬영, 자기 공명 영상, 초음파 검사, 또는 공조점 현미경 검사가 이용 가능하다. 이미지는 통상적으로 샘플 내 평행한 평면에 대해 촬영되지만 평면들은 서로 비스듬하게 서 있을 수도 있다. 이미지가 촬영된 평면들 사이의 거리는 일반적으로 샘플의 내부 구조의 가장 큰 특징보다 더 크지 않다. 이미지의 개수는 다양할 수 있다. 이미지가 많을수록 통상적으로 더 정확한 결과를 얻게 된다. 그러나, 특히 이미지의 해상도가 높은 경우에, 이미지의 개수는 컴퓨팅 시간의 증가로 이어진다. 그러므로, 통상적으로 특정한 샘플에 대해 충분한 정확도를 초래하는 가장 적은 개수의 이미지를 사용하는 것이 가장 좋다. 개수는 5 내지 1000, 예를 들어 10 내지 50 또는 100 내지 400의 범위일 수 있다. 이미지의 해상도는 특징이 명확하게 인식될 수 있을 정도로 충분히 높아야 하지만 컴퓨팅 시간이 너무 길어질 정도로 너무 높아서는 안 된다. 이미지의 전형적인 해상도는 10 x 10 내지 1024 x 1024 픽셀이며, 여기서 이미지는 2차원 필요가 없으므로, 768 x 1024 또는 512 x 288 픽셀이 마찬가지로 잘 사용될 수 있다. 바람직하게는, 이미지는 그레이-스케일로 나타내어지거나 그레이 스케일로 변환된다.
- [0027] 바람직하게는, 이미지로부터 표현물을 생성하기 전에, 상 경계의 검출을 용이하게 하기 위해 이미지는 전처리된다. 전처리는 밝기 조정, 콘트라스트 조정, 노이즈 제거, 임계값 적용 또는 그의 조합을 포함할 수 있다. 더욱 더 바람직하게는, 본 발명에 따른 방법에서 최상의 결과를 산출하는 전처리 파라미터가 저장되고 자동으로 사용자에게 제시되거나 전처리될 추가의 이미지에 직접 적용된다.
- [0028] 이미지로부터 표현물을 생성하는 것은 다양한 방식으로 달성될 수 있다. 그것들 대부분은 각각의 상 경계를 결정하는 에지 또는 표면 검출 또는 세그먼트화를 포함한다. 에지 검출의 경우에, 예를 들어, 임계값 그레이 값을 에지 복셀에 할당하고, 복셀 그레이 값들 사이에서 보간을 수행하고, 최대 그레이 값 미분, 밝은 공중 복셀 수준과 어두운 재료 복셀 수준 사이의 중간 그레이 값, 또는 로컬 적용 그레이 임계값을 찾음으로써 3D 복셀 데이터를 3D 표면 데이터로 변환시킨다. 노이즈 및 인공물의 저감뿐만 아니라 보간은 통상의 기술자에게 공지된 많은 출판물에 수록되어 있다.
- [0029] 바람직하게는, 임계값 알고리즘을 적용하여 그레이-스케일 이미지를 세그먼트화함으로써, 그레이-스케일을 각각의 색상이 1개의 상, 즉 특정한 재료 또는 공극을 나타내는 이미지로 변환시킴으로써, 이미지로부터 표현물을 생성한다. 예를 들어, 발포체의 경우에, 재료는 백색이고 공극은 흑색일 수 있다. 3종의 재료를 포함하는 복합 재료의 경우에, 제1 재료는 백색, 제2 재료는 그레이, 제3 재료는 흑색일 수 있다. 일부 경우에는, 세그먼트화된 이미지가 이미 표현물을 생성하기에 충분할 수 있다. 그러나, 표현물로부터 구조적 특징을 안정적으로 추출하려면 추가의 방법을 적용하는 것이 종종 유용하다. 바람직하게는, 세그먼트화된 이미지를, 각각의 픽셀 또는 복셀 거리를 상이한 색상을 갖는 가장 가까운 픽셀 또는 복셀에 할당하는 거리 함수에 적용한다. 바람직하게는, 거리 함수를 적용한 후에, 워터셰드(watershed) 알고리즘을 적용하여 기공, 파묻힌 입자, 벽, 스트럿, 또는 노드와 같은 대상을 식별한다. 워터셰드 알고리즘에서 범람이 발생할 때, 벽, 스트럿 및 노드의 중심을 결정하는 것이 또한 가능하다.
- [0030] 본 발명에 따른 방법은 (b) 표현물로부터 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하는 것을 포함한다. 구조적 특징은 내부 구조와 직접적으로 관련된 샘플의 모든 특징이다. 구조적 특징은 벽, 즉 상이한 재료의 2개의 입자들 사이 또는 2개의 기공들 사이의 재료와 관련될 수 있으며, 예를 들어 그것의 두께, 곡률, 평면 팽창 또는 모멘트일 수 있다. 구조적 특징은 스트럿, 즉 상이한 재료의 3개의 입자들 사이 또는 3개의 기공들 사이의 재료와도 관련될 수 있으며, 예를 들어 그것의 단면, 길이, 곡률, 또는 모멘트일 수 있다. 구조적 특징은 노드, 즉 상이한 재료의 4개의 입자들 사이 또는 4개의 기공들 사이의 재료와도 관련될 수 있으며, 예를 들어 그것의 부피, 또는 모멘트일 수 있다. 구조적 특징은 기공 또는 입자와도 관련될 수도 있으며, 예를 들어 그것의 부피, 구형도, 모멘트일 수 있다. 구조적 특징은 셀(cell)과도 관련될 수 있으며, 예를 들어 그것의 로컬 밀도, 모멘트일 수 있다. 구조적 특징은 그래프, 예컨대 발포체 그래프와도 관련될 수 있으며, 예를 들어 기공, 벽, 셀, 스트

릿 및 노드의 연결일 수 있다.

- [0031] 이러한 특징을 평가함으로써, 더 복잡한 구조적 특징을 수득할 수 있다. 한 예는, 샘플 내 스트럿 길이의 구배를 결정하는 것과 같은, 절대값 및 그의 공간적 분포에 대한 개별적 평가이다. 또 다른 예는, 인접한 기공의 크기와 관련된 스트럿 길이와 같은, 종종 물리적 모델과 관련된, 구조적 특징을 고려한 평가이다. 또 다른 예는 기공당 벽의 개수 또는 벽당 스트럿의 개수와 같은, 발포체 그래프의 평가이다.
- [0032] 본 발명에 따르면, 적어도 1개의 구조적 특징은 벽, 스트럿, 또는 노드를 포함한다. 1개의 구조적 특징만이 추출되는 경우에, 그것은 벽, 스트럿, 또는 노드 중 1개여야 한다. 전형적으로, 1개 초과 구조적 특징이 추출된다. 이러한 경우에, 구조적 특징 중 적어도 1개는 벽, 스트럿, 또는 노드이고, 다른 것은 나머지 벽, 스트럿, 또는 노드 또는 상기에 설명된 바와 같은 다른 구조적 특징 중 1개 이상일 수 있다. 바람직하게는, 구조적 특징은 벽, 스트럿, 또는 노드 중 적어도 2개를 포함하고, 특히 구조적 특징은 모두를 포함하며, 즉 벽, 스트럿 및 노드를 포함한다.
- [0033] 구조적 특징의 추출은 다양한 방식으로 달성될 수 있다. 적합한 알고리즘은 워터셰드, 거리 평가, 성분 분석, 로컬 복셀 평가, 또는 바람직하게는 그의 조합, 즉 이것들 중 적어도 2개를 포함한다. 이러한 방법은 이미지 처리 라이브러리, 예를 들어 사이킷-이미지(SciKit-image), 오픈씨브이(OpenCV), 심플씨브이(SimpleCV), 넘피(NumPy), 사이파이(SciPy), 필/필로우(PIL/Pillow), 마호타스(Mahotas), ITK, 그래픽스마직(GraphicsMagick) 또는 카이로(Cairo)에서 용이하게 이용 가능하다. 표현물로부터 구조적 특징을 추출하는 것은 측정 방법과 같은 다른 방법에 비해 여러 장점이 있으며: 그것은 상이한 측정 방법들에 의해서만 접근 가능한 매우 상이한 특징들을 추출할 수 있으므로 더 융통성이 있다. 많은 경우에, 그것은 인공물 또는 방해 요소에 대해 덜 민감한 경향이 있으므로 더 정확하다.
- [0034] 본 발명에 따른 방법은 (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하는 것을 포함한다. 단지 1개의 재료 특성, 또는 바람직하게는, 1개 초과, 예컨대 적어도 2개 또는 적어도 3개의 재료 특성을 결정하는 것이 가능하다.
- [0035] 재료 모델이란 일반적으로 구조적 특징을 입력으로서 수신하고 연관된 재료 특성을 출력하는 모델을 의미한다. 재료 모델은 물리적 모델 및 데이터-기반 모델을 포함한다. 물리적 모델은 구조적 특징을 재료 특성으로 변환시키기 위해 자연 법칙, 예를 들어 열역학 또는 고전 역학을 사용한다. 셀형 구조를 갖는 재료에 대한 상당히 많은 물리적 모델이 예를 들어 엘.깁슨(L. Gibson) 및 엠. 애쉬비(M. Ashby)에 의해 문헌(Cellular Solids, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-49911-8)에 요약되어 있다. 물리적 모델은 실험 데이터에 의해 검증될 수 있다.
- [0036] 데이터-기반 모델은 물리 법칙에 대한 임의의 지식이 필요 없이 구조적 특징을 입력하고 연관된 재료 특성을 출력하도록 훈련 데이터에 따라 파라미터화된, 훈련된 수학적 모델이다. 데이터-기반 모델은 바람직하게는 데이터-기반 기계 학습 모델이다. 재료 모델은 선형 또는 다항 회귀, 랜덤 포레스트 모델, 베이지안(Bayesian) 네트워크 또는 신경망일 수 있다. 바람직하게는, 데이터-기반 모델은 이력 데이터로 훈련된 후에 관심 있는 재료 특성에 상당한 영향을 미치는 구조적 특징만을 고려하여 단순화된다. 이러한 방식으로, 이력 데이터의 요구량이 저감되고 높은 정확도의 여전히 강건한(robust) 모델이 수득된다.
- [0037] 본 발명과 관련하여 이력 데이터란 적어도 1개의 구조적 특징 및 적어도 1개의 재료 특성을 포함하는 데이터 세트를 의미한다. 이러한 데이터는, 통상적으로 각각의 재료 특성을 직접적으로 또는 간접적으로 수득하기에 적절한 방법, 예를 들어 기계적 시험, 예컨대 압입에 의한, 이력 샘플의 측정에 의해 통상적으로 수득된다. 연관된 구조적 특징은 상기에 설명된 방법과 유사한 샘플의 이미지의 분석에 의해 수득될 수 있거나, 그것은 각각의 구조적 특징에 특화된 분석 방법에 의해 수득된다.
- [0038] 재료 모델은 공정의 다른 단계와 동일한 시스템에서 실행되거나, 그것은 원격 시스템, 예를 들어 서버 또는 클라우드에서 실행될 수 있다. 이러한 경우에, 구조적 특징은 재료 모델을 실행하는 원격 시스템에 전송되고 결과는 원격 시스템으로부터 수신된다. 이것은 통상적으로 통신 인터페이스를 통해 달성된다.
- [0039] 통상적으로, 재료의 유형, 즉 샘플 내 각각의 상의 화학적 조성은 구조적 특징과 재료 특징 사이의 관계에 영향을 미친다. 샘플들이 그의 재료의 유형의 측면에서 서로 상이한 경우에, 샘플 내 각각의 상에 있어서 재료의 유형에 대한 정보를 고려하는 것이 바람직하다. 이러한 방식으로, 통상적으로 더 정확한 재료 특징이 획득된다. 재료의 유형은 세라믹, 수지, 점탄성 중합체, 예컨대 고무, 또는 금속과 같은 일반적인 재료 종류로 주어질 수 있다. 재료의 유형은 또한, 예를 들어, 폴리스티렌, 제올라이트, 멜라민-포름알데히드 수지,

참나무, 봉소 유리와 같이, 화학적 조성을 참조하여 더 구체적으로 주어질 수 있다. 따라서, 바람직하게는 샘플 내 각각의 상에 대한 재료의 유형이 제공된다.

- [0040] 통상적으로, 재료의 유형은 적절한 모델을 선택함으로써 고려된다. 각각의 재료의 유형에 대해 별도의 모델을 설정하는 것도 가능하다. 이는 예를 들어 소수의 상이한 제품들을 제조하는 공장에서의와 같이 몇 가지 상이한 유형의 재료에만 관심이 있는 경우에 의미가 있다. 또 다르게는, 모델은 각각의 상에 대한 재료의 유형을 추가의 입력 파라미터로서 사용할 수 있다. 명백히, 데이터-기반 모델의 경우에, 모델을 훈련하는 데 사용된 이력 데이터는 샘플 내 각각의 상에 대한 재료의 유형으로 적절하게 라벨링되어야 한다. 물리적 모델의 경우에, 전형적으로 벌크 재료의 특성이 선택되는데 왜냐하면 이것들은 데이터베이스로부터 용이하게 취득될 수 있기 때문이다. 작은 구조의 경우에 재료의 특성은 벌크 재료와 다르다는 사실로부터 발생한 오류는 대부분의 응용 분야에서 허용된다.
- [0041] 본 발명에 따른 방법은 (d) 재료 모델로부터 수신된 적어도 1개의 재료 특성을 출력하는 것을 포함한다. 출력이란 재료 특성을 비-일시적 데이터 저장 매체에 기록하거나, 그것을 사용자 인터페이스에 표시하거나, 그것을 로컬 환경 또는 원격 시스템에서 또 다른 프로그램으로 전송하는 것을 의미할 수 있으며, 바람직하게는 적어도 1개의 재료 특성이 사용자 인터페이스에 출력된다.
- [0042] 샘플의 재료 특성을 결정하는 방법은 바람직하게는
- [0043] (a1) 발포체 샘플의 이미지를 제공하고,
- [0044] (a2) 샘플 내 각각의 상에 대한 재료의 유형을 제공하고,
- [0045] (a3) 이미지를 표현물로 변환시키고,
- [0046] (b) 표현물로부터, 벽, 스트럿, 또는 노드를 포함하는 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하고,
- [0047] (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 구조적 특징 및 재료의 유형을 포함하는 이력 데이터를 기반으로 훈련된 물리적 모델 또는 데이터-기반 모델인 재료 모델에 제공하고,
- [0048] (d) 재료 모델로부터 수신된 적어도 1개의 재료 특성을 출력하는 것
- [0049] 을 포함한다.
- [0050] 본 발명을 구현할 수 있는 방법의 예가 도 1에 나와 있다. 샘플은 공장(10)에서 제조될 수 있다. 이것들은 샘플의 이미지를 생성하는 현미경 장치(11)에 제공된다. 이러한 이미지는 처리 유닛(12)에 의해 표현물로 변환된다. 표현물은 표현물로부터 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하는 처리 유닛(13)에 제공된다. 적어도 1개의 구조적 특징은 그것을 모델에 제공하는 처리 유닛(14)에 제공된다. 이러한 모델은 데이터 저장 장치(15)로부터 취득된 이력 데이터에 의해 훈련된 것이다. 모델은 재료 특성을 취득하며, 이러한 재료 특성은 출력 장치(16)에 제공된다. 이러한 출력 장치(16)는, 예를 들어 제조 파라미터를 조정하기 위해, 재료 특성을 공장(10)에 출력할 수 있다.
- [0051] 본 발명은 추가로 본 발명에 따른 방법의 단계들을 실행하기 위한 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램을 저장하는 비-일시적 컴퓨터 판독가능 데이터 매체에 관한 것이다. 컴퓨터 판독가능 데이터 매체는 하드 드라이브, 예를 들어 서버에 있는 것, USB 저장 장치, CD, DVD 또는 블루-레이 디스크를 포함한다. 컴퓨터 프로그램은 본 발명에 따른 방법의 실행에 요구되는 모든 기능 및 데이터를 포함할 수 있거나, 그것은 원격 시스템, 예를 들어 클라우드 시스템에서 처리되는 방법의 일부를 갖도록 인터페이스를 제공할 수 있다.
- [0052] 본 발명은 추가로, 발포체 샘플의 재료 특성을 모니터링 및/또는 제어하기 위한 제조 모니터링 및/또는 제어 시스템에 관한 것이다. 이하에서 달리 명시적으로 설명되지 않는 한, 바람직한 실시양태를 포함하는 방법에 관한 설명은 시스템에도 적용된다. 시스템은 컴퓨팅 장치, 예를 들어, 컴퓨터, 태블릿 또는 스마트폰일 수 있다. 종종 컴퓨팅 장치는 다른 컴퓨팅 장치, 예컨대 서버 또는 클라우드 네트워크와 통신하기 위해 네트워크 연결부를 갖는다. 제조란 공장에서의 대량 제조 또는 연구 프로그램과 관련하여 여러 개의 샘플의 제조를 의미할 수 있다. 모니터링은 전형적으로, 품질 관리와 관련하여, 제품이 주어진 재료 특성의 설정 범위 내에 꾸준히 포함되는지를 확인하거나 예를 들어 고-품질 제품 및 평균-품질 제품과 같이 상이한 사양을 기반으로 제품을 분류하기 위해 수행된다. 제어란 연구 개발 과정을 용이하게 하고 촉진하기 위해 최상의 샘플을 선택하는 과정을 의미할 수 있다.
- [0053] 본 발명에 따르면, 시스템은 (a) 샘플의 내부 구조를 보여주는 이미지를 수신하도록 구성된 입력 유닛을 포함한

다. 바람직하게는 입력 유닛은 사용자로 하여금 처리될 이미지를 예를 들어 로컬 또는 원격 저장 매체로부터 또는 샘플을 분석하는 측정 장치로부터 직접 선택할 수 있게 하는 사용자 인터페이스를 포함한다. 바람직하게는, 입력 유닛은 샘플 내 각각의 상에 대한 재료의 유형을 수신하도록 구성된다. 입력 유닛은 웹서비스 또는 독립형 소프트웨어 패키지로서 구현될 수 있다. 입력 유닛은 표현 또는 응용 계층을 형성할 수 있다. 바람직하게는, 입력 유닛은 사용자 인터페이스를 포함한다.

[0054] 본 발명에 따르면, 시스템은 (b) 표현물로부터 적어도 1개의 구조적 특징을 추출하도록 구성된 처리 유닛을 포함한다. 처리 유닛은 중앙 처리 유닛 (CPU) 및/또는 그래픽 처리 유닛 (GPU) 및/또는 주문형 집적 회로 (ASIC) 및/또는 텐서 처리 유닛 (TPU) 및/또는 또는 현장-프로그래밍 지원 게이트 어레이 (FPGA)를 포함하는 로컬 처리 유닛일 수 있다. 처리 유닛은 또한 클라우드 서비스와 같은 원격 컴퓨터 시스템에 대한 인터페이스일 수 있다.

[0055] 본 발명에 따르면, 시스템은 (c) 적어도 1개의 구조적 특징을, 상기 구조적 특징으로부터 적어도 1개의 재료 특성을 얻기에 적합한 재료 모델에 제공하도록 구성된 처리 유닛을 포함한다. 처리 유닛은 (b)에서와 동일하거나 상이한 것일 수 있으며, 예를 들어 (b)에서의 처리 유닛은 로컬 기계에 있는 반면에 (c)에서의 처리 유닛은 클라우드 서비스에 대한 인터페이스이다.

[0056] 본 발명에 따르면, 시스템은 (d) 재료 모델로부터 수신된 재료 특성을 출력하도록 구성된 출력 유닛을 포함한다. 출력 유닛은 웹서비스 또는 독립형 소프트웨어 패키지로서 구현될 수 있다. 출력 유닛은 표현 또는 응용 계층을 형성할 수 있다. 바람직하게는 출력 유닛은 샘플의 재료 특성을 표시하도록 구성된 사용자 인터페이스이다. 그래서, 예를 들어 샘플이 사양을 벗어난 경우에 제조 파라미터를 조정하거나, 연구 프로젝트에서 최상의 품질의 샘플을 선택하는 것과 같이, 사용자가 필요한 조치를 취할 수 있다. 또 다르게는, 출력 유닛은 제조 파라미터를 자동으로 조정하거나 재료 특성에 따라 샘플을 분류하는 장치에 대한 인터페이스를 포함하거나 가질 수 있다.

[0057] 실시예

[0058] 도 2a 내지 2g는 단계 (a) 및 (b)를 실현할 수 있는 방법의 예를 보여준다. 도 2a는 예를 들어 X-선 단층 촬영 장치로부터 취득된 원시 데이터를 보여준다. 이진화를 준비하기 위해 필터를 적용한 후에 도 2b의 이미지를 취득한다. 도 2c는 이미지를 이진화하기 위해 임계값을 적용한 결과를 보여준다. 도 2d의 경우에, 거리 필터를 2개의 상 모두에 적용했는데, 즉, 서로 반대되게 기공 상에서는 음의 부호이고 재료 상에서는 양의 부호이다. 후속적으로, 로컬 최소값을 식별하고 마스킹 없이 셀 사이의 선을 사용하는 워터셰드 알고리즘을 적용하였다. 결과는 도 2e에 나와 있다. 도 2f는 그로부터 라벨링된 기공을 얻기 위해 도 2c의 이미지로부터 이진화된 데이터를 사용하여 취득된, 마스크 라벨링된 셀을 보여준다. 도 2e에 나와 있는 워터셰드 결과의 경계선은 발포체의 골격을 나타내며 도 2g에 나와 있다. 그로부터 골격의 복셀은 그의 인접한 셀의 개수에 의해 라벨링될 수 있는데, 즉 이웃한 셀을 갖는 복셀은 벽을 나타내며, 3개의 이웃한 셀을 갖는 복셀은 스트럿을 나타내고, 4개 이상의 셀을 갖는 복셀은 노드를 나타낸다. 연결된 복셀은 단일 벽, 스트럿, 또는 노드와 동일한 유형으로 라벨링된다.

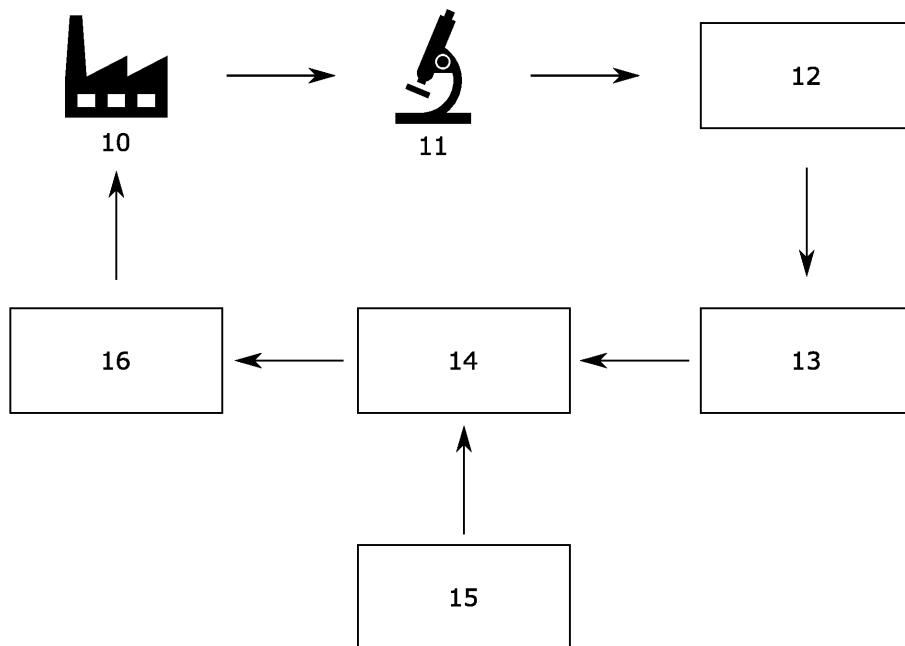
[0059] 그로부터 셀 벽에 위치한 재료의 분율 $\phi = 0.249$ 및 발포체 밀도 ($\rho_{\text{발포체}}$)와 벌크 재료의 밀도 ($\rho_{\text{벌크}}$) 사이의 비를 나타내는 상대 밀도 $\rho^* = 0.531$ 이 추출되었다. 하기 공식을 사용하여 상대 영률 $E^* = 0.344$ 를 취득하였다.

$$E^* = \frac{E_{\text{발포체}}}{E_{\text{벌크}}} = \phi \frac{\rho_{\text{발포체}}}{\rho_{\text{벌크}}} + (1 - \phi) \left(\frac{\rho_{\text{발포체}}}{\rho_{\text{벌크}}} \right)^2 = \phi \rho^* + (1 - \phi)(\rho^*)^2$$

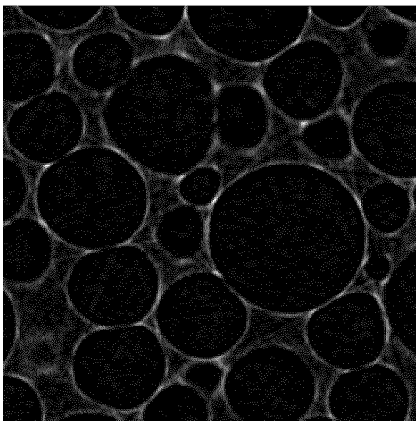
[0060]

도면

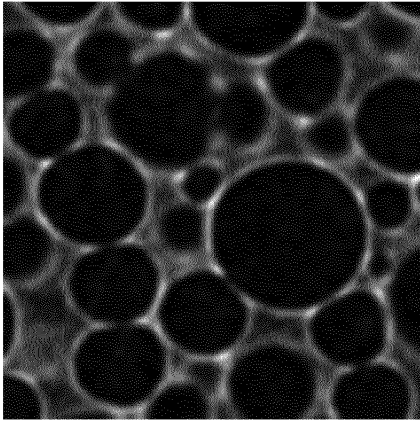
도면1



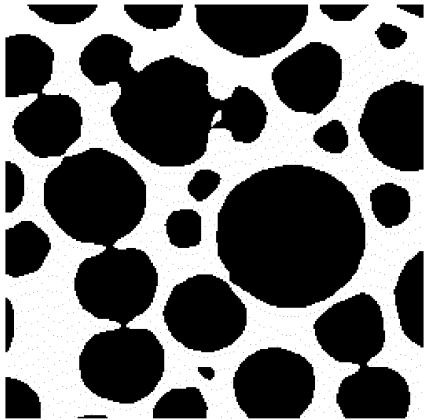
도면2a



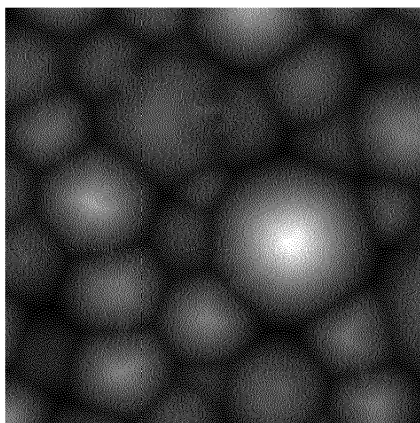
도면2b



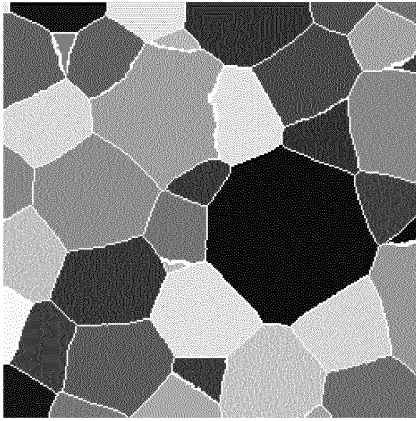
도면2c



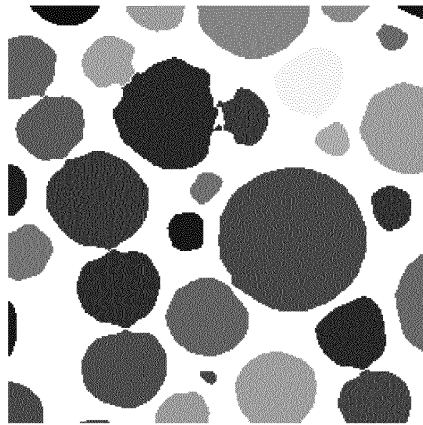
도면2d



도면2e



도면2f



도면2g

