(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0133585
(43) 공개일자 2020년11월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/42 (2006.01) *G01B 11/16* (2006.01)
G06T 7/60 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 3/42 (2013.01)
G01B 11/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0059029
(22) 출원일자 2019년05월20일
심사청구일자 2019년05월20일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
김낙수
경기도 고양시 일산동구 노루목로 79, 406동 1401호(장항동, 호수마을4단지아파트)
이형일
경기도 고양시 일산서구 대산로212번길 26, 1502동 304호(대화동, 성저마을15단지건영빌라)
이철수
서울특별시 서초구 신반포로 270, 122동 601호(반포동, 반포자이아파트)
(74) 대리인
특허법인 천지

전체 청구항 수 : 총 20 항

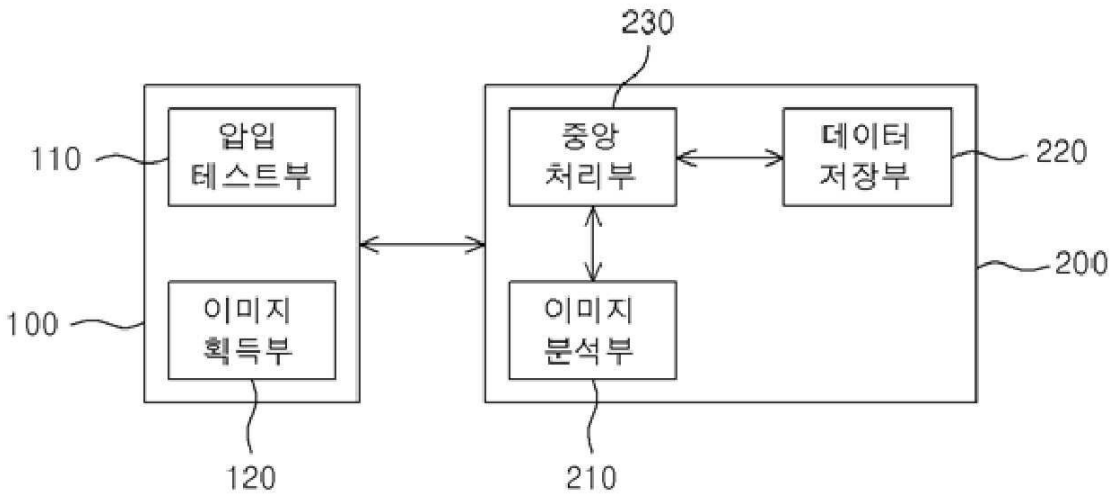
(54) 발명의 명칭 **미소압흔 주변에 디지털 화상적합기술을 적용하여 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 디지털 화상적합기술로 결정한 미소압흔 근처의 표면 변위장을 이용하여 대상 재료의 물성치와 응력상태를 측정하는 장치 및 방법에 관한 것으로, 일정한 하중으로 대상 재료의 표면을 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트부; 대상 재료에 대해 압입 전후의 표면 상태를 촬영하는 이미지 획득부; 압입 전후의 표면 상태에 대

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



한 이미지를 이용하여 상기 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 이미지 분석부; 탄소성 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 계산된, 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 재료의 압입 시 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터가 저장되는 비교 데이터 저장부; 및 상기 이미지 분석부에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터를, 상기 비교 데이터 저장부에 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여, 상기 대상 재료의 재료물성치와 응력 상태를 결정하는 중앙 처리부를 포함하는 구성으로 이루어진다.

(52) CPC특허분류
G06T 7/60 (2013.01)
G01N 2203/0075 (2013.01)
G01N 2203/0078 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711049521
부처명 미래창조과학부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 중견연구자지원사업
연구과제명 코팅된 멀티스케일 소재에 대한 압입시험법 구축 : 변형-파손 특성 분석
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서강대학교 산학협력단
연구기간 2017.03.01 ~ 2018.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711094163
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 원자력기술개발사업
연구과제명 원전 해체 작업용 방사선 차폐 소재 최적화 기술 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서강대학교 산학협력단
연구기간 2019.05.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

일정한 하중으로 대상 재료의 표면을 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트부;

대상 재료에 대해 압입 전후의 표면 상태를 촬영하는 이미지 획득부;

압입 전후의 표면 상태에 대한 이미지를 이용하여 상기 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 이미지 분석부;

탄소성 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 계산된, 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 재료의 압입 시 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터가 저장되는 비교 데이터 저장부; 및

상기 이미지 분석부에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터를, 상기 비교 데이터 저장부에 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여, 상기 대상 재료의 재료물성치와 응력 상태를 결정하는 중앙 처리부

를 포함하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 대상 재료의 표면에 형성되는 압흔은 직경 0.1㎜ 이하인 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 이미지 분석부는, 상기 이미지 획득부로부터 대상 재료에 대해 압입 전후의 표면 상태가 촬영된 이미지를 전송받고, 상기 압입 전의 이미지에서 특징점들을 다수 추출한 후 압입 후의 이미지에서 상기 특징점들의 위치를 추적하여 변위를 계산함으로써 변위장 데이터를 형성하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 탄소성 유한요소 해석을 이용한 시뮬레이션은,

적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를, 압입 지점을 기준으로 다수개의 요소로 분할하고 상기 압입 지점을 일정 하중으로 압입할 때에, 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용응력의 방향성을 고려하여 시편 재료의 반응을 시뮬레이션하고 요소 간 절점 사이의 변위를 측정하는 방식으로, 재료물성치에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터 및 재료의 응력 상태에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 유동응력 모델은,

Swift 타입, Hollomon 타입, Ludwick 타입, Voce 타입, Johnson-Cook 타입 혹은 이들의 조합형에서 선택되는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

재료물성치와 응력상태 중 측정하고자 하는 값에 따라, 상기 압입테스트부에서의 압입하중과, 상기 이미지 획득부 및 분석부에서의 해상도를 다르게 적용하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

재료물성치 측정에는 철강재료 기준 100-200N 압입하중에 0.05~0.1 미크론/픽셀 해상도를 사용하고,

응력상태 측정에는 20-40N 압입하중에 0.02~0.05미크론/픽셀 해상도를 사용하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

철강재료의 사례를 기준으로 하여, 재료물성치 측정에는 압입하중을 항복응력 또는 인장강도에 비례하여 조절하고, 응력상태 측정에는 압입하중을 탄성계수에 비례하여 조절하여 적용하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 이미지 분석부, 비교 데이터 저장부, 중앙 처리부는 장치의 상부에 구비되고,

상기 장치의 상부 저면으로부터 수직 하방으로 상기 압입 테스트부가 장착되며,

상기 장치의 상부를 지지함과 동시에, 상기 압입 테스트부의 둘레에서 상기 압입 테스트부를 대상 재료의 표면으로부터 이격시켜 지지하며, 사용 중인 부품의 재료 표면에 고정될 수 있도록 대상 재료의 표면에 고정되는 고정 지지대를 더 구비하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 이미지 획득부는 적어도 하나의 CCD 카메라를 포함하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 이미지 분석부에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터 또는 상기 중앙처리부에 의해 결정된 대상 재

료의 물성과 응력상태를 사용자에 표시하는 디스플레이부가 더 구비되는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 12

청구항 1에 있어서,

상기 압입 테스트부는,

서보모터를 포함하는 구동장치;

상기 구동장치에 연결기구를 통해 연결되어 구동장치의 작동에 따라 대상 재료의 표면에 대해 수직 방향으로 이동하여 대상 재료의 표면을 압입하며, 원추형, 구형, 피라미드형 중에서 선택된 어느 하나의 형상으로 이루어지고, 교체 가능하게 설치되는 적어도 하나의 압입자; 및

상기 연결기구와 압입자 사이에 장착되어 압입 하중을 측정하는 로드셀을 포함하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치.

청구항 13

디지털 화상적합기술로 결정한 압흔 근처 표면 변위장으로 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법으로서,

대상 재료의 표면에 대한 이미지를 획득하는 단계;

일정한 하중으로 상기 대상 재료의 표면을 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트 단계;

상기 압입 테스트 후의 상기 대상 재료 표면에 대한 압흔 주변의 이미지를 획득하는 단계;

상기 압입 테스트 전의 대상 재료의 표면에 대한 이미지에서 다수의 특징점들을 추출하고 상기 압입 테스트 후의 대상 재료의 표면에 대한 이미지로부터 상기 특징점들의 위치를 추적하여 상기 대상 재료의 압입 전후 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계;

상기 대상 재료에 대해 생성된 표면 변위장 데이터를 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여, 상기 대상 재료의 재료물성치와 응력상태를 결정하는 단계;

를 포함하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터는, 탄소성 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를, 압입 지점을 기준으로 다수개의 요소로 분할하고 상기 압입 지점을 일정 하중으로 압입할 때에, 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용응력의 방향성을 고려하여 시편 재료의 반응을 시뮬레이션하고 요소 간 절점 사이의 변위를 측정하는 방식으로 생성된, 재료물성치에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터 및 재료의 응력상태에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터인 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 유동응력 모델은,

Swift 타입, Hollomon 타입, Ludwick 타입, Voce 타입, Johnson-Cook 타입 혹은 이들의 조합형에서 선택되는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법.

청구항 16

청구항 13에 있어서,

재료물성치와 응력상태 중 측정하고자 하는 값에 따라, 압입하중과 해상도를 다르게 적용하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법.

청구항 17

청구항 13에 있어서,

상기 압입 테스트 단계는, 원추형, 구형, 피라미드형 중에서 선택된, 어느 하나 또는 둘 이상 형상의 압입자를 사용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법.

청구항 18

청구항 13에 있어서,

상기 대상 재료의 재료물성치와 응력 상태를 결정하는 단계는,

상기 대상 재료의 물성치를 임의 값으로 설정하는 제1 단계;

상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 상기 설정된 물성치에 해당하는 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터를 검색하여, 상기 대상 재료의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계에서 생성된 실제 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 검색하고, 상기 검색된 표면 변위장 데이터에 대응하는 응력상태 조건을 획득하는 제2 단계;

상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 상기 획득된 응력 상태에 해당하는 재료 물성치 변수에 대한 표면 변위장 데이터를 검색하여, 상기 실제 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 검색하고, 그 검색된 표면 변위장 데이터에 대응하는 재료물성치를 획득하는 제3 단계;

상기 제3 단계에서 획득된 재료 물성치가 상기 제1 단계에서 설정된 물성치와 일치하는지 여부를 판단하여,

일치하지 않는 경우, 상기 제3 단계에서 획득된 재료 물성치를 상기 대상 재료의 물성치로 다시 설정한 후, 상기 제2 단계 및 제3 단계를 반복하고,

일치하는 경우, 상기 제2 단계에서 획득된 응력 상태와 상기 제3 단계에서 획득된 재료 물성치를, 상기 대상 재료의 응력 상태와 물성치로 결정하는 제4 단계를 포함하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법.

청구항 19

적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를 생성하는 단계;

상기 시편 재료를 압입될 지점을 기준으로 다수 개의 요소로 분할하는 단계;

상기 압입될 지점을 크기와 형상이 다양한 종류의 압입자로, 다양한 압입 하중을 적용하여 압입할 경우에, 상기 유동응력 모델을 따르는 다양한 재료상수 및 다양한 응력조건을 가지는 상기 시편 재료의 압입에 의한 반응을 시뮬레이션 하는 단계;

상기 시뮬레이션을 거친 시편 재료의 압입 전 후의 각 요소 간 절점 사이의 변위를, 압입자의 종류 및 압입 하중과, 유동응력 모델에 따른 재료상수 및 응력조건 별로 측정하는 단계;

상기 측정된 변위 데이터를 이용하여, 압흔 중심으로부터의 거리에 따른 변위 크기의 함수로서 다양한 재료물성과 응력상태 변수에 대한 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태 측정을 위한 표면 변위장 빅데이터 구축방법.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 유동응력 모델은,

Swift 타입, Hollomon 타입, Ludwick 타입, Voce 타입, Johnson-Cook 타입 혹은 이들의 조합형에서 선택되는 것을 특징으로 하는 재료물성치와 응력상태 측정을 위한 표면 변위장 빅데이터 구축방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 재료 물성치와 응력상태를 간편하고 정확하게 측정하기 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 미소압입자를 대상재료의 표면에 압입하여 생기는 미소압흔(indentation mark) 주변의 표면 변위장을 디지털 화상적합기술(digital image correlation, DIC)로 측정하여 항복응력(yield stress), 인장강도(tensile stress), 유동응력(flow stress), 이방성계수(Lankford value)와 같은 대상 재료의 물성치와 응력상태를 측정하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 각종 기계 및 구조물 부품이나 표면코팅의 재료물성치와 응력상태를 측정하는 다양한 장비들이 사용되고 있다. 하지만 별도시편을 준비하지 않고, 사용 중인 제품이나 부품에 대하여 현장에서 재료물성이나 응력상태를 직접 간편하게 측정할 수 있는 장치는 아직 존재하지 않는다.

[0003] 재료의 기계적 성질 중에서 탄성계수나 프아송 비 같은 물성치는 대략 일정하지만, 항복응력, 인장강도, 유동응력, 이방성계수 같은 물성치는 가공이력이나 열처리, 사용조건에 따라서 계속 변화한다. 따라서 준비된 시편의 재료물성치와 실제 부품의 물성치는 상이할 가능성이 매우 높다. 대상물체에 하중이 걸려서 응력이 작용한다면 그 응력상태 역시 준비된 시편에서의 값과 상이하다고 간주하는 것이 합리적이다.

[0004] 기존에 재료물성치나 응력상태를 측정하는 장치는 파괴시험 혹은 비파괴시험에 기반하며, 아래와 같은 한계점을 지닌다.

[0006] 재료물성 측정기술

[0007] (1) 인장시험 : 엄격한 표준시편을 준비해서 인장 시험기에서 수행하는 파괴시험으로, 인장으로 인한 재료의 파괴를 유발하므로 사용 중인 부품에 대한 현장 적용이 불가하다.

[0008] (2) 압축시험 : 표준시편을 준비해서 압축 시험기에서 수행하는 파괴시험으로, 마찰에 의한 이차응력의 발생으로 측정의 신뢰성이 부족하고 현장 적용이 불가하다.

[0009] (3) 경도시험 : 시험방법에 따라서, 다양한 방식의 경도시험기를 사용한다. 재료의 종류와 두께 등의 제한이 존재하며 쇼어 경도계를 제외하고는 현장 적용이 불가능하다. 또한, 경도값 외에 다른 물성치를 파악할 수 없다.

[0010] (4) 나노압입시험 : 고가의 측정장치가 필요하며, 하중-변위 곡선에 기반하여 결정하는 재료물성이나 응력상태의 정확도가 낮다.

[0012] 응력상태 측정기술

[0013] (1) 스트레인 게이지 : 하중이 작용하기 전과 후의 표면길이 변화에 따른 게이지 저항의 변화로부터 변형률을 측정하는 기술이다. 시편 표면에 게이지를 장착하는 과정이 불편하고, 이미 부가된 응력상태나 잔류응력은 측정할 수 없다.

[0014] (2) 광탄성 시험 : 광탄성 재료에 국한되므로 형상에 따른 정성적 응력관찰만 가능하다. 주응력의 방향 측정이

어렵고, 시편제작과 시험방법이 매우 복잡하며 결과가 탄성계수에 매우 민감하다.

[0015] (3) X선 회절시험 : 별도의 고가 측정장치를 사용하는 비파괴시험 방법이므로, 대형구조물에는 적용할 수 없다. 비접촉, 간접측정방식이므로 해석방법이 난해하고 측정 신뢰도가 낮다.

[0016] (4) 홀 드릴링 : 스트레인 게이지를 대상 표면에 부착한 후, 드릴링으로 소재 제거 후 변형률의 변화를 읽어서 잔류응력을 측정하는 파괴시험 방법이다. 정밀도가 높으나 평가 대상재료의 손상을 수반해 대상 부품의 재사용이 불가하므로 실제 산업현장에서 활용하기 어렵다.

[0017] (5) 층별 제거, 단면 분할법 : 정밀도가 높고 해석방법이 명확한 잔류응력 측정기술이지만 대상 부품은 재사용이 불가능하며 국부적인 값을 알려면 별도의 해석 방법이 요구 된다.

[0019] 따라서, 현장에서 사용 중인 부품 재료 등에 간편하게 적용될 수 있으면서도, 다양한 재료물성과 응력상태를 간편하게 높은 정확도로 측정할 수 있고, 측정에 사용된 대상 재료는 측정 이후에도 계속 사용할 수 있는 측정 기술이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0021] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1332264

(특허문헌 0002) 유럽등록특허 1 771 717

발명의 내용

해결하려는 과제

[0022] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 미소압입시험으로 생기는 압흔 주변의 표면 변위장을 디지털 화상적합기술(DIC)로 읽어내고 탄소성 유한요소해석을 통해 미리 계산하여 저장해 둔 변위장 빅데이터와 비교하여 측정 대상 재료의 물성치와 응력 상태를 결정함으로써, 현장에서 사용 중인 부품 재료에 간편하게 높은 정확도로 측정할 수 있고, 별도 시편을 준비할 필요 없이 측정에 사용된 대상 재료는 측정 이후에도 계속 사용할 수 있도록 하는, 재료의 물성치와 응력상태를 측정하는 장치 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

[0023] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0024] 본 발명자들은 일정한 하중에 의한 미소압흔으로 발생한 표면 변위장은 재료물성치와 응력상태에 따라서 달라지는 것을 발견하였고, 이에 따라 대상물체의 표면에 미소 압입시험을 행하기 전과 후에 압흔 주변의 표면을 고해상도 디지털 이미지로 촬영한 후, 변형 전후 이미지들에 디지털 화상적합기법(DIC)을 적용하여 다수의 표면 특징점들을 추적하여 표면 변위장 데이터를 생성하고, 이를 미리 탄소성 유한요소해석을 이용하여 확보한 표면 변위장에 대한 빅데이터와 인공지능으로 비교함으로써 재료물성치와 응력상태를 결정하는 기술을 안출하였다.

[0025] 본 발명의 측정 대상인 재료물성치는 항복응력, 인장강도, 유동응력, 이방성계수 등을 포함하고, 응력상태는 대상물체에 작용하는 하중에 의한 작용응력이나 하중제거 후에 대상물체에 남아있는 잔류응력(residual stress)을 의미한다. 본 발명은 구형, 원추형, 피라미드형 압입자를 사용하는 미소압입시험으로 생기는 압흔 주변의 표면 변위장을 디지털 화상적합기술로 읽어내고, 탄소성 유한요소해석으로 미리 계산하여 저장해둔 변위장 빅데이터와 비교하여 재료 물성치와 응력상태를 결정하는 기술을 제공한다.

[0026] 본 발명의 기술은 다이아몬드 같은 고경도 미소압입자로 압입할 때, 압흔이 생기는 대상물체 즉, 금속, 세라믹, 플라스틱 재료로 만들어진 기계 및 구조용 부품 및 표면코팅 재료에 모두 적용 가능하다. 미소압흔은 압입하중

으로 크기를 조절할 수 있으며, 그 크기가 문제되지 않으면 자동차, 항공기와 같은 수송기계, 교량과 같은 구조물처럼 기사용중인 부품이나 표면코팅에 대한 신뢰성 평가와 안전성 확보가 가능해진다. 또한, 대량생산되는 판재 프레스제품이나 플라스틱 사출물 등의 온라인 품질관리에도 유용하게 사용될 수 있다.

[0028] 구체적으로, 본 발명의 일 측면에 따른 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치는 일정한 하중으로 대상 재료의 표면을 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트부; 대상 재료에 대해 압입 전후의 표면 상태를 촬영하는 이미지 획득부; 압입 전후의 표면 상태에 대한 이미지를 이용하여 상기 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 이미지 분석부; 탄소성 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 계산된, 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 재료의 압입 시 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터가 저장되는 비교 데이터 저장부; 및 상기 이미지 분석부에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터를, 상기 비교 데이터 저장부에 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여, 상기 대상 재료의 재료물성치와 응력 상태를 결정하는 중앙 처리부를 포함하여 구성될 수 있다. 이때, 상기 대상 재료의 표면에 형성되는 압흔은 직경 0.1mm 이하인 것이 바람직하다.

[0029] 상기 이미지 획득부는 적어도 하나의 CCD 카메라를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 이미지 분석부는, 상기 이미지 획득부로부터 대상 재료에 대해 압입 전후의 표면 상태가 촬영된 이미지를 전송받고, 상기 압입 전의 이미지에서 특징점들을 다수 추출한 후 압입 후의 이미지에서 상기 특징점들의 위치를 추적하여 변위를 계산함으로써 변위장 데이터를 형성할 수 있다.

[0031] 또한, 상기 탄소성 유한요소 해석을 이용한 시뮬레이션은, 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를, 압입 지점을 기준으로 다수개의 요소로 분할하고 상기 압입 지점을 일정 하중으로 압입할 때에, 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용응력의 방향성을 고려하여 시편 재료의 반응을 시뮬레이션하고 요소 간 절점 사이의 변위를 측정하는 방식으로, 재료물성치에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터 및 재료의 응력 상태에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성할 수 있다. 여기서, 상기 유동응력 모델은, Swift 타입, Hollomon 타입, Ludwick 타입, Voce 타입, Johnson-Cook 타입 등에서 선택될 수 있다.

[0032] 또한, 본 발명의 장치는 재료물성치와 응력상태 중 측정하고자 하는 값에 따라, 상기 압입테스트부에서의 압입하중과, 상기 이미지 획득부 및 분석부에서의 해상도를 다르게 적용할 수 있다. 구체적으로, 철강재료의 물성치 측정에는 100-200N 압입하중에 0.05~0.1미크론/픽셀 해상도를 사용하고, 응력상태 측정에는 20-40N 압입하중에 0.02~0.05미크론/픽셀 해상도를 사용하면 적절한 압흔크기와 해상도로부터 실용적인 측정결과를 얻을 수 있다. 다른 재료의 경우, 물성치 측정에는 항복응력이나 인장강도에 비례하고, 응력상태 측정에는 탄성계수에 비례하여 압입하중을 조절하면 된다.

[0033] 한편, 본 발명의 장치에서 상기 이미지 분석부, 비교 데이터 저장부, 중앙 처리부는 장치의 상부에 구비되고, 상기 장치의 상부 저면으로부터 수직 하방으로 상기 압입 테스트부가 장착될 수 있다. 이때, 상기 장치의 상부를 지지함과 동시에, 상기 압입 테스트부의 둘레에서 상기 압입 테스트부를 대상 재료의 표면으로부터 이격시켜 지지하며, 사용 중인 부품의 재료 표면에 고정될 수 있도록 대상 재료의 표면에 고정되는 고정 지지대를 더 구비할 수 있다.

[0034] 또한, 본 발명의 장치는 상기 이미지 분석부에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터 또는 상기 중앙처리부에 의해 결정된 대상 재료의 물성과 응력상태를 사용자에 표시하는 디스플레이부가 더 구비할 수 있다.

[0035] 또한, 상기 압입 테스트부는, 서보모터를 포함하는 구동장치; 상기 구동장치에 연결기구를 통해 연결되어 구동장치의 작동에 따라 대상 재료의 표면에 대해 수직 방향으로 이동하여 대상 재료의 표면을 압입하며, 원추형, 구형, 피라미드형 중에서 선택된 어느 하나의 형상으로 이루어지고, 교체 가능하게 설치되는 적어도 하나의 압입자; 및 상기 연결기구와 압입자 사이에 장착되어 압입 하중을 측정하는 로드셀을 포함할 수 있다.

[0037] 한편, 본 발명의 다른 측면에 따르면, 디지털 화상적합기술로 결정한 압흔 근처 표면 변위장으로 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법으로서, 대상 재료의 표면에 대한 이미지를 획득하는 단계; 일정한 하중으로 상기 대상 재료의 표면을 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트 단계; 상기 압입 테스트 후의 상기 대상 재료 표면에 대한 압흔 주변의 이미지를 획득하는 단계; 상기 압입 테스트 전의 대상 재료의 표면에 대한 이미지에서 다수의 특징점들을 추출하고 상기 압입 테스트 후의 대상 재료의 표면에 대한 이미지로부터 상기 특징점들의 위치를 추

적하여 상기 대상 재료의 압입 전후 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계; 상기 대상 재료에 대해 생성된 표면 변위장 데이터를 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여, 상기 대상 재료의 재료물성치와 응력상태를 결정하는 단계; 를 포함하는 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법이 제공된다.

[0038] 여기서, 상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터는, 탄소성 유한요소 해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를, 압입 지점을 기준으로 다수개의 요소로 분할하고 상기 압입 지점을 일정 하중으로 압입할 때에, 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용 응력의 방향성을 고려하여 시편 재료의 반응을 시뮬레이션하고 요소 간 절점 사이의 변위를 측정하는 방식으로 생성된, 재료물성치에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터 및 재료의 응력상태에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 포함한다.

[0039] 또한, 본 발명의 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법은, 재료물성치와 응력상태 중 측정하고자 하는 값에 따라, 압입하중과 해상도를 다르게 적용할 수 있다. 또한, 압입 테스트 단계는, 원추형, 구형, 피라미드형 중에서 선택된, 어느 하나 또는 둘 이상 형상의 압입자를 사용하여 수행될 수 있다.

[0040] 한편, 상기 대상 재료의 재료물성치와 응력 상태를 결정하는 단계는, 상기 대상 재료의 물성치를 임의 값으로 설정하는 제1 단계; 상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 상기 설정된 물성치에 해당하는 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터를 검색하여, 상기 대상 재료의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계에서 생성된 실제 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 검색하고, 상기 검색된 표면 변위장 데이터에 대응하는 응력상태 조건을 획득하는 제2 단계; 상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 상기 획득된 응력 상태에 해당하는 재료 물성치 변수에 대한 표면 변위장 데이터를 검색하여, 상기 실제 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 검색하고, 그 검색된 표면 변위장 데이터에 대응하는 재료물성치를 획득하는 제3 단계; 상기 제3 단계에서 획득된 재료 물성치가 상기 제1 단계에서 설정된 물성치와 일치하는지 여부를 판단하여, 일치하지 않는 경우, 상기 제3 단계에서 획득된 재료 물성치를 상기 대상 재료의 물성치로 다시 설정한 후, 상기 제2 단계 및 제3 단계를 반복하고, 일치하는 경우, 상기 제2 단계에서 획득된 응력 상태와 상기 제3 단계에서 획득된 재료 물성치를, 상기 대상 재료의 응력 상태와 물성치로 결정하는 제4 단계를 포함할 수 있다.

[0042] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 재료물성치와 응력상태 측정을 위한 표면 변위장 빅데이터 구축방법이 제공된다. 상기 빅데이터 구축방법은, 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를 생성하는 단계; 상기 시편 재료를 압입될 지점을 기준으로 다수 개의 요소로 분할하는 단계; 상기 압입될 지점을 크기와 형상이 다양한 종류의 압입자로, 다양한 압입 하중을 적용하여 압입할 경우에, 상기 유동응력 모델을 따르는 다양한 재료상수 및 다양한 응력조건을 가지는 상기 시편 재료의 압입에 의한 반응을 시뮬레이션 하는 단계; 상기 시뮬레이션을 거친 시편 재료의 압입 전 후의 각 요소 간 절점 사이의 변위를, 압입자의 종류 및 압입 하중과, 유동응력 모델에 따른 재료상수 및 응력조건 별로 측정하는 단계; 상기 측정된 변위 데이터를 이용하여, 압흔 중심으로부터의 거리에 따른 변위 크기의 함수로서 다양한 재료물성과 응력상태 변수에 대한 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계;를 포함할 수 있다. 이때, 상기 유동응력 모델은 Swift 타입, Hollomon 타입, Ludwick 타입, Voce 타입, Johnson-Cook 타입 등에서 선택될 수 있다.

발명의 효과

[0044] 개시된 기술의 실시예들은 다음의 장점을 포함하는 효과를 가질 수 있다. 다만, 개시된 기술의 실시예들이 이를 전부 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위가 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[0045] 본 발명에 의한 디지털 화상적합기술로 결정한 미소압흔 근처 표면 변위장으로 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치 및 방법에 따르면, 대상물체의 표면에 미소 압입시험을 하고 그로 인해 발생하는 미소 압흔 주변의 표면 변위장을 이용하여 재료물성치와 응력상태를 측정함으로써, 대상 물체의 손상을 최소로 할 수 있어 별도의 시편을 준비하지 않고 현장에서 직접 대상 물체나 표면 코팅의 재료물성치와 응력상태를 측정하기 위해 적용될 수 있고, 미소 압흔이 문제되지 않으면 대상물체를 재사용할 수 있으며 현재 사용 중인 대상물체의 재료물성치

나 응력상태를 평가함으로써 구조물이나 부품의 안전성 여부를 직접 확인할 수 있는 이점이 있다.

[0046] 또한, 부정확하고 얻기 힘든 미소 압입 하중-변위곡선을 사용하지 않고, 미소 압흔 주변의 고해상도 이미지로부터 미소 압입 전후의 변위장을 추출하고, 이를 이미 구축된 빅데이터와 비교하여 재료물성치와 응력상태를 결정함으로써, 기존 비파괴 시험이 간접측정 방식으로 해석이 난해하여 특별한 훈련과 자격이 필요했던 것에 반해 신속하고 용이하게 정확한 재료물성치와 응력상태를 얻을 수 있는 이점이 있다.

[0047] 또한, 인장시험기와 같은 실험실 측정장비를 사용하지 않고, 휴대형 장치로 간편하게 미소 압입으로 인한 압흔 발생 전후 표면의 고해상도 이미지를 획득하고 이를 장치에 마련되거나 장치와 통신할 수 있는 노트북 등에 마련된 자원을 통해 처리하여 재료물성치와 응력상태를 측정함으로써, 시간과 준비가 많이 필요한 기존의 시험방법으로는 불가능하였던 대량생산되는 제품이나 부품의 실시간 품질관리에 활용할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치의 기능적 구성을 나타내는 블록도,

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치의 기능적 구성을 나타내는 블록도,

도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 기능적 구성을 구비한 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치의 구조를 나타내는 도면,

도 4(a)는 본 발명에 의한 이미지 획득부를 통해 얻어진 미소압입시험 전의 대상 물체의 재료 표면 이미지를 나타낸 도면, 도 4(b)는 미소압입시험 후의 대상 물체의 재료 표면 이미지를 나타낸 도면,

도 5(a)는 도 4의 이미지를 이용하여 압흔 주변의 이미지에서 추출된 표면 특징점들의 변위벡터를 도시한 도면, 도 5(b)는 도 5(a)를 이용하여 압흔 중심에서 떨어진 거리에 따른 변위값을 대응시킨 그래프,

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 비커스형 압입자에 대한 3차원 탄소성 유한요소 해석 모델을 예시적으로 나타낸 도면,

도 7은 예시적으로 Swift type 유동응력 모델 재료의 미소 압입시 재료물성치(K, n, a)에 따른 압흔 주변 표면 변위장 데이터를 나타낸 도면,

도 8은 예시적으로 Swift type 유동응력 모델 재료의 미소 압입시 특정 재료물성치의 재료에 다양한 응력상태가 작용하는 경우 작용응력(RS)에 따른 압흔 주변 표면 변위장 데이터를 나타낸 도면,

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 장치를 이용하여 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 방법을 나타내는 흐름도,

도 10은 본 발명의 일 실시예에서 대상 재료에 대해 실제 생성된 표면 변위장 데이터를 미리 저장된 다양한 재료 물성치와 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 빅데이터와 비교하여 대상 재료의 재료 물성치와 응력상태를 결정하는 방법을 예시적으로 나타내는 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다. 그러나 본 발명의 실시형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시형태로만 한정되는 것은 아니다. 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있으며, 도면상의 동일한 부호로 표시되는 요소는 동일한 요소이다.

[0051] 또한, 본 발명은 본문에 설명되는 특징 및 측면의 모든 가능한 조합을 포함한다. 따라서, 예컨대, 하나의 특징이 일 실시형태와 관련하여 설명되고 또 다른 특징이 다른 실시형태와 관련하여 설명되는 경우, 본 발명은 이들 특징의 조합을 갖는 실시형태를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0052] 그리고 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐만 아니라 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 또는 기계적으로 연결"되어 있는 경우도 포함

한다. 또한, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 또는 "구비"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함하거나 구비할 수 있는 것을 의미한다.

[0053] 또한, 본 명세서에서 용어 “대상 재료”는 특히 현장에 사용 중인 측정 대상 물체의 재료를 의미할 수 있지만, 특별히 언급되지 않는 한 “시편 재료”를 포함하는 의미로 해석될 수 있다.

[0055] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치의 기능적 구성을 나타내는 블록도이고, 도 3은 도 1에 도시된 기능적 구성을 구비한 장치의 외관 구조를 나타내는 도면이다. 도 1 및 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치를 설명한다.

[0056] 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치는, 크게 대상 재료에 대해 압입 테스트를 수행하고 압입 전후의 대상 재료 표면 상태 이미지를 획득하는 기구부(100)와, 상기 획득된 이미지로부터 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하여 기 저장된 표면 변위장 빅데이터와 비교함으로써 대상 재료의 재료 물성치와 응력상태를 결정하는 제어부(200)로 구성될 수 있다.

[0057] 구체적으로, 상기 기구부(100)는 대상 재료의 표면을 일정 하중으로 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트부(110)와, 대상 재료에 대해 압입 전후의 표면 상태를 촬영하는 이미지 획득부(120)를 포함할 수 있다.

[0058] 압입 테스트부(110)는 대상 물체의 표면에 미소 압입시험을 수행하기 위한 구성으로, 서보모터를 포함하는 구동장치(111), 상기 구동장치에 연결기구를 통해 연결되어 구동장치의 작동에 따라 대상 재료의 표면을 압입하는 압입자(115), 및 상기 연결기구와 압입자 사이에 장착되어 압입 하중을 측정하는 로드셀(113)을 포함할 수 있다.

[0059] 압입 시 가해진 하중을 측정하는 상기 로드셀(113)은, 일반 금속재료에 대한 탄소성 유한요소해석 데이터를 고려하여, 최대용량 500N, 분해능 1N의 성능을 구비할 수 있다. 금속재료의 압입 시에, 로드셀(113)은 압입으로 금속재료에 미소 변위장을 만들 수 있는 10N 단위의 일정한 압입하중으로 측정 대상 재료(10)를 압입하도록 구성된다. 한편, 비금속재료 물체에 적용 시에는 금속재료에 적용할 때 보다 압입하중과 분해능이 낮은 로드셀이 사용될 수 있다.

[0060] 압입자(10)는 대상 물체의 표면을 압입하여 압흔을 형성하게 되며, 대상 물체의 표면에 대해 수직 방향으로 이동하여 대상 물체의 재료 표면을 압입할 수 있다. 본 발명은 직경 0.1 ㎜ 이하의 미소 압흔에 의한 표면 변위장 데이터를 이용하여 재료물성치와 응력상태를 측정하는 기술이므로, 이에 따라 압입자의 크기도 구형 압입자를 기준으로 할 때, 0.5~1.0㎜의 직경을 가지도록 구성된다.

[0061] 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 압입자(10)의 형상은 원추형, 구형, 피라미드형 중에서 선택되며, 압입테스트부(110)에 교체 가능하게 설치될 수 있다. 또한, 종래 나노 압입시험의 경우에 있어서, 원추형 압입자가 단독으로 사용될 경우 압입자의 특성상 상이한 재료물성치를 가지는 재료가 동일한 압입하중-변위 곡선을 나타내게 되는 자기 유사성으로 인한 오류 문제를 고려하여, 본 발명에서는 원추형 압입자의 경우 구형의 압입자와 함께 두 종류의 압입자를 적용하도록 구성될 수 있다. 피라미드형 압입자의 경우에도 크기가 작아지면 원추형 압입자와 유사하게 작용할 수 있으므로 구형의 압입자와 함께 사용되도록 구성할 수 있다.

[0062] 두 종류의 압입자(115)가 적용되는 경우, 본 발명의 기구부(100)는 압입테스트부(110)에 두 종류의 압입자가 각각 별도로 적용되어 압입테스트를 시행한 후 각각의 경우에 대해 이미지를 획득하거나, 혹은 압입테스트부(110)를 두 종류의 압입자가 서로 간섭되지 않는 1㎜ 이상 이격된 인접한 두 지점에 설치되도록 구성하여 대상 물체의 표면을 동시에 압입하도록 압압테스트를 시행하고 압입자에 대응하는 각각의 이미지를 획득하도록 구성할 수 있다.

[0063] 한편, 본 발명에 의한 압입테스트부(110)의 구동장치(111)는 본 발명에 의한 미소 압입시험의 특성상 정밀하게 기계적 이동량을 제어하기 위해 서보 모터를 포함할 수 있으며, 이를 통해 반복성과 제어성이 높은 모터제어계를 구현할 수 있다.

[0064] 이미지 획득부(120)는 압입테스트 전후의 대상 재료의 표면을 촬영하는 구성으로, 적어도 하나의 고성능 CCD 카메라를 포함하도록 구성된다. 도 3에 도시된 바와 같이, CCD 카메라를 포함하는 이미지 획득부(120)는 압입테스트부(110)의 양쪽에 위치되어 재료 표면(10) 상의 압흔 주변의 이미지를 촬영할 수 있으며, 필요에 따라 화소, 영역 확대 등의 성능 향상을 위해 CCD 카메라의 개수와 사양이 교체될 수 있다.

[0065] 후술되는 바와 같이, 본 발명은 대상 재료 표면의 미소 압입으로 인한 압흔 발생 전후 표면의 이미지를 이용하여 압입 전후 재료 표면의 특이점의 변위를 계산하여야 하므로, 고해상도 이미지가 필요하다. 이미지의 해상도는 측정하고자 하는 값(즉, 재료물성치 또는 응력상태)에 따라 달라질 수 있으나, 후술되는 바와 같이 탄소성 유한요소해석을 통해 구축된 표면 변위장 빅데이터를 고려하여 대략 0.02~0.1 미크론/픽셀 범위로 해상도가 설정될 수 있다.

[0067] 구체적으로, 제어부(200)는 이미지 획득부(120)로부터의 압입 전후의 재료 표면 상태에 대한 이미지를 이용하여 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 이미지 분석부(210), 유한요소해석을 이용하여 다양한 재료물성치와 응력상태 변수에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 빅데이터가 저장되는 비교 데이터 저장부(220), 이미지 분석부에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터를 비교 데이터 저장부에 저장된 다양한 재료물성치와 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 빅데이터와 비교하여, 대상 물체의 재료물성치와 응력상태를 결정하는 중앙 처리부(230)를 포함할 수 있다.

[0068] 이미지 분석부(210)는 대상 재료 표면에 대한 압입 전후의 이미지를 이용하여 미소 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하기 위해 디지털 화상적합기법(DIC)을 사용한다. DIC 기법이란, 카메라를 통해 획득한 이미지의 특징점들의 위치, 크기, 방향 등 지역적 특성을 나타내는 정보를 추출하여 추적하는 알고리즘을 통해 소재 표면의 변형에 따른 질점의 이동 정보를 분석하는 방법이다. 본 장치에서는 미소압입시험과 DIC 기법을 융합하여 미소압입 전후의 질점의 이동 정보로부터 압흔 주변의 표면 변위장을 결정한다.

[0069] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 이미지 획득부를 통해 얻어진 미소압입시험 전후의 대상 물체의 재료 표면 이미지를 나타낸 것으로, 예시적으로 알루미늄 재료 표면을 피라미드형 압입자의 일종인 비커스형 압입자로 압입하여 형성된 압흔의 2사분면 주변 0.129㎜ X 0.092㎜의 고해상도 이미지(해상도 0.028미크론/픽셀)를 나타내고 있다. 여기서, 도 4(a)는 미소 압입 전의 이미지를 나타내고, 도 4(b)는 미소 압입 후의 이미지로 우측 하단에 45도 기울어진 점선으로부터 우측 하단의 모서리까지의 영역이 비커스형 압흔에 해당된다. 이와 같이 미소압입 전후의 이미지에는 랜덤한 패턴 형상이 나타나 있다.

[0070] 이미지 분석부(210)는, 예시적으로 도 4(a)에 나타낸 바와 같은 미소압입 전의 이미지로부터 두드러진 명암 값이나 모서리와 같이 주변과 구분되는 특징을 가지는 점, 즉, 특징점을 다수 추출한 후, 도 4(b)에 나타낸 바와 같은 압입 후의 이미지에서 상기 특징점들의 위치를 추적하여 변위를 계산함으로써 변위장 데이터를 형성한다. 본 발명에서 미소 압입 전후의 이미지에서 특징점의 표면 변위장 데이터를 이용하여 재료물성치와 응력상태를 측정할 수 있는 것은 미소 압입으로 압흔 주변에는 미소변형이 발생하더라도, 고해상도 이미지에서 추출되는 특징점의 이미지 데이터는 보존되기 때문이다.

[0071] 이미지 분석을 통해 추출된 압입 전/후 특징점의 픽셀 좌표 ($x_{압입전}$, $y_{압입전}$), ($x_{압입후}$, $y_{압입후}$)를 각각 추출하면, 이로부터 각 특징점의 변위벡터 (dx, dy)는 다음과 같이 계산된다.

[0072] $(dx, dy) = (x_{압입후}-x_{압입전}, y_{압입후}-y_{압입전})$ (식 1)

[0074] 도 5(a)는 상술한 바에 따라 도 4의 이미지를 이용하여 압흔 주변의 이미지에서 추출된 표면 특징점들의 변위벡터를 도시한 것이며, 도 5(b)는 도 5(a)를 이용하여 압흔 중심에서 떨어진 거리에 따른 변위값을 대응시킨 그래프를 나타내고 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 압입 전후의 이미지에서 추출되는 특이점은 수 천 내지 수 만개에 이를 수 있으며, 본 발명에서는 이와 같이 상당한 수의 특징점에 대한 각각의 변위 값을 통계적으로 평균하여 변위장 데이터를 생성할 수 있다.

[0075] 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명의 미소압입에 사용하는 압입자는 일반적으로 사용되는 구형, 원추형, 피라미드형을 모두 사용할 수 있으며, 이에 따라 복수의 압입자와 복수의 압흔으로부터 얻어지는 복수의 표면 변위장 데이터를 사용할 경우 측정결과의 신뢰성을 더욱 높일 수 있게 된다. 이를 위하여, 후술할 비교 데이터 저장부에는 압입 하중이나 압입자의 유형에 따라 다양하게 얻어지는 변위장에 대한 빅데이터가 각각 별도로 계산되어 저장되며, 상기 생성된 복수의 표면 변위장 데이터와 비교될 수 있다.

[0076] 본 발명에서는 측정과 제어가 힘든 미소압입에 대한 하중-변위를 연속적으로 측정하는 종래의 방법 대신에, 상기와 같이 압입테스트부에서는 미리 정해진 일정 하중으로 재료 표면을 압입하여 직경 0.1㎜ 이하의 미소압흔을

발생시켜 대상물체의 손상을 최소로 하고 시험의 정확도를 높이는 한편, 이미지 획득부로부터 압흔 주변의 고해상도 이미지를 제공받아 사용하므로 pile-up, sink-in 등의 세부형상을 모두 반영할 수 있는 이점이 있다. 따라서, 종래의 나노압입시험기에서 측정하는 압입하중-변위 곡선에 비해 방대한 양의 정보를 사용할 수 있게 되고, 이에 따라 상이한 재료물성치가 동일한 압입하중-변위 곡선을 나타내는 유사 물성치의 문제를 완벽하게 해결할 수 있게 된다. 더욱이, 측정대상의 재료물성치나 응력상태를 시편 전체에서 평균적으로 부정확하게 파악하는 대신, 다수의 미소압입 결과를 이용하면 재료물성치 및 응력상태의 국부적인 분포를 알 수 있게 된다.

[0077] 한편, 본 발명의 실시예에서는 고해상도의 이미지를 이용하므로 대상 재료 표면에 나타난 두드러진 명암 값 등과 같이 주변과 구분되는 특이점들이 다수 존재하였기 때문에, 종래 DIC 기법에서 사용되어 온 것과 같이 별도로 패턴을 인쇄하고 인쇄된 패턴을 추적하는 방식을 사용하지 않았다. 그러나 별도의 패턴을 인쇄하고 이를 추적하여 표면 변위장을 생성하는 방식을 채택하는 것도 가능하다.

[0078] 비교 데이터 저장부(220)는 상기 이미지 분석부(210)로부터 제공된 대상 재료의 표면 변위장 데이터와 비교되는 대상으로서, 다양한 재료물성치와 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 빅데이터가 저장되는 구성에 해당된다. 비교 데이터 저장부(220)에는 사전에 탄소성 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션을 통해 다양한 유동응력 모델을 따르는 재료의 압입시 다양한 재료물성치와 응력상태 변수에 따라 재료가 나타내는 표면 변위장 빅데이터가 저장된다. 비교 데이터 저장부(220)는 본 발명의 장치에 내장될 수 있지만, 선택적으로 노트북, 컴퓨터와 같은 외부 장치에 포함된 메모리에 구비될 수도 있다.

[0079] 탄소성 유한요소해석을 통하여 구축되는 빅데이터에는 일반적으로 많이 사용되는 유동응력(flow stress) 모델들과 초기항복응력, 작용응력 등을 변수로 한 압흔 주변의 변위장 데이터가 포함된다. 이때 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용응력의 방향성을 고려한 3차원 해석결과에 기초하여 변위장 데이터가 산출되고 저장된다.

[0080] 도 6에는 본 발명의 일실시예에 따른 비커스형 압입자에 대한 3차원 탄소성 유한요소 해석 모델을 예시적으로 나타내었다. 구체적으로, 탄소성 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션은 소정의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를, 압입 지점을 기준으로 다수개의 요소로 분할하고 상기 압입 지점을 일정 하중으로 압입할 때에, 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용응력의 방향성을 고려하여 시편 재료의 반응을 시뮬레이션하는 것이다. 결과로서, 압입에 기인한 요소 간 절점 사이의 변위를 측정하는 방식으로, 재료 물성치에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터 및 재료의 응력 상태에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성할 수 있게 된다.

[0081] 본 발명의 일 실시예에 의한 빅데이터 구축 방법은, 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를 생성하는 단계; 상기 시편 재료를 압입될 지점을 기준으로 다수 개의 요소로 수평 및 수직으로 분할하는 단계; 상기 압입될 지점을 크기와 형상이 다양한 종류의 압입자로, 다양한 압입 하중을 적용하여 압입할 경우에, 상기 유동응력 모델을 따르는 다양한 재료상수 및 다양한 응력조건을 가지는 상기 시편 재료의 압입에 의한 반응을 시뮬레이션 하는 단계; 상기 시뮬레이션을 거친 시편 재료의 압입 전 후의 각 요소 간 절점 사이의 변위를, 압입자의 종류 및 압입 하중과, 유동응력 모델에 따른 재료상수 및 응력조건 별로 측정하는 단계; 상기 측정된 변위 데이터를 이용하여, 압흔 중심으로부터의 거리에 따른 변위 크기의 함수로서 다양한 재료물성과 응력상태 변수에 대한 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0082] 도 7과 도 8은 하기 (식 2)로 표시되는 Swift type 유동응력 모델을 적용한 경우, 철강재료에 대한 미소압입 탄소성 유한요소해석 결과에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 예시적으로 나타낸다.

[0083] $$\sigma = K(a+\varepsilon)^{1/n} \quad \ldots \quad (식\ 2)$$

[0084] (여기서, σ는 유동응력, K, a, n 은 재료상수이며, ε은 총 유효변형률이다.)

[0085] 재료상수 a 는 Y 를 대상재료의 초기항복응력, E를 탄성계수라고 할 때, (식 3)처럼 나타낼 수 있다.

[0086] $$a=(Y/K)^n-(Y/E) \quad \ldots \quad (식\ 3)$$

[0087] 구체적으로, 도 7은 Swift type 유동응력 모델 재료의 미소압입시 재료물성치(K, n, a)에 따른 압흔 주변 표면 변위장 데이터를 나타낸다. 여기서, 가로축은 압흔 중심으로부터의 거리(r/D) 세로축은 변위 크기(u_r)를 나타내며 각각 압입자의 크기(D=1mm)로 나눈 상대값으로 표시되어 있다. 도 7은 200N 의 압입 하중으로 Swift type 유

동응력 모델을 따르는 철강 재료를 미소 압입할 경우, Swift type 유동응력 $\sigma = K(a+\varepsilon)^{1/n}$ [MPa]에서 재료상수 K, n, a에 따른 압흔 주변의 변위장 데이터 곡선 그래프를 나타낸다.

[0088] 비교 데이터 저장부(220)에는 상술한 바와 같은 방식으로 생성된 다양한 재료물성치(K, n, a, ,,)에 따른 압흔 주변 표면 변위장 데이터가 저장된다. 따라서, 본 발명의 이미지 분석부(210)에서 생성된 표면 변위장 데이터를 이용하여, 예컨대, 대상 물체의 소재인 철강재료의 구체적인 재료물성치를 측정하고자 할 경우, 상기 생성된 표면 변위장 데이터를 비교 데이터 저장부(220)에 저장된 철강재료의 도 7에 상응하는 재료물성치에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 독출하여 비교함으로써 대상 물체의 구체적인 재료물성치(즉, K, n, a 값)를 결정할 수 있게 된다.

[0089] 압흔 중심에서 반경방향 변위장을 여러 각도별로 측정하여 물성치를 구한 후에 그 값들을 비교하여 서로 같으면 대상소재는 등방성이다. 각도별로 구한 재료물성치 즉, 유동응력이 다르다면, 방향별 유동응력 비율로부터 이방성계수를 결정할 수 있다.

[0090] 또한, 도 8은 Swift type 유동응력 모델 재료의 미소압입시 특정 재료물성치의 재료에 다양한 응력상태가 작용하는 경우 작용응력(RS[MPa])에 따른 압흔 주변 표면 변위장 데이터를 나타낸다. 여기서, 가로축은 압흔 중심으로부터의 거리(r/D) 세로축은 변위 크기(u_r)를 나타내며 각각 압입자의 크기(D=1mm)로 나눈 상대값으로 표시되어 있다. 도 8은 27N 의 압입 하중으로 Swift type 유동응력 모델을 따르는 철강 재료를 미소 압입할 경우, 작용응력에 따른 압흔 주변의 변위장 데이터 곡선 그래프를 나타낸다.

[0091] 비교 데이터 저장부(220)에는 상술한 바와 같은 방식으로 생성된 다양한 재료물성치의 재료에 다양한 응력상태가 작용하는 경우의 작용응력에 따른 압흔 주변 표면 변위장 데이터가 저장된다. 따라서, 본 발명의 이미지 분석부(210)에서 생성된 표면 변위장 데이터를 이용하여, 예컨대, 대상 물체의 소재인 철강재료에 작용하는 구체적인 응력상태를 측정하고자 할 경우, 상기 생성된 표면 변위장 데이터를 비교 데이터 저장부(220)에 저장된 철강재료의 도 8에 상응하는 응력상태에 따른 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 독출하여 비교함으로써 대상 물체의 구체적인 응력상태를 결정할 수 있게 된다.

[0092] 상기 실시예에서는 Swift type 유동응력 모델을 적용한 경우에 대해 설명되었지만, 적용가능한 유동응력 모델에 특별한 제한이 있는 것은 아니므로 Hollomon 타입, Ludwick 타입, Voce 타입, Johnson-Cook 타입 혹은 이들의 조합형 같은 모델에 확장하여 적용할 수 있다.

[0093] 한편, 상기한 도 7 및 도 8의 철강재료의 유한요소해석 빅데이터를 고려할 때, 본 발명의 장치를 이용하여 대상 물체의 재료물성치와 응력상태를 측정함에 있어서 측정 정확도를 높이기 위한 적절한 압입하중과 해상도의 적용 범위를 도출하는 것이 가능하다. 예컨대, 도 7을 참조하면 철강재료의 재료물성치 측정에는 대략 100~200N 압입하중에 0.05~0.1미크론/픽셀 해상도를 사용하면 공학적으로 유용한 데이터를 얻을 수 있다. 또한, 도 8을 참조하면 응력상태 측정에는 대략 20~40N의 압입하중에 0.02~0.5미크론/픽셀 해상도를 사용하면 이는 대략 15MPa/픽셀 정도에 해당하므로 공학적으로 유용한 값을 측정할 수 있다. 이때, 응력상태의 해상도는 재료의 탄성계수(Young's modulus)에 반비례하여 높아진다. 즉, 알루미늄재료는 철강대비 1/3 정도의 강성을 가지므로, 0.02미크론/픽셀 해상도는 대략 5Mpa/픽셀에 해당하여 측정 정확도가 높아진다. 이와 같이 강성이 높은 철강재료를 기준으로 압입 하중과 해상도를 설정할 경우, 철강보다 강성이 떨어지는 다른 재료에 대해서도 충분한 정확도로 재료물성치와 응력상태를 측정할 수 있을 것이다.

[0094] 선택적으로, 철강재료 외의 다른 재료의 경우는 철강재료의 사례를 기준으로 하여, 물성치 측정에는 항복응력이나 인장강도에 비례하고, 응력상태 측정에는 탄성계수에 비례하여 압입하중을 조절할 수 있다. 이와 같이 압입하중을 재료별로 달리 설정하는 이유는 미소압흔 크기를 0.1mm 정도로 유지하기 위함이다. 현재의 상용 CCD가 4800만 화소(8,000 X 6,000 화소)까지 나오므로, 미소압흔 주변 크기 0.16mm를 8,000픽셀로 본다면 0.02미크론/픽셀이 되어, 재료의 응력상태를 실용적으로 파악할 수 있게 된다. 이와 같이 압입하중과 해상도의 설정 관계는 현재의 CCD 해상도를 고려하여 설정된 것으로, 향후 해상도가 더 높은 CCD가 개발되어 나온다면 압입하중(즉, 압흔 크기)은 보다 폭넓게 조절될 수 있을 것이며 측정 정확도는 더욱 높아질 것이다.

[0095] 통상적으로, 해상도는 이미지 범위를 픽셀수로 나눈 값으로 0.4mm X 0.3mm의 범위를 4800만 화소로 촬영하면 해상도는 0.05미크론/픽셀이 된다. 그러나 도 5에 나타낸 것처럼 본 발명의 장치는 수천 내지 수만 개 이상의 특징점을 추적하여 변위벡터를 구하고 이들을 저장된 변위장 빅데이터에 적합시키므로 픽셀단위의 이미지 해상도가 아니라, 통계학적으로 훨씬 높은 신뢰도를 가진 정확도로 재료물성치나 응력상태를 결정할 수 있는 이점이

있다.

[0096] 중앙 처리부(230)는 이미지 분석부(210)에서 생성된 대상 재료의 표면 변위장 데이터를 비교 데이터 저장부(220)에 저장된 다양한 재료물성치 및/또는 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 빅데이터와 매칭시켜 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 검출함으로써 대상 물체의 재료물성치 및/또는 응력상태를 결정한다.

[0097] 상술한 바와 같이, 비교 데이터 저장부(220)에는 유한요소해석으로 얻은 방대한 양의 데이터 베이스가 체계적으로 저장되어 있으며, 항복응력, 변형경화지수 등의 재료물성 및 각 축의 응력상태를 변수로 하는 유한요소해석 압입 모델의 변위장 데이터를 통해 재료물성, 응력상태와 변위장의 상관관계를 나타내는 내장함수를 포함한다. 따라서, 이미지 분석부(210)를 통해 얻은 실제 대상 물체의 재료 표면에 대한 압입시험으로부터 생성된 변위장 데이터를 비교 데이터 저장부(220)의 내장함수를 이용해 변수에 따른 해석 결과들과의 비교를 통해, 평가 대상 재료(10)의 재료물성치 및/또는 응력상태 값을 얻을 수 있다. 미소 압입시험을 통해 획득한 압흔 주변의 표면 변위장 데이를 이용하여 대상 물체의 재료물성치 및/또는 응력상태 값을 얻는 구체적인 방법에 관해서는 후술한다.

[0099] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치의 기능적 구성을 나타내는 블록도이다. 또한, 도 3은 도 1에 도시된 기능적 구성을 구비한 장치의 외관 구조를 나타내는 도면으로 위에서 언급되었지만, 도 2의 실시예에 대해서도 도 3의 외관 구조가 적용될 수 있다. 도 2의 실시예에 있어서 도 1의 실시예와 일부 중복되는 구성에 대해서는 도 1의 실시예에서와 동일한 설명이 적용될 수 있으므로 구체적인 설명을 생략한다. 역으로, 도 2의 실시예와 관련한 설명 중에 도 1과 중복되는 구성에 관한 것은 마찬가지로 도 1의 실시예에서도 동일하게 적용될 수 있다.

[0100] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예에 따른 재료 물성치와 응력상태를 측정하는 장치는, 도 1의 실시예와 비교할 때 고정 지지부(130)와, 디스플레이부(310) 및 전원공급부(410)의 구성을 더 포함하는 구성으로 이루어진다.

[0101] 고정 지지부(130)는 본 발명의 장치를 사용 중인 대상 물체의 표면에 고정 및 지지하기 위한 구성이다. 특별히 제한되는 것은 아니지만, 도 3에 도시된 바와 같이 이미지 분석부(210), 비교 데이터 저장부(220), 중앙 처리부(230)를 포함하는 제어부(200)는 장치의 상부에 구비되고, 장치의 상부 저면으로부터 수직 하방으로 압입 테스트부(110)가 장착될 수 있다. 이때, 상기 고정 지지부(130)는 장치의 상부를 지지함과 동시에, 상기 압입 테스트부(110)의 둘레에서 상기 압입 테스트부를 대상 물체의 재료 표면(10)으로부터 이격시켜 지지하며, 사용 중인 부품의 재료 표면에 고정될 수 있다. 고정 지지부(130)가 대상 물체의 재료 표면(10)에 고정 지지되는 방식에는 특별한 제한이 있는 것이 아니어서, 고정 지지부(130)는 재료 표면(10) 상에 장치 자체의 무게에 의해 고정 지지될 수 있으며, 작업자의 손에 의한 고정도 가능하다. 또한, 고정 지지부(130)의 재료 표면(10)과의 접촉면에, 예를 들면 흡착기구와 같은 별도의 고정기구를 구비시킴으로써 표면이 수평으로 평탄하지 않은 물체에 대해 적용시 편의성을 향상시킬 수도 있다. 어느 경우에 있어서도, 측정 대상 물체의 표면에 별도의 가공이나 접착을 할 필요는 없다.

[0102] 디스플레이부(310)는 이미지 분석부(210)에서 생성된 대상 물체의 재료 표면에 대한 압흔 주변의 변위장 데이터 또는 중앙처리부(230)에 의해 결정된 대상 물체의 재료 물성치와 응력상태를 사용자에 표시할 수 있다. 또한, 디스플레이부(310)는 장치의 각 부분을 조작하기 위한 사용자 인터페이스를 제공하는 구성이기도 하다. 즉, 디스플레이부(310)는 GUI를 통해 사용자가 편리하게 장치를 사용할 수 있도록 구성될 수 있으며, 압입시험을 통해 추출된 변위장 데이터 혹은 최종 재료 결과 값 등을 그래프, 표, 단일 숫자 형태로 표시할 수 있다. 또한, 장치의 전원공급부, 압입테스트부, CCD 카메라 등 이미지 획득부 등 장치의 모든 부분과 연결되어 있어, 디스플레이부에 표시된 정보를 기초로 작업자가 장치를 조작하고, 필요에 따라 별도의 전원과 컴퓨터에 연결을 통해 충전과 데이터 획득이 가능하도록 보조할 수 있다.

[0103] 또한, 전원공급부(410)는 장치의 각 구성부분을 구동하기 위한 전력을 공급하는 구성으로서, 특별히 제한되는 것은 아니지만, 장치의 휴대성 확보로 현장에 사용중인 재료 평가에 적용하기 용이하도록 충전이나 교체가 가능한 배터리로 구성될 수 있다.

[0104] 상기 실시예에 의한 장치를 사용하여 재료물성치와 응력상태에 관한 정보를 획득하는 일련의 과정을 설명하면 다음과 같다.

[0105] 먼저, 측정 대상 재료의 평가를 위해 장치의 고정 지지부(130)를 재료 표면(10)에 고정하고, 배터리 등 전원공

급부(410)로부터 제공되는 전력을 이용해 압입테스트부(110)와 CCD 카메라 등 이미지 획득부(120)를 작동시키며, 압입시험 전 CCD 카메라 등(120)을 이용해 재료 표면의 이미지를 획득한 후, 압입테스트부(110)의 모터를 작동시켜 미소압입 시험을 진행한다. 재료 표면으로부터 압입자(115)를 제거한 후 미소압입 시험을 통해 발생한 압흔 주변의 표면 변위장의 이미지를 CCD 카메라 등(120)으로 촬영하며, 획득한 이미지는 제어부(200)의 이미지 분석부(210)로 전송되어 압흔 주변의 변위장 데이터가 형성된다. 중앙처리부(230)는 상기 형성된 데이터와 비교 데이터 저장부(220)의 유한요소해석 데이터를 이용하여 재료의 물성치와 응력상태를 규명하고 그 결과를 디스플레이부(310)에 표시한다.

[0106] 선택적으로, 상술한 본 발명의 실시예에 따른 장치에서 압흔 주변의 표면 변위장 데이터를 생성하는 이미지 분석부(210)와, 비교 데이터 저장부(220) 및 대상 재료의 물성치와 응력 상태를 결정하는 중앙 처리부(230)를 포함하는 제어부(200)는, 압입테스트부(110)와 이미지 획득부(120) 등을 포함하는 기구부(100)와 물리적으로 분리된, 노트북, 컴퓨터 등 외부 장치에 마련될 수도 있다. 이 경우 외부 장치에서 기구부(100)로부터 생성된 대상 물체의 재료 표면 변위장 데이터를 온라인으로 전송받아 재료물성치와 응력상태를 측정하고 표시하도록 구성된다.

[0108] 도 9에는 본 발명의 일 실시예에 따라 대상 물체의 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법을 나타내었다. 도시된 각 단계는 상술한 본 발명의 일실시예에 따른 재료물성치와 응력상태를 측정하는 장치에 의해 수행될 수 있다. 따라서, 각 단계를 수행함에 있어서 요구되는 장치의 구체적인 운용 조건들에 대해서는 상기에서 장치의 각 구성요소와 관련하여 설명된 것과 동일하므로 구체적인 언급을 생략하고 이하에서는 프로세스 측면에 기초하여 실시예를 기술한다.

[0109] 도 9에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의한 재료물성치와 응력상태를 측정하는 방법은, 먼저 대상 물체의 재료 표면에 대한 고해상도 이미지를 획득한다(S100). 그 다음, 일정한 하중으로 상기 대상 물체의 재료 표면을 압입하여 압흔을 형성하는 압입 테스트를 수행하고(S200), 압입 테스트 후 대상 물체의 재료 표면에 대해 압흔 주변의 이미지를 획득한다(S300). 다음으로, DIC 기법을 이용하여 상기 압입 테스트 전의 대상 재료의 표면에 대한 이미지에서 다수의 특징점들을 추출하고 상기 압입 테스트 후의 대상 재료의 표면에 대한 이미지로부터 상기 특징점들의 위치를 추적하여 상기 대상 재료의 압입 전후 표면 변위장 데이터를 생성한다(S400). 이어서, 상기 대상 물체의 재료에 대해 생성된 표면 변위장 데이터를 미리 저장된 다양한 재료물성치와 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여, 상기 대상 물체의 재료물성치와 응력 상태를 결정한다(S500).

[0110] 상기 압입 테스트 단계(S200)와 이미지 획득 및 분석단계(S100, S300)는 재료물성치와 응력상태 중 측정하고자 하는 값에 따라 압입하중과 해상도를 각각 달리 하여 적용할 수 있다. 특별히 제한되는 것은 아니지만, 구체적으로, 재료물성치 측정에는 100~200N의 압입하중에 약 0.1 미크론/픽셀의 해상도를 적용할 수 있으며, 응력상태 측정에는 20~40N의 압입하중에 약 0.02 미크론/픽셀의 해상도를 적용할 수 있다.

[0111] 한편, 상기 미리 저장된 다양한 재료 물성과 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 빅데이터는, 앞에서 설명된 바와 같이 적어도 하나의 유동응력 모델에 기반한 시편 재료를, 압입 지점을 기준으로 다수개의 요소로 분할하고 상기 압입 지점을 일정 하중으로 압입할 때에, 재료의 이방성, 압입자의 유형, 작용응력의 방향성을 고려하여 시편 재료의 반응을 탄소성 유한요소해석을 이용하여 시뮬레이션하고 요소 간 절점 사이의 변위를 측정하는 방식으로 생성된 것이다.

[0112] 구체적으로, 재료물성치를 알고 있는 대상물체에 대해 응력상태를 얻고자 할 경우에는, 대상 물체에 대해 생성된 표면 변위장 데이터를, 해당 재료물성치를 사용한 다양한 응력상태 변수에 따른 표면 변위장 데이터(도 8에 상응)와 비교함으로써, 실제의 변위장 데이터에 해당하는 응력상태 변수를 얻을 수 있다. 또한, 응력상태를 알고 있는 대상물체(주로 응력상태=0)에 대해 재료물성치를 얻고자 할 때는 내장된 응력 조건(응력상태=0)을 사용한 다양한 재료물성치에 따른 표면 변위장 데이터(도 7에 상응)와의 비교를 통해, 실제의 변위장 데이터에 해당하는 재료물성치를 얻을 수 있다.

[0113] 또한, 재료물성과 응력상태를 동시에 측정하고자 할 경우에는, 재료물성치 또는 응력상태 추정에 의한 반복법에 의해 재료물성치와 응력상태를 모두 도출할 수 있다. 예를 들면, 임의로 재료물성치를 가정한 후 저장된 표면 변위장 빅데이터 중에서 재료물성치를 알고 있는 대상의 응력 평가 과정을 거쳐 응력상태 조건을 얻은 후, 다시 상기한 응력상태 조건을 사용하여 응력상태를 알고 있는 대상의 재료물성을 평가하는 과정을 통해 얻은 재료물성치와 초기 임의의 재료물성치의 수렴 여부를 판단하여, 수렴 시까지 재료상수 값을 갱신하면서 해당 과정을

반복한다. 수렴할 때의 재료물성치와 응력 조건이 대상 재료의 재료물성치와 응력상태로 결정된다.

[0114] 도 10에는 재료 물성치 추정에 의한 반복법으로 재료물성치와 응력상태를 도출하는 방법을 예시적으로 나타내었다.

[0115] 도 10에 도시된 바와 같이, 재료물성치 추정에 의한 반복법으로 대상 물체의 재료물성치와 함께 응력상태를 결정하는 본 발명의 방법은, 대상 물체의 재료물성치를 임의 값으로 설정하는 제1 단계(S610); 미리 저장된 다양한 재료물성치와 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 상기 설정된 재료물성치에 해당하는 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터를 검색하여, 상기 대상 재료의 표면 변위장 데이터를 생성하는 단계에서 생성된 실제 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 독출하고, 상기 독출된 표면 변위장 데이터에 대응하는 응력상태 값을 획득하는 제2 단계(S620); 상기 미리 저장된 다양한 재료물성치와 응력 상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 상기 획득된 응력상태에 해당하는 재료물성치 변수에 대한 표면 변위장 데이터를 검색하여, 상기 실제 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터를 독출하고, 상기 독출된 표면 변위장 데이터에 대응하는 재료물성치를 획득하는 제3 단계(S630); 상기 제3 단계에서 획득된 재료물성치가 상기 제1 단계에서 설정된 물성치와 일치하는지 여부를 판단하여, 일치하지 않는 경우 상기 제3 단계에서 획득된 재료물성치를 상기 대상 재료의 물성치로 다시 설정한 후 상기 제2 단계(S620) 및 제3 단계(S630)를 반복하고, 일치하는 경우 상기 제2 단계에서 획득된 응력상태와 상기 제3 단계에서 획득된 재료물성치를 상기 대상 재료의 응력상태와 재료물성치로 결정하는 제4 단계(S640)를 포함할 수 있다.

[0116] 한편, 마찬가지 방식으로 응력상태 추정에 의한 반복법으로 대상 물체의 재료물성치와 응력상태를 결정할 수도 있으며, 이 경우 임의로 응력상태를 가정한 후 저장된 표면 변위장 빅데이터 중에서 응력상태를 알고 있는 대상의 재료물성치 평가 과정을 거쳐 재료물성치를 얻은 후, 다시 상기한 재료물성치를 사용하여 재료물성치를 알고 있는 대상의 응력상태를 평가하는 과정을 통해 얻은 응력상태 조건과 초기 임의의 응력상태 조건의 수렴 여부를 판단하여, 수렴 시까지 응력상태 조건을 갱신하면서 해당 과정을 반복한다. 수렴할 때의 응력상태 조건과 재료물성치가 최종 결과가 된다.

부호의 설명

[0118] 110 압입테스트부

120 이미지 획득부

130 고정 지지부

210 이미지 분석부

220 비교 데이터 저장부

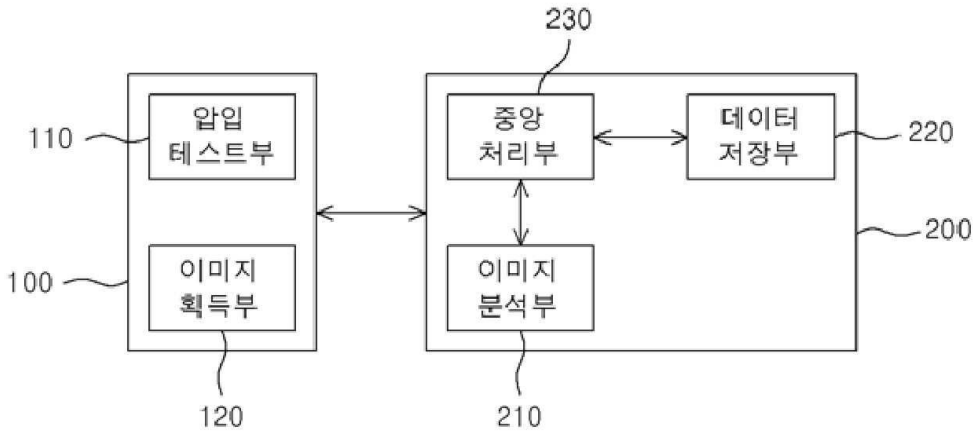
230 중앙 처리부

310 디스플레이부

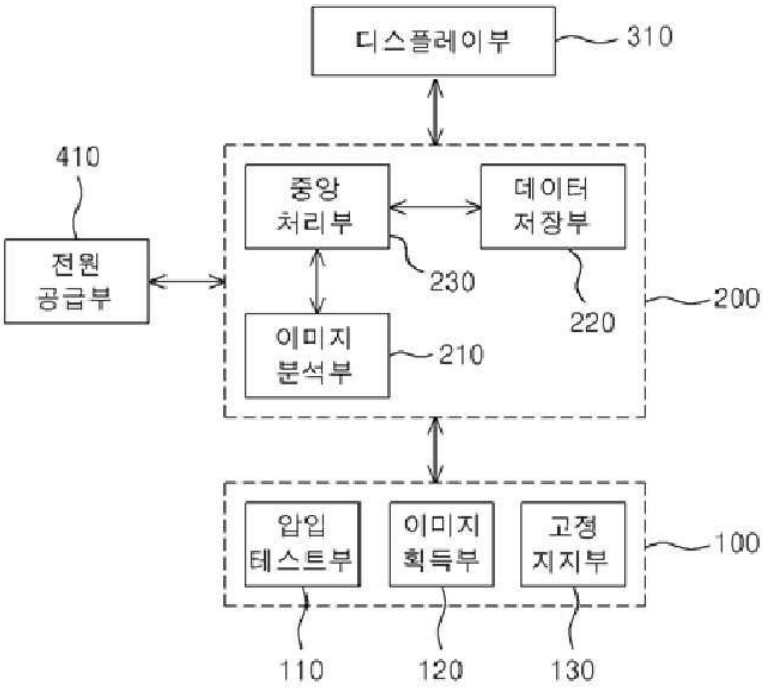
410 전원공급부

도면

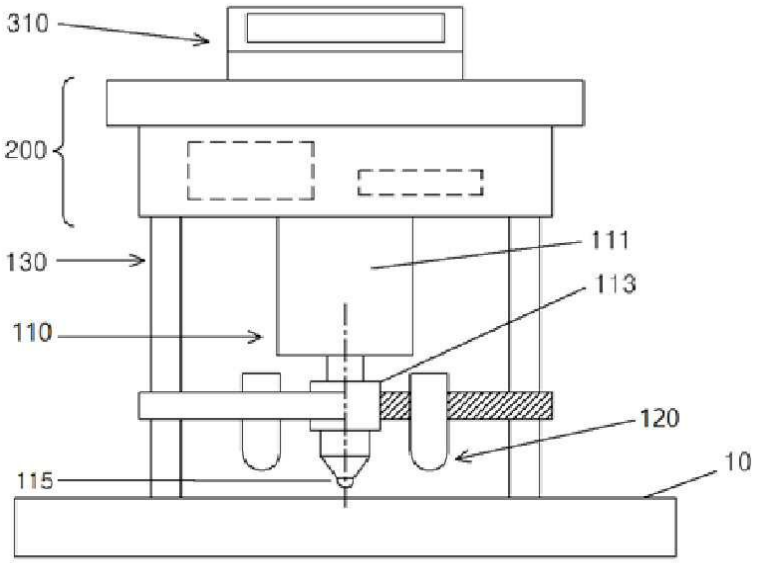
도면1


230
110
압입
테스트부
중앙
처리부
데이터
저장부
220
200
100
이미지
획득부
이미지
분석부
120
210

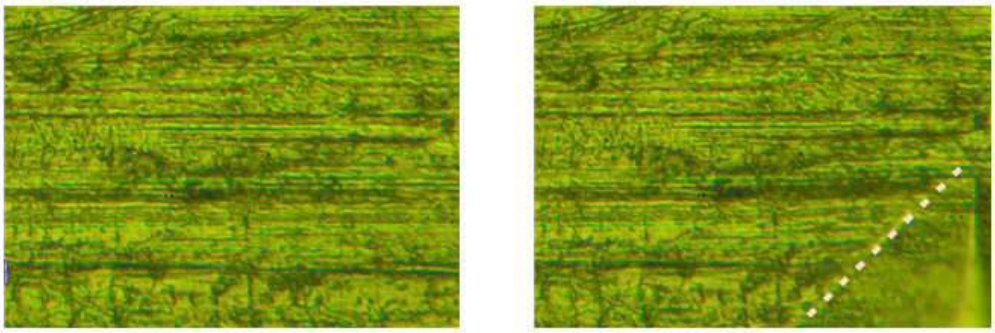
도면2


디스플레이부
310
410
중앙
처리부
데이터
저장부
전원
공급부
230
220
200
이미지
분석부
210
압입
테스트부
이미지
획득부
고정
지지부
100
110
120
130

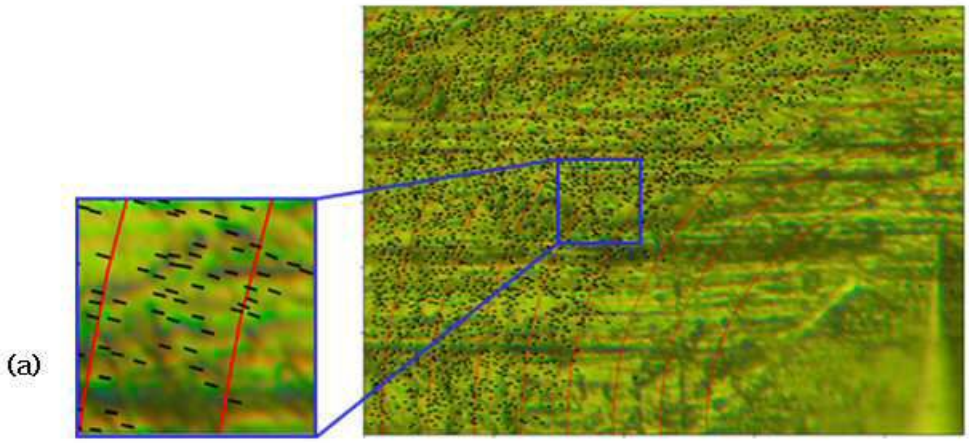
도면3

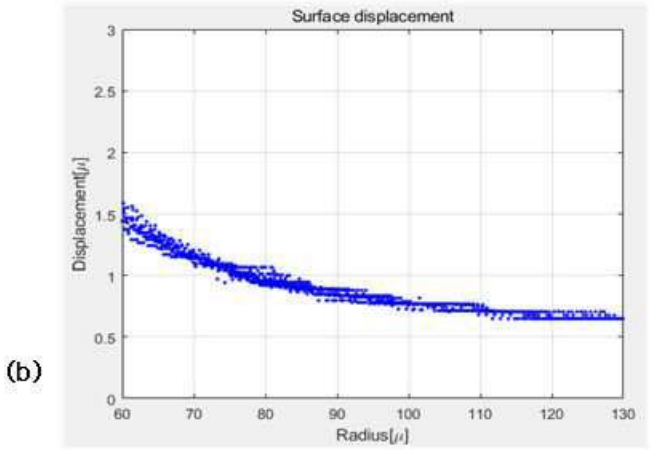


도면4

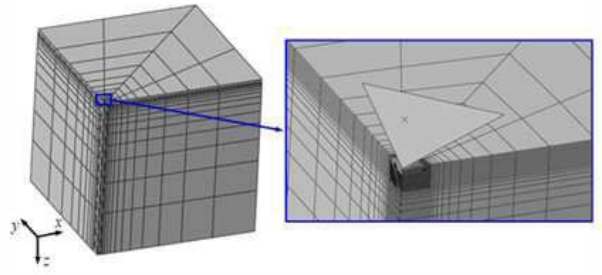


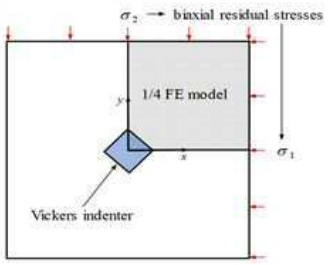
도면5


(a)

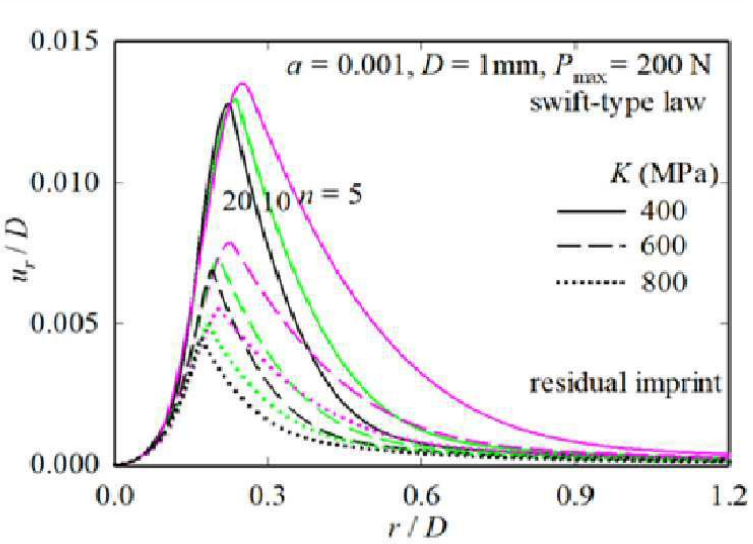

(b)
Surface displacement
Displacement[μ]
Radius[μ]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
60
70
80
90
100
110
120
130

도면6

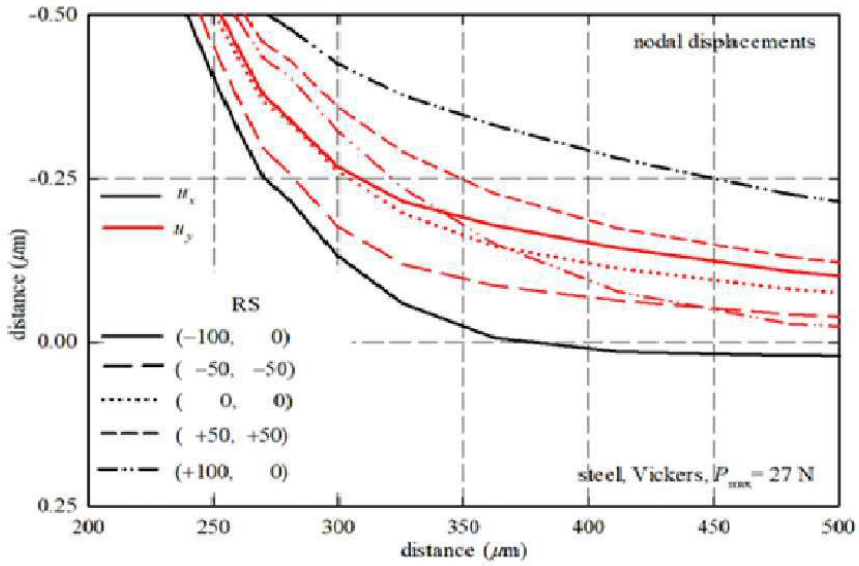



σ2 → binxial residual stresses
1/4 FE model
σ1
Vickers indenter

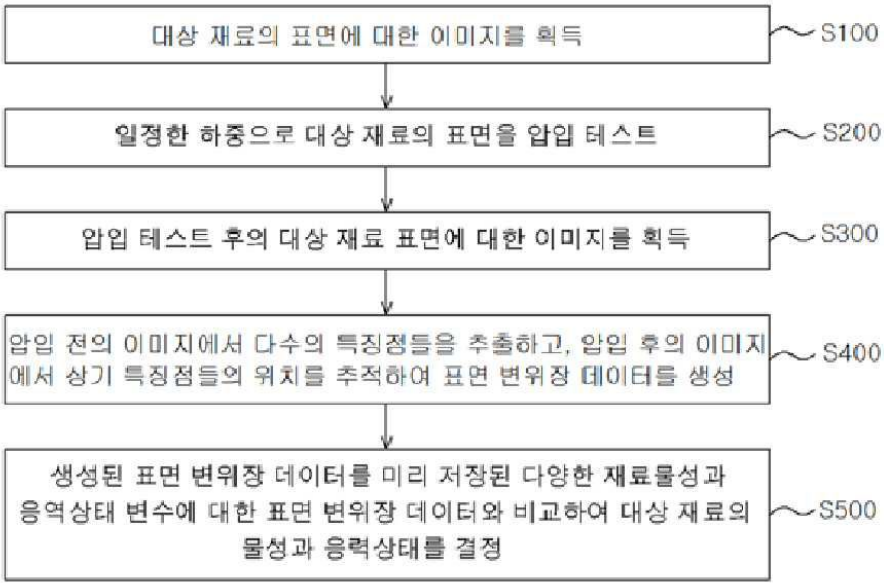
도면7


a = 0.001, D = 1mm, P_max = 200 N
swift-type law
K (MPa)
400
600
800
20, 10 n = 5
residual imprint
u_r / D
r / D
0.015
0.010
0.005
0.000
0.0
0.3
0.6
0.9
1.2

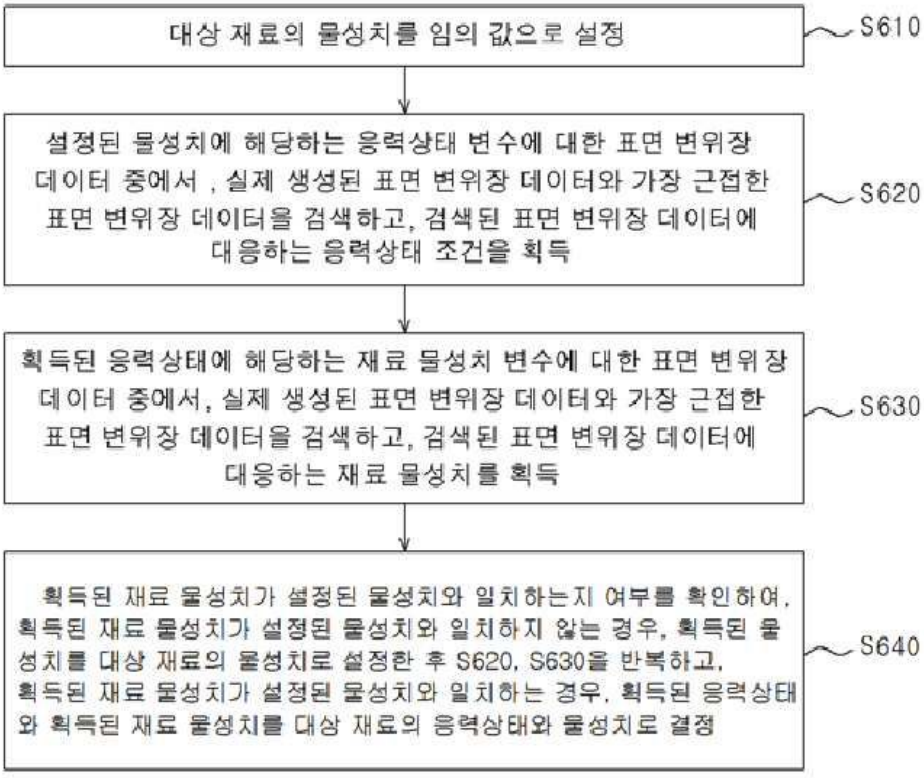
도면8


nodal displacements
u_x
u_y
RS
(−100, 0)
(−50, −50)
(0, 0)
(+50, +50)
(+100, 0)
steel, Vickers, P_max = 27 N
distance (μm)
-0.50
-0.25
0.00
0.25
200
250
300
350
400
450
500

도면9


대상 재료의 표면에 대한 이미지를 획득
S100
일정한 하중으로 대상 재료의 표면을 압입 테스트
S200
압입 테스트 후의 대상 재료 표면에 대한 이미지를 획득
S300
압입 전의 이미지에서 다수의 특징점들을 추출하고, 압입 후의 이미지에서 상기 특징점들의 위치를 추적하여 표면 변위장 데이터를 생성
S400
생성된 표면 변위장 데이터를 미리 저장된 다양한 재료물성과 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터와 비교하여 대상 재료의 물성과 응력상태를 결정
S500

도면10


대상 재료의 물성치를 임의 값으로 설정
S610
설정된 물성치에 해당하는 응력상태 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서 , 실제 생성된 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터을 검색하고, 검색된 표면 변위장 데이터에 대응하는 응력상태 조건을 획득
S620
획득된 응력상태에 해당하는 재료 물성치 변수에 대한 표면 변위장 데이터 중에서, 실제 생성된 표면 변위장 데이터와 가장 근접한 표면 변위장 데이터을 검색하고, 검색된 표면 변위장 데이터에 대응하는 재료 물성치를 획득
S630
획득된 재료 물성치가 설정된 물성치와 일치하는지 여부를 확인하여, 획득된 재료 물성치가 설정된 물성치와 일치하지 않는 경우, 획득된 물성치를 대상 재료의 물성치로 설정한 후 S620, S630을 반복하고, 획득된 재료 물성치가 설정된 물성치와 일치하는 경우, 획득된 응력상태와 획득된 재료 물성치를 대상 재료의 응력상태와 물성치로 결정
S640