



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년08월21일
(11) 등록번호 10-1769952
(24) 등록일자 2017년08월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 3/14 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 3/14 (2013.01)

G01L 1/26 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0066531

(22) 출원일자 2016년05월30일

심사청구일자 2016년05월30일

(56) 선행기술조사문헌

오창균, API X65 강의 연성파괴 해석을 위한 삼축
응력 영향을 고려한 파괴변형률 기준 개발, 대한
기계학회논문집 A권 제29권제12호, 2005년 12월,
pp 1621-1628*

JP2013124998 A*

KR1020080002410 A

KR1020100035222 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

김지현

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

최경준

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 8 항

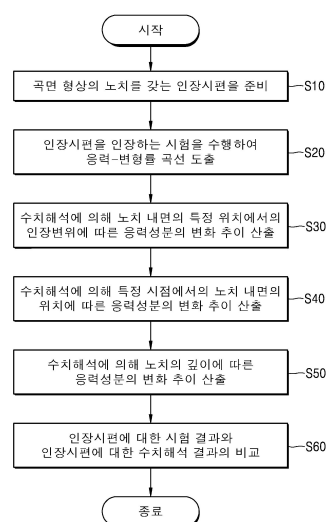
심사관 : 한별

(54) 발명의 명칭 삼축응력 해석 방법

(57) 요약

본 발명은 판재 형상을 갖고, 중앙부에 폭방향으로 함몰된 곡면 형상의 노치를 갖는 인장시편을 준비하는 단계, 상기 인장시편의 길이방향으로 상기 인장시편을 인장하는 시험을 수행하여 응력-변형률 곡선을 도출하는 단계 및 상기 응력-변형률 곡선을 이용하여 상기 인장시편의 삼축응력에 대한 수치해석을 수행하는 단계를 포함하는, 삼축응력 해석 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 2203/0017 (2013.01)

G01N 2203/0075 (2013.01)

(72) 발명자

김태호

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

유승창

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

함준혁

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415143023

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 에너지국제공동연구(전력기금)

연구과제명 지르코늄 핵연료 피복관의 산화막특성 분석 기술 및 건전성 향상 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원 산학협력단

연구기간 2015.12.01 ~ 2016.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

판재 형상을 갖고, 중앙부에 폭방향으로 함몰된 곡면 형상의 노치를 갖는 인장시편을 준비하는 단계;

상기 인장시편의 길이방향으로 상기 인장시편을 인장하는 시험을 수행하여 응력-변형률 곡선을 도출하는 단계; 및

상기 응력-변형률 곡선을 이용하여 상기 인장시편의 삼축응력에 대한 수치해석을 수행하는 단계;를 포함하며,

상기 수치해석을 수행하는 단계는,

상기 노치의 내면의 특정 위치에서의 인장변위에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계를 포함하는, 삼축 응력 해석 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 곡면의 적어도 일부는 부분 원통면의 형상을 갖는 삼축응력 해석 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 특정 위치는, 상기 노치의 내저면과 상기 내저면의 곡률중심을 연결하는 중심선으로부터 0도, 12도, 24도, 35도, 47도 및 71도 중 적어도 하나의 각도만큼 회전한 위치인, 삼축응력 해석 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 수치해석을 수행하는 단계는,

특정 시점에서 상기 노치의 내면의 위치에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계를 더 포함하는, 삼축응력 해석 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 특정 시점은 상기 인장시편이 항복점에 도달하는 시점인, 삼축응력 해석 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 수치해석을 수행하는 단계는,

상기 인장시편의 상기 노치가 위치하는 부분을 제1부분이라 하고, 상기 인장시편의 상기 노치가 위치하지 않는 부분을 제2부분이라 하면, 상기 제2부분의 폭에 대한 상기 제1부분의 폭의 비율과, 상기 제2부분의 폭을 조절하면서 응력 삼축비-소성 변형률 곡선을 산출하는 단계를 포함하는, 삼축응력 해석 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제2부분의 폭에 대한 상기 제1부분의 폭의 비율은 0.33 이상 0.5 이하인, 삼축응력 해석 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 인장시편에 대한 시험 결과와 상기 인장시편에 대한 수치해석 결과를 비교하는 단계;를 더 포함하는, 삼축응력 해석 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명의 실시예들은 삼축응력 해석 방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 노치가 형성된 인장시편을 이용하여 삼축응력의 해석을 용이하게 하는 삼축응력 해석 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 부식 환경 중에 사용되거나 변동하중을 받는 구조물 또는 용접, 체결 등에 의해 타부재와 결합되는 구조물의 경우, 이러한 구조물을 형성하는 금속재 내에 잔류응력이 존재하게 된다. 이러한 잔류응력은 피로 수명이나 SCC (응력 부식 균열) 등에 영향을 미치게 되어 균열 발생, 파단 등의 문제를 야기할 수 있다. 또한, 금속재의 공작물을 성형, 절삭 등의 방식으로 가공함에 있어서도, 재료의 가공한계를 고려하여 금형의 구조, 가공력의 크기 등을 결정하게 된다. 따라서, 사용될 금속재의 응력 상태 및 변형 거동을 미리 파악하는 것은 매우 중요한 일이다.
- [0003] 일반적으로 금속재의 응력 상태 및 변형 거동을 파악하기 위한 가장 간편한 방법의 하나로, 인장시험을 들 수 있다. 인장 시험은 시편의 양단을 고정 기구로 고정시킨 후, 시편의 축 방향으로 잡아 당겨서 파괴에 이를 때까지의 응력과 변형률 간의 관계곡선을 도출하는 시험으로, 이를 통해 인장응력, 인장변형률, 항복점, 탄성계수 등의 인장 특성을 파악할 수 있다.
- [0004] 그러나, 상기와 같은 인장시험은 일축응력 상태를 전제로 하는 것으로, 이를 통해 저장 용기, 선박 등과 같이 삼축응력 상태에 놓인 구조물의 응력 상태를 파악하는 데는 한계가 있다.
- [0005] 한편, 일본 공개특허공보 제2014-013203호는 피검사물에 X선을 조사함으로써, 상기 피검사물 내에 존재하는 삼축응력을 측정하는 방법을 개시하고 있다. 그러나, 기존의 일축 인장시험기 외에 X선 조사부를 구비한 별도의 장치가 요구된다는 점에서 비용 증가가 불가피하며, 일축응력과 삼축응력을 상이한 장치로 측정한다는 점에서 시험환경의 일관성이 떨어지는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 제2014-013203호 (2014.01.23)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 노치가 형성된 인장시편을 이용하여 삼축응력의 해석을 용이하게 하는 삼축응력 해석 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 판재 형상을 갖고, 중앙부에 폭방향으로 함몰된 곡면 형상의 노치를 갖는 인장시편을 준비하는 단계, 상기 인장시편의 길이방향으로 상기 인장시편을 인장하는 시험을 수행하여 응력-변형률 곡

선을 도출하는 단계 및 상기 응력-변형률 곡선을 이용하여 상기 인장시편의 삼축응력에 대한 수치해석을 수행하는 단계를 포함하는, 삼축응력 해석 방법이 제공된다.

- [0009] 상기 곡면의 적어도 일부는 부분 원통면의 형상을 가질 수 있다.
- [0010] 상기 수치해석을 수행하는 단계는, 상기 노치의 내면에 위치하는 특정 위치에서의 인장변위에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 특정 위치는, 상기 노치의 내저면과 상기 내저면의 곡률중심을 연결하는 중심선으로부터 0도, 12도, 24도, 35도, 47도 및 71도 중 적어도 하나의 각도만큼 회전한 위치일 수 있다.
- [0012] 상기 수치해석을 수행하는 단계는, 특정 시점에서 상기 노치의 내면의 위치에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 특정 시점은 상기 인장시편이 항복점에 도달하는 시점일 수 있다.
- [0014] 상기 수치해석을 수행하는 단계는, 상기 인장시편의 상기 노치가 위치하는 부분을 제1부분이라 하고, 상기 인장시편의 상기 노치가 위치하지 않는 부분을 제2부분이라 하면, 상기 제2부분에 대한 상기 제1부분의 비율과, 상기 제2부분의 폭을 변화시키면서 응력 삼축비-소성 변형률 곡선을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 제2부분에 대한 상기 제1부분의 비율은 0.33 이상 0.5 이하일 수 있다.
- [0016] 상기 인장시편에 대한 시험 결과와 상기 인장시편에 대한 수치해석 결과를 비교하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0017] 상술한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 금속재의 삼축응력에 대한 해석을 저렴한 비용으로 비교적 정확하게 수행할 수 있다.
- [0018] 또한, 장비의 교체 없이 기존의 인장시험기를 이용하여 삼축응력을 해석할 수 있다.
- [0019] 물론 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 삼축응력 해석 방법을 개략적으로 도시한 흐름도이다.
- 도 2는 도 1의 삼축응력 해석 방법에 이용되는 인장시편을 개략적으로 도시한 평면도이다.
- 도 3a는 도 2의 A 부분에 대한 수치해석 모델의 일 예를 도시한 평면도이다.
- 도 3b는 도 3a의 수치해석 모델을 이용하여 도출한 응력성분-인장변위 그래프들이다.
- 도 4a는 도 2의 A 부분에 대한 수치해석 모델의 다른 예를 도시한 평면도이다.
- 도 4b는 도 4a의 수치해석 모델을 이용하여 도출한 응력성분-정규거리 그래프이다.
- 도 5는 도 2의 수치해석 모델을 이용하여 도출한 응력삼축비-소성변형률 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고, 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0022] 본 명세서에서 사용되는 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0023] 본 명세서에서 사용되는 x축, y축 및 z축은 직교 좌표계 상의 세 축으로 한정되지 않고, 이를 포함하는 넓은 의미로 해석될 수 있다. 예를 들어, x축, y축 및 z축은 서로 직교할 수도 있지만, 서로 직교하지 않는 서로 다른

방향을 지칭할 수도 있다.

- [0024] 이하, 본 발명에 따른 실시예들을 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명함에 있어 실질적으로 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하여 나타내었다. 그리고 도면에서, 설명의 편의를 위해 일부 층 및 영역의 두께를 과장되게 나타내었다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 삼축응력 해석 방법을 개략적으로 도시한 흐름도이고, 도 2는 도 1의 삼축응력 해석 방법에 이용되는 인장시편을 개략적으로 도시한 평면도이다.
- [0026] 도 1에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 삼축응력 해석 방법에 따르면, 먼저 곡면 형상의 노치를 갖는 인장시편을 준비하는 단계(S10)를 거친다. 여기서의 곡면 형상의 노치를 갖는 인장시편은 도 2에 도시되어 있다. 도 2를 참조하면, 인장시편(100)은 판재 형상을 갖고, 중앙부에 노치(N)를 갖는다. 노치(N)는 폭방향(-Y 방향)으로 함몰된 곡면 형상을 갖는데, 일 실시예로 상기 곡면의 적어도 일부는 부분 원통면의 형상을 가질 수 있다. 이하 설명의 편의를 위해, 노치(N)의 내저면을 중심으로 하는 곡면의 적어도 일부가 부분 원통면의 형상을 갖고, 상기 원통면의 반지름은 R인 경우를 중심으로 구체적으로 설명한다.
- [0027] 인장시편(100)은 연신부(LP) 및 연신부(LP)의 양쪽에 배치되는 지지부(SP)를 포함할 수 있다. 연신부(LP)는 인장시편(100)의 중앙부에 배치되며, 대부분의 연신이 이루어지는 부분이다. 연신부(LP)는 인장시편(100)의 길이 방향(+X 방향)으로 연장되어 있고, 노치(N)가 형성된 부분을 제외하고는 대체로 일정한 폭을 갖는다. 한편, 지지부(SP)는 인장시편(100)에 인장력을 가할 수 있도록 인장시험기(미도시)에 지지되는 부분이다. 지지부(SP)는 상기 인장시험기의 고정구에 결합되는데, 이러한 고정방식으로는 클램핑, 용접, 나사결합 등이 이용될 수 있다. 지지부(SP)는 인장시험기에 견고하게 고정되고, 연신부(LP)의 연신작용을 촉진할 수 있도록 연신부(LP)보다 큰 폭으로 형성될 수 있다. 또한, 지지부(SP)와 연신부(LP)를 연결하는 부분은 응력 집중을 최소화하는 형상으로 형성되어 인장시험 중 상기의 연결 부위에서 균열, 파단 등이 발생하는 것을 방지할 수 있다. 예컨대, 상기의 연결 부위는 반지름 r을 갖는 부분 원통면의 형상을 갖도록 라운드지게 형성될 수 있다.
- [0028] 한편, 노치(N)는 깊이 H를 갖는데, 여기서의 노치 깊이는 연신부(LP)에서 노치(N)가 형성되지 않은 부분의 폭 D2와 연신부(LP)에서 노치(N)가 형성된 부분의 폭 D1의 차를 의미한다. 도 2에서는 노치(N)가 인장시편(100)의 양 측면에 형성된 것으로 도시되어 있으나, 노치(N)는 인장시편(100)의 일 측면에만 형성될 수도 있다.
- [0029] 일반적으로 노치가 없는 인장시편의 경우 일축응력 상태에 놓이게 되나, 노치(N)가 있는 인장시편의 경우, 노치(N)가 형성된 부분을 중심으로 삼축응력 상태에 놓이게 된다. 따라서, 노치(N)가 형성된 인장시편(100)에 일축 방향의 인장력을 가하더라도 삼축응력 상태에서의 변형 거동을 용이하게 구현할 수 있다.
- [0030] 상술한 바와 같이 인장시편을 준비한 이후, 인장시편을 인장하는 시험을 수행하여 응력-변형률 곡선을 도출하는 단계(S20)를 거친다. 이때 인장시험기(미도시)의 고정구에 인장시편(100)의 지지부(SP)를 결합하여 인장시편(100)에 +X 방향 및/또는 -X 방향으로 인장력을 가한다. 이후, 이러한 인장시험을 토대로 응력-변형률 곡선을 도출하게 된다. 일 실시예로, 이 단계(S20)에서 도출하는 응력-변형률 곡선은 진응력-진변형률 곡선일 수 있다. 진응력 및 진변형률은 인장시험의 결과로 얻어진 공칭응력 및 공칭변형률에 재료상수, necking 이후의 소성 변형 특성 등을 고려한 계산 공식에 의해 산출될 수 있다.
- [0031] 이후, 상기와 같이 도출된 응력-변형률 곡선을 이용하여 인장시편의 삼축응력에 대한 수치해석을 수행하는 단계를 거치게 된다. 상기 수치해석을 수행하는 단계는 크게 3가지 단계들을 포함할 수 있다. 즉, 노치 내면의 특정 위치에서의 인장변위에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계(S30), 특정 시점에서의 노치 내면의 위치에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계(S40) 및 노치의 깊이에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출하는 단계(S50)를 포함할 수 있다. 이러한 3가지 단계들의 구체적인 내용은 도 3a 내지 도 5를 참조하여 후술한다.
- [0032] 이 단계에서의 수치해석은 유한요소해석법을 이용하여 수행될 수 있다. 이를 위해 이전 단계(S20)에서 도출한 진응력-진변형률 곡선을 수치해석 시의 재료 물성에 동일하게 적용하여 수치해석시편을 모델링한다. 일 실시예로, 상용의 유한요소해석 프로그램을 이용하되, 축대칭의 중실의(solid) 시편으로서 저감적분요소(reduced integration element)를 사용하고, 노치부 요소의 크기를 0.1mm로 설정하여 비선형 수치해석을 수행할 수 있다. 이하 설명의 편의를 위해, 상기 실시예의 조건으로 비선형 수치해석을 한 결과를 중심으로 구체적으로 설명한다.
- [0033] 한편, 도 1에는 상기 3가지 단계들(S30, S40, S50)이 특정 순서에 따라 수행되는 것으로 도시되었으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 즉, 상기 3가지 단계들(S30, S40, S50)을 수행하는 순서는 다양한 형태로 변형될

수 있고, 상기 3가지 단계들 중 일부 단계가 생략될 수도 있다.

- [0034] 상기 3가지 단계들의 적어도 일부를 수행하여 인장시편의 삼축응력을 해석한 이후, 인장시편에 대한 시험 결과와, 인장시편을 모델링하여 얻은 수치해석 결과를 비교하는 단계(S60)를 거치게 된다. 이로써 수치해석의 신뢰성을 검증하는 한편, 인장시편(100)에 실제 형성된 균열, 파단 등의 변형 거동과 수치해석에 의해 산출된 응력 상태 사이의 상관 관계를 분석할 수 있다.
- [0035] 이하 도 3a 내지 도 5를 참조하여, 수치해석을 수행하는 3가지 단계들(S30, S40, S50)에 대해 좀 더 구체적으로 설명한다.
- [0036] 도 3a는 도 2의 A 부분에 대한 수치해석 모델의 일 예를 도시한 평면도이고, 도 3b는 도 3a의 수치해석 모델을 이용하여 도출한 응력성분-인장변위 그래프들이다.
- [0037] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 수치해석시편(200)을 이용하여 노치 내면의 특정 위치에서의 인장변위에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출할 수 있다.
- [0038] 도 3a에 도시된 바와 같이, 수치해석시편(200)의 노치 내면은 단면 반지름이 R인 부분 원통면의 형상을 가질 수 있다. 이때 수치해석시편(200)은 노치의 내저면의 일 점을 기준점인 제1점(P1)으로 하고, 제1점(P1)과 노치 중심(O) 간의 연결선에 대해 소정의 각도 θ 를 이루는 점들을, 제1점(P1)과 인접한 순으로 제2점(P2), 제3점(P3), 제4점(P4), 제5점(P5) 및 제6점(P6)으로 설정한다. 여기서 노치 중심이라 함은 노치 내저면의 곡률중심을 의미하는 것으로, 이는 노치 내면 형상에 대응하는 부분 원통면의 원형단면의 중심과 동일할 수 있다. 따라서, 제1점(P1)과 노치 중심(O) 사이의 거리는 상기 부분 원통면의 단면 반지름인 R이 된다. 물론 노치 내면에 설정된 점들의 개수는 여섯 개로 한정되는 것은 아니고, 필요에 따라 그 이상 또는 이하로 적절히 조절될 수 있다.
- [0039] 일 실시예로, 제2점(P2)은 각도 θ 가 12도인 점이고, 제3점(P3)은 각도 θ 가 24도인 점이며, 제4점(P4)은 각도 θ 가 35도인 점이다. 또한, 제5점(P5)은 각도 θ 가 47도인 점이고, 제6점(P6)은 각도 θ 가 71도인 점이다. 물론 제1점(P1)은 기준점이므로 이때의 각도 θ 는 0도가 된다.
- [0040] 한편, 도 3b에 도시된 그래프들에 따르면, 제1점 내지 제6점(P1, P2, P3, P4, P5, P6)에서의 인장변위에 따른 특정 응력성분의 변화 추이를 확인할 수 있다. 여기서 인장변위라 함은 도 2에 도시된 인장시편(100)이 그 길이 방향(X방향)으로 늘어난 길이를 의미하고, 특정 응력성분이라 함은 삼축응력 상태를 나타내는 지표가 되는 응력 성분으로서, 가령 최대 주응력, 폰 미세스 응력(von Mises stress), 전단응력, 응력 삼축비 등이 이에 해당한다.
- [0041] 도 3b의 (i)에는 인장변위에 따른 폰 미세스 응력의 변화 추이가 도시되어 있고, 도 3b의 (ii)에는 인장변위에 따른 응력삼축비의 변화 추이가 도시되어 있다. 이와 같은 수치해석을 통해서 각도 θ 가 증가할수록, 즉 노치의 내저면으로부터 멀어질수록 폰 미세스 응력, 응력삼축비 등의 응력성분이 어떻게 변화하는지를 알 수 있다. 즉, 도 3b의 (i) 및 (ii)에 도시된 바에 따르면, 노치의 내저면으로부터 멀어질수록 폰 미세스 응력이 감소하고, 대체로 응력삼축비의 변동폭이 커짐을 알 수 있다. 또한, 각도 θ 를 적절히 조절하게 되면 금속재 내의 특정 위치에서의 항복응력값, 파단에너지 등을 추정할 수 있고, 이로써 금속재 내에서 균열, 파단 등의 발생 위치에 대한 정보를 얻을 수 있다.
- [0042] 도 4a는 도 2의 A 부분에 대한 수치해석 모델의 다른 예를 도시한 평면도이고, 도 4b는 도 4a의 수치해석 모델을 이용하여 도출한 응력성분-정규거리 그래프이다.
- [0043] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 수치해석시편(200)을 이용하여 특정 시점에서의 노치 내면의 위치에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출할 수 있다. 여기서의 수치해석시편은 도 2에 도시된 수치해석시편과 동일 또는 유사한 형태일 수 있다.
- [0044] 도 4a에 도시된 바와 같이, 수치해석시편(200)은 노치 내저면의 일 점인 시작점(Pi)을 기준점으로 하여 이 시작점(Pi)으로부터 일정 거리만큼 떨어진 점들을 정규거리(normalized distance)화한다. 이때 정규거리가 최대인 점을 끝점(Pe)이라 하고, 이러한 끝점(Pe)의 위치는 해석해야 하는 노치 내면의 크기에 따라 달라지게 된다. 이로써, 시작점(Pi)은 0이 되고 끝점(Pe)은 1이 되며, 시작점(Pi)과 끝점(Pe) 사이에서 일정 간격을 갖는 점들마다 응력성분들의 값을 산출하게 된다. .
- [0045] 한편, 도 4b에 도시된 그래프에 따르면, 인장시편이 항복점에 도달했을 때 노치 내면의 시작점(Pi)과 끝점(Pe) 사이에서의 특정 응력성분의 변화 추이를 확인할 수 있다. 여기서의 특정 응력성분은 도 3b에서와 마찬가지로

최대 주응력, 폰 미세스 응력, 전단응력, 응력 삼축비 등이 될 수 있다.

[0046] 이와 같은 수치해석을 통해서 정규거리가 증가할수록, 즉 노치의 내저면으로부터 멀어질수록 각각의 응력성분이 어떻게 변화하는지를 알 수 있다. 도 4b에 도시된 바에 따르면, 노치의 내저면으로부터 멀어질수록 최대 주응력, 폰 미세스 응력, 응력삼축비는 대체로 감소하고, 노치의 시작점(Pi)과 끝점(Pe) 사이의 중간 지점에서 전단응력이 최대가 됨을 알 수 있다. 또한, 인장시편의 항복점, 최대하중점 등과 같은 특정 시점에서의 금속재 내 응력 분포를 산출할 수 있고, 이로써 금속재 내에 균열, 파단 등을 발생시키는 하중 특성에 대한 정보를 얻을 수 있다.

[0047] 도 5는 도 2의 수치해석 모델을 이용하여 도출한 응력삼축비-소성변형률 그래프이다.

[0048] 도 5를 참조하면, 수치해석시편(미도시)의 노치 비율을 달리함으로써 노치 깊이에 따른 응력성분의 변화 추이를 산출할 수 있다. 여기서 노치 비율을 정의하기 위해 도 2를 다시 참조하면, 노치 비율이라 함은 연신부(LP)에서 노치(N)가 형성되지 않은 제2부분의 폭 D2에 대한 연신부(LP)에서 노치(N)가 형성된 부분의 폭 D1의 비율을 의미한다. 또한, 노치 깊이라 함은 전술한 바와 같이 연신부(LP)에서 노치(N)가 형성되지 않은 제2부분의 폭 D2와 연신부(LP)에서 노치(N)가 형성된 제1부분의 폭 D1의 차를 의미한다.

[0049] 한편, 도 5의 그래프 ①은 D2가 9mm인 경우에 해당하고, 그래프 ②는 D2가 12mm인 경우에 해당하며, 그래프 ③은 D2가 15mm인 경우에 해당한다. 또한, 그래프 ④는 D2가 18mm인 경우에 해당한다. 이때 D2의 크기가 클수록 상기 노치 비율이 커지도록 설정되고, 이에 따라 상기 노치 깊이 H가 증가하게 된다.

[0050] 그래프 ②에서와 같이 D2가 12mm 이상인 경우가 되면, 응력삼축비-소성변형률의 곡선의 형태가 거의 유사해진다. 따라서, 노치 깊이 H의 효과를 해석하기 위한 수치해석시편은 그래프 ①과 그래프 ②의 사이의 특성을 보이도록 모델링되는 것이 바람직하다. 따라서 상기 수치해석시편의 노치 비율은 그래프 ①에 대응하는 0.33과 그래프 ②에 대응하는 0.5 사이의 값을 가질 수 있다. 즉, 노치 비율은 0.33 이상 0.5 이하일 수 있다.

[0051] 도 5에 도시된 바에 따르면, 노치 깊이 H 및 노치 비율이 증가할수록 응력삼축비가 높아지게 되어 파단의 위험이 높아짐을 알 수 있다. 이로써 금속재 내에 균열, 파단 등을 쉽게 발생시키는 형상 특성에 대한 정보를 얻을 수 있다.

[0052] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따르면, 금속재의 삼축응력에 대한 해석을 저렴한 비용으로 비교적 정확하게 수행할 수 있다. 또한, 장비의 교체 없이 기존의 인장시험기를 이용하여 삼축응력을 해석할 수 있다.

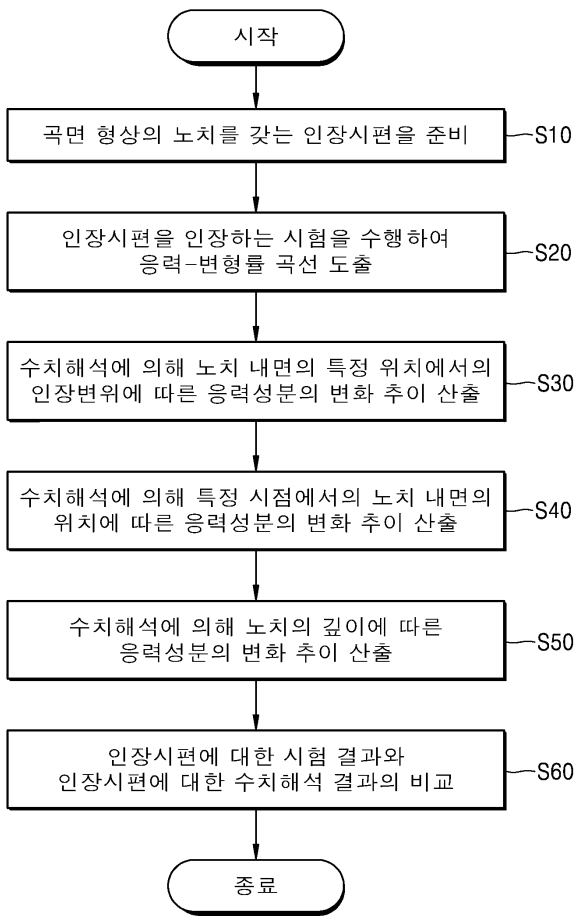
[0053] 이와 같이 본 발명은 도면에 도시된 일 실시예를 참고로 하여 설명하였으나, 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 실시예의 변형이 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

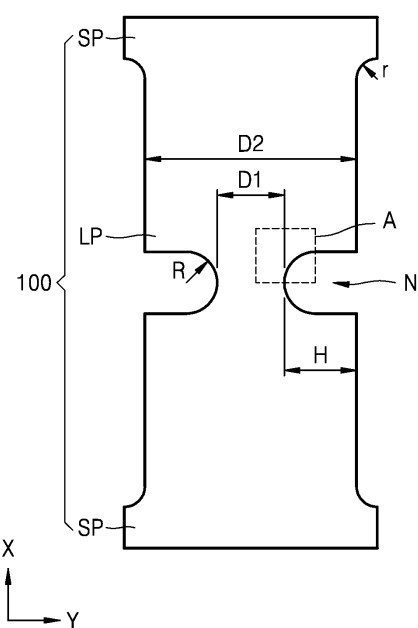
[0054] 100: 인장시편
200: 수치해석시편
LP: 연신부
SP: 지지부
N: 노치
H: 노치 깊이
D1: 제1부분의 폭
D2: 제2부분의 폭

도면

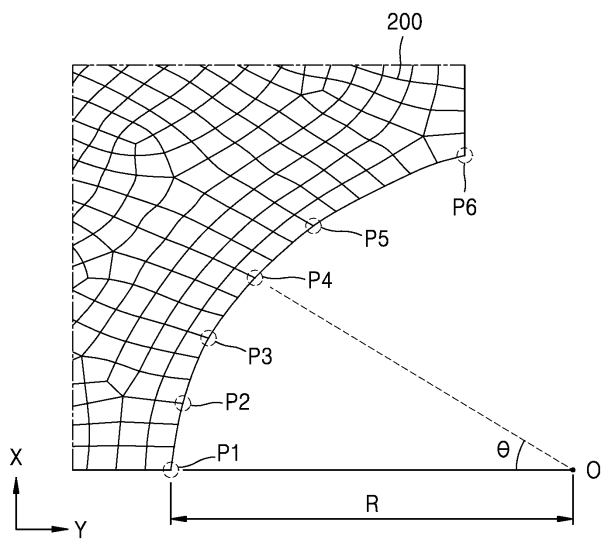
도면1



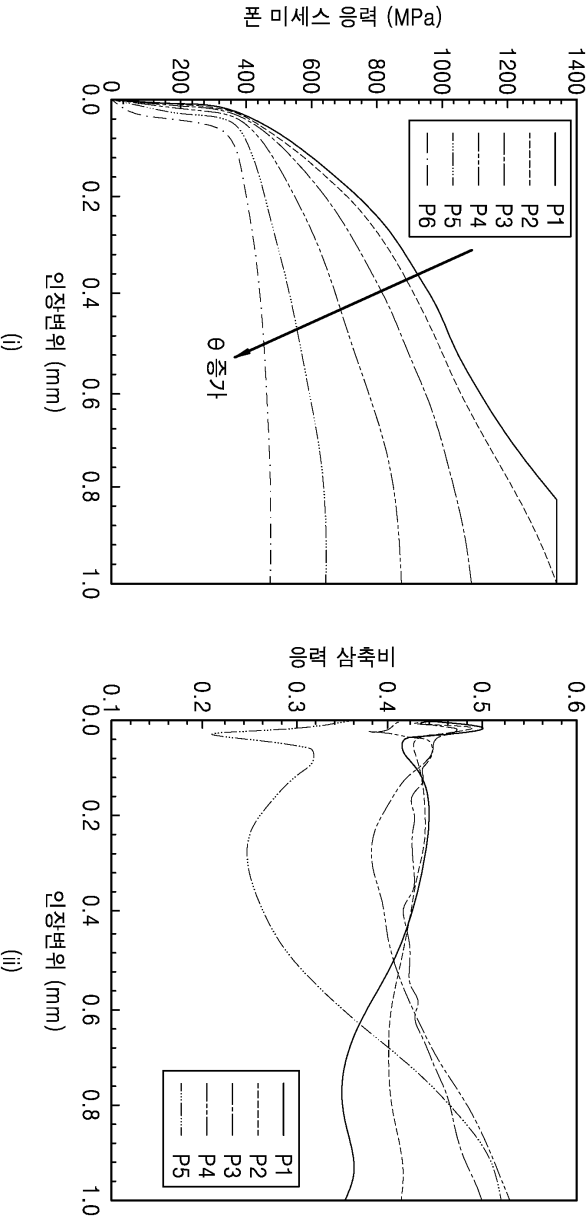
도면2



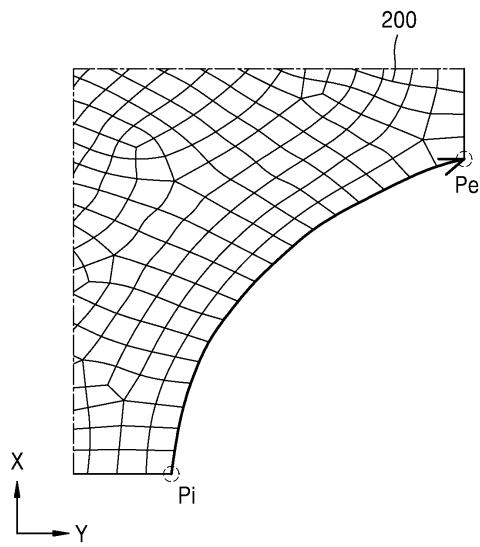
도면3a



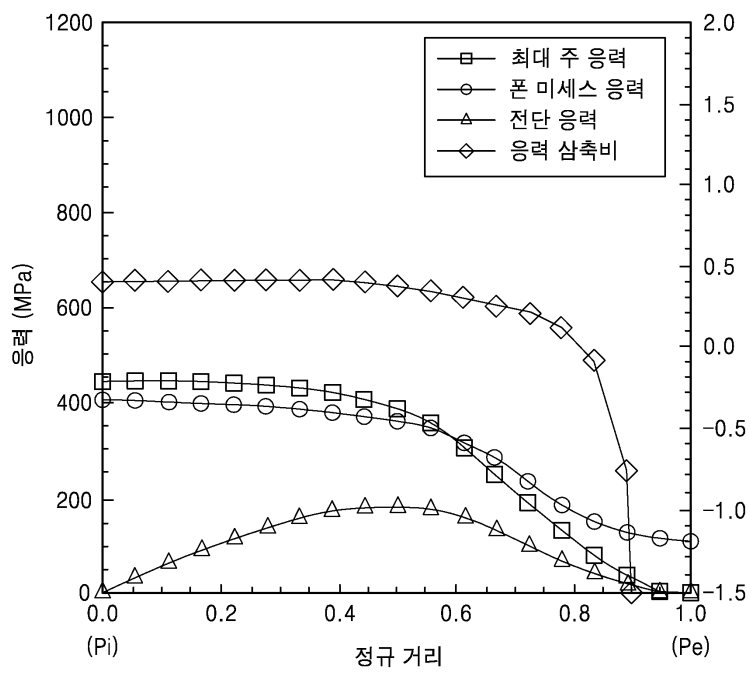
도면3b



도면4a



도면4b



도면5

