



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0133655
(43) 공개일자 2022년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16C 20/60 (2019.01) G01N 3/24 (2006.01)
G06F 30/23 (2020.01) G16C 60/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G16C 20/60 (2019.02)
G01N 3/24 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0039026
(22) 출원일자 2021년03월25일
심사청구일자 2021년03월25일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
전만수
경상남도 진주시 에나로 100, 101동 2001호
(74) 대리인
특허법인 태웅

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 전단 공정 시플레이션 방법

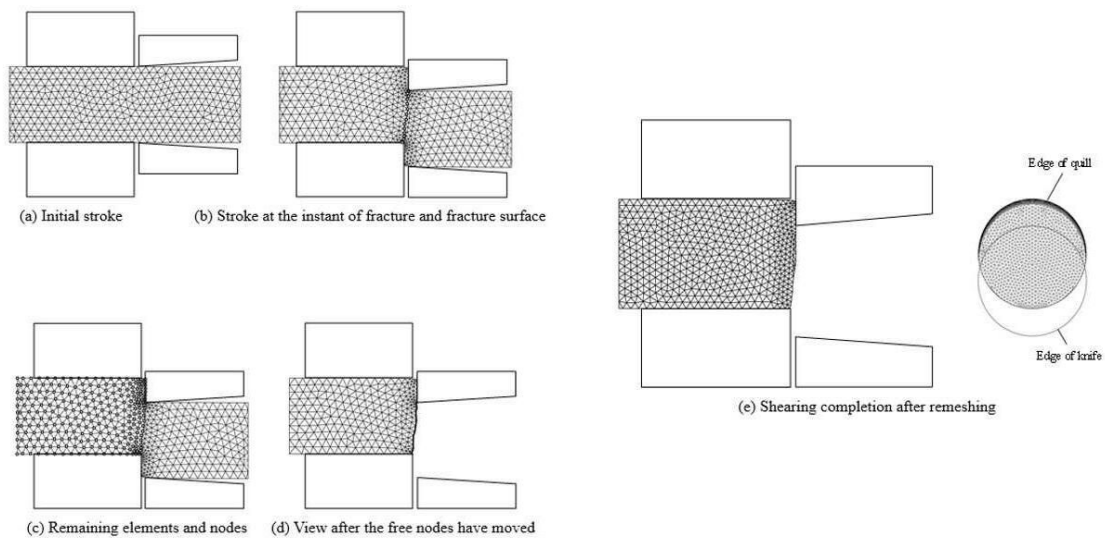
(57) 요약

본 발명은 전단 공정 직후의 후속 공정의 공학 해석에 바로 사용될 수 있는 전산 프리폼이 획득되는 전단 공정 시플레이션 방법으로서,

재료에 대한 유한요소 메쉬 시스템에 의해 상기 재료가 유한요소와 절점으로 이산화되는 제1 단계,

(뒷면에 계속)

대표도



전단 공정 해석 과정에서 요소 강도 저하 알고리즘 및 연성 파괴 이론의 전단 시점 예측 기능을 활용하여 전단 시점이 결정되거나, 원재료 내부의 강도 저하 영역인 전단경계 영역이 형성되어 전체적인 성형 하중이 급격히 저하되는 시점이 결정되는 제2 단계,

전단경계를 기준으로 제거 대상 영역이 결정되고, 상기 제거 대상 영역에 속하는 제거 대상인 자유 절점(free node)이 생성되는 제3 단계,

자유 절점으로 연결된 모든 선분들에 일정한 인장력이 작용되고, 상기 재료의 저항력이 줄어들거나, 절점 스무딩(smoothing) 방법이 적용됨으로써, 상기 자유 절점이 전단경계에 위치되어, 퇴화된 유한요소를 내포한 메쉬(mesh)가 생성되는 제4 단계,

각 자유 절점에 인접한 비 제거 절점의 절점치(nodal value)로 상기 자유 절점에 상태변수 값이 부과되고, 상기 자유 절점으로 정의된 유한요소에 상태변수 값이 부과되는 제5 단계,

전단 공정에 의해 전단된 프리폼(preform)이 형성되고, 상기 프리폼의 상기 퇴화된 유한요소를 내포한 메쉬에 대하여 요소망재구성(remeshing)을 실시함으로써 상기 전단경계에 집적된 퇴화 유한요소가 제거되어, 유한요소 해석 측면에서 결점없는 메쉬가 생성되는 제6 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06F 30/23 (2020.01)

G16C 60/00 (2019.02)

G01N 2203/0025 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415167597
과제번호	20003950
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업소재핵심기술개발-첨단뿌리기술, 혁신성장동력프로젝트(산업부)-경량소재
연구과제명	정밀 냉간단조의 지능화 및 스마트화를 위한 금형수명 사전예지 시스템의 개발 및
응용, 700℃이하 온간성형공법 활용 1100MPa급 항공용 Ti 합금 체결부품 상용화기술 개발	
기 여 율	7/10
과제수행기관명	(주)풍강, (주)진합
연구기간	2019.07.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415167131
과제번호	10081334
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업소재핵심기술개발-첨단뿌리기술, 혁신성장동력프로젝트(산업부)-경량소재
연구과제명	정밀 냉간단조의 지능화 및 스마트화를 위한 금형수명 사전예지 시스템의 개발 및
응용, 700℃이하 온간성형공법 활용 1100MPa급 항공용 Ti 합금 체결부품 상용화기술 개발	
기 여 율	3/10
과제수행기관명	(주)풍강, (주)진합
연구기간	2017.08.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

원재료에 유한요소와 절점이 생성되는 제1 단계;

상기 원재료에 전단력을 가한 전단된 재료에 대하여 파단면을 산출하는 제2 단계;

상기 파단면을 경계로 상기 전단된 재료의 요소를 제1 그룹 및 제2 그룹으로 구분하는 제3 단계;

상기 제2 그룹에 속한 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보를 평균하여 평균값을 구하는 제4 단계;

상기 파단면에 상기 평균값을 반영하여 최종 파단면을 생성하는 제5 단계; 를 포함하고,

상기 최종 파단면을 경계면으로 인식하는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 최종 파단면을 경계면으로 하여 상기 제1 그룹의 제1 그룹 요소 또는 제1 그룹 절점을 재생성하는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 파단면에 위치한 절점을 파단면 절점으로 인식하고 다른 절점과 구별하는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 파단면에 위치한 절점을 파단면 절점으로 인식하고 상기 파단면 절점 및 상기 제1 그룹에 속한 절점을 잔류 절점으로 판단하는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 제2 그룹에 속한 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보는 상기 최종 파단면에 반영되는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보를 평균한 1차 평균값이 생성되고,

상기 파단면에 위치한 절점의 파단면 정보와 상기 1차 평균값을 평균한 2차 평균값이 생성되며,

상기 파단면 정보와 N-1차 평균값을 평균한 N차 평균값이 생성되고,

상기 N차 평균값을 토대로 상기 최종 파단면의 정보를 생성하며,
상기 N은 3 이상의 자연수인 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,
상기 평균값은 상기 제2 그룹 절점으로 정의된 모든 모서리에 동일한 인장력을 가하는 절점 평균화 방법에 의해서 산출되는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서,
상기 최종 파단면을 생성하기 전에는 상기 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점은 삭제되지 않는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 9

제1 항에 있어서,
상기 제2 그룹 절점은 상기 평균값에 의해 상기 파단면에 인접한 지점으로 이동되고,
가상 메쉬가 재생성되며,
상기 가상 메쉬에서의 상기 제2 그룹 절점의 절점치(nodal value)는 가장 가까운 절점의 절점치로 대체되고, 상기 제2 그룹 요소의 요소치(the elemental value)는 상기 절점치의 산술 평균으로 대체되는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

청구항 10

재료에 대한 유한요소 메쉬 시스템에 의해 상기 재료가 유한요소와 절점으로 이산화되는 제1 단계;
전단 공정 해석 과정에서 요소 강도 저하 알고리즘 및 연성파괴 이론의 전단 시점 예측 기능을 활용하여 전단 시점이 결정되거나, 원재료 내부의 강도 저하 영역인 전단경계 영역이 형성되어 전체적인 성형 하중이 급격히 저하되는 시점이 결정되는 제2 단계;
상기 전단경계를 기준으로 제거 대상 영역이 결정되고, 상기 제거 대상 영역에 속하는 제거 대상인 자유 절점(free node)이 생성되는 제3 단계;
상기 자유 절점으로 연결된 모든 선분들에 일정한 인장력이 작용되고, 상기 재료의 저항력이 줄어들거나, 절점 스무딩(smoothing) 방법이 적용됨으로써, 상기 자유 절점이 전단경계에 위치되어, 퇴화된 유한요소를 내포한 메쉬(mesh)가 생성되는 제4 단계;
상기 각 자유 절점에 인접한 비 제거 절점의 절점치(nodal value)로 상기 자유 절점에 상태변수 값이 부과되고, 상기 자유 절점으로 정의된 유한요소에 상태변수 값이 부과되는 제5 단계;
상기 전단 공정에 의해 전단된 프리폼(preform)이 형성되고, 상기 프리폼의 상기 퇴화된 유한요소를 내포한 메쉬에 대하여 요소망재구성(remeshing)을 실시함으로써 상기 전단경계에 집적된 퇴화 유한요소가 제거되어, 유한요소 해석 측면에서 결점없는 메쉬가 생성되는 제6 단계; 를 포함하고,
상기 제1 단계 내지 제6 단계에 의해, 상기 전단 공정 직후의 후속 공정의 공학 해석에 바로 사용될 수 있는 전산 프리폼이 획득되는 전단 공정 시뮬레이션 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 시어링, 피어싱, 블랭킹 등의 공정 결과를 예측하기 위한 공정 결과 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 전통적으로 시어링, 피어싱 및 블랭킹은 실험적인 방법 또는 실험 및 이론적 접근을 결합하는 방법을 사용하여 연구되었다. 지난 30년 동안, 재료 설계(material design)를 돕기 위해, 기존의 시어링, 피어싱 및 블랭킹의 기본 메커니즘을 밝히기 위한 시어링 및 재료 파단(material fracture)에 대한 많은 수치 연구가 수행되었다. 그러나 그 결과로 획득된 분리된 소재, 즉 프리폼(preform)이 안정적으로 후속 공정의 엔지니어링 목적으로 사용될 수가 없어 시어링이 최종 제품에 미치는 영향을 분석할 수가 없었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 시어링, 피어싱, 블랭킹, 업셋팅 등 다양한 공정의 결과를 예측하기 위한 것으로, 요소 강도저하 모델과 시어링 표면 품질 관리 기법 등을 이용하여, 자동 다단계 금속 성형 공정의 해석 과정에서, 시어링 등으로 분리된 물질(유한요소 메쉬 시스템)의 유용성을 예측하는 것은 중요할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 전단 공정 직후의 후속 공정의 공학 해석에 바로 사용될 수 있는 전산 프리폼이 획득되는 전단 공정 시뮬레이션 방법으로서,

[0008] 재료에 대한 유한요소 메쉬 시스템에 의해 상기 재료가 유한요소와 절점으로 이산화되는 제1 단계,

[0009] 전단 공정 해석 과정에서 요소 강도 저하 알고리즘 및 연성파괴 이론의 전단 시점 예측 기능을 활용하여 전단 시점이 결정되거나, 원재료 내부의 강도 저하 영역인 전단경계 영역이 형성되어 전체적인 성형 하중이 급격히 저하되는 시점이 결정되는 제2 단계,

[0010] 전단경계를 기준으로 제거 대상 영역이 결정되고, 상기 제거 대상 영역에 속하는 제거 대상인 자유 절점(free node)이 생성되는 제3 단계,

[0011] 자유 절점으로 연결된 모든 선분들에 일정한 인장력이 작용되고, 상기 재료의 저항력이 줄어들거나, 절점 스무딩(smoothing) 방법이 적용됨으로써, 상기 자유 절점이 전단경계에 위치되어, 퇴화된 유한요소를 내포한 메쉬가 생성되는 제4 단계,

[0012] 각 자유 절점에 인접한 비 제거 절점의 절점치(nodal value)로 상기 자유 절점에 상태변수 값이 부과되고, 상기 자유 절점으로 정의된 유한요소에 상태변수 값이 부과되는 제5 단계,

[0013] 전단 공정에 의해 전단된 프리폼(preform)이 형성되고, 상기 프리폼의 상기 퇴화된 유한요소를 내포한 메쉬에 대하여 요소망재구성(remeshing)을 실시함으로써 상기 전단경계에 집적된 퇴화 유한요소가 제거되어, 유한요소 해석 측면에서 결점없는 메쉬가 생성되는 제6 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 실시 예로, 본 발명은 전단 공정 시뮬레이션 방법으로서, 원재료에 유한요소(finite element)와 절점(node)이 생성되는 제1 단계; 원재료에 전단력을 가한 전단된 재료에 대하여 파단면을 산출하는 제2 단계; 파단면을 경계로 상기 전단된 재료의 요소를 제1 그룹 및 제2 그룹으로 구분하는 제3 단계; 제2 그룹에 속한 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보를 평균하여 평균값을 구하는 제4 단계; 파단면에 상기 평균값을 반영하여 최종 파단면을 생성하는 제5 단계; 를 포함할 수 있고, 최종 파단면을 경계면으로 인식할 수 있다.

[0015] 최종 파단면을 경계면으로 하여 상기 제1 그룹의 제1 그룹 요소 또는 제1 그룹 절점을 재생성할 수 있다.

- [0016] 파단면에 위치한 절점을 파단면 절점으로 인식하고 다른 절점과 구별할 수 있다.
- [0017] 파단면에 위치한 절점을 파단면 절점으로 인식하고 상기 파단면 절점 및 제1 그룹에 속한 절점을 잔류 절점으로 판단할 수 있다.
- [0018] 제2 그룹에 속한 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보는 상기 최종 파단면에 반영될 수 있다.
- [0019] 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보를 평균한 1차 평균값이 생성되고, 파단면에 위치한 절점의 파단면 정보와 상기 1차 평균값을 평균한 2차 평균값이 생성될 수 있으며, 파단면 정보와 N-1차 평균값을 평균한 N차 평균값이 생성되고, 상기 N차 평균값을 토대로 상기 최종 파단면의 정보를 생성하며, 상기 N은 3 이상의 자연수일 수 있다.
- [0020] 평균값은 상기 제2 그룹 절점으로 정의된 모든 모서리에 동일한 인장력을 가하는 절점 평균화 방법에 의해서 산출될 수 있다.
- [0021] 최종 파단면을 생성하기 전에는 상기 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점은 삭제되지 않을 수 있다.
- [0022] 제2 그룹 절점은 상기 평균값에 의해 상기 파단면에 인접한 지점으로 이동되고, 가상 메쉬가 재생성되며, 가상 메쉬에서의 상기 제2 그룹 절점의 절점치(nodal value)은 가장 가까운 절점의 절점치로 대체되고, 상기 제2 그룹 요소의 요소치(the elemental value)는 상기 절점치의 산술 평균으로 대체될 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명은 시어링, 블랭킹 또는 피어싱 등을 예측하는 새로운 일반 유한요소 방법(FEM)이 제시하고, 이는 다단계 금속 성형 공정의 해석 시 대상 시어링 분리 재료의 공학해석적 유용성을 제고할 수 있다.
- [0025] 본 발명은 시어링된 재료의 표면 품질을 예측하기 위해 표면 품질 관리 체계로 사용될 수 있다.
- [0026] 본 발명은 관찰된 심하게 손상된 요소 또는 분할 모서리를 삭제한 후 발생할 수 있는 수치 문제를 극복할 수 있다. 또한, 본 발명은 짧은 빌렛의 생산을 위한 3차원 원형 바 시어링 공정을 시뮬레이션하는데 사용될 수 있다.
- [0027] 재료의 시어링시 메쉬에 의해 유한요소와 절점이 생성되는 제1 단계, 시어링시 생성된 시어링 밴드의 상기 유한요소를 처리하는 제2 단계, 시어링 종료후 유한요소를 리메싱하는 제3 단계를 포함할 수 있다.
- [0028] 시어링 밴드에 의하여 전단면이 생성되고, 전단면을 기준으로 한 쪽의 유한요소와 절점(이하 자유 절점으로 칭함)이 제거 대상 영역으로 결정되고, 자유 절점은 절점 평균화 방법 또는 인장력 부과 방법 등에 의해서 스무딩되며, 메쉬는 상기 스무딩에 의해 가상 메쉬(그 메쉬는 해석 목적으로 사용될 수 없는 해석용 프리폼이 됨)로 될 수 있고, 시어링시 제거될 자유 절점은 스무딩 방법에 의해 비 자유 절점(최종적으로 해석용 프리폼에 남게 되는 절점)의 인접한 지점으로 이동될 수 있다.
- [0029] 재료의 유동 응력은 유효 변형률, 유효 변형률 속도, 온도 및 손상도를 독립 변수로 하는 함수로 주어질 수 있고, 유동 응력에 대한 누적 손상의 영향을 반영하는 저하 함수에 의존할 수 있다.
- [0030] 유동 응력 예측시 손상도는 수정된 Freudenthal 손상 모델을 비롯한 이론적 손상도 모델에 의해 주어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0032] 도 1은 본 발명의 전체 과정을 설명한 설명도이다.
- 도 2 내지 도 6은 본 발명의 다른 실시 예를 설명한 것이다.
- 도 7은 본 발명의 시어링 밴드 형성 과정을 설명한 설명도이다.
- 도 8는 본 발명의 프리폼 또는 빌렛에 대한 실험결과와 예측 결과의 비교를 도시한 것이다.
- 도 9은 본 발명의 프리폼 또는 빌렛의 대칭면에 대한 기하학적인 면에서 실험 결과와 예측 결과의 비교를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 본 발명은 시어링(shearing), 블랭킹(blanking) 또는 피어싱(piercing) 등을 예측하는 새로운 일반 유한요소 방법(FEM)을 제시하고, 이는 자동 다단계 금속 성형시 대상 시어링 분리 재료의 유용성(usability)에 중요할 수 있다. 본 발명은 분할 요소 저하 모델(splitting element degradation model)과 시어링 표면 품질 관리(sheared surface quality control)를 기반으로 할 수 있다. 요소 저하 모델은 접근 방식의 일반성(generality)을 보장하고, 시어링 표면 품질 관리는 시어링되거나 블랭킹된 재료의 유한요소해석 목적의 유용성(usability)을 촉진할 수 있다. 본 발명은 연성 파단 이론(theory of ductile fracture)과 호환되며 재료 분리는 실험적으로 검증할 수 있다. 결합된 시어링 표면 품질 관리 및 요소 저하 모델은 재료 분리가 발생하는 정확한 시간에 적용될 수 있다. 시어링 표면 품질 관리 체계에서 시어링 또는 피어싱 후 사라져야 하는 자유 절점(free node)은 유한요소 메시의 적합성을 위해 파단된 표면에 가장 가까운 위치로 이동할 수 있다. 시어링 시뮬레이션은 표면 품질 관리를 위해 자유 절점 알고리즘을 적용한 후 리메싱(remeshing)으로 마무리될 수 있다. 기존과 다른 새로운 본 발명은 관찰된 심하게 손상된 요소 또는 분할 모서리를 삭제한 후 발생할 수 있는 수치 문제를 극복할 수 있다. 또한, 본 발명은 짧은 빌렛(short billet)의 생산을 위한 3차원 원형 바(round-bar) 시어링 공정을 시뮬레이션하는데 사용될 수 있다. 시뮬레이션과 실험 결과를 비교해보면, 본 발명은 압축 응력 상태(compressive stress state)에서 미세하게 시어링되거나 블랭킹된 재료와 관련된 금속 성형 공정을 쉽고 체계적으로 정확하게 시뮬레이션 할 수 있다.
- [0034] 대부분의 금속 성형은 피어싱 또는 블랭킹을 포함할 수 있는 시어링 공정에서 시작되기 때문에, 시어링, 피어싱 또는 블랭킹의 수치 분석은 중요할 수 있다. 또한 시어링에 의한 변형 경화 및 초기 재료의 변형은 성형 단계에 무시할 수 없는 영향을 미칠 수 있다. 시어링된 재료, 즉 프리폼(preform) 또는 빌렛(billet)의 유한요소 예측 목적의 활용성은 예측된 시어링 표면의 거시적 특성을 기반으로 표면의 유한요소 적합성 측면에서 평가할 수 있다. 따라서, 우리는 표면 변형 경화 후 유용성과 형상 정확도 측면에서 시어링 표면의 품질을 예측할 수 있다.
- [0035] 대부분의 경우, 요소 삭제 방법을 사용하는 시어링 재료의 3차원 예측은 시어링 표면의 불규칙성으로 인해 다음 성형 단계의 유한요소 분석에 적합하지 않을 수 있다. 결과적으로 이로 인해 솔루션이 부정확해질 수 있다. 따라서 이 방법은 재료의 광범위한 체적 손실로 인해 정확한 시뮬레이션에 적합하지 않을 수 있다. 이러한 문제는 경우에 따라 이러한 수치 부정확성이 중요할 수 있고, 본 발명에서는 유한요소 활용성 또는 적합성에 결함이 없는 시어링된 재료(유한요소 해석모델)를 얻기 위해 표면 품질 관리 체계를 사용할 수 있다. 도 1은 새로운 체계의 개념을 도시한 것이다.
- [0036] 본 발명의 전체 전단 공정 시뮬레이션 방법을 살펴보면, 본 발명은 시어링 직후의 후속 공정의 공학해석에 바로 사용될 수 있는 전단 프리폼 획득을 위한 전단 공정 시뮬레이션 방법에 관한 것으로서, 재료에 대한 유한요소 메시 시스템(이하 메시라고 칭함)에 의해 대상 물체를 유한요소와 절점으로 이산화하는 단계; 시어링 해석 과정에서 전단 시점 예측 기능(요소 강도 저하 알고리즘과 연성파괴 이론)을 활용하여 전단 시점을 결정하는 단계(내부의 강도 저하 영역(전단경계 영역이라 칭함)이 형성되어 전체적인 성형하중이 급격하게 저하되는 시점); 전단경계를 기준으로 제거 대상 영역을 결정하고 이 제거 대상 영역에 속하는 제거 대상인 절점(자유 절점으로 칭함)이 생성되는 단계; 자유 절점으로 연결된 모든 선분들에 일정한 인장력이 작용하게 하고 소재의 저항력을 극도로 줄임으로써(또는 절점 스무딩 등의 그에 상응하는 방법으로) 자유 절점이 전단경계에 위치시켜, 퇴화된 유한요소를 내포한 메시를 생성하는 단계; 각 자유 절점에 인접한 비 제거 절점의 절점치(nodal value)로 그 자유 절점에 상태변수 값을 부과하고, 자유 절점으로 정의된 유한요소에 상태변수 값을 부과하는 단계, 이렇게 새롭게 형성된 퇴화 요소를 내포한 메시, 즉 해석용으로 사용할 수 없는 프리폼에 대한 메시를 대상으로, 요소망 재구성을 실시함으로써 전단경계에 집적된 퇴화 유한요소를 제거하여 유한요소해석 측면에서 무 절점의 메시를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 전단 공정 시뮬레이션 전체 공정을 도시한 것일 수 있다.
- [0038] 도 1의 (a)는 시어링 시뮬레이션의 초기 구성을 도시한 것일 수 있다. 도 1의 (b)는 재료가 두 부분으로 분리되는 심하게 손상된 시어링 면(일 실시 예는 도 7일 수 있다.)을 강조하면서 파단 순간의 유한요소 메시를 도시한 것일 수 있다. 일부 요소는 남아 있지만 다른 요소는 삭제될 수 있다. 도 1의 (c)는 분리 방법을 적용하기 직전에 시어링 면에 의해 두 부분으로 나뉘는 형태의 예측 변형을 보여줄 수 있다. 원형 절점(Circled nodes)은 손상 모델 또는 실험의 결과를 기반으로 파단 분석 후에도 남아있을 것으로 간주 또는 선택될 수 있다. 특정 절점의 모든 요소가 삭제된 경우 요소 삭제 방법 적용을 통해 해당 절점은 제외될 수 있다. 특히 시어링 면은 요소 삭제 후 생성된 면에 의해 직접 정의 될 수 있다. 그러나 이것은 기하학적 복잡성으로 인해 실제 엔지니어링

프로세스에 적용하기가 어려울 수 있다.

- [0039] 실제로, 삭제될 요소는 예측 시어링 재료를 준비하기 위해 적용된 수치 절차 동안 삭제되지 않을 수 있다. 예를 들어, 스무딩 방법을 적용하여 소실 절점을 최적의 지점에 배치할 수 있다. 자유 절점으로 불리는 소실 절점 두 개로 정의된 모든 모서리에 동일한 인장력을 가하는 절점 평균화 방법을 적용할 수 있다. 그러면 유한요소 메쉬는 도 1의 (d)에 표시된 것과 유사한 가상 메쉬가 될 수 있다. 이 가상 메쉬는 요소 연결을 유지하더라도 양의 야코비(positive jacobian)를 가지지 못할 수 있다. 새 메쉬에서 자유 절점의 절점치(the nodal value)는 가장 가까운 절점의 절점치로 대체 될 수 있다. 마찬가지로, 영향을 받는 요소의 요소치(the elemental value)는 절점치의 산술 평균에서 추정할 수 있다. 마지막으로, 도 1의 (e)와 같이 시어링 공정 시뮬레이션 후 어떤 경우에도 불가피한 리메싱을 수행해야 할 수 있다. 제시된 일반적이고 시스템적인 시어링 분석 접근법은 앞서 논의한 바와 같이 시어링 공정에 강하게 영향을 미치는 시어링 표면 주변의 예상 시어링 모양 및 변형 경화를 포함하여 거시적 현상을 충분히 반영할 수 있다. 그리고 분리된 해석상 프리폼은 유한요소 적합성 및 유용성 측면에서 결함이 없다.
- [0040] 도 2 내지 도 6를 참조하며 본 발명의 다른 실시예를 설명한다.
- [0041] 본 발명의 전단 공정 시뮬레이션 방법은, 원재료에 유한요소와 절점이 생성되는 제1 단계; 상기 원재료에 전단력을 가한 전단된 재료에 대하여 파단면을 산출하는 제2 단계; 상기 파단면을 경계로 상기 전단된 재료의 요소를 제1 그룹 및 제2 그룹으로 구분하는 제3 단계; 상기 제2 그룹에 속한 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보를 평균하여 평균값을 구하는 제4 단계; 상기 파단면에 상기 평균값을 반영하여 최종 파단면을 생성하는 제5 단계;를 포함할 수 있다.
- [0042] 제1 단계 내지 제5 단계는 컴퓨터의 시뮬레이션부에 의할 수 있다.
- [0043] 시뮬레이션부는 상기 최종 파단면을 경계면으로 인식하고 전단된 재료의 남은 부분에 대하여 요소 또는 절점을 재생성하는 리메싱 공정을 수행할 수 있다.
- [0044] 전단된 재료의 남은 부분은 제1 그룹으로 볼 수 있다. 시뮬레이션부는 상기 최종 파단면을 경계면으로 하여 상기 제1 그룹의 제1 그룹 요소 또는 제1 그룹 절점을 재생성할 수 있다.
- [0045] 도 3를 참조하면, 시뮬레이션부는 상기 파단면에 위치한 절점을 파단면 절점으로 인식하고 다른 절점과 구별할 수 있다. 구별된 파단면 절점은 원형으로 표시되었다.
- [0046] 도 4를 참조하면, 시뮬레이션부는 상기 파단면에 위치한 절점을 파단면 절점으로 인식하고 상기 파단면 절점 및 상기 제1 그룹에 속한 절점을 잔류 절점으로 판단할 수 있다. 파단면 절점 및 잔류 절점은 원형으로 표시되었다.
- [0047] 도 5를 참조하면, 종래에는 파단면의 산출 후에 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점은 모두 삭제되었다. 전단된 재료의 일부 요소들이 삭제되면 정보의 급격한 불연속 또는 편차가 생기고 이에 의하여 시뮬레이션 에러가 발생할 수 있다. 시뮬레이션부에 의하여 생성된 도 3의 파단면과 원재료의 실제 전단 가공시 파단면은 일치하지 않을 수 있다. 도 3의 파단면은 유한요소 해석에 의하여 컴퓨터가 시뮬레이션한 파단면이기 때문이다. 시뮬레이션된 파단면을 실제 파단면으로 대체하고 제2 그룹을 삭제하면 시뮬레이션 오차는 걷잡을 수 없이 커질 수 있다.
- [0048] 본 발명은 제2 그룹의 정보를 모두 삭제하지 않고, 스무딩을 통하여 파단면을 보장하는 특징을 갖는다.
- [0049] 본 발명은 최종 파단면을 생성하기 전에는 상기 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점은 삭제되지 않는 것이 특징이다.
- [0050] 보장된 파단면은 시뮬레이션부에 의하여 경계면으로 인식될 수 있다. 요소의 재생성 과정에 해당하는 리메싱은 경계면의 생성 후에 이루어지거나 파단면의 보장 과정 중에 수시로 이루어질 수 있다.
- [0051] 도 6를 참조하면, 상기 제2 그룹에 속한 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보는 상기 최종 파단면에 반영될 수 있다.
- [0052] 도 4를 참조하면, 제2 그룹 요소 또는 제2 그룹 절점의 정보를 평균한 1차 평균값이 생성되고, 상기 파단면에 위치한 절점의 파단면 정보와 상기 1차 평균값을 평균한 2차 평균값이 생성될 수 있다. 이 과정이 반복될 수 있다. 상기 파단면 정보와 N-1차 평균값을 평균한 N차 평균값이 생성되고, 상기 N차 평균값을 토대로 상기 최종 파단면의 정보를 생성하며, 상기 N은 3 이상의 자연수일 수 있다.

- [0053] 도 4에 도시하지 않은 평균값 산출의 다른 실시예는 다음과 같다.
- [0054] 상수값 대체에 의한 스무딩 방법으로서, 평균값은 제2 그룹 절점으로 정의된 모든 모서리에 동일한 인장력을 가하는 절점 평균화 방법에 의해서 산출될 수 있다.
- [0055] 도 4에 도시하지 않은 평균값 산출의 또 다른 실시예는 다음과 같다.
- [0056] 제2 그룹 절점은 평균값에 의해 파단면에 인접한 지점으로 점차 이동될 수 있다. 이동할 때마다 가상 메쉬가 재 생성될 수 있다. 이 과정이 반복될 수 있다.
- [0057] 가상 메쉬에서의 상기 제2 그룹 절점의 절점치(nodal value)는 가장 가까운 절점의 절점치로 대체되고, 상기 제2 그룹 요소의 요소치(the elemental value)는 상기 절점치의 산술 평균으로 대체될 수 있다.
- [0058] 전단된 빌렛(Sheared billet)이 짧으면 그 품질은 시어링 공정에 더 많이 의존할 수 있다. 전형적인 예는 정밀 냉간 단조 공정으로 시어링 및 업 세팅 공정(Shearing process and Upsetting process)으로 구성될 수 있다. 나이프 스트로크(strokes)가 원형 막대와의 초기 접촉 영역 직경의 약 25 %에 도달했을 때 파단(fracture)이 발생할 수 있다. 시어링된 짧은 빌렛은 변형되지 않은 영역이 없을 수 있다.
- [0059] 도 7은 시어링 공정에 의해서 야기된 일정 시간동안의 소성 변형과 파단을 도시한 것일 수 있다. 또한 도 7은 파단 바로 직전에 완전히 형성된 시어링 밴드를 강조한 것일 수 있다. 두가지 동시적인 시어링 공정이 시뮬레이션 될 수 있고, 그 결과 다음 공정인 업세팅(Upsetting)에 분석될 분리된 물질이 형성될 수 있다.
- [0060] 도 8를 참조하면, 예측 결과는 실험 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 위쪽은 반대편보다 상당히 더 굽을 수 있고, 반대편은 거의 변형되지 않을 수 있다. 도 9의 오른쪽에 도시된 것 처럼, 쉘(quill)과 스톱퍼(stopper)쪽의 시어링된 표면의 측정된 기울어진 각도는 낮은쪽과 비교하여 6.6° 및 2.1° 일 수 있다. 도 9의 왼쪽에 도시된 것 처럼, 대응되는 예측 결과인 6.6° 및 2.3° 와 거의 일치할 수 있다.
- [0061] 뒤이은 다음 형성 단계에 대한 유용성 또는 균일성을 고려한 정밀한 금속 형성 시뮬레이션에 있어서, 상기 논의는 시어링 분석의 중요성을 강조하기에 충분할 수 있다.
- [0062] 본 발명은 시어링, 피어싱, 블랭킹에 대한 새로운 일반적인 유한요소 방법에 관한 것이고, 자동 다단계 금속 형성에서, 대상 시어링 분리된 물질의 유용성 또는 유한요소 적합성이 강조될 수 있다. 본 발명은 파단 이론에 기반한 빌렛 시어링에 집중하는 것일 수 있다. 시뮬레이션과 실험적인 결과를 통해, 본 발명은 강력하고, 특히 정확한 시어링, 블랭킹, 피어싱, 또는 트리밍(trimming) 공정에 대하여 강력하며, 상기 공정은 최소한의 스크랩(scrap)이 생기는 버(burr) 형성을 조절하기 위해 높은 압축 응력 상태에서 행해질 수 있다.
- [0063] 제안된 방법론은 요소 저하에 기반하고 있고, 시어링된 표면 품질 관리 계획과 통합될 수 있다. 요소 저하는 요소 제거와 절점 분리 방법에서 알려진 과도한 리메칭으로 인한 잠재적인 난제의 수치적 문제들을 피할 수 있을 뿐만 아니라 특히 압축 응력 상태의 시어링 표면의 자가 접촉 문제를 피할 수 있다. 따라서, 저하된 요소(degrading element)는 해의 수렴을 악화시키지 않기 때문에, 시어링 공정 시뮬레이션의 보편성은 보장될 수 있다. 심각하게 손상받은 요소들의 통합 지점들에 부여된 정상적인 유동 응력의 10% 정도의 수준인 낮은 경계는 해에 대한 무시할만한 효과와 함께 안정적인 해의 수렴에 적당할 수 있다.
- [0064] 3차원 시어링 시뮬레이션의 일반성과 유용성을 보장하는데 필수적인 시어링된 표면 품질 관리 체계는, 예측된 시어링 물질에 기초하여 시뮬레이션된 적절한 유한요소 메쉬를 허용할 수 있다. 왜냐하면 기하학적으로 손상된 표면은, 심각하게 손상받은 요소들을 제거한 후 재료의 불규칙적인 표면에 대한 국소적인 영향만을 가지는 장력 하에서, 풍선과 같이 모델링될 수 있기 때문일 수 있다. 이러한 표면 품질 관리 체계는 하나의 단계로 재료를 분리시키기 때문에, 제거되어야 하는 요소의 선택이 연성 파단 이론에 의존하는 경우에는, 요소 저하 모델과 결합되어야만 할 수 있다.
- [0065] 자동 다단계 냉간 단조동안, 요소 저하와 3차원 둥근 바(round-bar) 시어링 공정에 기초한 시어링 방법을 고려하는 경우, 3차원 적용에 대한 새로운 방법론의 타당성과 유용성은 축대칭의 딥 피어싱(deep piercing) 공정에 의해 증명될 수 있다.
- [0066] 간단하고, 정규화된 Cockcroft-Latham 손상 모델과 수정된 Freudenthal 손상 모델은 각각 타당성과 유용성에 이용될 수 있다. 예측된 결과와 실험 결과는 프리폼(preform)으로서의 시어링된 재료의 유용성을 증명하기 위해 비교될 수 있고, 추가적인 수치적 처리가 더 필요 없으며, 둘은 매우 잘 일치함을 알 수 있다.
- [0067] 시어링 공정의 대부분의 공학적 분석은 균일한 초기 상태 변수들을 가진, 이상화된 빌렛 형상으로부터 시작될

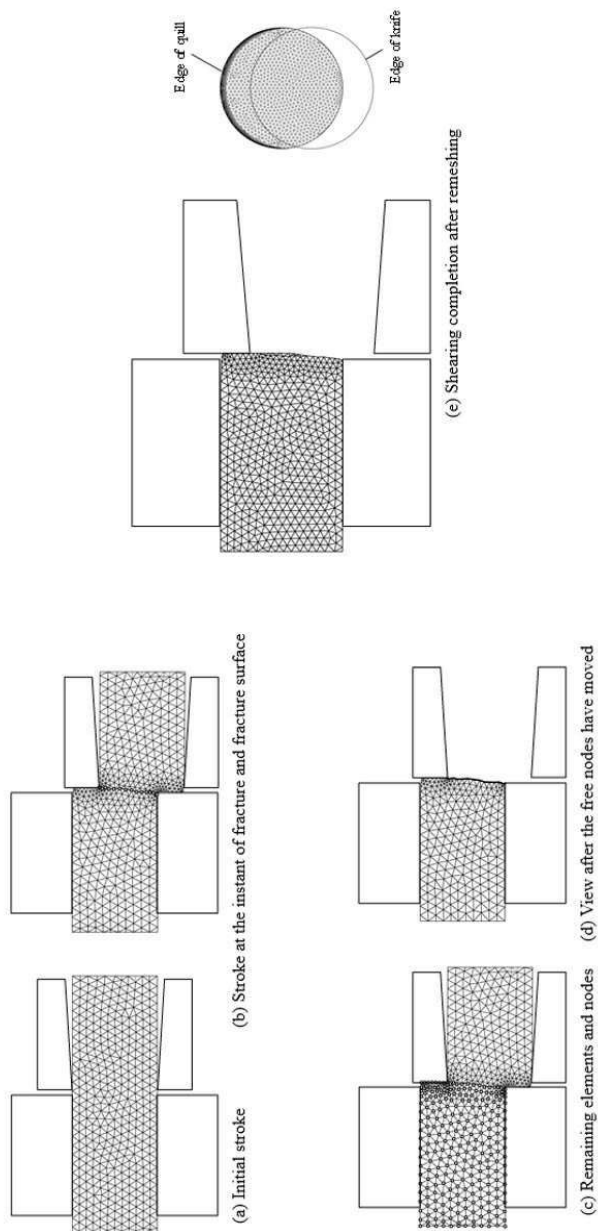
수 있고, 적절한 수치적 분석 방법을 요구할 수 있다. 본 발명에서 제안된 접근은 곧바로 정확한 재료 시뮬레이션을 위한 3차원 시어링 공정에 적용될 수 있다. 상기 물질은 압축 응력 상태에서 정밀하게 시어링되거나 블랭크된(sheared or blanked) 것일 수 있다.

부호의 설명

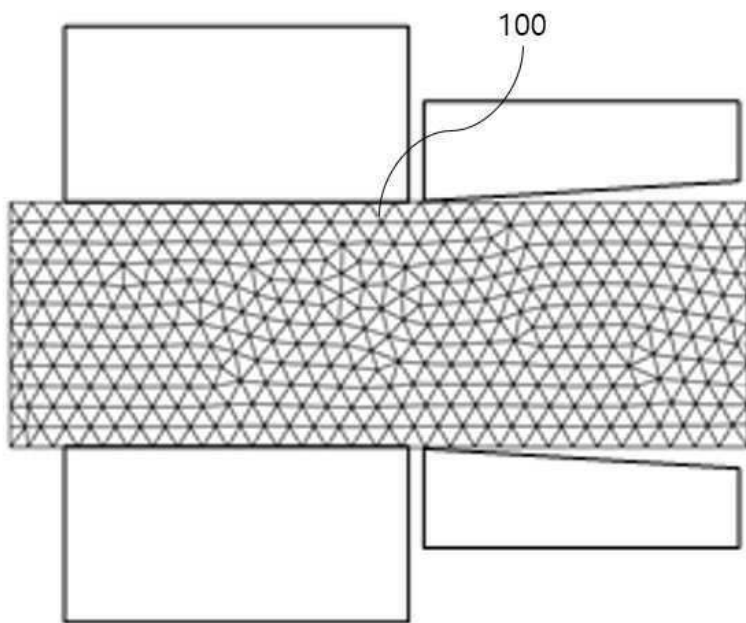
100... 원재료 210... 제1 그룹
12... 잔류 절점 220... 제2 그룹
230... 파단면 300... 최종 파단면

도면

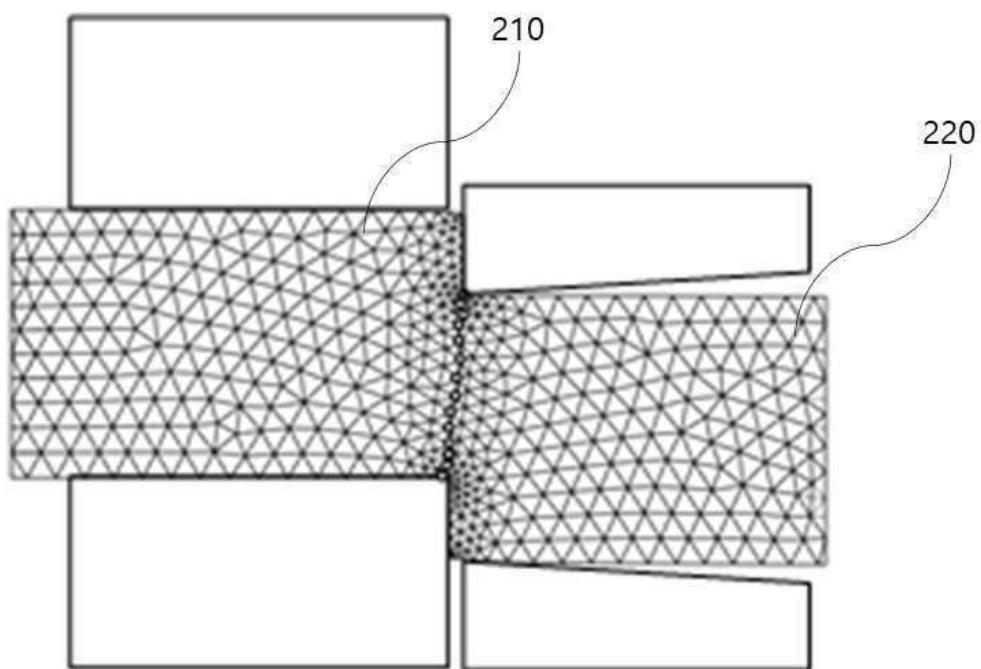
도면1



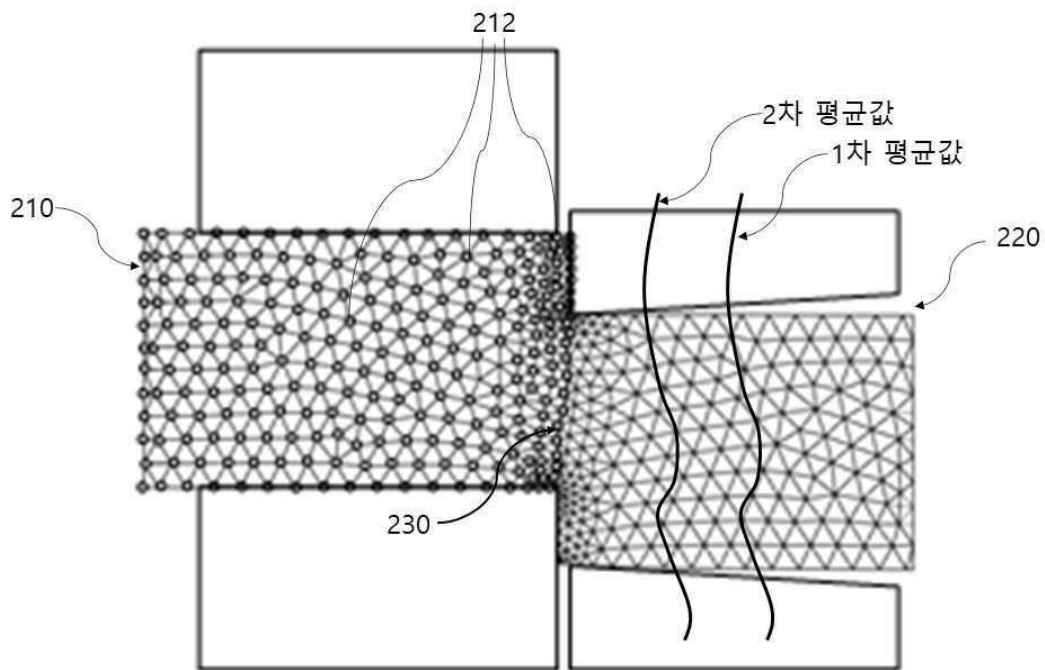
도면2



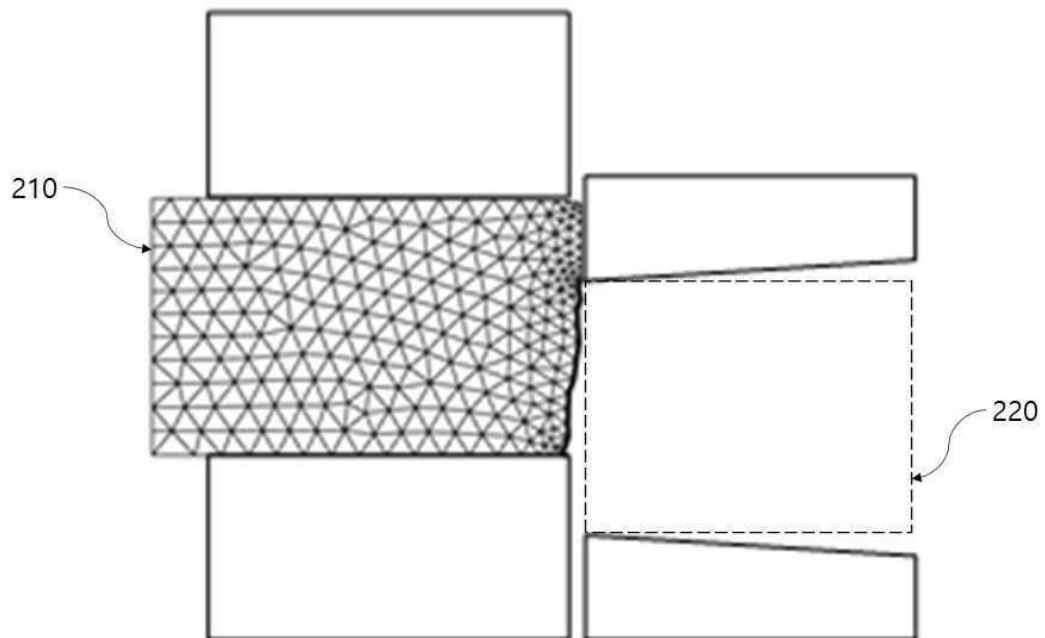
도면3



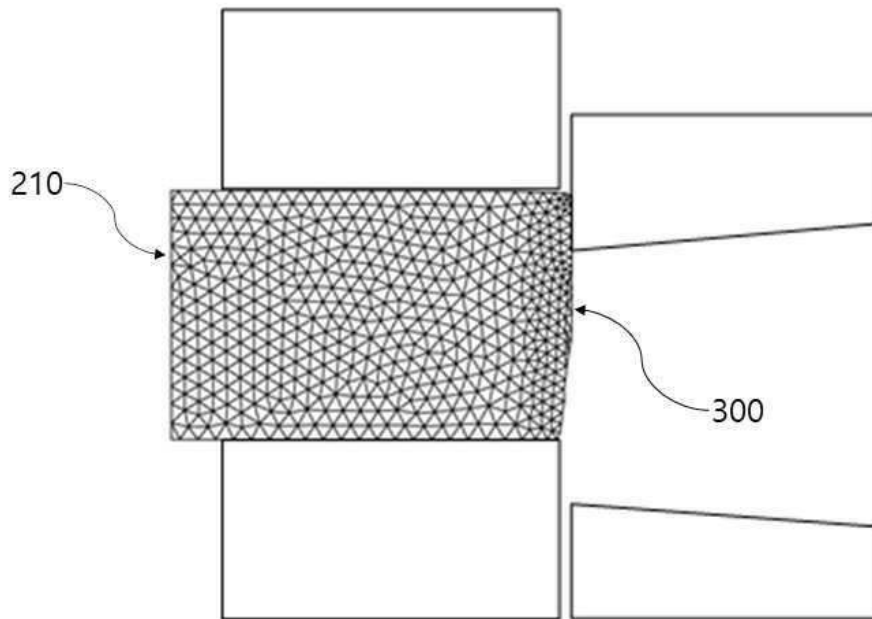
도면4



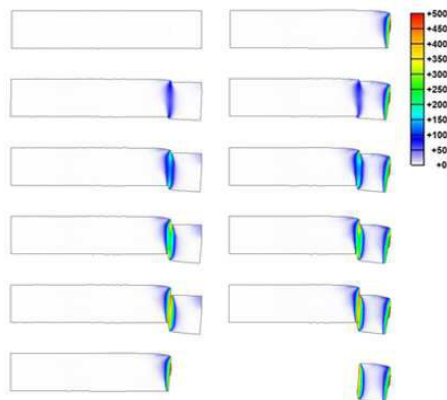
도면5



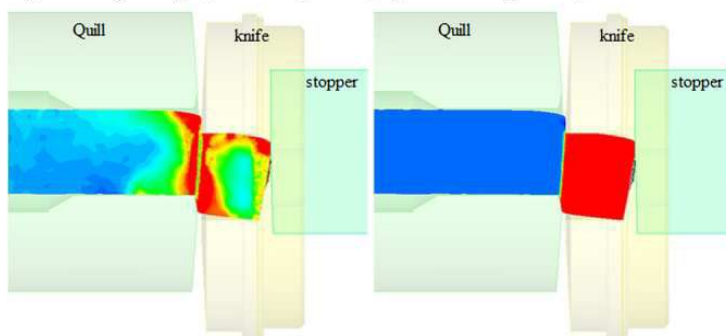
도면6



도면7

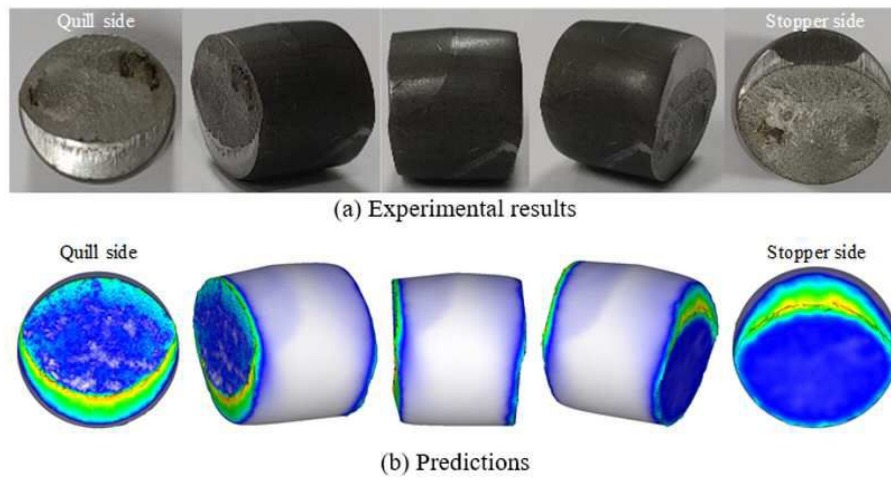


(a) Shape showing damage (left: first operation; right: second operation)



(b) Shear band formation owing to the degraded flow stress (left) and the magnitude of the velocity field (right)

도면8



도면9

