



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년03월14일
(11) 등록번호 10-1958336
(24) 등록일자 2019년03월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01) G06F 17/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 17/5009 (2013.01)
G06F 17/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0127041
(22) 출원일자 2017년09월29일
심사청구일자 2017년09월29일
(56) 선행기술조사문헌
JP2008012814 A*
KR100406828 B1
JP2005246684 A
JP2004361106 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
경상대학교 산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
전만수
경상남도 사천시 정동면 여옥길 36 송보과인빌
107동 1202호
(74) 대리인
특허법인 태웅

전체 청구항 수 : 총 9 항

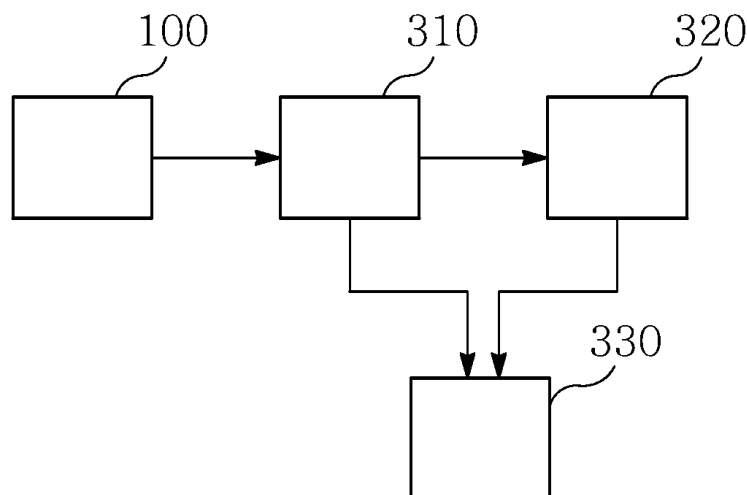
심사관 : 박승철

(54) 발명의 명칭 단류선 정량화 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 정량화 장치는 소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점에서 계산되고 저장되어 있는 그 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 유닛; 상기 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 밀도 벡터 함수(grain flow density vector function, 벡터함수)를 산출하는 제1 유닛; 상기 단류선 밀도 벡터함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 겹침 품질 행렬(gradient of grain flow density vector function, grain flow overlapping quality matrix, 행렬)을 산출하는 제2 유닛; 상기 단류선 밀도 벡터함수와 단류선 겹침 품질 행렬을 이용해서 상기 대상물의 단류선의 치밀성 및 겹침 품질을 정량화하는 처리 유닛;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 유니트;

상기 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수(grain flow density vector function)를 산출하는 제1 유니트;

상기 단류선 밀도 벡터함수를 이용해서 상기 대상물의 단류선의 치밀성을 정량화하는 처리 유니트;

상기 단류선 밀도 벡터함수의 구배 또는 그라디언트 결과에 해당하는 겹침 인덱스(overlapping index)를 산출하는 제2 유니트;를 포함하고,

상기 처리 유니트는 상기 겹침 인덱스를 이용해서 상기 대상물의 입자가 흐르는 방향의 변화 또는 상기 단류선의 법선 방향의 변화와 관련된 겹침 결함을 정량화하는 정량화 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제2 유니트는 상기 제1 유니트로부터 상기 단류선 함수의 그라디언트를 전달받고,

상기 제2 유니트는 상기 제1 유니트로부터 전달받은 상기 단류선 함수의 그라디언트에 해당하는 상기 단류선 밀도 벡터함수를 그라디언트해서 행렬을 구하고, 상기 행렬로부터 상기 겹침 인덱스를 산출하는 정량화 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제2 유니트는 상기 단류선 밀도 벡터함수의 결과에 해당하는 상기 단류선 밀도(벡터의 크기)와 상기 단류선의 법선 방향(벡터의 방향) 중 상기 단류선 밀도가 배제되게 상기 단류선 함수의 그라디언트 결과를 정규화하거나 수정하고,

상기 제2 유니트는 정규화되거나 수정된 상기 단류선 밀도 벡터함수를 그라디언트해서 얻은 행렬로부터 상기 겹침 인덱스를 산출하는 정량화 장치.

청구항 5

소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 유니트;

상기 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수(grain flow density vector function)를 산출하는 제1 유니트;

상기 단류선 밀도 벡터함수를 이용해서 상기 대상물의 단류선의 치밀성을 정량화하는 처리 유니트; 를 포함하고,

상기 처리 유니트는 정량화된 상기 치밀성 또는 상기 단류선 함수를 이용하여 정량화된 겹침 인덱스를 디스플레이

이에 표시되는 상기 대상물의 이미지 상에 상기 단류선과 함께 또는 상기 단류선과 무관하게 수치로 표시하는 정량화 장치.

청구항 6

소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 유니트;

상기 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수(grain flow density vector function)를 산출하는 제1 유니트;

상기 단류선 밀도 벡터함수를 이용해서 상기 대상물의 단류선의 치밀성을 정량화하는 처리 유니트; 를 포함하고,

상기 획득 유니트는 수학 모델을 이용해서 상기 대상물의 소성가공을 시뮬레이션하고,

상기 단류선 함수는 상기 시뮬레이션을 통해 획득되며,

상기 처리 유니트는 정량화된 상기 치밀성 또는 상기 단류선 함수를 이용하여 정량화된 겹침 인덱스를 상기 획득 유니트로 전달하고,

상기 획득 유니트는 상기 치밀성 또는 상기 겹침 인덱스를 이용해서 상기 수학 모델을 수정하거나 상기 시뮬레이션에 적용되는 인자를 수정하는 정량화 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 처리 유니트는 복수의 절점 중 제1 설정값을 만족하는 치밀성을 갖는 제1 오류 또는 개선 정보를 상기 획득 유니트로 전달하거나, 복수의 절점 중 제2 설정값을 만족하는 겹침 결함을 갖는 제2 오류 또는 개선 정보를 상기 획득 유니트로 전달하고,

상기 획득 유니트는 상기 제1 오류 또는 개선 정보를 분석하거나 상기 제2 오류 또는 개선 정보를 분석해서, 수정이 요구되는 대상물의 오류 예상 위치 또는 개선 예상 위치를 파악하며,

상기 획득 유니트는 상기 시뮬레이션에 적용되는 복수의 수학 모델 중 상기 오류 예상 위치 또는 상기 개선 예상 위치와 관련된 수학 모델을 수정한 후 상기 대상물의 소성가공을 다시 시뮬레이션하는 정량화 장치.

청구항 8

삭제

청구항 9

소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 단계;

상기 단류선 함수의 그라디언트(gradient)를 산출하는 제1 산출 단계;

상기 제1 산출 단계의 결과를 이용해서 상기 대상물의 단류선 특성을 정량화하는 처리 단계; 를 포함하고,

상기 단류선 함수의 그라디언트의 그라디언트를 산출하는 제2 산출 단계;를 포함하고,

상기 처리 단계는 상기 제2 산출 단계의 결과를 이용해서 상기 대상물의 단류선 특성을 정량화하는 정량화 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제2 산출 단계는 상기 단류선 함수의 그라디언트를 정규화하거나 수정한 후 다시 그라디언트 연산하는 정량화 방법.

청구항 11

소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 단계;

상기 단류선 함수의 그라디언트(gradient)를 산출하는 제1 산출 단계;

상기 제1 산출 단계의 결과를 이용해서 상기 대상물의 단류선 특성을 정량화하는 처리 단계;를 포함하고,

상기 처리 단계 이후에,

상기 대상물의 소성가공을 시뮬레이션하는 시뮬레이션 수단의 수학 모델을 정량화된 상기 대상물의 단류선 특성을 이용해서 수정하는 수정 단계;를 포함하고,

상기 획득 단계는 상기 수정 단계에서 수정된 수학 모델이 반영된 재 시뮬레이션을 통해 새롭게 수정된 단류선 함수를 획득하는 정량화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 대상물의 단류선 특성을 정량화하는 정량화 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 소성가공은 물체에 소성변형을 가하여 갖가지 모양을 만드는 가공 방법이다.

[0004] 소성가공은 열 또는 압력 등의 외부 에너지를 물체에 가해 물체의 응력 상태를 항복 규준에 적절하게 도달시키는 것을 전제로 한다. 소성가공을 통해 물체를 초기 설계치로 가공하기 위해서는 적절한 금형을 선택하고, 가공에 필요한 에너지를 책정하는 등 정확한 가공 환경을 도출할 필요가 있다.

[0005] 이러한 가공 환경의 도출을 위해 다양한 금형을 마련하고 다양한 크기의 에너지를 다양한 방향으로 물체에 인가하는 경험적 방법이 사용될 수 있다. 그러나, 이러한 방식에 의존한 공정설계 및 개발 방식을 따르면, 잦은 공정 설계 실패가 발생하며 부적절한 금형과 소성가공된 물체를 재이용하기 곤란하므로 자원의 낭비가 심한 문제가 있다. 또한, 적절한 가공 환경의 도출까지 많은 시간이 소요된다.

[0006] 설사 설계치대로 대상물을 소성가공할 수 있는 가공 환경을 도출하더라도 해당 가공 환경에서 단류선을 포함한 소성가공된 물체의 유동 상태를 파악하기 힘들다.

[0007] 한국등록특허공보 제1386648호에는 시뮬레이션을 통해 대상물의 유동 상태를 생성하는 시뮬레이션 장치 및 방법이 개시되고 있다. 그러나, 생성된 유동 상태를 이용해서 단류선의 특성을 파악하는 내용은 나타나지 않고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제2006-0066642호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 대상물의 단류선 특성을 정량화하는 정량화 장치 및 방법을 제공하기 위한 것이다.
- [0011] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 정량화 장치는 소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점에서 계산되고 저장되어 있는 그 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 유니트; 상기 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수(grain flow density vector function, 벡터함수)를 산출하는 제1 유니트; 상기 단류선 밀도 벡터함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 겹침 품질 행렬(gradient of grain flow density vector function, grain flow overlapping quality matrix, 행렬)을 산출하는 제2 유니트; 상기 단류선 밀도 벡터함수와 단류선 겹침 품질 행렬을 이용해서 상기 대상물의 단류선의 치밀성 및 겹침 품질을 정량화하는 처리 유니트;를 포함할 수 있다.
- [0014] 본 발명의 정량화 방법은 소성가공되는 대상물에 설정된 복수의 절점에서 계산되고 저장되어 있는 그 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득하는 획득 단계; 상기 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)를 통하여 단류선 밀도 벡터함수를 산출하는 제1 산출 단계; 상기 단류선 밀도 벡터함수의 구배 또는 그라디언트를 산출하는 제2 산출 단계; 상기 제1 산출 단계와 제2 산출 단계의 결과를 이용해서 상기 대상물의 단류선 특성을 정량화하는 처리 단계;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 정량화 장치 및 방법은 제1 유니트, 제2 유니트, 처리 유니트를 이용해서 소성가공된 대상물의 단류선 특성을 정량화할 수 있다.
- [0017] 사용자는 대상물의 단류선을 육안으로 보고 감각적, 경험적으로 결함 요소를 파악하게 되는데, 본 발명에 따르면 정량화된 단류선 특성을 통해 대상물의 결함 요소를 계량적으로 파악할 수 있다.
- [0018] 또한, 본 발명에 따르면, 수치화된 단류선 특성을 이용해서 각종 후처리 공정이 가능한 장점이 있다.
- [0019] 일 예로, 정량화된 단류선 특성을 이용해서 기존 소성가공 설계의 문제점을 파악하고, 해당 문제점을 개선해서 소성가공 설계를 자동으로 수정하는 자동 최적설계 시스템이 구현될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 정량화 장치 및 방법에 의해 정량화된 단류선 특성은 가까운 장래에 금속 성형에서 핫이슈가 될 공정 설계 최적화 문제를 공식화하는데 사용될 수 있다. 그리고, 본 발명은 사출성형 및 주조를 비롯한 타 공정에 쉽게 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 정량화 장치를 나타낸 블록도이다.
- 도 2는 획득 유니트를 나타낸 블록도이다.
- 도 3은 대상물이 단조되는 프로세스 구조를 나타낸 개략도이다.
- 도 4 및 도 5는 대상물의 소성가공을 유한요소해석법을 이용해 시뮬레이션한 결과를 나타낸 개략도이다.
- 도 6은 단류선과 함께 편석대 및 건전 소재 영역의 정의를 나타낸 개략도이다.
- 도 7은 단류선 함수의 그라디언트 결과 중 단류선 밀도(크기)를 이용해서 정량화된 단류선의 치밀성이 표시된 대상물의 이미지이다.
- 도 8은 단류선 함수의 그라디언트 결과 중 방향(단류선 밀도 벡터의 성분)과 단류선 밀도의 크기를 단류선과 동시에 표시한 대상물의 이미지이다.

도 9는 단류선 함수의 그라디언트 결과, 즉 단류선 밀도 벡터함수를 다시 그라디언트해서 획득한 단류선 겹침 품질 행렬을 이용해서 정량화된 겹침 결함이 표시된 대상물의 이미지이다.

도 10은 시뮬레이션 수단에 의해 설정된 절점을 나타낸 개략도이다.

도 11은 시뮬레이션 수단에 의해 생성된 유동 선도를 나타낸 개략도이다.

도 12는 설정부에 의해 설정된 절점의 정보를 나타낸 개략도이다.

도 13은 절점 초기 좌표가 생성되는 제1 시점을 나타낸 개략도이다.

도 14는 본 발명의 정량화 방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 상세히 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 구성요소의 크기나 형상 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시될 수 있다. 또한, 본 발명의 구성 및 작용을 고려하여 특별히 정의된 용어들은 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 한다.
- [0024] 본 발명의 정량화 장치는 금속 또는 비금속 대상물(210)에 대한 소성가공 및 성형으로 인해 형성된 단류선 또는 유동선의 각종 특성을 정량화하기 위한 것이다.
- [0025] 단조는 높은 생산성뿐 아니라 높은 제품 품질을 비롯한 많은 장점을 가지고 있다.
- [0026] 단조 등의 소성가공으로 인해 대상물(210)에 형성된 단류선, 즉 단조의 에칭된 단면상의 입자 흔적은 제품 품질에 큰 영향을 미칠 수 있다.
- [0027] 단조되는 대상물(210)은 일반적으로 열간 압연, 인발, 압출에 의해 제조되며, 해당 과정에서 대상물(210)의 각 입자는 신축될 수 있다. 이러한 소성 변형의 히스토리는 단조 또는 가공을 포함한 사후 작업 중에 마크가 많이 변하지 않는 방향성 단류선을 형성할 수 있다. 이 마크는 단류선 또는 금속 유동선이라고 불리는 단조의 연마된 단면을 에칭하여 시각화될 수 있다.
- [0028] 전통적으로, 단조된 대상물(210)의 내부 품질은 실험적으로 획득된 단류선, 즉 단조된 대상물(210)의 단면을 육안으로 검사함으로써 평가되었다. 그러나, 육안을 통한 단류선의 판단 또는 검증은 검사자의 경험에 의존하는 것으로, 단류선의 품질을 객관적으로 평가하는 방법이 없는 상태이다.
- [0029] 금속의 소성가공에서 단류선이 제품 품질에 미치는 영향에 대한 많은 연구가 존재한다.
- [0030] 특정 연구를 통해 단류선이 심하게 기울어진 테이퍼 롤러의 수명이 단류선이 기울어지지 않은 테이퍼 롤러와 비교하여 거의 1/6 수준으로 나타났다.
- [0031] 다른 연구에 따르면, 소성가공된 롤러, 볼의 구름 접촉 피로(rolling contact fatigue)에 단류선이 미치는 영향을 연구한 결과, 단류선이 끝나는 극 지역(polar area) 주변의 파손 밀도가 훨씬 높은 것으로 나타났다.
- [0032] 또한, 항공기의 부품 수명이 단류선의 방향에 크게 의존하는 것으로 나타났다.
- [0033] 그러나, 기존 연구는 단류선이 제품 품질에 미치는 영향을 파악하는 것에 초점이 맞춰져 있을 뿐, 단류선의 품질을 정량적인 방법으로 나타내려는 시도는 없었다.
- [0034] 단류선은 소성가공 시뮬레이션 방법에 의해 예측될 수 있다. 일반적인 시뮬레이션 방법에 따르면, 평면 섹션에 정의된 메쉬가 단류선을 표시하기 위해 추적될 수 있다.
- [0035] 그러나, 일반적인 시뮬레이션 방법에 적용되는 전통적인 수치 접근법은 단류선의 품질을 정량화하기 위한 어떠한 해결책도 제공하지 않고 있다.
- [0036] 단류선의 정량화는 단조 시뮬레이터와 함께 공정 설계 최적화를 실현하는 필수 요소로 작용할 수 있다.
- [0037] 본 명세서에서는 단류선을 정량화하기 위해 단류선 밀도 벡터함수 및 단류선 밀도의 그라디언트, 즉 단류선 겹침 품질 행렬에 대한 새로운 개념을 제시한다.
- [0038] 단류선은 대상물(210)에 가상으로 설정된 절점 좌표의 벡터함수인 상태 변수에 의해 정의될 수 있다. 각 절점에서 벡터함수의 각 구성 요소는 소성가공 프로세스의 유한요소해석에서 계산될 수 있는 초기 좌표일 수 있다. 단

류선 밀도로 정의된 벡터함수(단류선 함수)의 그라디언트와 단류선 밀도의 그라디언트, 즉 단류선 겹침 품질 행렬은 단류선의 품질을 평가하는데 이용될 수 있다.

- [0039] 도 1은 본 발명의 정량화 장치를 나타낸 블록도이고, 도 2는 획득 유닛(100)을 나타낸 블록도이다.
- [0040] 도면에 도시된 정량화 장치는 획득 유닛(100), 제1 유닛(310), 제2 유닛(320), 처리 유닛(330)을 포함할 수 있다.
- [0041] 획득 유닛(100)은 단류선 함수(grain flow function)를 획득할 수 있다.
- [0042] 단류선 함수(grain flow function)는 소성가공되는 대상물(210)에 가상으로 설정된 복수의 절점에서 계산되고 저장되어 있는 그 절점들의 초기 좌표값을 이용하여 동일 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선을 연결하여 단류선 또는 유동선들을 만들 수 있다. 여기서, 선분 또는 곡선을 연결한다는 것은 선분 또는 곡선을 그리는 것을 의미할 수 있다.
- [0043] 또는, 단류선 함수(grain flow function)는 소성가공되는 대상물(210)에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결할 수 있다. 예를 들어, 초기 설정된 절점 외의 목표 지점들(동일한 초기 좌표값 가진)에 단류선 또는 유동선을 생성하고자 하는 경우, 단류선 함수는 초기 설정된 절점의 초기 좌표에 보간법 등을 적용하여 목표 지점에 단류선을 연결할 수 있다.
- [0044] 실제의 단류선뿐만 아니라 가상의 단류선(예: 도 5에서 초기에 x-축에 평행한 선)에도 사용될 수 있으며, 주조 및 폴리머 프로세싱 등과 같이 유동궤적이 중요한 문제에도 적용이 가능하다. 따라서 단류선은 가상의 유동선들을 포함하는 의미로 사용될 수 있다.
- [0045] 단류선 함수는 금속 또는 비금속을 포함한 대상물(210)을 소성가공하거나 성형한 후 절단면에 나타나는 입자의 흐름 또는 가상의 선 또는 면의 변형을 형상화한 것으로, 대상물(210)의 이미지 상에 단류선 함수의 등가선으로 표시될 수 있다.
- [0046] 획득 유닛(100)은 대상물(210)을 소성가공하는 외부 시뮬레이션 수단으로부터 단류선 함수를 획득할 수 있다. 경우에 따라, 획득 유닛(100)은 실제 금속 시료의 단면 촬영 결과로부터 단류선 함수를 획득할 수도 있다.
- [0047] 또는, 획득 유닛(100)은 자체 시뮬레이션 수단으로부터 단류선 함수를 획득할 수 있다. 일 예로, 획득 유닛(100)은 단류선 함수를 획득하기 위해, 설정부(110), 추적부(130), 변형부(150)를 포함할 수 있다.
- [0048] 제1 유닛(310)은 단류선 함수의 구배 또는 그라디언트(gradient)에 해당하는 단류선 밀도(grain flow density) 벡터함수를 산출할 수 있다.
- [0049] 처리 유닛(330)은 단류선 밀도를 이용해서 단류선의 치밀성을 정량화할 수 있다.
- [0050] 제2 유닛(320)은 단류선 밀도 벡터함수의 구배 또는 그라디언트 결과에 해당하는 겹침 인덱스(단류선 겹침 품질 행렬)를 산출할 수 있다. 구체적으로, 제2 유닛은 제1 유닛으로부터 전달받은 단류선 함수의 그라디언트에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수를 그라디언트해서 행렬을 구하고, 해당 행렬로부터 겹침 인덱스를 산출할 수 있다.
- [0051] 처리 유닛(330)은 단류선 겹침 품질 행렬을 이용해서 대상물(210)의 입자가 흐르는 방향의 변화 또는 단류선의 법선 방향의 변화와 관련된 겹침 결함을 정량화할 수 있다.
- [0052] 제2 유닛(320)은 획득 유닛(100)로부터 단류선 함수를 직접 전달받아 두번의 그라디언트를 통해 단류선 또는 유동선 겹침 인덱스를 산출할 수 있다.
- [0053] 다른 예로, 제2 유닛(320)은 제1 유닛(310)로부터 단류선 함수의 그라디언트를 전달받고, 제1 유닛(310)로부터 전달받은 단류선 함수의 그라디언트를 그라디언트해서 겹침 인덱스를 산출할 수 있다.
- [0054] 한편, 벡터함수에 해당하는 단류선 함수의 그라디언트 결과로 텐서(tensor)가 도출될 수 있다. 텐서의 그라디언트는 행렬이 되므로, 겹침 결함을 나타내는 수치를 획득하기 곤란할 수 있다.
- [0055] 겹침 결함을 정량화하기 위해, 제2 유닛(320)은 단류선 함수의 그라디언트 결과에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수를 부분적으로 수정할 수 있다. 예를 들어, 제2 유닛(320)은 단류선 밀도 벡터함수의 방향을 유지한 채 그 크기를 설정값으로 정규화시킬 수 있다. 다시 말해, 제2 유닛은 단류선 밀도 벡터함수의 결과에 해당하는 단류선 밀도(벡터의 크기)와 단류선의 법선 방향(벡터의 방향) 중 단류선 밀도가 배제되게 단류선 함수와 그라

디언트 결과를 정규화하거나 수정할 수 있다.

- [0056] 제2 유니트(320)는 정규화되거나 수정된 단류선 밀도 벡터함수의 그라디언트, 즉 입자 흐름 방향을 그라디언트 해서 얻은 행렬로부터 도 9와 같이 겹침 인덱스를 산출할 수 있다. 예를 들면, 단류선 겹침 품질 행렬의 2차 불변치로부터 계산되는 상당치 또는 유효치가 겹침 인덱스로 사용될 수 있다.
- [0057] 처리 유니트(330)는 단류선 함수를 이용하여 정량화된 단류선 밀도(치밀성) 및 겹침 인덱스(겹침 결함)를 도 8에 나타낸 바와 같이 디스플레이에 표시되는 대상물(210)의 이미지 상에 단류선과 함께 또는 단류선과 무관하게 수치로 표시할 수 있다. 사용자는 이미지 상에 수치로 표시된 단류선 밀도 및 겹침 결함 인덱스를 이용해서 대상물(210)의 결함을 용이하게 파악할 수 있다.
- [0058] 단류선 함수의 그라디언트 결과에 해당하는 단류선 밀도의 크기는 등가선의 법선 S 방향에 대한 그라디언트 값일 수 있다. 따라서, 단류선 밀도의 크기값은 단류선 또는 등가선의 치밀한 정도를 나타낼 수 있다.
- [0059] 처리 유니트(330)는 제1 유니트(310)로부터 출력된 단류선 밀도 벡터 함수를 그대로 단류선의 치밀성, 즉 단류선 밀도를 나타내는 수치로 이용할 수 있다. 이때, 단류선의 밀도는 도 4에서 단류선 함수를 선으로 표시한 등가선 간의 간격이 좁아지거나 넓어지는 것을 나타낼 수 있다. 처리 유니트(330)에 의해 정량화된 단류선의 밀도는 앞에서 설명된 바와 같이 대상물(210)의 품질을 판단하는데 이용될 수 있다.
- [0060] 처리 유니트(330)는 제2 유니트(320)로부터 출력된 단류선 겹침 품질 행렬을 이용하여 겹침 인덱스를 계산할 수 있으며, 계산된 겹침 인덱스는 그대로 겹침 결함을 나타내는 수치로 이용될 수 있다.
- [0061] 겹침 결함은 대상물(210)의 입자가 동일한 위치에 겹치는 것으로 입자의 흐름 방향의 변화와 관련될 수 있다. 예를 들어 입자의 흐름 방향이 급격하게 변화되면 복수의 입자가 동일한 위치에 몰리는 겹침 결함이 발생될 수 있다. 제2 유니트(320)로부터 산출된 겹침 인덱스 또는 단류선 겹침 품질 행렬은 단류선 밀도함수를 부분적으로 변경함으로써 입자의 흐름 방향 또는 단류선의 변화율을 강조하여 계산될 수 있다. 이때의 변화율은 겹침 결함과 직결될 수 있다.
- [0062] 겹침 인덱스의 스케일과 겹침 결함의 스케일이 다른 경우, 처리 유니트(330)는 겹침 인덱스의 스케일을 겹침 결함의 스케일로 캘리브레이션할 수 있다. 처리 유니트(330)에 의해 정량화된 겹침 품질 행렬은 대상물(210)의 품질을 판단하는데 이용될 수 있다. 행렬의 각 요소뿐만 아니라 행렬이 갖는 고유치(eigen value) 및 고유 벡터(eigen vector)와 불변치(invariants)의 함수가 겹침 인덱스로 사용될 수 있다.
- [0063] 도 3은 대상물(210)이 단조되는 프로세스 구조를 나타낸 개략도이다.
- [0064] 일 예로, 사각 단면을 갖는 대상물(210)은 하부 금형이 형성된 다이(die)와 상부 금형이 형성된 펀치(punch)의 사이에서 소성 변형될 수 있다.
- [0065] 해당 프로세스 구조에서 유동 응력은 $320.0 (1.0 + \epsilon / 0.05)^{0.15}$ 으로 가정한다. 쿨롱마찰계수는 0.05로 설정하고, 펀치 속력은 1.0mm/s로 가정한다. 8000개의 사각형 유한요소 메쉬 시스템을 적용하여 얻어진 단류선의 유한요소 예측 결과를 도 4에 나타내었다. 해당 예측 결과는 별도의 시뮬레이션 수단에서 생성된 후 획득 유니트(100)로 전달되거나, 획득 유니트(100) 자체의 시뮬레이션을 통해 획득될 수 있다.
- [0066] 도 4 및 도 5는 대상물(210)의 소성가공을 유한요소해석법을 이용해 시뮬레이션한 결과를 나타낸 개략도이다. 도 6은 네 개의 영역으로 나누어 나타낸 단류선의 개략도이다. 네 개의 영역 중 좌측의 영역은 편석대로 볼 수 있으며, 구조적으로 취약하므로 각별히 높은 품질의 단류선이 요구되는 영역이다.
- [0067] 도 4는 단류선 함수의 x축 성분의 등가선을 나타낸다(수평선의 오른쪽 방향을 x축으로 정의함). 서로 직교하는 x축, y축, z축이 정의될 때(도면에 수직한 축을 z축으로 정의함), 점의 좌표는 (x, y, z)로 표현될 수 있으며, 도 4는 x축과 z축 성분(z축 성분은 0으로 고정)만 동일한 초기 좌표를 갖는 유한요소 메쉬 체계(finite element mesh system) 상의 선분들을 연결한 것이다.
- [0068] 도 5는 단류선 함수의 x축 및 y축 성분의 등가선을 x-y 평면 상에 나타낸 것이다.
- [0069] 시뮬레이션을 통해 변형된 대상물(210)의 초기 절점 좌표는 유한요소해석에 의해 계산될 수 있다. 리메싱(remeshing)이 발생하지 않은 경우, 시뮬레이터 단계에서 절점의 초기 좌표는 소성 변형으로 인한 대상물(210)의 시뮬레이션 초기 단계에서의 절점의 좌표이다. 리메싱의 경우, 리메싱된 대상물(210)의 절점 초기 좌표는 절점의 속도와 동일한 방식으로 계산되거나 매핑될 수 있다.

- [0070] 절점 초기 좌표는 유한요소 보간 규칙에 따라 단류선 함수를 정의하는데 사용될 수 있다. 단류선 함수는 좌표의 벡터함수일 수 있다. 따라서, 특정 방향의 단류선은 단류선 함수의 해당 성분을 나타낸 등가선에 의해 시각화될 수 있다. 예를 들어, 도 4는 스트로크를 동반한 단류선 함수의 x - 성분 등가선의 변화를 나타낸다. 같은 방법으로, x -성분과 y -성분의 등가선의 변화를 동시에 나타냄으로써 도 5와 같이 다양한 유동선 또는 단류선이 시각화될 수 있다.
- [0071] 또한, 원형 단면 빌렛(round billet)의 편석대(micro segregation region)은 단류선 함수에 의해 쉽게 정의될 수 있다. 2차원 문제에서 단류선 함수의 x - 성분은 편석대, 즉 2.16mm 반경(반경의 1/4)으로 정의된 중앙 영역을 정의하는 데 사용될 수 있다. 일 예로, 도 6에는 복수의 편석대가 다른 색깔로 구분되어 표시된다.
- [0072] 도 7은 단류선 함수의 그라디언트 결과 중 단류선 밀도(크기)를 이용해서 정량화된 단류선의 치밀성이 표시된 대상물(210)의 이미지이고, 도 8은 단류선 함수의 그라디언트 결과 중 방향 성분(단류선 밀도의 방향)이 크기와 함께 표시된 대상물(210)의 이미지이다.
- [0073] 단류선 밀도로 지칭되는 단류선 함수의 그라디언트는 도 7에 나타난 바와 같이 등가선, 즉 단류선의 밀도 또는 치밀성을 평가하는데 사용될 수 있다.
- [0074] 예를 들어, 대상물(210)에서 선택된 한 절점에 대한 단류선 밀도의 크기가 작고 해당 절점이 편석대에 포함되면, 해당 절점에 대한 제품 품질이 좋지 않은 것으로 간주될 수 있다. 상대적으로 작은 밀도를 갖는 약한 영역은 편석대에서 도 7과 같이 뚜렷하게 나타날 수 있다. 도 7에서 제품 품질이 나쁜 약한 영역이 흰색으로 표시되고 있으며, 해당 영역의 단류선 밀도 크기는 0.5와 같이 다른 영역에 비하여 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다.
- [0075] 또한, 단류선 밀도의 크기가 설정값보다 큰 경우, 예를 들어 도 7에서 11.0, 9.0으로 표시된 도 4의 ㉔ 영역, ㉕ 영역에는 단류선 균열이 발생할 수 있다.
- [0076] 따라서, 단류선 밀도의 크기가 특정 설정값보다 작거나 다른 설정값보다 크게 나타난 절점 또는 주변 영역은 공정 최적 설계 단계에서 안전 영역을 벗어나지 않도록 제한될 수 있다.
- [0077] 도 8에 도시된 바와 같이 단류선 밀도 벡터의 방향은 한 지점에서 단류선에 수직한 방향을 제공할 수 있다. 도 8은 설명의 편의를 위해 절점의 x 성분만 갖고, 나머지 성분이 다른 단류선 또는 유동선을 대상으로 한 것일 수 있다. 따라서, 2차원 평면상에서는 절점 초기 좌표의 두 구성 요소 x , y 를 처리하여 단류선 또는 유동선의 품질을 평가할 수 있다. 3차원 공간상에서는 절점 초기 좌표의 세 구성 요소, x , y , z 를 처리하여 단류선의 품질을 평가할 수 있다.
- [0078] 도 9는 단류선 함수의 그라디언트 결과를 다시 그라디언트해서 획득한 단류선 겹침 품질 행렬, 즉 겹침 인덱스의 불변치를 이용해서 정량화된 겹침 결함이 표시된 대상물(210)의 이미지이다.
- [0079] 도 9에 표시된 겹침 결함은 겹침 인덱스 자체이거나 겹침 인덱스가 캘리브레이션된 것일 수 있다.
- [0080] 대상물(210)을 형성하는 입자의 겹침 또는 단류선의 겹침이 대상물(210)의 강성을 악화시키는 것이 실험이나 경험에 의해 알려지고 있다. 따라서, 대상물(210)의 입자들이 겹치거나 단류선이 겹치는 겹침 결함은 엄격하게 배제되는 것이 좋다.
- [0081] 겹침 결함은 거의 대부분 단류선의 변동 방향, 즉 단류선 밀도 벡터함수의 방향이 매우 급격하게 변화하는 영역에서 발생될 수 있다. 이 영역에서 2차 텐서에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수의 그라디언트의 특정값, 예를 들면, 2차 텐서량의 두번째 불변치가 크게 변할 수 있다. 따라서, 단류선 밀도 벡터함수의 그라디언트로부터 계산된 겹침 인덱스는 금속 및 비금속 성형에서 겹침 결함을 검사하는데 사용될 수 있다.
- [0082] 도 9는 도 4에서 단류선에 해당하는 등가선의 법선 방향의 변화를 나타내는 겹침 인덱스를 나타낸다.
- [0083] 2차 텐서에 해당하는 단류선 밀도 벡터함수의 그라디언트를 계산하기 위해 단류선 밀도 벡터함수는 정규화되거나 부분적으로 수정될 수 있다. 일 예로, 제2 유니트(320)는 단류선 밀도 벡터함수의 크기를 무시하는 정규화를 수행하고, 단류선 밀도 벡터함수의 방향만을 이용해서 겹침 인덱스를 산출할 수 있다. 도 9에서 동일한 색깔은 겹침 인덱스가 서로 동일함을 의미할 수 있다.
- [0084] 도 4 및 도 6의 겹침 결함 가능성이 도 9에 나타난 겹침 인덱스에 명확하게 반영된 것을 알 수 있다.
- [0085] 단류선 밀도 벡터함수의 그라디언트로부터 계산된 겹침 인덱스 역시 단류선 밀도 벡터함수와 마찬가지로 2차원

및 3차원으로 용이하게 확장될 수 있다.

- [0086] 본 발명에 따르면, 단조된 대상물(210)의 품질에 영향을 미치는 단류선인 단류선 함수의 등가선에 의해 정의될 수 있다.
- [0087] 단류선 함수의 그라디언트로 정의되는 단류선 밀도 벡터함수는 단류선의 밀도(치밀성) 및 방향을 평가하는데 이용될 수 있다.
- [0088] 단류선 밀도의 그라디언트로부터 계산된 겹침 인덱스는 겹침 결함을 모니터링하는데 이용될 수 있다. 단류선 밀도, 단류선의 치밀성, 단류선 겹침 결함 행렬, 겹침 인덱스 등은 처리 유닛(330)에 의해 모두 정량화가 가능하며, 정량화된 각종 지표는 가까운 장래에 금속 및 비금속 성형 분야에서 핫이슈가 될 공정 설계 최적화 문제를 공식화하는데 사용될 수 있다.
- [0089] 도 2에 도시된 획득 유닛(100)는 수학 모델(공정설계와 해석 인자 포함)을 이용해서 대상물(210)의 소성가공을 시뮬레이션할 수 있다. 이때, 단류선 함수는 획득 유닛(100)에 의해 이루어진 시뮬레이션을 통해 획득될 수 있다.
- [0090] 처리 유닛(330)는 정량화된 치밀성(단류선 밀도) 또는 단류선 함수를 이용하여 정량화된 겹침 인덱스를 획득 유닛(100)로 전달할 수 있다.
- [0091] 획득 유닛(100)는 처리 유닛(330)로부터 전달받은 치밀성(단류선 밀도) 또는 겹침 인덱스를 이용해서 수학 모델을 수정하거나, 시뮬레이션에 적용되는 각종 인자를 수정할 수 있다.
- [0092] 획득 유닛(100)는 수정된 수학 모델 또는 수정된 인자가 반영된 시뮬레이션을 통해 새로운 단류선 함수를 획득하고, 제1 유닛(310) 및 제2 유닛(320)로 전달할 수 있다.
- [0093] 제1 유닛(310) 및 제2 유닛(320)는 새롭게 전달받은 단류선 함수를 이용해서 단류선 밀도와 겹침 인덱스를 산출할 수 있다.
- [0094] 처리 유닛(330)는 새롭게 산출된 단류선 밀도와 겹침 인덱스를 이용해서 새로운 단류선의 치밀성, 새로운 겹침 결함을 정량화할 수 있다. 처리 유닛(330)는 새롭게 정량화된 치밀성 또는 겹침 결함을 다시 획득 유닛(100)로 전달할 수 있다.
- [0095] 이상의 과정은 치밀성 및 겹침 결함이 설정값을 만족할 때까지 반복될 수 있다.
- [0096] 획득 유닛(100)는 시뮬레이션에 적용되는 복수의 수학 모델을 분석하여 개선한 후 대상물(210)의 소성가공을 다시 시뮬레이션할 수 있다.
- [0097] 일 예로, 처리 유닛은 복수의 절점 중 제1 설정값을 만족하는 치밀성을 갖는 제1 오류 정보 또는 제1 개선 정보를 획득 유닛으로 전달할 수 있다. 또는 처리 유닛은 복수의 절점 중 제2 설정값을 만족하는 겹침 결함을 갖는 제2 오류 정보 또는 제2 개선 정보를 획득 유닛으로 전달할 수 있다.
- [0098] 획득 유닛은 제1 오류 정보 또는 제1 개선 정보, 제2 오류 정보 또는 제2 개선 정보를 분석해서, 수정이 요구되는 대상물의 오류 예상 위치 또는 개선 예상 위치를 파악하며,
- [0099] 획득 유닛은 시뮬레이션에 적용되는 복수의 수학 모델 중 오류 예상 위치, 개선 예상 위치와 관련된 수학 모델을 수정한 후 대상물의 소성가공을 다시 시뮬레이션할 수 있다.
- [0100] 이하에서는, 단류선 함수의 획득 과정을 구체적으로 살펴본다.
- [0101] 도 10은 시뮬레이션 수단에 의해 설정된 절점을 나타낸 개략도이다.
- [0102] 시뮬레이션 수단은 획득 유닛(100)와 별도로 마련되거나 일체로 마련될 수 있다.
- [0103] 일 예로, 획득 유닛(100)는 설정부(110), 추적부(130), 변형부(150)를 포함할 수 있다.
- [0104] 설정부(110)는 대상물(210)에 가상의 절점을 설정할 수 있다.
- [0105] 대상물(210)에 절점이 설정되면 각 절점으로 연결되는 특정한 크기를 갖는 한정된 수의 요소로 연속체(continum)인 대상물(210)을 이산화시킬 수 있다.
- [0106] 설정된 가공 환경에서 소성가공되는 대상물(210)의 소성 변형을 변형부(150)를 통해 모의할 때, 추적부(130)는 각 절점의 위치 변화를 변형부(150)의 구동이 완료될 때까지 지속적으로 감시하고 구동이 완료된 시점에서 각

절점의 초기 위치를 파악함으로써 유동 상태를 생성할 수 있다. 이때의 유동 상태도가 단류선 함수에 해당할 수 있다.

- [0107] 도 10은 소성가공 공정 해석 목적의 초기 요소망(이하 해석 요소망)을 나타내고 있다. 설정부(110)는 해석 요소망을 구성하는 절점 i 에 절점의 초기 좌표 (x_i, y_i, z_i) 를 고정적으로 포함시킬 수 있다. x 좌표, y 좌표, z 좌표 중의 하나의 좌표값이 동일한 등가선을 그리면, 도 4에서 보는 바와 같은 등가선, 즉, 초기의 단류선을 나타내는 초기의 단류선 또는 유동 선도(유동 상태도)를 얻게 된다. 이때 초기의 소성 유동 선도는 선택값 또는 선택 조건에 해당할 수 있다.
- [0108] 두 좌표값이 동일한 선을 그리면 3차원 공간상의 소성 유동선(가상선)이 되며, 동일한 좌표값을 가진 면을 그리면, 즉 등고면을 그리면 삼차원 소성 유동면(가상면)이 된다. 그리고 도 9에서 보는 바와 같이, 임의의 단면에서도 등가선을 작성하여 원하는 단류선 또는 유동 선도를 작성할 수도 있다. 참고로, r 좌표, θ 좌표, z 좌표 $(x=r\cos\theta, y=r\sin\theta, z=z)$ 를 기준으로 소성 유동 선도를 그릴 수도 있으며, 등가선 수의 변경은 자유자재로 할 수 있다.
- [0109] 뿐만 아니라 초기의 평면 또는 곡면 상에서 설정된 점을 중심으로 하는 원 또는 곡선의 변형 과정도 동일한 방법으로 추적이 가능하다.
- [0110] 등가선은 면상의 선분을 연결하는 직선 및 곡선뿐만 아니라 평면 상에서의 원과 같은 폐곡선도 포함하는 의미로 사용될 수 있다.
- [0111] 등가선은 3차원 등가선과 등가면을 포함하는 의미로 사용될 수 있다.
- [0112] 절점 초기 좌표의 초기치를 그대로 유지한 상태에서 각 좌표를 유효 변형률과 같은 상태 변수로 취급하여 수치 해석에 적용시키면, 요소망 재구성(절점의 재설정)에 상관없이 단류선 또는 유동 선도의 추적이 가능하다. 물론 절점의 초기 좌표가 일정하기 때문에 요소망 재구성이 실시되지 않은 해석 스텝에서 절점의 초기 좌표의 변경 및 계산은 불필요하다.
- [0113] 도 11은 시뮬레이션 수단에 의해 생성된 유동 선도를 나타낸 개략도이다. 도 12는 설정부(110)에 의해 설정된 절점의 정보를 나타낸 개략도이고, 도 13은 절점 초기 좌표가 생성되는 제1 시점을 나타낸 개략도이다.
- [0114] 도 11에는 설명의 편의를 위해 8개의 절점 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧이 설정된 것으로 표시하였으나, 이외에도 무수히 많은 절점이 존재할 수 있다.
- [0115] 도 11에서 설정부(110)는 각 절점에 대해 아래와 같이 제1 시점 t_1 에서의 절점 초기 좌표를 고정값으로 포함시킬 수 있다.
- [0116] 절점 ① : 절점 ①의 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_1)
- [0117] 절점 ② : 절점 ②의 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_2)
- [0118] 절점 ③ : 절점 ③의 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_3)
- [0119] 절점 ④ : 절점 ④의 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_4)
- [0120] 절점 ⑤ : 절점 ⑤의 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_5)
- [0121] 절점 ⑥ : 절점 ⑥의 절점 초기 좌표 (x_1, y_1, z_5)
- [0122] 절점 ⑦ : 절점 ⑦의 절점 초기 좌표 (x_3, y_1, z_5)
- [0123] 절점 ⑧ : 절점 ⑧의 절점 초기 좌표 (x_4, y_1, z_5)
- [0124] 각 절점 ① 내지 ⑧에는 도 12에 도시된 좌표 정보 ㉖, 절점 초기 좌표를 포함한 특성 정보 ㉗가 포함될 수 있다. 일 예로, 절점 ①에는 절점 ①을 나타내는 좌표 정보 ㉖로 (x_2, y_1, z_1) 이 포함되며, 절점 ①의 특성 정보 ㉗로 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_1) , 압력 P_1 , 온도 T_1 등이 포함될 수 있다.
- [0125] 절점 초기 좌표는 제1 시점 t_1 에서의 각 절점의 좌표 정보이므로, 제1 시점 t_1 에서 각 절점의 좌표 정보 ㉖와 특

성 정보 ②에 포함된 절점 초기 좌표는 동일한 값을 가질 수 있다. 절점 초기 좌표는 시점과 상관없이 고정된 값일 수 있다. 예를 들어 도 12와 같이 t_2 시점에서 절점 ①의 좌표 정보 ⑤가 (x_a, y_b, z_c) 로 변경되더라도 절점 ①의 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_1) 은 원래의 값을 그대로 유지할 수 있다.

- [0126] 제1 시점은 변형부(150)의 구동 전 또는 구동 개시 시점일 수 있다. 경우에 따라 제1 시점은 변형부(150)의 구동 중간의 한 시점이어도 무방하다.
- [0127] 한편, 각 절점에는 복수의 절점 초기 좌표가 포함될 수 있다. 이 경우 각 절점 초기 좌표의 제1 시점은 도 13에 도시된 $t_{1a}, t_{1b}, t_{1c}, t_{1d}, t_{1e}$ 와 같이 서로 다른 시점일 수 있다. 도 13의 경우 제1 시점이 총 5개 존재하므로, 5개의 절점 초기 좌표가 각 절점에 포함될 수 있다.
- [0128] 제2 시점에서 추적부(130)에 의해 생성되는 유동 상태도는 제2 시점 이전의 제1 시점 대상물(210)이 제2 시점에서 어떻게 변형되었는지를 나타내는 것이므로, 제1 시점이 복수로 설정된 경우 예를 들어 t_{1a} 부터 제2 시점까지의 유동 상태도, t_{1b} 부터 제2 시점까지의 유동 상태도, t_{1c} 부터 제2 시점까지의 유동 상태도, t_{1d} 부터 제2 시점까지의 유동 상태도, t_{1e} 부터 제2 시점까지의 유동 상태도 등이 획득될 수 있다.
- [0129] 설정부(110)에서 대상물(210)에 대해 복수의 절점을 설정하고, 각 절점에 절점 초기 좌표를 고정값으로 포함시킨 경우, 제2 시점에서 추적부(130)는 복수의 절점 중 선택된 절점 초기 좌표를 포함하는 선택 절점을 추출할 수 있다. 추적부(130)는 추출된 선택 절점을 연결시키는 유동 상태도 또는 단류선 함수를 생성할 수 있다.
- [0130] 선택 절점은 복수의 절점 중 선택값 또는 선택 기준과 매칭되는 절점 초기 좌표를 포함하는 절점일 수 있다. 선택값 또는 선택 기준은 임의로 설정될 수 있다. 예를 들어 선택값이 $(x_2, y_1, ?)$ 이면, 추적부(130)는 도 11의 제1 시점 t_1 이후의 제2 시점 t_2 에서 대상물(210)에 포함된 모든 절점을 분석할 수 있다. 추적부(130)는 각 절점에 포함된 절점 초기 좌표와 선택값 $(x_2, y_1, ?)$ 을 비교하고, 선택값과 매칭되는 절점 초기 좌표 (x_2, y_1, z_1) 을 갖는 절점 ①, (x_2, y_1, z_2) 를 갖는 절점 ②, (x_2, y_1, z_3) 를 갖는 절점 ③, (x_2, y_1, z_4) 를 갖는 절점 ④, (x_2, y_1, z_5) 를 갖는 절점 ⑤을 선택 절점으로 추출할 수 있다. 이렇게 추출된 5개의 선택 절점 ①, ②, ③, ④, ⑤를 이용하여 추적부(130)는 유동 상태도를 생성할 수 있다. 예를 들어 추적부(130)는 선택 절점 ①, ②, ③, ④, ⑤를 자유도가 부여된 좌표 z 의 크기 순서대로 연결하는 가상선 또는 가상면으로 유동 상태도 k 를 생성할 수 있다. 이때의 가상선 또는 가상면은 대상물(210)의 외곽선 내에 형성될 수 있다.
- [0131] 다른 예로 선택값이 $(?, y_1, z_5)$ 이면, 추적부(130)는 각 절점에 포함된 절점 초기 좌표와 선택값 $(?, y_1, z_5)$ 을 비교하고, 선택값과 매칭되는 절점 초기 좌표 (x_1, y_1, z_5) 를 갖는 절점 ⑥, (x_2, y_1, z_5) 를 갖는 절점 ⑤, (x_3, y_1, z_5) 를 갖는 절점 ⑦, (x_4, y_1, z_5) 를 갖는 절점 ⑧을 선택 절점으로 추출할 수 있다. 이렇게 추출된 4개의 선택 절점 ⑥, ⑤, ⑦, ⑧을 이용하여 추적부(130)는 유동 상태도 g 를 생성할 수 있다.
- [0132] 이상의 구성에 따르면 추적부(130)는 변형부(150)의 구동 과정 중, 다시 말해 소성 변형 과정에서 각 절점을 추적할 필요가 없다. 즉, 추적부(130)는 대상물(210)의 변형 과정에서 비구동되고 대상물(210)의 변형이 완료된 후에 구동되어도 무방하다. 다른 관점에서 추적부(130)가 제1 시점 이후의 제2 시점에서 구동되는 것으로 볼 수도 있다. 또한, 추적부(130)는 제2 시점의 대상물(210)에 포함된 모든 절점을 분석하고, 선택값 또는 선택 조건에 매칭하는 선택 절점을 추출하면 충분하다. 경우에 따라 선택 절점을 연결하는 가상선 또는 가상면을 생성하는 기능을 추적부(130)에 포함시킬 수도 있다.
- [0133] 이에 따르면 추적부(130)의 구성을 간소화시킬 수 있으며 추적부(130)의 부하를 크게 경감시킬 수 있다. 또한 정확한 유동 상태도를 획득할 수 있다.
- [0134] 또한, 변형부(150)를 재구동시킬 필요없이 변형이 완료된 대상물(210)의 절점을 분석하는 것으로 다양한 선택값 또는 선택 조건을 만족하는 다양한 단류선 함수 또는 유동 상태도를 획득할 수 있다.
- [0135] 획득된 단류선 함수는 제1 유니트(310) 또는 제2 유니트(320)로 제공될 수 있다.
- [0136] 도 14는 본 발명의 정량화 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0137] 본 발명의 정량화 방법은 획득 단계(S 510), 제1 산출 단계(S 520), 제2 산출 단계(S 530), 처리 단계(S 540), 수정 단계(S 550)를 포함할 수 있다.

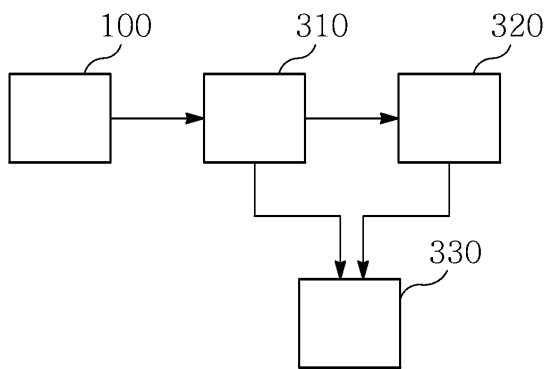
- [0138] 획득 단계(S 510)는 소성가공되는 대상물(210)에 설정된 복수의 절점의 초기 좌표값을 이용하여 동일한 초기 좌표값을 갖는 선분 또는 곡선들을 연결하는 단류선 함수(grain flow function)를 획득할 수 있다. 일 예로, 획득 단계(S 510)는 복수의 절점에서 저장하고 있는 초기 좌표값을 이용하여 단류선 함수를 획득할 수 있다. 획득 유닛(100)에 의해 이루어지는 동작으로, 단류선 함수는 대상물(210)의 이미지 상에 등가선으로 표시될 수 있다.
- [0139] 제1 산출 단계(S 520)는 단류선 함수의 그라디언트(gradient)를 산출할 수 있다. 제1 유닛(310)에 의해 이루어지는 동작으로, 단류선 함수의 그라디언트에 해당하는 단류선 밀도는 단류선의 치밀성을 파악하는데 이용될 수 있다.
- [0140] 제2 산출 단계(S 530)는 단류선 함수의 그라디언트의 그라디언트를 산출할 수 있다. 제2 유닛(320)에 의해 이루어지는 동작으로, 제2 유닛(320)는 단류선 밀도의 그라디언트로부터 계산되는 겹침 인덱스를 산출할 수 있다. 산출된 겹침 인덱스는 겹침 결함을 파악하는데 이용될 수 있다.
- [0141] 필요한 경우, 제2 산출 단계는 단류선 함수의 그라디언트를 정규화한 다음 정규화된 단류선 함수의 그라디언트를 다시 그라디언트 연산할 수 있다.
- [0142] 처리 단계(S 540)는 제1 산출 단계의 결과 또는 제2 산출 단계의 결과를 이용해서 대상물(210)의 단류선 특성을 정량화할 수 있다. 처리 유닛(330)에 의해 이루어지는 단계로, 처리 유닛(330)는 단류선 밀도를 캘리브레이션하여 단류선의 치밀성을 정량화할 수 있다. 처리 유닛(330)는 겹침 인덱스를 캘리브레이션하여 겹침 결함을 정량화할 수 있다.
- [0143] 처리 유닛(330)는 정량화된 단류선의 각종 특성을 디스플레이를 통해 표시하거나, 최적설계를 위한 시뮬레이션 수단으로 전달할 수 있다. 시뮬레이션 수단으로 전달된 단류선 특성은 소성가공 시스템의 설계에 자동으로 반영될 수 있다.
- [0144] 수정 단계(S 550)는 처리 단계 이후에 이루어지는 동작일 수 있다. 수정 단계는 별도의 시뮬레이션 수단 또는 획득 유닛(100)에 의해 이루어질 수 있다.
- [0145] 수정 단계(S 550)는 대상물(210)의 소성가공을 시뮬레이션하는 시뮬레이션 수단의 수학 모델을 정량화된 대상물(210)의 단류선 특성을 이용해서 수정할 수 있다.
- [0146] 이후, 획득 단계(S 510)는 수정 단계(S 550)에서 수정된 수학 모델이 반영된 재 시뮬레이션을 통해 새롭게 수정된 단류선 함수를 획득할 수 있다. 이후, 제1 산출 단계, 제2 산출 단계, 처리 단계, 수정 단계가 반복적으로 수행되며, 해당 반복 동작은 정량화된 대상물(210)의 단류선 특성이 설정값을 만족할 때까지 수행될 수 있다.
- [0147] 이상에서 본 발명에 따른 실시예들이 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 범위의 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 다음의 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

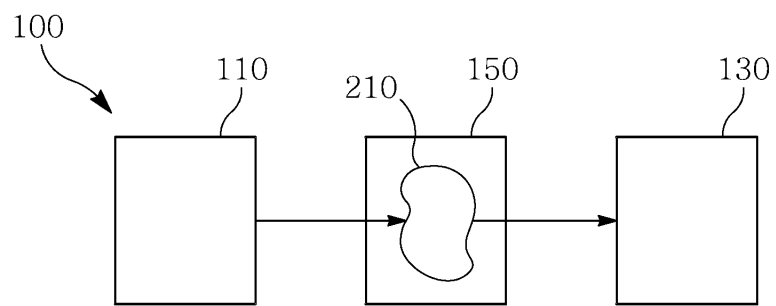
- [0149]
- | | |
|-------------|-------------|
| 110...설정부 | 130...추적부 |
| 150...변형부 | 210...대상물 |
| 100...획득 유닛 | 310...제1 유닛 |
| 320...제2 유닛 | 330...처리 유닛 |

도면

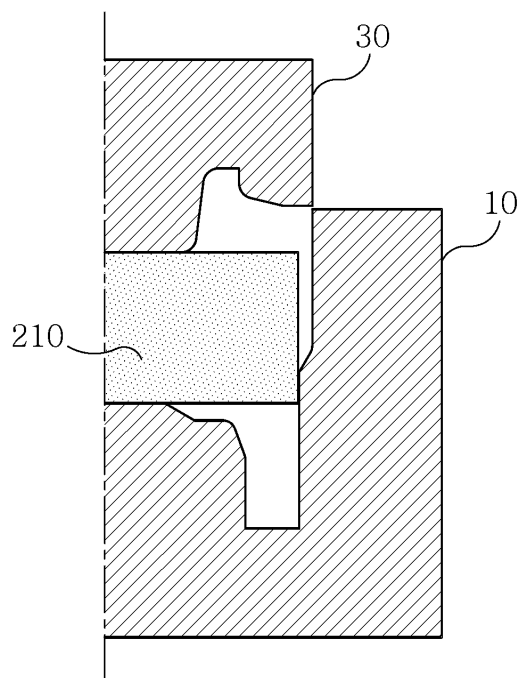
도면1



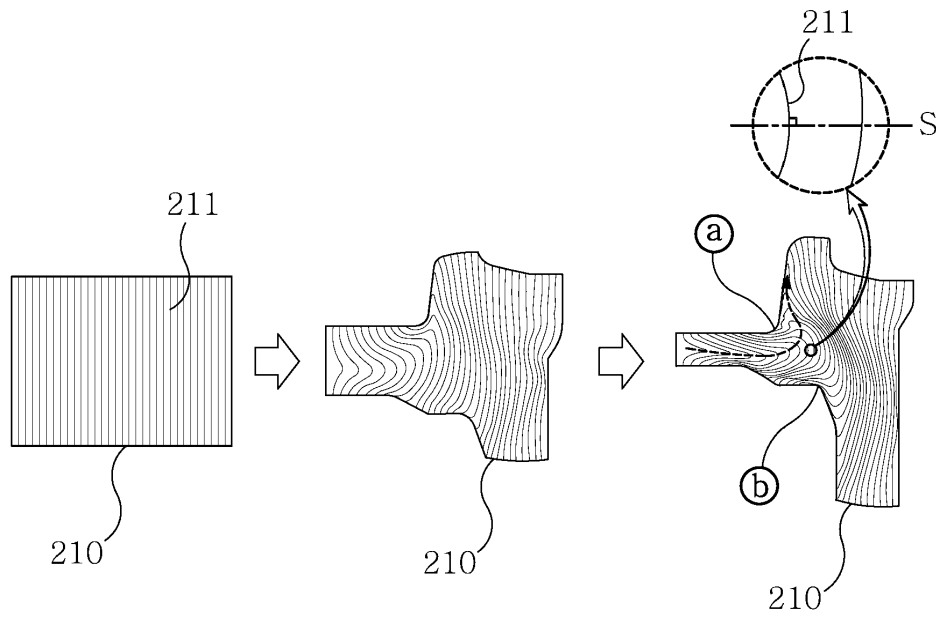
도면2



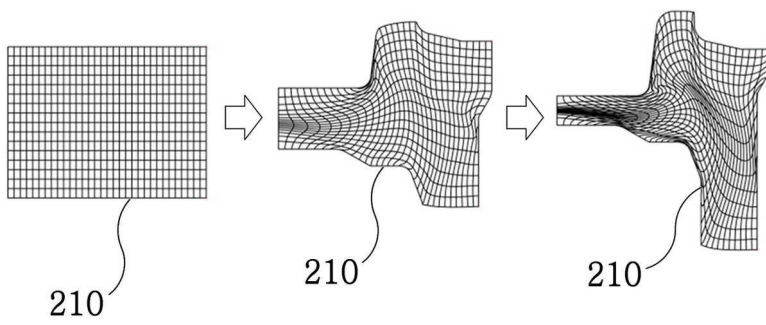
도면3



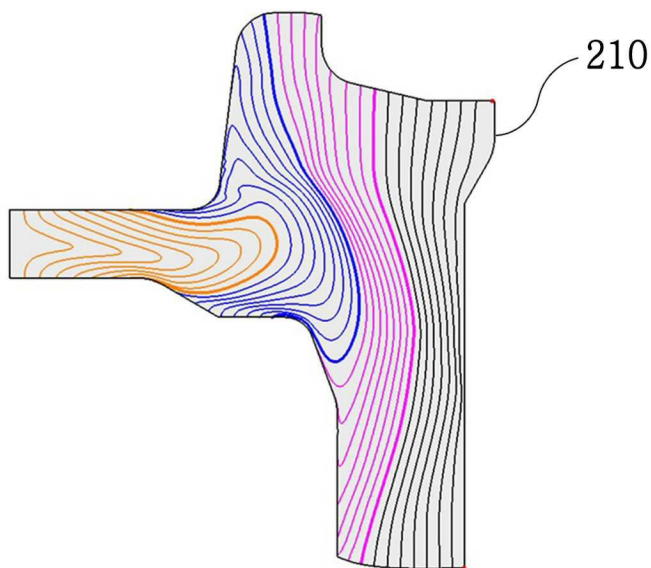
도면4



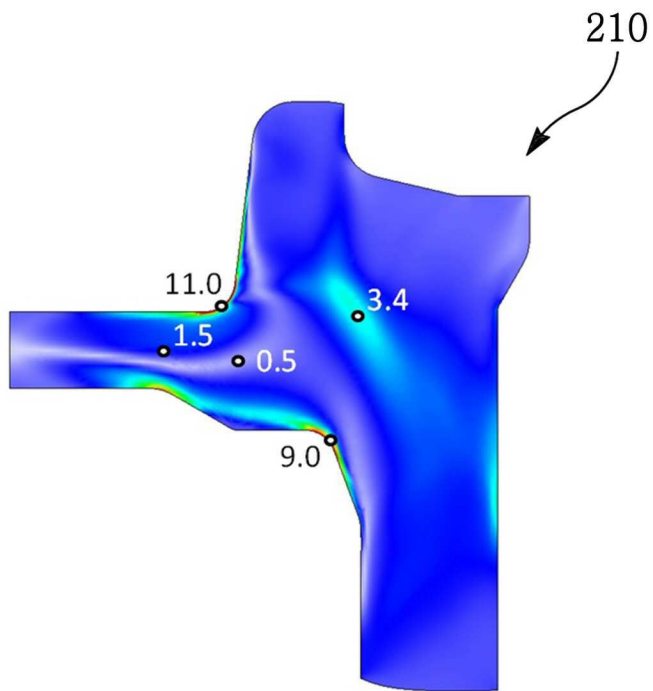
도면5



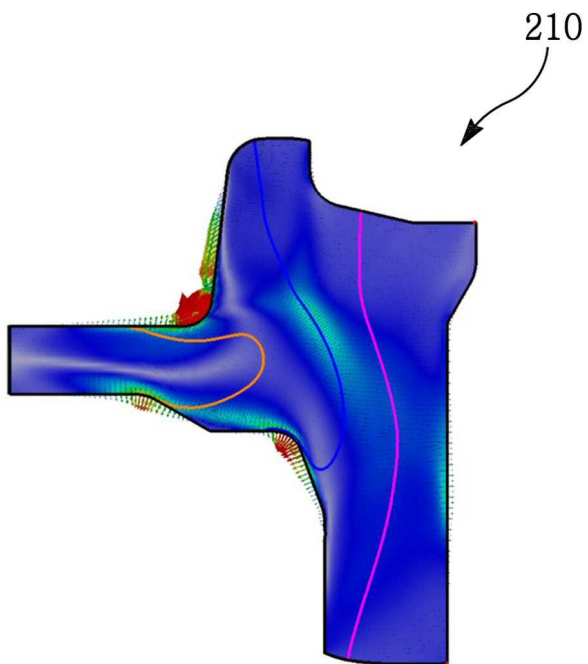
도면6



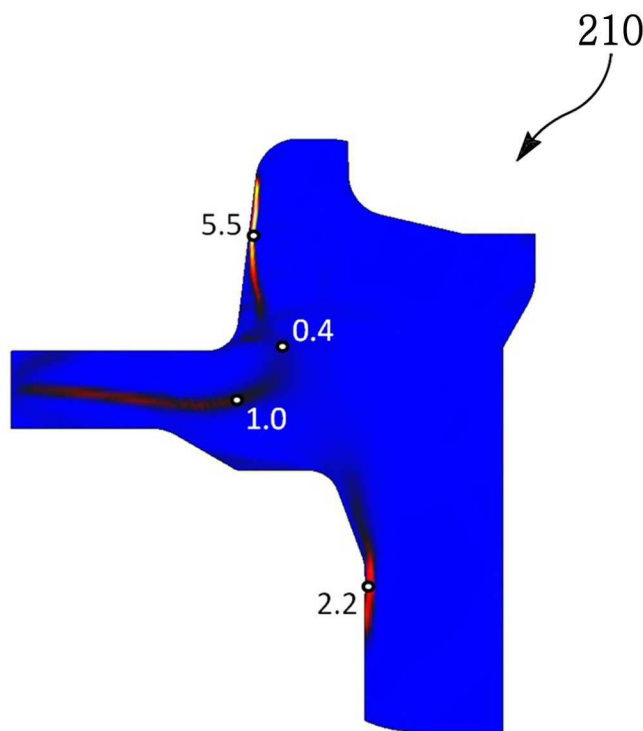
도면7



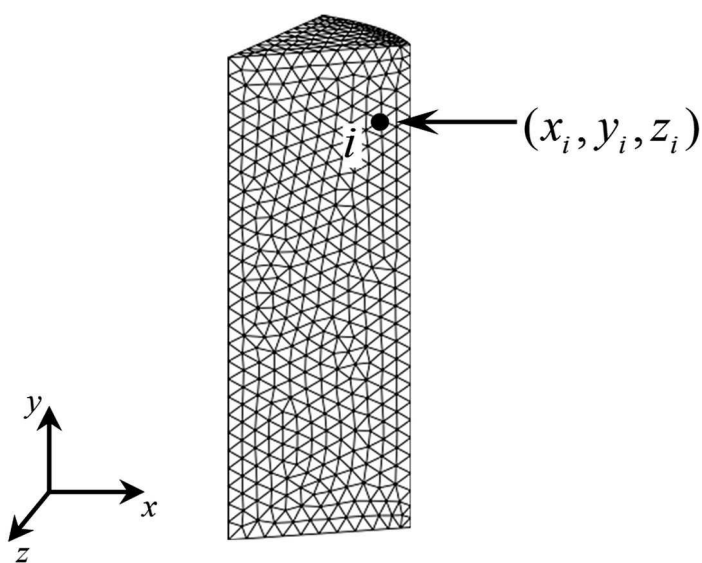
도면8



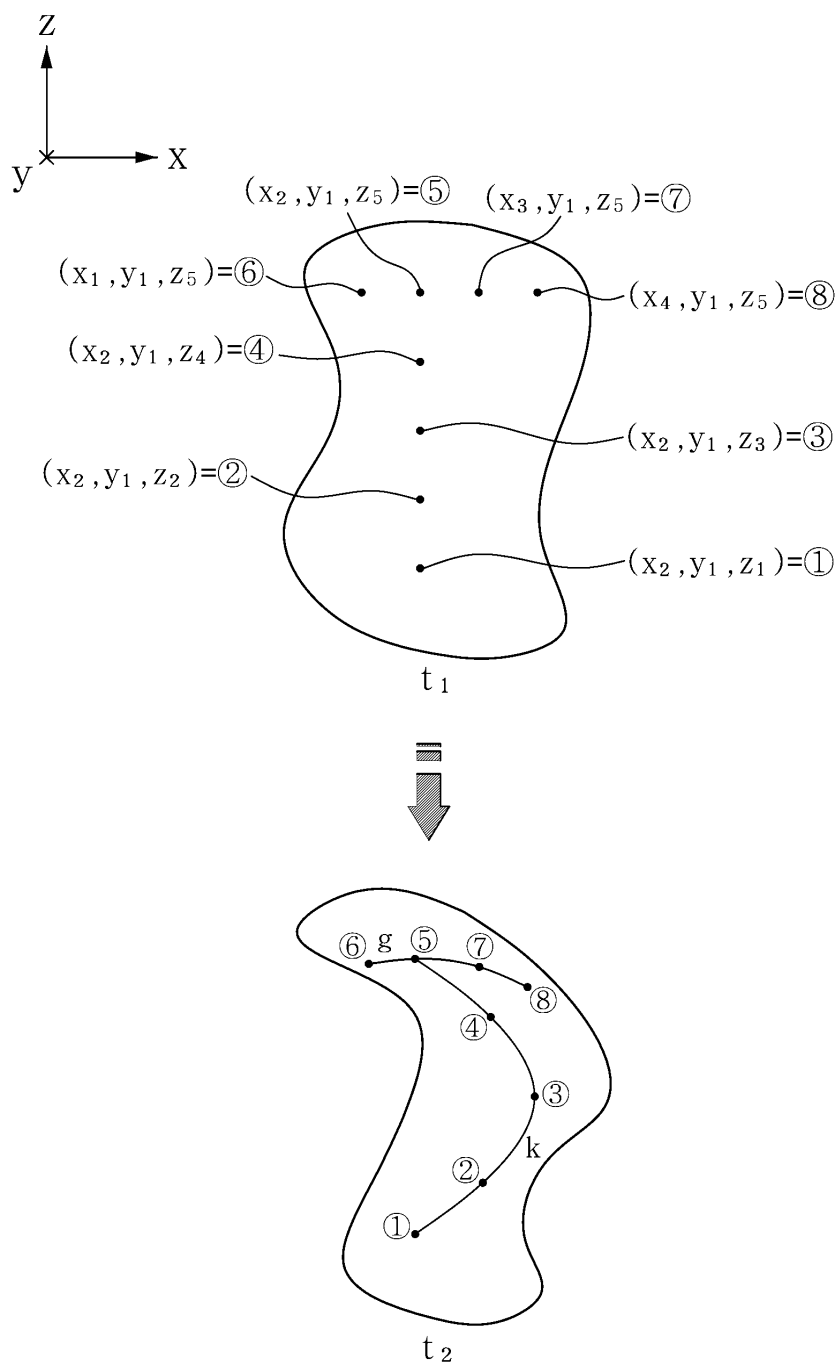
도면9



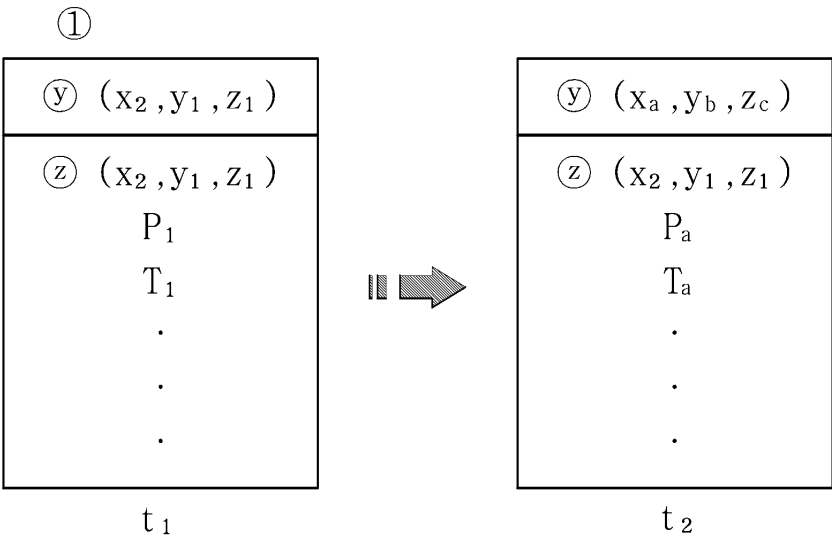
도면10



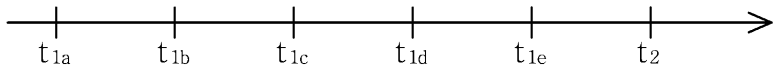
도면11



도면12



도면13



도면14

