



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0037037
(43) 공개일자 2020년04월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/00 (2020.01)

(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 2111/10 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2018-0116658

(22) 출원일자 2018년09월29일
심사청구일자 2018년09월29일

(71) 출원인

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

전만수

경상남도 진주시 사들로 13(충무공동, 혁신도시엘
에이치아파트9단지) 901동 1005호

정석환

서울특별시 강남구 선릉로69길 19 역삼래미안아파
트 105동 401호

유재동

경상남도 창원시 의창구 동읍 동읍로224번길
12-12

(74) 대리인

특허법인 태웅

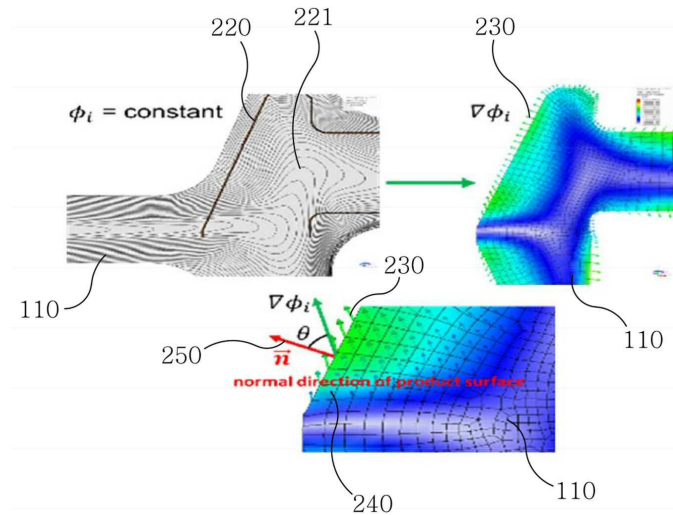
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 절단 지수를 이용한 단류선 정량화 방법

(57) 요약

본 발명의 단류선 정량화 방법은, 대상물에 가상으로 설정된 복수의 절점들의 초기 좌표값을 저장하고, 상기 대상물의 소성 변형시 상기 초기 좌표값이 동일한 지점들을 연결한 선분 또는 곡선을 단류선으로 파악하며, 상기 대상물의 입자의 위치별로 상기 단류선을 대응시킨 단류선 함수를 산출하고, 상기 단류선 함수의 그라디언트 또는 단류선 밀도 벡터 함수를 산출하며, 상기 단류선 함수의 그라디언트 또는 단류선 밀도 벡터 함수로부터 산출되는 단류선 절단 지수를 이용하여 상기 대상물의 내구성을 정량화한다.

대표도 - 도2



명세서

청구범위

청구항 1

대상물에 가상으로 설정된 복수의 절점들의 초기 좌표값을 저장하고,
상기 대상물의 소성 변형시 상기 초기 좌표값이 동일한 지점을 연결한 선분 또는 곡선을 단류선으로 파악하며,
상기 대상물의 입자의 위치별로 상기 단류선을 대응시킨 단류선 함수를 산출하고,
상기 단류선 함수의 그래디언트 또는 단류선 밀도 벡터 함수를 산출하며,
상기 단류선 함수의 그래디언트 또는 단류선 밀도 벡터 함수로부터 산출되는 단류선 절단 지수를 이용하여 상기 대상물의 내구성을 정량화하는 단류선 정량화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 단류선 절단 지수가 작을수록 상기 대상물의 내구성이 증가되는 단류선 정량화 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 단류선 절단 지수는 상기 단류선 함수의 그래디언트 또는 상기 단류선 밀도 벡터 함수가 상기 대상물의 표면과 이루는 각도에 비례하는 단류선 정량화 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 단류선 절단 지수는 상기 단류선 함수의 그래디언트의 크기 또는 상기 단류선 밀도 벡터 함수의 크기에 비례하는 단류선 정량화 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 단류선 절단 지수(cutting index)는 다음의 수학적식

$$\text{cutting index} = |\nabla \phi_i| \sin \theta$$

으로 산출되고,

상기 ϕ 는 상기 단류선 함수이며,

상기 첨자 i 는 상기 각 절점의 번호이고,

상기 ∇ 는 구배(그래디언트) 연산자이며,

상기 θ 는 상기 대상물의 법선 벡터와 상기 단류선 밀도 벡터 함수 또는 상기 단류선 함수의 그래디언트가 이루는 각도인 단류선 정량화 방법.

발명의 설명

기술 분야

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

배경 기술

[0002] 단조 공정은 자동차 부품과 같이 고부하가 걸리고 고내구성을 필요로 하는 부품의 대량 생산을 위해 다양한 분야에 적용되고 있다. 최적화된 단조 공정은 자동차, 선박, 중장비 등의 산업분야의 경쟁력을 결정짓는 대단히 중요한 공법이다.

[0003] 근래에는 자동차 경량화와 같은 이슈에 대응하기 위해 고강도 알루미늄과 같은 경량 소재를 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 단조품의 경쟁력 향상을 위한 공정 최적화의 필요성이 더욱 중요해지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은, 절단 지수(Cutting index)를 제안하며, 이를 이용하여 단류선(metal flow lines)이 국부적으로 단절되는 불량 정도를 정량화하는 단류선 정량화 방법이다.

[0005] 본 발명에 따르면, 단류선의 최적 방향 유도가 단조품의 수명과 직결되기 때문에 단류선의 방향을 고려한 단조 공정 최적화 설계가 가능함을 밝혔다.

[0006] 종래에 공정 설계자의 경험에 의존하던 것을 정량화된 최적화 방법으로 개선하여 단조품의 경쟁력을 개선하고 새로운 단류선의 정량화 기술을 제시하였다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 단류선 정량화 방법은, 대상물에 가상으로 설정된 복수의 절점들의 초기 좌표값을 저장하고, 상기 대상물의 소성 변형시 상기 초기 좌표값이 동일한 지점을 연결한 선분 또는 곡선을 단류선으로 파악하며, 상기 대상물의 입자의 위치별로 상기 단류선을 대응시킨 단류선 함수를 산출하고, 상기 단류선 함수의 그라디언트 또는 단류선 밀도 벡터 함수를 산출하며, 상기 단류선 함수의 그라디언트 또는 단류선 밀도 벡터 함수로부터 산출되는 단류선 절단 지수를 이용하여 상기 대상물의 내구성을 정량화할 수 있다.

[0008] 상기 단류선 절단 지수가 작을수록 상기 대상물의 내구성이 증가될 수 있다.

[0009] 상기 단류선 절단 지수는 상기 단류선 함수의 그라디언트 또는 상기 단류선 밀도 벡터 함수가 상기 대상물의 표면과 이루는 각도에 비례할 수 있다.

[0010] 상기 단류선 절단 지수는 상기 단류선 함수의 그라디언트의 크기 또는 상기 단류선 밀도 벡터 함수의 크기에 비례할 수 있다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 따르면 정량화된 단류선 특성으로서 제안되는 절단 지수를 보고 대상물의 결합 요소를 계량적으로 파악할 수 있다.

[0012] 수치화된 단류선 특성인 절단 지수를 이용해서 각종 후처리 공정이 가능한 장점이 있다.

[0013] 일 예로, 절단 지수를 이용해서 기존 소성가공 설계의 문제점을 파악하고, 해당 문제점을 개선해서 소성가공 설계를 자동으로 수정하는 자동 최적설계 시스템이 구현될 수 있다.

[0014] 절단 지수를 요소로 이용해서, 최적 설계 목적 함수의 적절성이 보장될 수 있다.

[0015] 본 발명은 단류선 또는 입자 흐름 기능을 도입한다. 단류선 또는 입자 유동선은 유한 요소 해석 중에 변형된 재료의 절점의 초기 좌표에 의해 정의될 수 있고, 단류선 또는 입자 유동 함수의 등고선으로 표현될 수 있다.

[0016] 단류선 밀도 또는 입자 흐름 밀도를 평가하기 위해 단류선 함수를 제시한다. 단류선 함수의 그라디언트인 단류선 밀도를 제시한다. 단류선 밀도로부터 정량화되는 절단 지수를 제시한다.

[0017] 절단 지수는 단조품의 내구성이나 단류선의 단절 위험도를 정량화할 수 있는 수단이 된다. 절단 지수를 산출하

고 이를 설정값과 비교하면, 단류선 또는 입자 흐름의 국부적인 단절 결함을 방지할 수 있다.

[0018] 입자 흐름의 국부적인 단절 결함이 형성되는 것을 방지하기 위하여 절단 지수가 요소로 채용된 최적화 설계용 목적 함수가 제안된다.

[0019] 최적화 설계용 목적 함수의 요소로서 단류선 함수, 단류선 밀도, 절단 지수 등이 사용되며, 소성 공정의 최적 설계 방법이 제시된다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1 내지 도 8은 본 발명의 절단 지수 및 최적 공정 설계 과정을 설명한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명은 단류선을 정량화하기 위해 단류선 함수, 단류선 밀도, 절단 지수(Cutting Index)를 제시한다.

[0022] 단류선 함수는 단류선의 특성을 평가하기 위하여 단류선 분포를 함수로 취급하는 개념이다. 단류선 밀도는 단류선의 밀집 정도를 평가하는 개념이다. 절단 지수는 단류선 밀도 벡터 함수를 계산 요소로 이용하고, 단류선이 절단된 정도를 정량화하는 새로운 개념이다.

[0023] 대상물(110)은 단조, 열간 압연, 인발, 압출 등의 소성 가공에 의해 제조되며, 소성 가공 공정에서 대상물(110)의 각 입자는 신축될 수 있다. 이러한 소성 변형의 히스토리를 살펴볼 때, 단조 중에 마크가 많이 변하지 않는 방향성 단류선을 형성할 수 있다. 이 마크는 단류선 또는 금속 입자의 유동선으로서 시각화될 수 있다.

[0024] 단류선은 소성가공 시뮬레이션 방법에 의해 예측될 수 있다. 경험이나 측정에 의존하지 않을 수 있다. 단류선의 정량화는 단조 시뮬레이터와 함께 공정 설계 최적화를 실현하는 필수 요소이다.

[0025] 단류선의 그라디언트이자 벡터 함수인 단류선 밀도와, 이로부터 산출된 절단 지수는 단류선의 품질을 평가하는데 이용될 수 있다.

[0026] 본 발명에서 정의하는 단류선 함수(grain flow function)는 소성가공되는 대상물(110)에 가상으로 설정된 복수의 절점에서 계산될 수 있다. 각 절점들의 초기 좌표값은 저장되어 있고, 소성 변형 후에 동일 초기 좌표값을 갖는 지점을 찾아서 연결하면 선분 또는 곡선이 되며, 이러한 선분 또는 곡선이 단류선 또는 금속 입자의 유동선이 될 수 있다. 이때, 각 좌표마다 단류선을 대응시키면 단류선은 함수로 취급될 수 있고, 이를 단류선 함수로 정의한다.

[0027] 단류선 함수는 대상물(110)을 소성가공하거나 성형한 후 절단면에 나타나는 입자의 흐름 또는 가상의 선 또는 면의 변형을 형상화한 것으로, 대상물(110)의 이미지 상에 단류선 함수의 등가선으로 표시될 수 있다. 등가선은 소성 변형 전에 동일한 초기 좌표값을 가졌던 점들이 연결된 것일 수 있다.

[0028] 한편, 단류선 밀도(grain flow density)는 벡터함수이며, 단류선 함수의 구배 또는 단류선 함수의 그라디언트(gradient)에 해당한다. 단류선 밀도를 이용해서 단류선의 치밀성을 정량화할 수 있다.

[0029] 단류선 함수의 그라디언트 결과에 해당하는 단류선 밀도의 크기는 등가선의 법선 방향에 대한 그라디언트 값일 수 있다. 따라서, 단류선 밀도의 크기값은 단류선 또는 등가선의 치밀한 정도를 나타낼 수 있다.

[0030] 단류선 밀도 벡터 함수를 단류선의 치밀성, 즉 단류선 밀도를 나타내는 수치로 이용할 수 있다. 단류선의 밀도는 단류선 함수를 선으로 표시한 등가선 간의 간격이 좁아지거나 넓어지는 것을 나타낼 수 있다. 단류선의 밀도를 정량화하면 대상물(110)의 소성 가공 품질을 판단하는데 이용될 수 있다.

[0031] 시뮬레이션을 통해 변형된 대상물(110)의 초기 절점 좌표는 유한요소해석에 의해 계산될 수 있다. 리메싱(remeshing)이 발생하지 않은 경우, 시뮬레이션 단계에서 절점의 초기 좌표는 소성 변형으로 인한 대상물(110)의 시뮬레이션 초기 단계에서의 절점의 좌표이다. 리메싱의 경우, 리메싱된 대상물(110)의 절점 초기 좌표는 절점의 속도와 동일한 방식으로 계산되거나 매핑될 수 있다.

[0032] 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 제품 품질이 나쁘고, 해당 영역의 단류선 밀도 크기는 정상적인 영역에 비하여 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다.

[0033] 한편, 단류선 밀도의 크기가 설정값보다 큰 영역에는 단류선 균열이나 단류선 함몰이 발생할 수 있다.

- [0034] 따라서, 단류선 밀도의 크기가 특정 설정값보다 작거나 다른 설정값보다 크게 나타난 절점 또는 주변 영역은 공정 최적 설계 단계에서 불량 방지를 위한 조치가 필요하며, 안전 영역을 벗어나지 않도록 제한될 수 있다.
- [0035] 본 발명에 따르면, 단조된 대상물(110)의 품질에 영향을 미치는 단류선이 단류선 함수의 등가선에 의해 정의될 수 있다.
- [0036] 단류선 함수의 그래디언트로 정의되는 단류선 밀도 벡터함수는 단류선의 밀도(치밀성) 및 방향을 평가하는데 이용될 수 있다.
- [0037] 치밀성(단류선 밀도) 또는 절단 지수를 이용해서 수학 모델을 수정하거나, 시뮬레이션에 적용되는 각종 인자를 수정할 수 있다. 수정 갱신된 수학 모델 또는 수정 갱신된 인자가 반영된 새로운 시뮬레이션을 통해 새로 갱신된 단류선 함수를 획득할 수 있다. 새로 갱신된 단류선 함수를 이용해서 단류선 밀도와 절단 지수를 산출할 수 있다. 새롭게 산출된 단류선 밀도와 절단 지수를 이용해서 새로운 단류선의 치밀성, 새로운 절단 결함을 정량화할 수 있다. 새롭게 정량화된 치밀성 또는 절단 결함이 설정값을 만족할 때까지, 상기 절차가 반복될 수 있다.
- [0038] 다음은 시뮬레이션 과정을 대략적으로 설명한다. 대상물(110)에 가상의 절점을 설정할 수 있다. 대상물(110)에 절점이 설정되면 각 절점으로 연결되는 특정한 크기를 갖는 한정된 수의 요소로 연속체(continuum)인 대상물(110)을 이산화시킬 수 있다.
- [0039] 각 절점의 위치 변화를 지속적으로 감시하고 시뮬레이션 구동이 완료된 시점에서 각 절점의 초기 위치를 파악함으로써 유동 상태도를 생성할 수 있다. 이때의 유동 상태도가 단류선 함수에 해당할 수 있다.
- [0040] 소성가공 공정 해석을 위한 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, 초기의 단류선 또는 유동 선도(유동 상태도)를 얻게 된다. 이때 초기의 소성 유동 선도는 선택값 또는 선택 조건에 해당할 수 있다.
- [0041] 대상물(110)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, 복수의 절점에서 저장하고 있는 초기 좌표값을 이용하여 단류선 함수를 획득할 수 있다. 단류선 함수는 대상물(110)의 이미지 상에 등가선으로 표시될 수 있다.
- [0042] 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.
- [0043] 한편, 대상물(110)의 소성가공을 시뮬레이션하는 시뮬레이션 수단의 수학 모델을 정량화된 대상물(110)의 단류선 특성을 이용해서 수정할 수 있다. 이후, 수정된 수학 모델이 반영된 재 시뮬레이션을 통해 새롭게 수정된 단류선 함수를 획득할 수 있다. 이러한 단계들이 반복적으로 수행되며, 해당 반복 동작은 정량화된 대상물(110)의 단류선 특성이 설정값을 만족할 때까지 수행될 수 있다.
- [0044] 도 1 내지 도 8은 플랜지가 붙은 테이퍼 롤러 베어링의 열간 단조 공정을 예시하고 있으며, 응력 집중이 함몰부에서 많이 발생하는 단조물이 예시된다.
- [0045] 단조 공정에서 소성 유동선도, 즉 단류선이 국부적으로 단절되는 단류선 절단은 치명적인 설계 또는 생산 결함이다. 단류선 절단 결함은 단조품의 오목한 모서리(concave corner) 또는 급격한 형상 변화 부위에서 발생하며, 필연적으로 응력집중이 발생하기 때문에 매우 엄격하게 배제되어야 할 결함이다.
- [0046] 절단 결함은 대상물의 예비 형상의 적절한 설계를 통하여 피할 수가 있다. 절단 결함은 간단히 업세팅(upsetting) 양의 조절을 통하여 크게 개선될 수도 있고, 매우 정교한 공정설계가 요구되는 경우도 있다.
- [0047] 본 발명은 단조품의 내구성과 직결되는 단류선 절단 지수(MFL cutting index)를 제안하였다.
- [0048] 도 1은 단류선의 형성 방향에 따른 대상물의 수명 차이를 보여주는 그래프이다.
- [0049] 도 1을 참조하면, 단류선 형성 방향과 절단면의 각도(α)에 따라 단조품의 수명 차이가 최대 6배 이상 차이가 날 수 있다. 대상물(110)의 재료를 두 종류(STB2와 SCr420)로 준비하고, 단류선 형성 방향과 절단면이 이루는 각도(α)를 수평축에 표시하였으며, 각도에 따른 단조품의 수명률을 그래프의 수직축에 표시하였다.
- [0050] 원통형 대상물(110)의 표면을 절단면으로 볼 때, 각 절점(210)의 단류선의 형성 방향은 절단면에 대하여 참조 부호 α 로 표시된 경사각을 이룬다. 경사각(α)가 0° , 15° , 30° , 45° , 90° 로 증가됨에 따라 대상물(110)의

수명 시간이 급격하게 감소할 수 있다.

[0051] 도 1의 결과를 바탕으로 도 2의 대상물의 표면의 법선 방향과 단류선의 1차 구배를 이용해서 단류선 절단 지수(cutting index)를 다음의 수학적 식 1로 정의한다.

수학적 식 1

$$\text{cutting index} = |\nabla \phi_i| \sin \theta$$

[0052]

[0053] 여기서, ϕ 는 단류선 함수이다. 첨자 i 는 각 절점의 번호를 말한다. ∇ 는 구배(그라디언트) 연산자이다. 단류선 함수의 그라디언트는 단류선 밀도이며 벡터 함수이고, 이를 단류선 밀도 벡터 함수로 부른다. θ 는 대상물의 법선 벡터(250)와 단류선 밀도 벡터(230) 또는 단류선 함수의 그라디언트가 이루는 각도이다.

[0054] 단류선 절단 지수(cutting index)는 단류선 함수의 그라디언트의 크기와, 대상물의 법선 벡터(250) 및 단류선 함수의 그라디언트가 이루는 각도의 사인값을 서로 곱한 것이다.

[0055] 단류선 밀도 벡터(230) 또는 단류선 함수의 그라디언트는 단류선에 수직인 방향이 될 수 있다. 단류선 밀도 벡터(230) 또는 단류선 함수의 그라디언트의 방향이 대상물의 표면에 수직하면, θ 는 0° 이고, $\sin \theta$ 는 0 이며, 절단 지수도 0이다. 이때는 단류선(221)이 대상물의 표면과 평행할 수 있으며 단조품의 품질 상태가 양호할 수 있다.

[0056] 대상물(110)의 표면과 평행한 평면을 기준 평면(220)이라고 부를 때, 단류선(221)이 기준 평면(220)에 평행하거나 약간만 경사진 경우, 단조품의 품질이 양호하며 단조품의 내구성이 양호하다. 이는 도 1의 경사각(α)이 0° 이거나 작은 값인 경우에 해당한다.

[0057] 반면에 단류선 밀도 벡터(230) 또는 단류선 함수의 그라디언트의 방향이 대상물의 표면에 평행하면, θ 는 90° 이고, $\sin \theta$ 는 1 이며, 절단 지수는 단류선 함수의 그라디언트의 크기에 1을 곱한 값이다. 절단 지수가 큰 것으로 볼 수 있으며, 단류선(221)이 대상물의 표면 또는 기준 평면(220)에 수직인 것으로 볼 수 있고 대상물(110)의 표면에서 단류선의 절단이 발생하여 단조품의 품질 상태가 불량일 수 있다. 이는 도 1의 경사각(α)이 90° 인 경우에 해당하고, 도 4의 MFL cutting으로 표시된 영역에 해당한다.

[0058] 따라서, 단류선 절단 지수(cutting index)가 작으면, 단류선(221)이 대상물(110)의 표면 또는 기준 평면(220)에 평행하거나 약간만 경사진 경우이고, 단조품의 품질이 양호하며 단조품의 내구성이 양호하다.

[0059] 단류선 밀도 벡터(230) 또는 단류선 함수의 그라디언트의 크기가 작아져도 단류선 절단 지수(cutting index)가 작아지며 단조품의 품질이 양호하고 단조품의 내구성이 양호할 수 있다.

[0060] 단류선 절단 지수(cutting index)가 커지면, 단류선(221)이 대상물(110)의 표면 또는 기준 평면(220)에 수직인 경향이 있고, 단조품이 불량하며 소성 가공시 급격한 하중을 받아서 응력 집중이 발생하며 단조품의 내구성이 저하될 수 있다.

[0061] 도 3과 같이, 단류선 단절지수를 이용하여 업셋팅(upsetting), 블록커(blocker), 피니셔(finisher) 공정으로 이루어진 플랜지 불이 테이퍼 베어링 단조 공정의 단류선 품질 최적화를 수행하였다.

[0062] 도 4를 참조하면, 적색 박스로 표시된 영역, 즉 소성 가공용 금형(100)이나 타 부품과 마찰이 발생하는 부위에서 단류선의 단절 현상이 발생하였다.

[0063] 다음은 절단 지수를 반영한 소성 가공의 최적화 설계 방법을 설명한다.

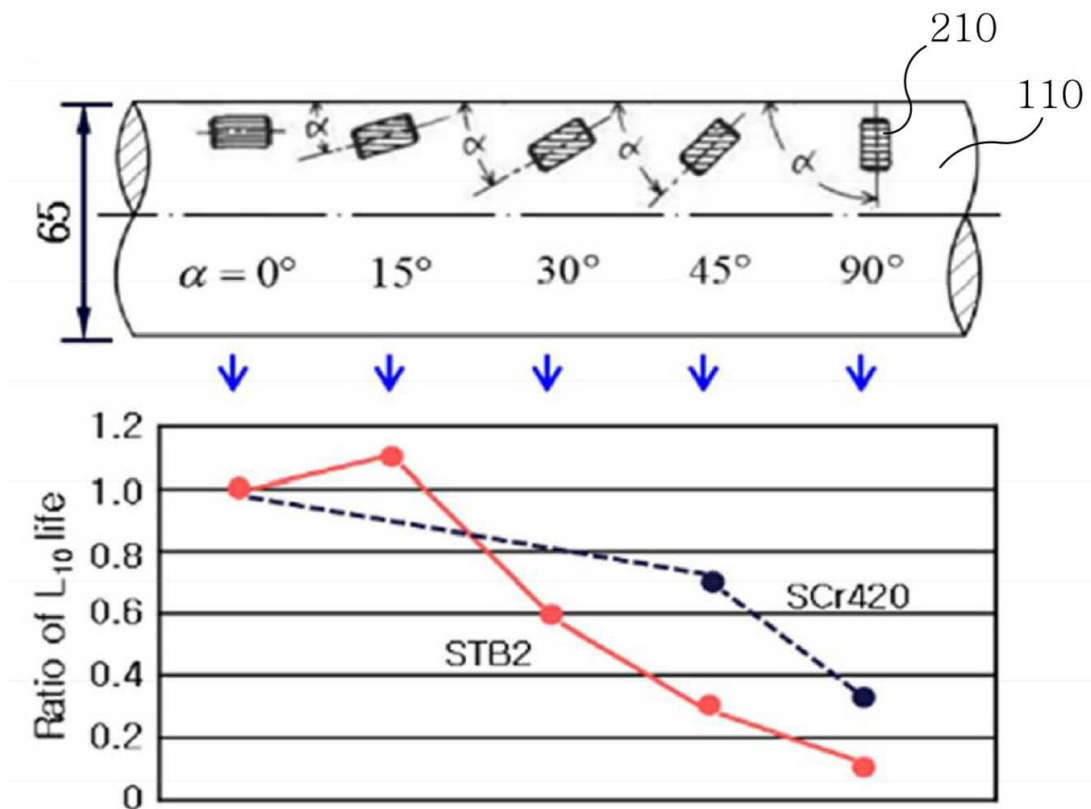
[0064] 대상물의 표면에서 단류선 단절 현상을 개선하기 위해서 도 5의 소성 가공용 금형(100)인 블록커 금형(100) 형상 중 P2X, P3X, dy를 설계변수로 선택하여 최적화를 수행하였다.

[0065] 최적화 설계 변수 P2X, P3X, dy는 소성 가공용 금형(100)의 형상 변수에 해당하며, 절단 지수의 크기를 기준으로 채택될 수 있다. 이와 같이 절단 지수는 소성 가공 조건이나 금형의 최적 설계에 사용될 수 있다.

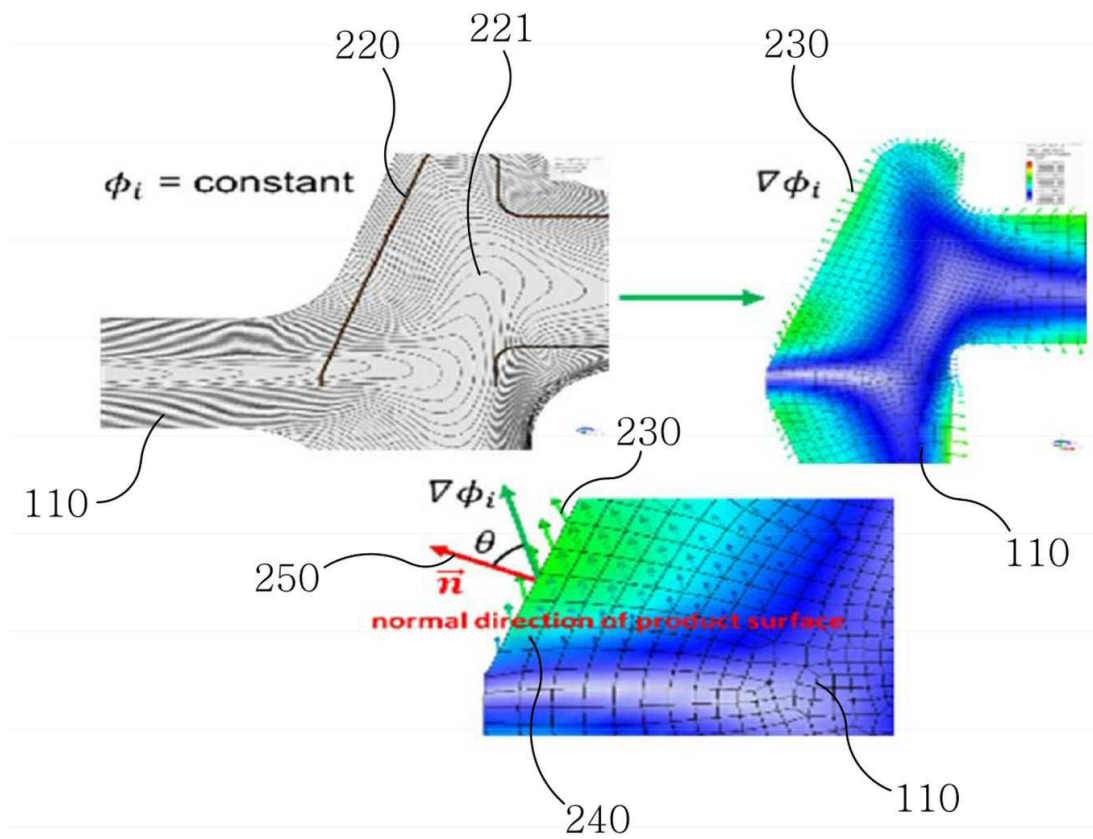
- [0066] 최적 설계를 위한 목적 함수는, 도 6에 표시된 소성 가공용 금형(100)과 대상물(110)의 마찰이 주로 발생하는 관심영역 A와 B에서의 단류선 단절지수의 표면적분값을 이용하였다.
- [0067] 도 7은 초기 설계 대비 최적화를 통한 블록커 금형(100) 형상의 변화와 단류선 단절 현상 개선 정도를 보여 준다. 도 8과 같이 같이 관심영역 A와 B에서 단류선 단절 현상이 개선된 것을 확인할 수 있다. 단류선(221)이 대상물(110)의 표면 또는 기준 평면(220)에 평행하거나 약간만 경사진 경우로 개선되었다.
- [0068] 도 8을 참조하면, 소성 가공용 금형(100)의 형상 변수로서 최적화 설계 변수 P2X, P3X, dy를 최적화한 결과 단류선 절단 지수가 23.4에서 4.1로 감소하였으며, 이에 따라 관심영역 A와 B에서 단류선(221)이 대상물(110)의 표면 또는 기준 평면(220)에 평행하거나 약간만 경사진 경우로 개선되었다.
- [0069] 본 발명에서는 단류선의 표면 친화성을 개선하기 위하여, 단류선 절단 지수를 제안하였다. 절단 지수를 활용하여 플랜지 붙이 테이퍼 베어링의 단조 공정 최적화를 수행하였다. 단류선 절단 지수를 이용하면 단조품의 내구성 및 수명 향상을 위하여 공정 최적화에 효과적임을 확인하였다.

도면

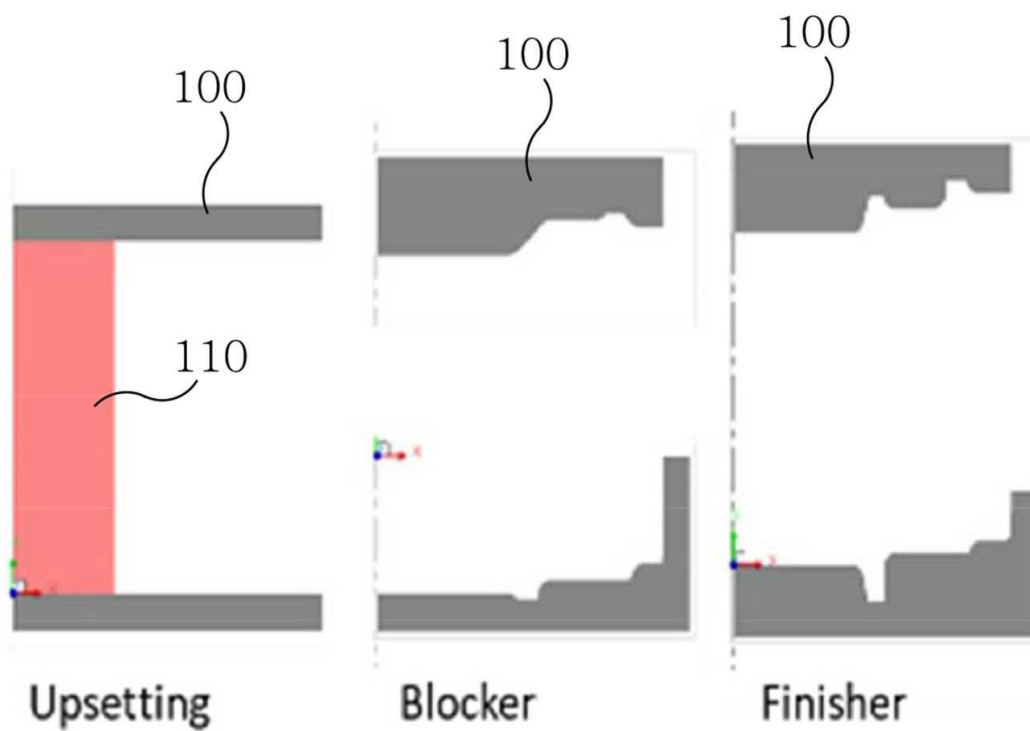
도면1



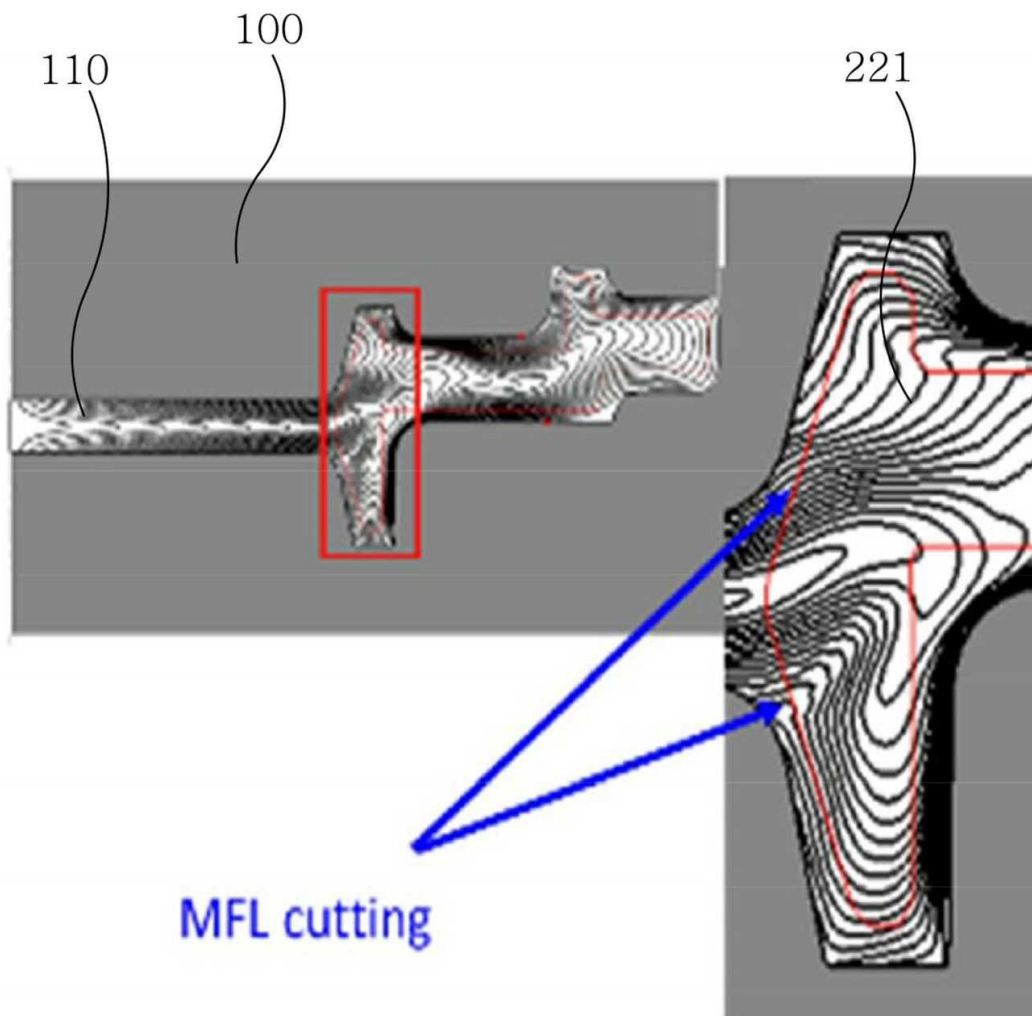
도면2



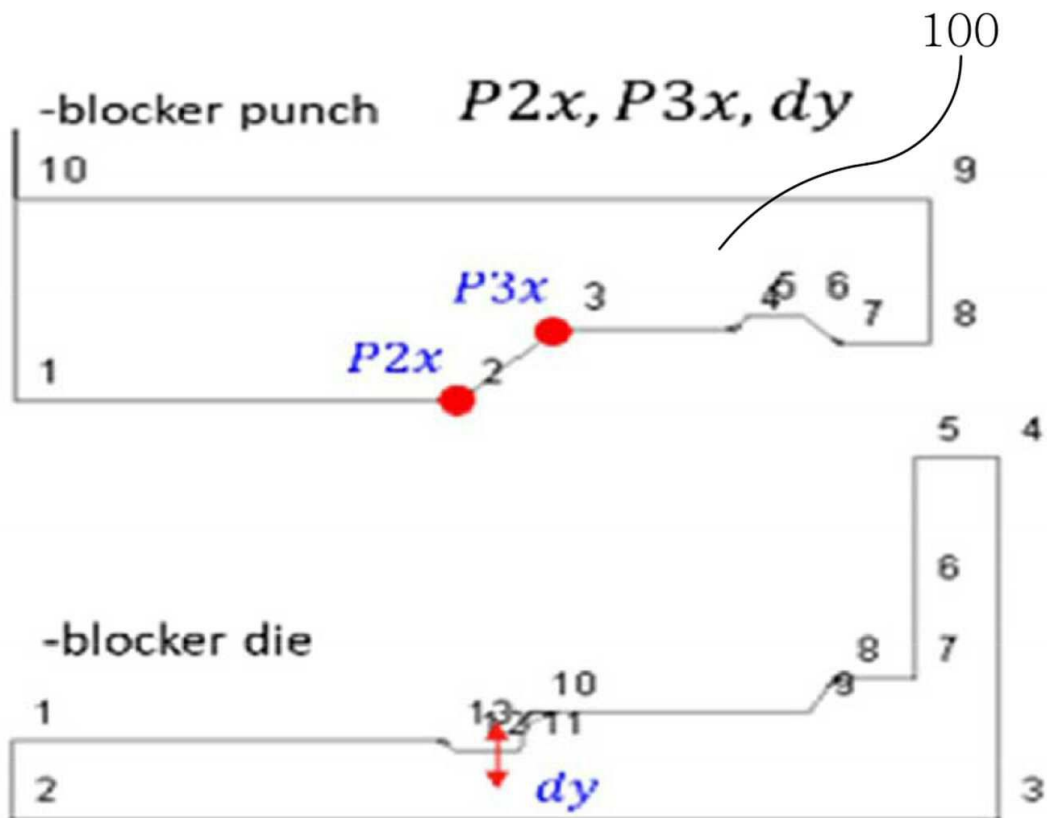
도면3



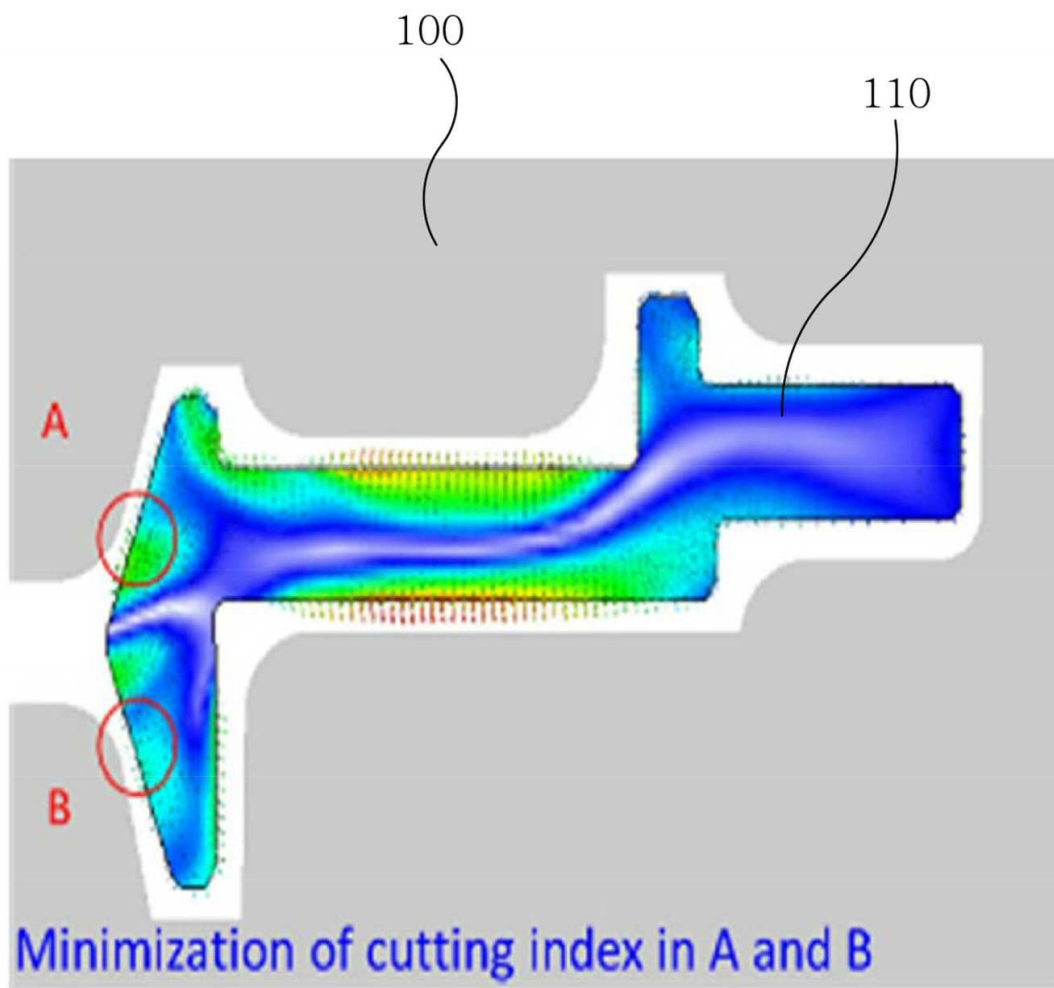
도면4



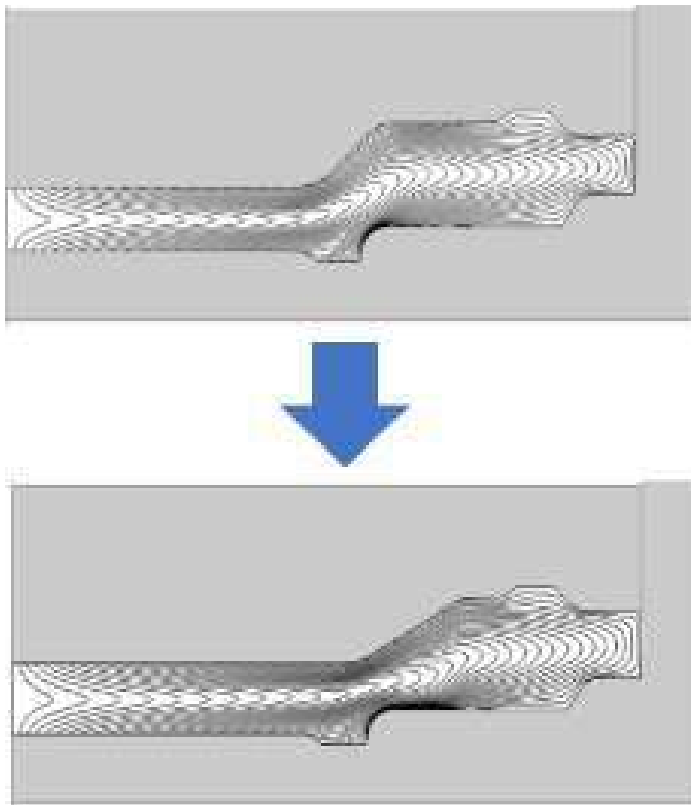
도면5



도면6



도면7



도면8

