(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0104773
(43) 공개일자 2025년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/50 (2006.01) *G01N 19/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 3/50 (2013.01)
G01N 19/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0197491
(22) 출원일자 2023년12월29일
심사청구일자 2023년12월29일

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
우영윤
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9
이영선
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9
(74) 대리인
이인행

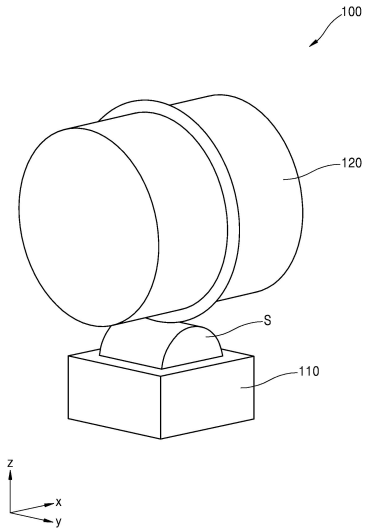
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **선재 마찰 특성 평가 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은, 선재 마찰 특성 평가 장치에 관한 것으로써, 선재 형상의 시편이 안착되는 하부 다이; 상기 시편의 일면에 회전하중을 인가할 수 있도록, 제 1 축 방향을 기준으로 회전하며 상기 시편을 향하는 방향으로 승하강되는 상부 다이; 및 회전하는 상기 상부 다이와 상기 시편 사이의 마찰에 따른 토크를 측정하는 토크 측정부; 를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01N 2203/028 (2013.01)
G01N 2203/0676 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1425182318
과제번호	S3311922
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	산학연플랫폼협력기술개발
연구과제명	냉간단조용 고특성/친환경 윤활제 및 윤활피막 건전성 시험기술 개발(2/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국재료연구원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

선재 형상의 시편이 안착되는 하부 다이;

상기 시편의 일면에 회전하중을 인가할 수 있도록, 제 1 축 방향을 기준으로 회전하며 상기 시편을 향하는 방향으로 승하강되는 상부 다이; 및

회전하는 상기 상부 다이와 상기 시편 사이의 마찰에 따른 토크를 측정하는 토크 측정부;

를 포함하는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 상부 다이는,

제 1 지름 및 제 1 폭을 갖는 원통 형상의 몸체부; 및

상기 시편의 일면의 적어도 일부분과 대응되도록 상기 몸체부에 형성되어, 상기 제 1 지름보다 큰 제 2 지름 및 상기 제 1 폭보다 작은 제 2 폭을 갖는 링 형상의 돌출부;

를 포함하는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 돌출부는,

상기 몸체부의 둘레 방향을 따라 일측에서 타측으로 갈수록 상기 제 2 폭에서부터 상기 제 2 폭 보다 큰 제 3 폭을 갖도록 점진적으로 넓어지는 제 1 확장부;

를 포함하는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 돌출부는,

상기 제 2 폭 보다 큰 제 3 폭을 갖는 제 2 확장부;

를 포함하는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 돌출부는,

상기 제 2 폭 방향을 기준으로, 중심 부분과 대응되며 제 1 마찰 계수를 갖는 중심부; 및

상기 제 2 폭 방향을 기준으로, 에지 부분과 대응되며 상기 제 1 마찰 계수 보다 큰 제 2 마찰 계수를 갖는 에지부;

를 포함하는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 돌출부는,

상기 중심부로부터 상기 에지부로 갈수록 마찰 계수가 선형적으로 증가하도록 형성되는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 돌출부는,

상기 중심부로부터 상기 에지부로 갈수록 마찰 계수가 단계적으로 증가하도록 형성되는, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 시편의 표면은 윤활제가 도포된 시편인, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 시편의 표면은 산세 처리된 시편인, 선재 마찰 특성 평가 장치.

청구항 10

(a) 선재 형상의 시편을 준비하는 단계;

(b) 하부 다이에 상기 시편을 안착시키는 단계;

(c) 상부 다이를 회전 및 하강시켜 상기 시편의 일면에 회전하중을 인가하는 단계; 및

(d) 상기 상부 다이에 부하되는 토크를 측정하는 단계;

를 포함하는, 선재 마찰 특성 평가 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 선재 마찰 특성 평가 장치 및 방법에 관한 것으로서, 냉간단조용 선재의 마찰 특성을 평가할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 국내 선재 수요는 자동차 및, 건설 산업이 약 80%를 차지하고 있으며, 특히 자동차 산업의 조향장치 부품은 높은 치수정밀도와 표면 품질이 요구되며 대부분 냉간단조 공정을 이용하여 제조되고 있는 실정이다.

[0003] 냉간단조기술은 강도, 내피로성, 내마모성 등의 기계적 성질이 우수한 제품을 양산할 수 있는 기술로써, 제조업 전 분야에 걸쳐 광범위하게 적용되고 있으며, 냉간단조 시 소재의 높은 강도로 인해 금형의 수명이 저하되고, 고변형률을 요구하는 부품 형태 등에 따라 윤활제의 역할이 중요해지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 그러나, 윤활피막의 손상이 적고 마찰계수가 낮은 고특성 윤활제의 연구개발이 진행되고 있으나, 냉간단조용 선재에 적용할 수 있는 정량적 마찰특성 평가 법은 현재 전무한 상황이며, 냉간단조용 고특성/친환경 윤활제 개발에 따라 현장 적용 가능한 선재 마찰특성 평가 기술 개발이 필요하다.

[0005] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위한 것으로써, 냉간단조용 고특성/친환경 윤활제 개발에 따라 현장 적용이 가능한 선재 마찰 특성 평가 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 선재 마찰 특성 평가 장치가 제공된다. 상기 선재 마찰 특성 평가 장치는, 선재 형상의 시편이 안착되는 하부 다이; 상기 시편의 일면에 회전하중을 인가할 수 있도록, 제 1 축 방향을 기준으로 회전하며 상기 시편을 향하는 방향으로 승하강되는 상부 다이; 및 회전하는 상기 상부 다이와 상기 시편 사이의 마찰에 따른 토크를 측정하는 토크 측정부; 를 포함할 수 있다.

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 상부 다이는, 제 1 지름 및 제 1 폭을 갖는 원통 형상의 몸체부; 및 상기 시편의 일면의 적어도 일부분과 대응되도록 상기 몸체부에 형성되어, 상기 제 1 지름보다 큰 제 2 지름 및 상기 제 1 폭보다 작은 제 2 폭을 갖는 링 형상의 돌출부; 를 포함할 수 있다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 돌출부는, 상기 몸체부의 둘레 방향을 따라 일측에서 타측으로 갈수록 상기 제 2 폭에서부터 상기 제 2 폭 보다 큰 제 3 폭을 갖도록 점진적으로 넓어지는 제 1 확장부; 를 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 돌출부는, 상기 제 2 폭 보다 큰 제 3 폭을 갖는 제 2 확장부; 를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 돌출부는, 상기 제 2 폭 방향을 기준으로, 중심 부분과 대응되며 제 1 마찰 계수를 갖는 중심부; 및 상기 제 2 폭 방향을 기준으로, 에지 부분과 대응되며 상기 제 1 마찰 계수 보다 큰 제 2 마찰 계수를 갖는 에지부; 를 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 돌출부는, 상기 중심부로부터 상기 에지부로 갈수록 마찰 계수가 선형적으로 증가하도록 형성될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 돌출부는, 상기 중심부로부터 상기 에지부로 갈수록 마찰 계수가 단계적으로 증가하도록 형성될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 시편의 표면은 윤활제가 도포된 시편일 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 시편의 표면은 산세 처리된 시편일 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 선재 마찰 특성 평가 방법이 제공된다. 상기 선재 마찰 특성 평가 방법은, (a) 선재 형상의 시편을 준비하는 단계; (b) 하부 다이에 상기 시편을 안착시키는 단계; (c) 상부 다이를 회전 및 하강시켜 상기 시편의 일면에 회전하중을 인가하는 단계; 및 (d) 상기 상부 다이에 부하되는 토크를 측정하는 단계; 를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기존의 마찰 평가법을 대체하여 높은 유효 변형률을 넓은 면적으로 확보함으로써 마찰계수에 따른 토크의 차이를 검출 가능하며 토크 측정을 통해 마찰특성이 다른 윤활피막의 평가가 가능하다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 장치를 개략적으로 나타낸 사시도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 장치를 정면에서 바라본 모습을 나타낸 정면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 다이를 보다 구체적으로 나타낸 정면도이다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 상부 다이를 보다 구체적으로 나타낸 정면도이다.

도 5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 상부 다이를 보다 구체적으로 나타낸 정면도이다.

도 6은 본 발명의 여러 실시예들의 상부 다이들에 따른 유한요소 해석을 진행하여 도출된 시편의 유효 변형률 분포를 시각적으로 나타낸 이미지들을 정리한 표이다.

도 7은 본 발명의 여러 실시예들의 상부 다이의 마찰 계수 양상을 나타낸 그래프이다.

도 8은 본 발명의 여러 실시예들에 따른 A, B, C의 윤활제가 도포된 3 종류의 시편들에 실험을 진행한 결과를 나타낸 그래프이다.

도 9는 종래의 링 압축 시험에 따른 A, B, C의 윤활제가 도포된 3 종류의 시편들에 실험을 진행한 결과를 나타낸 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 방법의 각 단계를 순서대로 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.

[0019] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 또한, 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이다.

[0020] 이하, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 이상적인 실시예들을 개략적으로 도시하는 도면들을 참조하여 설명한다. 도면들에 있어서, 예를 들면, 제조 기술 및/또는 공차(tolerance)에 따라, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명 사상의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 되며, 예를 들면 제조상 초래되는 형상의 변화를 포함하여야 한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 장치(100)를 개략적으로 나타낸 사시도이고 도 2는 이를 정면에서 바라본 정면도이다.

[0022] 먼저, 도 1에 도시된 바와 같이, 선재 마찰 특성 평가 장치(100)는, 선재 형상의 시편(S)이 안착되는 하부 다이(110) 및, 시편(S)의 일면에 회전하중을 인가할 수 있도록, 제 1 축 방향을 기준으로 회전하며 시편(S)을 향하는 방향으로 승하강되는 상부 다이(120)를 포함할 수 있다. 여기서 제 1 축 방향은 도 1에 도시한 x 방향일 수 있다.

[0023] 또한, 시편(S)은 상부 다이(120)의 회전축과 수직한 제 2 축 방향으로 하부 다이(110)에 안착될 수 있다. 여기서 제 2 축 방향은 도 1에 도시한 y 방향일 수 있다.

[0024] 이어서, 도 2에 도시된 바와 같이, 선재 마찰 특성 평가 장치(100)는, 상부 다이(120)를 제 3 축 방향으로 승하강시키는 승하강부(130) 및, 상부 다이(120)가 시편에 회전하중을 인가할 때, 회전하는 상부 다이(120)와 시편(S) 사이의 마찰에 따른 토크를 측정하는 토크 측정부(140)를 포함할 수 있다. 여기서 제 3 축 방향은 도 2에 도시한 z 방향일 수 있다.

[0025] 승하강부(130)는 모터의 회전 운동을 직선 왕복 운동으로 변환하기 위한 리니어 모터 가이드 레일, 체인 레일, 벨트 레일, 볼 스크류 또는 래크와 피니언이거나, 선형으로 신장 또는 수축할 수 있는 일종의 선형 구동체로서, 유압 실린더나, 공압 실린더나, 전동 실린더 중 어느 하나의 실린더 구동체들 등 상부 다이(120)의 직선 운동을 위한 다양한 기계 요소가 적용될 수 있다.

[0026] 이하에서는 도 3 내지 도 5를 참조하여 본 발명의 상부 다이(120)의 다양한 실시예들에 대하여 설명하도록 한다.

[0027] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 다이(120)를 보다 구체적으로 나타낸 정면도이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 상부 다이(120)는, 제 1 지름(D1) 및 제 1 폭(W1)을 갖는 원통 형상의 몸체부(121) 및, 시편(S)의 일면의 적어도 일부분과 대응되도록 몸체부(121)에 형성되어, 제 1 지름(D1)보다 큰 제 2 지름(D2) 및 제 1 폭(W1)보다 작은 제 2 폭(W2)을 갖는 링 형상의 돌출부(122)를 포함할 수 있다.

[0028] 보다 구체적으로, 돌출부(122)는 제 2 폭(W2) 방향을 기준으로, 중심 부분과 대응되며 제 1 마찰 계수를 갖는 중심부(A1) 및, 제 2 폭 방향(W2)을 기준으로, 에지 부분과 대응되며 제 1 마찰 계수 보다 큰 제 2 마찰 계수를 갖는 에지부(A2)를 포함할 수 있다. 이때, 돌출부(122)는 중심부(A1)로부터 에지부(A2)로 갈수록 마찰 계수가 선형적으로 증가하도록 형성되거나, 단계적으로 증가하도록 형성될 수 있다.

[0029] 또한, 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 상부 다이(220)를 보다 구체적으로 나타낸 정면도이다. 도 4에 도

시된 바와 같이, 상부 다이(220)의 돌출부(222)는, 몸체부(221)의 둘레 방향을 따라 일측에서 타측으로 갈수록 제 2 폭(W2)에서부터 제 2 폭(W2) 보다 큰 제 3 폭(W3)을 갖도록 점진적으로 넓어지는 제 1 확장부(222-1)를 포함할 수 있다. 제 1 확장부(222-1)는 전체적으로 소정의 각도로 폭이 넓어지는 구간이 제 1 길이(L1)만큼 형성되어 전체적으로 화살표 형상을 이루도록 형성될 수 있다.

[0030] 또한, 도 5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 상부 다이(320)를 보다 구체적으로 나타낸 정면도이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 상부 다이(320)의 돌출부(322)는, 상부 다이(220)의 돌출부(222)와 같이, 몸체부(321)의 둘레 방향을 따라 일측에서 타측으로 갈수록 제 2 폭(W2)에서부터 제 2 폭(W2) 보다 큰 제 3 폭(W3)을 갖도록 점진적으로 넓어지는 제 1 확장부(322-1)를 포함하되, 제 3 폭(W3)을 가지며 제 2 길이(L2)만큼 길게 형성되는 제 2 확장부(322-2)를 포함할 수 있다.

[0031] 위 실시예들에서 상부 다이의 회전 방향은 시편(S)과 제 1 확장부가 접촉하는 면적이 회전에 따라 점차 넓어지는 방향으로 회전하면서 시편(S)을 회전 가압할 수 있다.

[0032] 이하에서는 도 6 내지 도 9를 참조하여 본 발명의 여러 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 장치(100)의 실험 과정 및 결과를 설명하도록 한다.

[0033] 먼저 도 6은 다양한 형상의 상부 다이들에 따른 유한요소 해석 시뮬레이션을 진행하여 도출된 시편(S)의 유효 변형률 분포를 시각적으로 나타낸 이미지들을 정리한 표이다. 여기서 S45C 기계구조용 탄소강을 기준으로 20도의 초기 온도, 20도의 다이 온도, 0.2㎜/s의 포밍 속도, 2㎜ 스트로크 및 0.5RPM의 회전 속도로 실험을 진행하였으며, 상부 다이는 50㎜의 지름을 갖고, 하부 다이는 33㎜ x 33㎜ x 16㎜로 설정하였다.

[0034] 또한, 도 6에 도시된 1번 조건은, 4㎜의 제 2 폭 및 12㎜의 제 3 폭으로 제 1 확장부를 포함하는 형상으로 설정하였고, 2번 조건은, 4㎜의 제 2 폭, 12㎜의 제 3 폭 및, 상부 다이의 둘레의 60도만큼의 제 2 길이를 갖도록 제 1 확장부와 제 2 확장부를 갖는 형상으로 설정하였고, 3번 조건은, 4㎜의 제 2 폭 및 30㎜의 제 3 폭으로 제 1 확장부를 포함하는 형상으로 설정하였고, 4번 조건은, 4㎜의 제 2 폭, 30㎜의 제 3 폭 및, 상부 다이의 둘레의 60도만큼의 제 2 길이를 갖도록 제 1 확장부와 제 2 확장부를 갖는 형상으로 설정하였다.

[0035] 또한, 각 조건마다의 돌출부는 2㎜의 라운드를 형성하였으며, 시편은 22㎜의 지름을 갖는 선재로 실험을 진행하였으며, 또한 도 7에 도시된 바와 같이, 돌출부의 마찰 계수가 일정한 경우, 선형적으로 증가하는 경우 및, 단계적으로 증가하는 경우로 나누어 해석을 진행하였다.

[0036] 해석 결과, 마찰 계수가 일정한 경우보다, 선형적으로 증가하는 경우와, 단계적으로 증가하는 경우에서 더 높은 유효 변형률이 더 넓은 면적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

[0037] 또한, 본 발명의 선재 마찰 특성 평가 장치를 제작하여 복수의 윤활제가 도포된 시편에 실제 마찰 실험을 진행한 결과를 도 8에 도시하였다.

[0038] 도 8에 도시된 바와 같이, A, B, C의 윤활제가 도포된 3 종류의 시편들에 실험을 진행하였으며, A 윤활제는 1.003(20도)의 비중, 7.15의 PH(10%), 9.64%의 고형분(10%), 0.088의 마찰계수(μ), 0.152의 마찰계수(m)의 특성을 갖는 물질을 사용하였고, B 윤활제는 1.004(20도, 10%)의 비중, 0.989(75도, 10%)의 비중, 7.15의 PH(10%), 9.8%의 고형분(10%), 0.107의 마찰계수(μ), 0.185의 마찰계수(m)의 특성을 갖는 물질을 사용하였으며, C 윤활제는 1.004(20도, 10%)의 비중, 0.988(75도, 10%)의 비중, 7.12의 PH(10%), 5.01%의 고형분(10%), 0.134의 마찰계수(μ), 0.232의 마찰계수(m)의 특성을 갖는 물질을 사용하였다.

[0039] 실험 결과, A 윤활제는 1386.7kgf.cm의 평균 토크, B 윤활제는 1589.2kgf.cm의 평균 토크, C 윤활제는 1759.8kgf.cm의 평균 토크가 나타났다.

[0040] 또한, 본 발명의 선재 마찰 특성 평가 장치를 검증하기 위해 종래의 링 압축시험을 진행하여 그 결과를 도 9에 도시하였다. 실험 조건으로는, 20도의 빌렛 온도, 20도의 다이 온도, 0.08㎜//s의 속도, 1.398㎜의 스트로크량, 압축률 60%으로 실험을 진행하였다.

[0041] 실험 결과, 도 9에 도시된 바와 같이, 압축률에 따른 내경 감소율을 살펴봤을 때, A 윤활제 < B 윤활제 < C 윤활제 순으로 나타났다.

[0042] 결론적으로, 윤활제의 마찰계수, 선재 마찰시험 결과, 링 압축시험 결과를 비교하였을 때, 본 발명의 선재 마찰 특성 평가 장치를 통해서 마찰계수가 클수록 토크가 큰 것이 확인됨에 따라, 마찰계수에 따른 토크의 차이를 검출 가능하며 토크 측정을 통해 마찰특성이 다른 윤활피막의 평가가 가능한 것으로 나타났다.

[0043] 이하에서는 도 10을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 방법에 대하여 설명하도록 한다.

[0044] 도 10에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 선재 마찰 특성 평가 방법은, (a) 선재 형상의 시편을 준비하는 단계, (b) 하부 다이에 시편을 안착시키는 단계, (c) 상부 다이를 회전 및 하강시켜 시편의 일면에 회전하중을 인가하는 단계 및, (d) 상부 다이에 부하되는 토크를 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0045] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0046] 100: 선재 마찰 특성 평가 장치

110: 하부 다이

120, 220, 320: 상부 다이

121, 221, 321: 몸체부

122, 222, 322: 돌출부

222-1, 322-1: 제 1 확장부

322-2: 제 2 확장부

130: 승하강부

140: 토크 측정부

D1: 제 1 지름

D2: 제 2 지름

W1: 제 1 폭

W2: 제 2 폭

W3: 제 3 폭

L1: 제 1 길이

L2: 제 2 길이

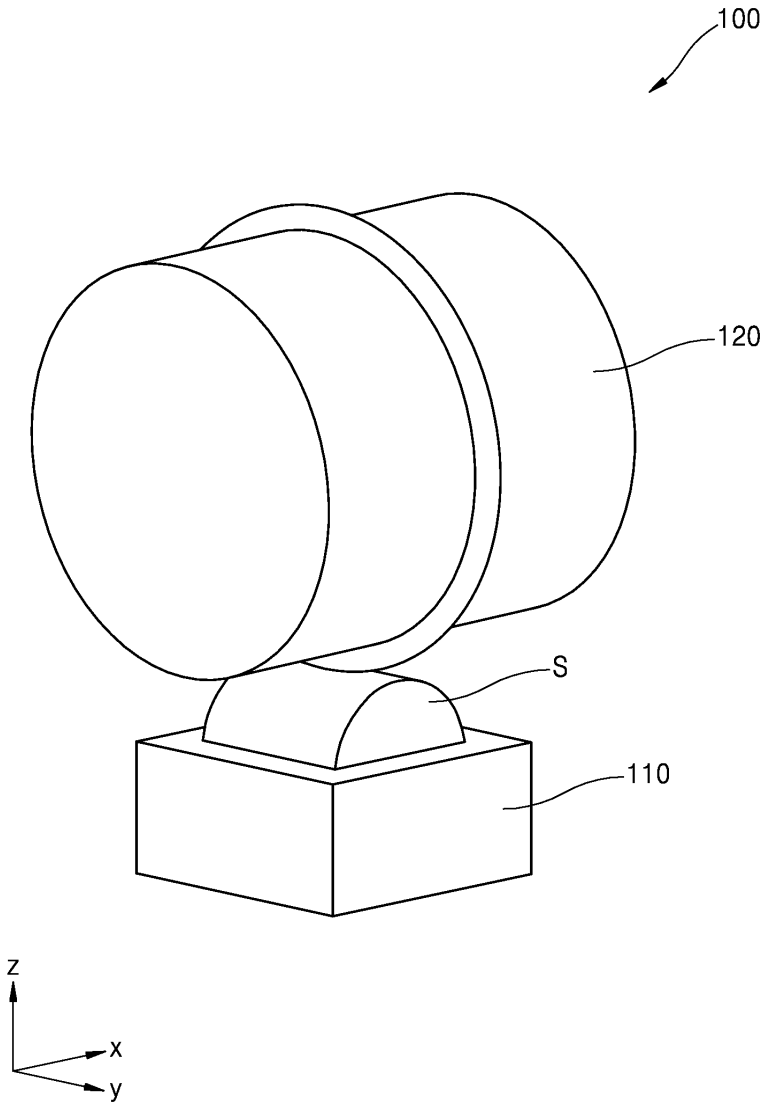
A1: 중심부

A2: 에지부

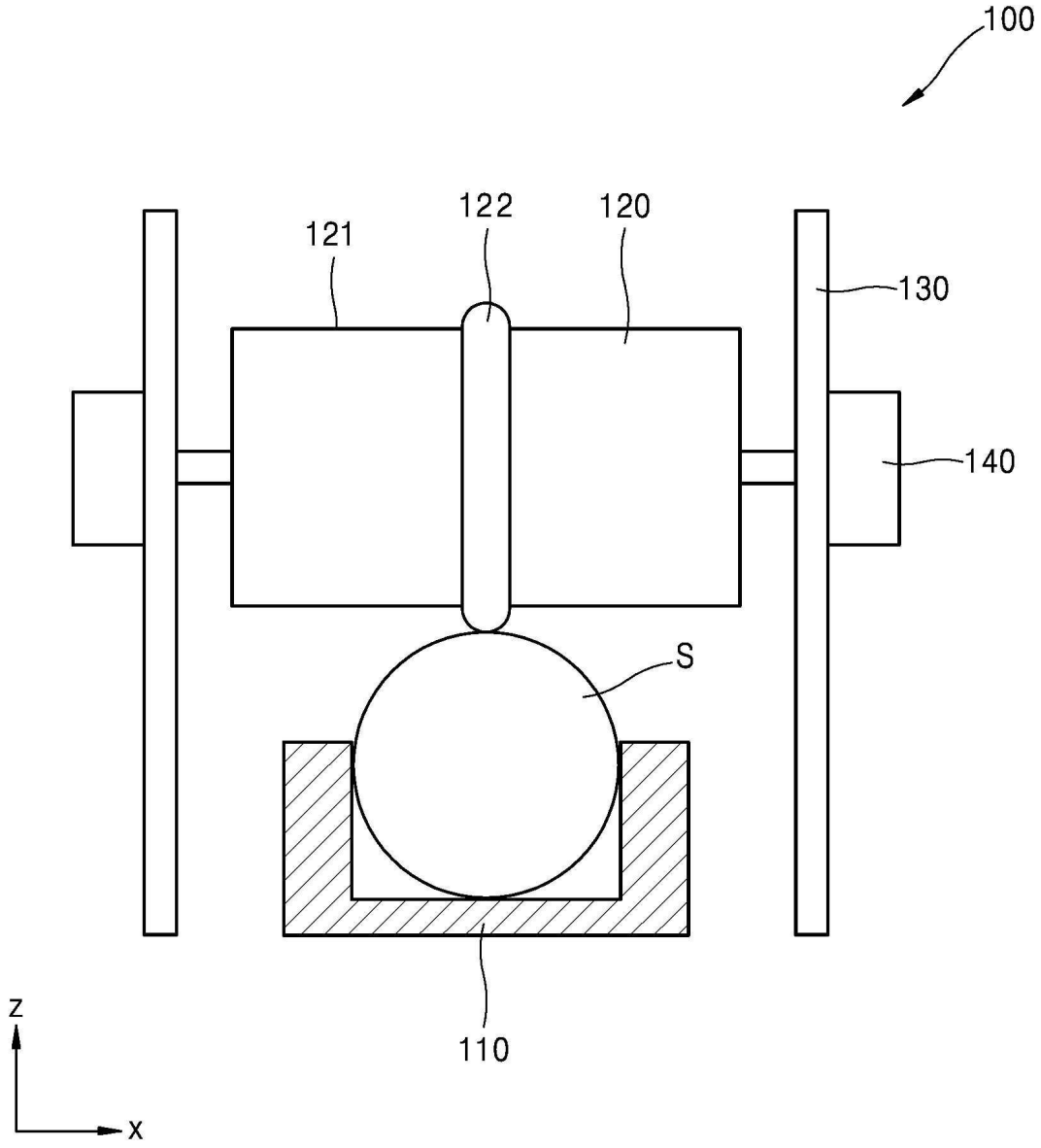
S: 시편

도면

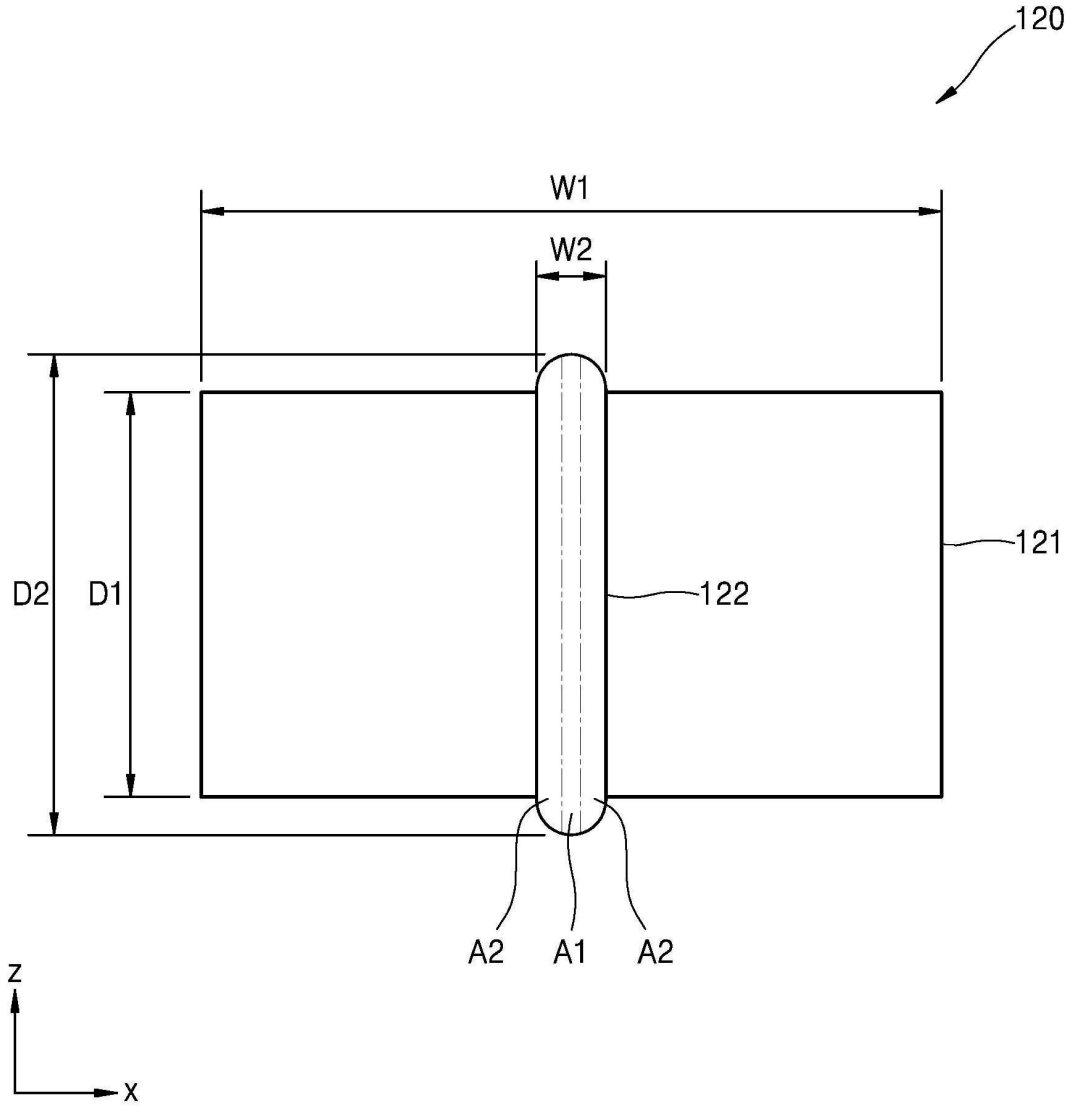
도면1



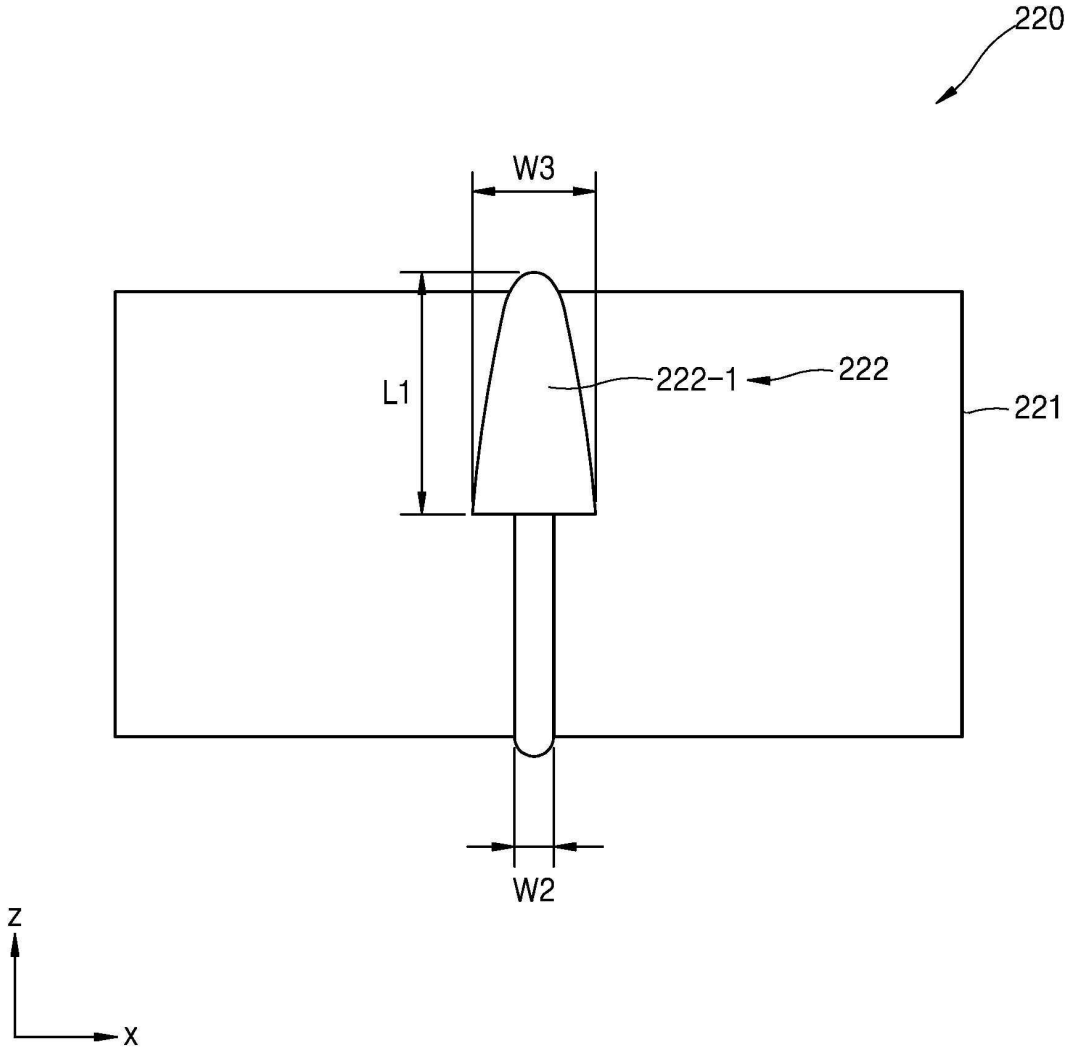
도면2



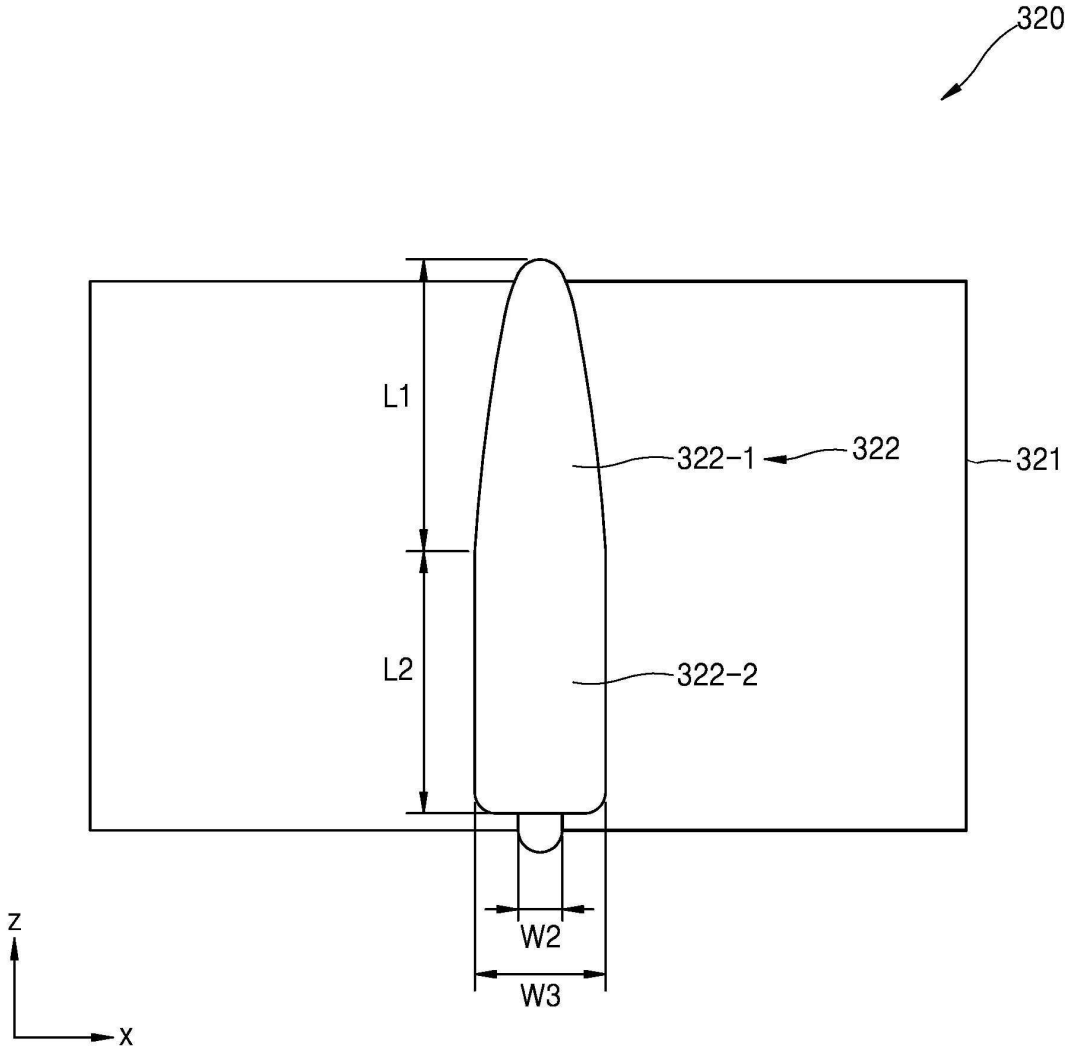
도면3



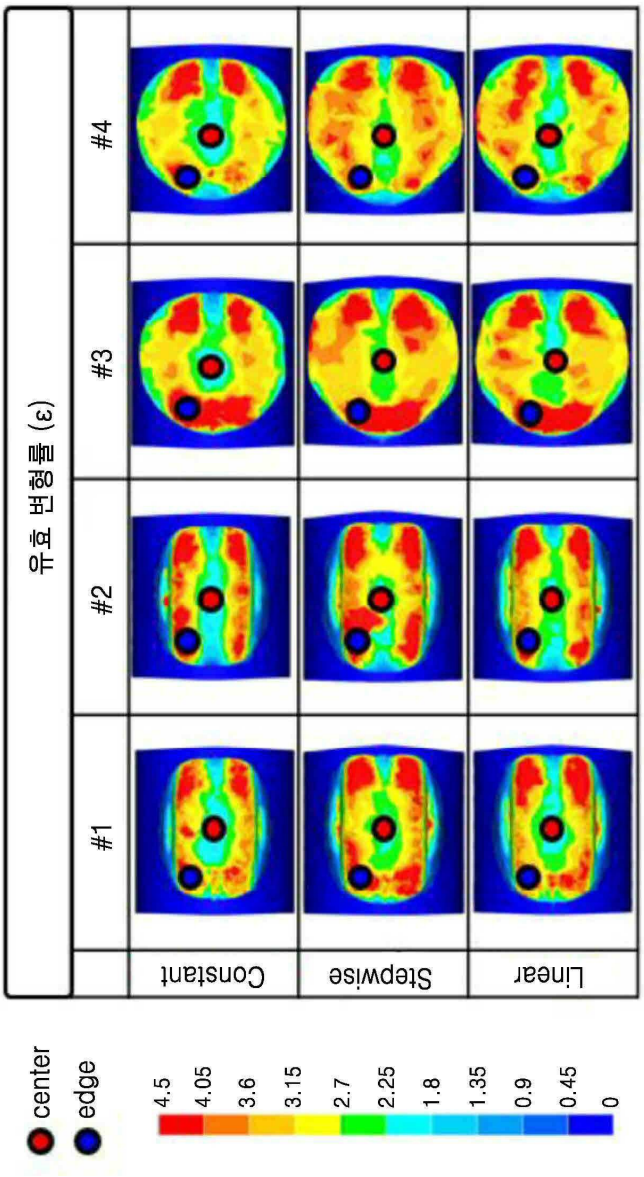
도면4



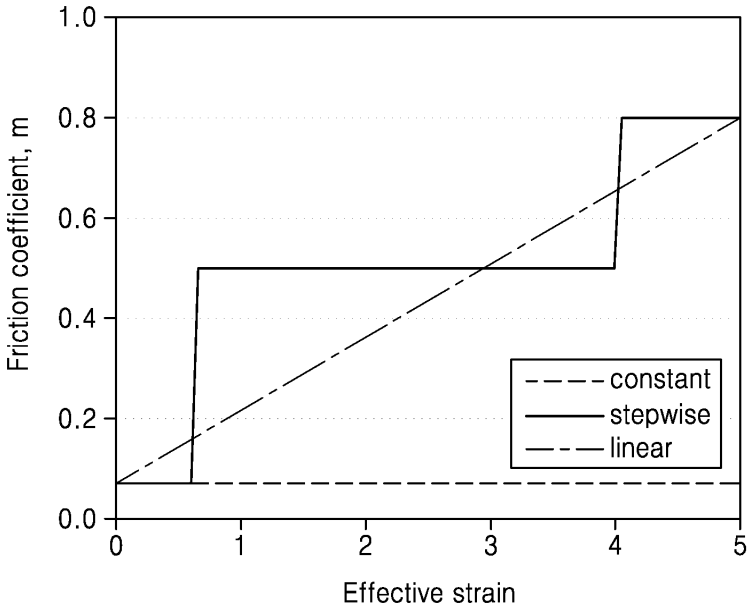
도면5



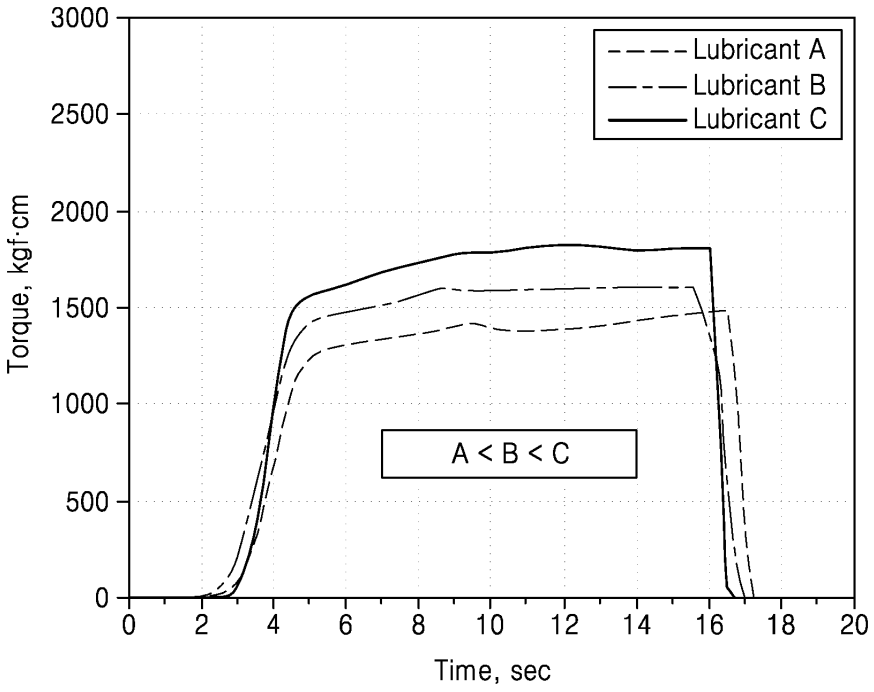
도면6


유효 변형률 (ε)
#1
#2
#3
#4
Constant
Stepwise
Linear
center
edge
4.5
4.05
3.6
3.15
2.7
2.25
1.8
1.35
0.9
0.45
0

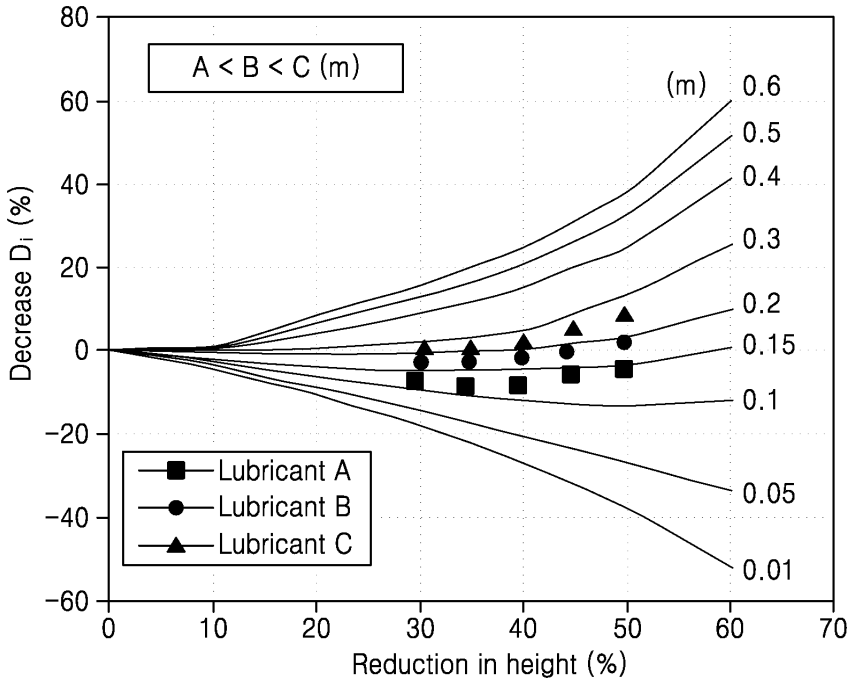
도면7


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
Friction coefficient, m
0
1
2
3
4
5
Effective strain
constant
stepwise
linear

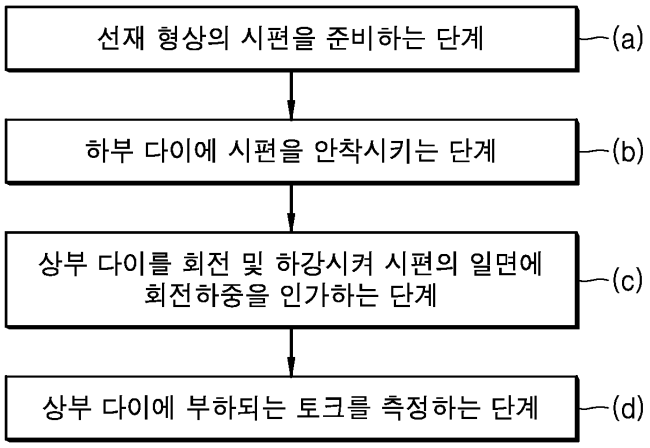
도면8


3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Torque, kgf·cm
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Time, sec
Lubricant A
Lubricant B
Lubricant C
A < B < C

도면9


A < B < C (m)
(m)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.15
0.1
0.05
0.01
Lubricant A
Lubricant B
Lubricant C
Decrease D_i (%)
Reduction in height (%)
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
0
10
20
30
40
50
60
70

도면10


선재 형상의 시편을 준비하는 단계
(a)
하부 다이에 시편을 안착시키는 단계
(b)
상부 다이를 회전 및 하강시켜 시편의 일면에 회전하중을 인가하는 단계
(c)
상부 다이에 부하되는 토크를 측정하는 단계
(d)