



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0101444
(43) 공개일자 2013년09월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 B21J 3/00 (2006.01) B21J 1/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7031621
(22) 출원일자(국제) 2011년05월16일
 심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2012년12월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/036571
(87) 국제공개번호 WO 2011/159413
 국제공개일자 2011년12월22일
(30) 우선권주장
 12/814,591 2010년06월14일 미국(US)

(71) 출원인
 에이티아이 프로퍼티즈, 인코퍼레이티드
 미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이.
 올드 살렘 로드
(72) 발명자
 오펜하이머, 스콧
 미국, 노스 캐롤라이나 28277, 샬럿데, 불록 그린
 웨이 블러버드 12740
 포브스 존, 로빈 엠.
 미국, 노스 캐롤라이나 28277, 샬럿데, 굴란 코트
 11700
 (뒷면에 계속)
(74) 대리인
 강명구

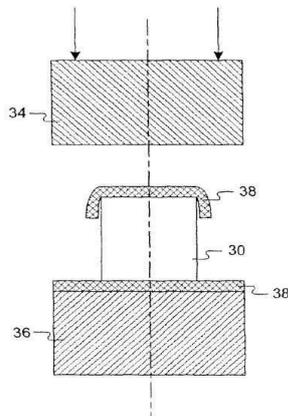
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 **향상된 단조성을 위한 윤활 방법**

(57) 요약

단조 윤활 방법이 개시된다. 고체 윤활제(38) 시트는 단조 장치에서 소재(30)와 다이(34; 36) 사이에 위치된다. 상기 다이(34; 36)로 소재(30)에 힘을 가하여 상기 소재를 소성 변형한다. 상기 고체 윤활제 시트(38)는 단조 시스템에 대한 전단 계수를 감소시키고, 다이-로킹의 발생 빈도를 줄인다.

대표도 - 도3b



(72) 발명자

맨션, 존

미국, 노스 캐롤라이나 28079, 인디안 트레일, 루
랄 팜 로드 1003

미니샌드랩, 라메쉬

미국, 노스 캐롤라이나 28270, 샬롯데, 에텐데리
드라이브 7035

토마스, 잔-필립

미국, 노스 캐롤라이나 28277, 샬롯데, 폭스하벤
드라이브 11221

특허청구의 범위

청구항 1

다음 단계를 포함하는 단조 윤활 방법:

단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키는 단계; 및
상기 소재를 소성 변형하기 위하여 상기 다이로 상기 소재에 힘을 가하는 단계.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 단조 동안에, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 0.50 미만인 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 단조 동안에, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 0.20 미만인 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 단조 동안에, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 0.15 미만인 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 단조 동안에, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 0.05 내지 0.50의 범위인 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 단조 동안에, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 0.09 내지 0.20의 범위인 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 고체 윤활제 시트는 흑연, 물리브덴 디설파이드, 텅스텐 디설파이드 및 보론 니트라이드로 구성된 그룹에서 선택된 고체-상태 윤활제 물질을 포함하는 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 고체 윤활제 시트는 고체 흑연 시트인 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키는 단계는:
고체 윤활제 시트를 상기 다이의 표면 위에 위치시키는 단계; 및
상기 소재를 상기 고체 윤활제 시트 위에 위치시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키는 단계는:

상기 고체 윤활제 시트를 하측 다이의 표면 위에 위치시키는 단계; 및

상기 소재를 상기 고체 윤활제 시트 위에 위치시키는 단계를 포함하되, 상기 고체 윤활제 시트를 상기 소재의 바닥면과 단조 장치의 하측 다이 사이에 위치시키는 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 추가의 고체 윤활제 시트를 상기 소재의 윗면 위에 위치시키는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키는 단계는:

소재를 단조 장치에 넣기 전에 상기 고체 윤활제 시트를 상기 소재 위에 위치시키는 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

제 1 항에 있어서, 단조 장치에서 상기 고체 윤활제 시트를 소재와 다이 사이에 위치시키기 전에 상기 다이를 가열하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 소재를 소성 변형하기 위하여 상기 다이로 상기 소재에 힘을 가하는 단계는 상기 소재가 1000°F 초과 온도에 있는 동안 발생하는 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 상기 소재를 소성 변형하기 위하여 상기 다이로 상기 소재에 힘을 가하는 단계는 상기 소재가 1000°F 내지 2000°F 범위의 온도에 있는 동안 발생하는 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서, 상기 소재를 소성 변형하기 위하여 상기 다이로 상기 소재에 힘을 가하는 단계는 상기 소재가 1000°F 내지 1600°F 범위의 온도에 있는 동안 발생하는 방법.

청구항 17

제 1 항에 있어서, 상기 소재는 개방-다이 단조, 폐쇄-다이 단조, 전방 압출, 후방 압출, 레디얼 단조, 엷셋 단조 및 드로우 단조로 구성된 그룹에서 선택된 단조 방법으로 소성 변형되는 방법.

청구항 18

제 1 항에 있어서, 상기 소재는 준정형가공 단조 방법으로 소성 변형되는 방법.

청구항 19

제 1 항에 있어서, 상기 소재는 티타늄 합금을 포함하는 방법.

청구항 20

제 1 항에 있어서, 상기 소재는 지르코늄 합금을 포함하는 방법.

청구항 21

제 1 항에 있어서, 상기 소재가 소성 변형된 후에 상기 소재에서 잔여 고체 윤활제를 제거하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 22

제 1 항에 있어서, 상기 고체 윤활제 시트는 상기 다이에 대한 상기 소재의 다이로킹(die locking)을 방지하는 방법.

청구항 23

다음 단계를 포함하는 단조 윤활 방법:

단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 흑연 시트를 위치시키는 단계, 상기 소재는 티타늄, 티타늄 합금, 지르코늄 또는 지르코늄 합금을 포함함; 및

상기 소재를 소성 변형하기 위하여 상기 다이로 상기 소재에 힘을 가하는 단계, 상기 소재는 단조 동안에 1000 °F 내지 2000°F 범위의 온도에 있고, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 단조 동안에 0.50 미만임.

청구항 24

제 19 항에 있어서, 상기 소재는 단조 동안에 1000°F 내지 1600°F 범위의 온도에 있고, 상기 다이와 상기 소재 사이의 전단 계수는 단조 동안에 0.09 내지 0.20 범위인 방법.

명세서

기술분야

[0001] 연방 후원 연구 및 개발에 관한 선언

[0002] 본 발명은 미국 상무부의 NIST(National Institute of Standards and Technology)에 의해 수여된 고급 기술 프로그램 어워드(Advanced Technology Program Award) 제70NANB7H7038호 하에서 미국 정부의 지원으로 만들어졌다. 미국 정부는 본 발명에 대해 일정한 권리를 가질 수 있다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 개시는 단조 작업 동안에, 다이와 소재 사이의 마찰을 감소시키고, 예를 들어, 금속 및 합금 강괴(ingot) 및 빌릿(billet)과 같은 소재의 단조성을 증가시키기 위한 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] "단조"란 소성 변형(plastic deformation)에 의한 고체-상태 물질의 가공(working) 및/또는 성형(shaping)을 말한다. 단조는 고체-상태 물질 형성 작업의 다른 기본적인 분류, 즉, 기계가공(절삭, 연삭 또는 그외의 소재로부터 물질 제거) 및 주조(몰드의 모양을 유지하기 위해 굳어지는 몰딩 액체 물질)과 구별될 수 있다. 단조성은 오류없이 소성 변형시키기 위한 물질의 상대적 능력이다. 단조성은, 가령, 단조 조건(예를 들어, 소재 온도, 다이 온도 및 변형 속도) 및 물질 특성(예를 들어, 조성물, 미세 구조 및 표면 구조)을 포함하는 다수의 요소에 따라 달라진다. 주어진 소재의 단조성에 영향을 주는 또 다른 요소는 다이 표면과 소재 표면 상호 작용의 마찰 공학(tribology)이다.

[0006] 단조 작업에서 다이 표면과 소재 표면 사이의 상호 작용은 열전달, 마찰 및 마모를 수반한다. 이와 같이, 소재와 단조 다이 사이의 절연성 및 윤활성은 단조성에 영향을 미치는 요소이다. 단조 작업에서, 마찰성은 윤활제의 사용에 의해 감소된다. 그러나, 종래의 단조 윤활제는, 특히 열간 단조 티타늄 합금 및 초합금과 관련하여 여러 가지 결점을 가진다. 본 개시는 단조 작업 동안에, 다이와 소재 사이의 마찰을 감소시키고, 종래의 단조 윤활 방법의 여러 가지 결점을 극복하기 위한 윤활 방법에 관한 것이다.

발명의 내용

[0007] **발명의 요약**

[0008] 본 명세서에 개시된 구체에는, 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키는 단계(positioning)를 포함하는 단조 윤활 방법에 관한 것이다. 다이는 소재에 힘을 가하여 소재를 소성 변형시킨다. 단조 동안에, 다이와 소재 사이의 전단 계수는 0.20 미만이다.

[0009] 본 명세서에 개시된 다른 구체에는, 단조 장치에서 티타늄 또는 티타늄 합금 소재와 다이 사이에 고체 흑연 시트를 위치시키는 단계를 포함하는 단조 윤활 방법에 관한 것이다. 다이는 1000°F 내지 2000°F 범위의 온도에서 소재에 힘을 가하여 소재를 소성 변형시킨다. 단조 동안에, 다이와 소재 사이의 전단 계수는 0.20 미만이다.

[0010] 본 명세서에 개시되고 기술된 본 발명이 이 발명의 요약에 개시된 구체예로 제한되지 않다는 것이 이해된다.

도면의 간단한 설명

[0011] 본 명세서에 개시되고 기술된, 어떤 비-제한적 구체예의 다양한 특징들은 첨부된 도면을 참조하여 더욱 잘 이해될 수 있는데, 도면에서:

도 1A는 마찰이 없는 조건하에서 소재의 개방-다이 업셋 단조기를 도시한 횡-단면 모식도이고, 그리고 도 1B는 마찰이 큰 조건하에서 동일한 소재의 개방-다이 업셋 단조기를 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 2A, 2B 및 2C는 고체 윤활제 시트 내에 감싸진 원통형 소재의 사시도이다;

도 3A 및 3C는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 개방-다이 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이고, 도 3B 및 3D는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 개방-다이 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 4A, 4C 및 4E는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 개방-다이 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이고, 도 4B, 4D 및 4F는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 개방-다이 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 5A는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 래디얼 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이고, 도 5B는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 래디얼 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 6A 및 6C는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 폐쇄-다이 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이고, 도 6B 및 6D는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 폐쇄-다이 단조 작업을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 7A, 7A, 7B 및 7D는 단조 장치에서 소재 및 다이와 관련하여, 고체 윤활제 시트와 절연시트의 여러 가지 형상을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 8은 링 압축 시험의 일반적인 설정(set-up)을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 9는 링 압축 시험에서, 여러 가지 마찰 조건하에서 압축된 링 모양을 도시한 횡-단면 모식도이다;

도 10A는 링 압축 시험에서, 압축 전의 링 시편의 사시 단면도이고, 도 10B는 링 압축 시험에서, 상대적으로 작은 마찰로 압축 후의 링 시편의 사시 단면도이며, 도 10C는 링 압축 시험에서, 상대적으로 큰 마찰로 압축 후의 링 시편의 사시 단면도이다;

도 11A는 링 압축 시험에서 압축 전의 링 시편의 상면도이고, 도 11B는 링 압축 시험에서 압축 전의 링 시편의 측면도이다; 및

도 12는 Ti-6Al-4V 합금의 링 압축 시험에 대하여, 압축된 내부 지름과 전단 계수의 상관관계 그래프이다;

독자는 후술하는 본 개시에 따른 다양한 비-제한적 구체예의 상세한 설명을 고려하면, 상기 세부사항은 물론 다른 것들도 이해할 것이다. 또한 독자는 본 명세서에 기술된 구체예를 실시하거나 사용할 시, 추가적인 세부사항도 이해할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 개시된 구체예의 설명은 개시된 구체예의 명확한 이해와 관련된 특징 및 특서만을 나타내기 위하여 간소화되었고, 반면, 명확성을 위하여 다른 특징 및 특성을 제거하였음이 이해되어야 한다. 이 개시된 구체예의 설명을 고려하면, 당해 분야의 통상의 기술을 가진 자는 개시된 구체예의 특정한 실시 또는 응용에서 다른 특징 및 특성이 요망될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 그러나, 이 개시된 구체예의 설명을 고려하면, 당해 분야의 통상의 기술을 가진 자가 이러한 다른 특징 및 특성을 용이하게 알 수 있고 실시할 수 있으며, 그러므로, 개시된 구체예에 대한 완벽한 이해를 요하지 않기 때문에, 본 명세서에 이러한 특징, 특성 등의 설명은 제공되지 않는다. 이와 같이, 본 명세서에 제시된 설명은 단지 개시된 구체예의 예시적 및 설명적이고, 청구범위에 의해 한정된 본 발명의 범위를 제한하려는 의도가 아니라는 것이 이해되어야 한다.

[0013] 본 개시에서, 다른 표시가 없는 한, 모든 수치 파라미터는, 모든 예에서 용어 "약(about)"에 의하여 전치되고 수식된 것으로 이해될 수 있고, 여기서, 수치 파라미터는 상기 파라미터의 수치값을 측정하기 위해 사용된 근본적인 측정 기술의 고유한 가변성 특징을 가진다. 적어도, 청구항의 범위에 대하여 균등론의 적용을 제한하려는 시도 없이, 본 설명에서 기술된 각 수치 파라미터는 적어도, 알려진 유효 자리의 수에 비추어 통상적인 반올림 기법(rounding technique)을 적용하여 고려되어야 한다.

[0014] 또한, 본 명세서에서 언급된 임의의 수치 범위는 언급된 범위 내에 포함된 모든 하위-범위를 포함하는 것으로 의도된다. 예를 들어, "1 내지 10"의 범위는 언급된 최솟값인 1과 언급된 최댓값인 10의 사이(포함)의 모든 하위-범위, 즉, 1 이상의 최솟값과 10 이하의 최댓값을 가지는 하위-범위를 포함하는 것으로 의도된다. 본 명세서에 언급된 임의의 최대 수치 제한은 그 안에 포함된 모든 하위 수치 제한을 포함하고, 본 명세서에 언급된 임의의 최소 수치 제한은 그 안에 포함된 모든 상위 수치 제한을 포함하는 것으로 의도된다. 이에 따라, 출원인은 본 명세서에 명백히 언급된 범위 내에 포함된 임의의 하위-범위를 명백히 언급하기 위해 청구범위를 포함하여본 개시를 보정하기 위한 권리를 가진다. 이러한 모든 범위는 본 명세서에 고유하게 개시된 것으로 의도되어서, 임의의 이러한 하위-범위를 명백히 언급하기 위한 보정은 35 U.S.C. § 112, 첫 번째 단락 및 35 U.S.C. § 132(a)의 요건을 준수한다.

[0015] 본 명세서에 사용된 문법적인 관사 "하나의(one)", "한(a)", "한(an)" 및 "상기(the)"는 다른 표시가 없는 한, "적어도 하나의" 또는 "하나 이상의"를 포함하는 것으로 의도된다. 이와 같이, 본 명세서에서 사용된 관사는 관사의 문법적 대상물의 하나 또는 하나 초과(즉, "적어도 하나")과 관련 있다. 예로써, "한 성분(a component)"는 하나 이상의 성분을 의미하고, 이에 의해, 가능하게, 하나 초과 성분은 고려되고, 개시된 구체예의 실시에서 이용 또는 사용될 수 있다.

[0016] 본 명세서에 참고로서 포함된다고 언급된 임의의 특허, 간행물 또는 다른 개시된 자료는 다른 표시가 없는 한, 그의 전체로서 본 명세서에 포함되나, 포함된 자료는 본 명세서에 명백히 제시된 현존하는 정의, 진술 또는 다른 개시된 자료와 모순되지 않는 범위에 한한다. 이와 같이, 그리고 필요한 범위까지, 본 명세서에 제시된 바와 같이, 명시된 개시는 본 명세서에 참고로서 포함된 어떠한 모순되는 자료를 대체한다. 본 명세서에 참고로서 포함된다고 언급되나 본 명세서에 제시된 현존하는 정의, 진술 또는 다른 개시된 자료와 모순되는 임의의 간행물, 또는 그의 일부는 포함된 자료와 현존하는 개시된 자료 사이에 모순이 발생하지 않는 정도까지만 포함된다. 출원인은 본 명세서에 참고로 포함된 임의의 물질, 또는 그의 비율을 명백히 언급하기 위해 현 개시를 보정 할 수

있는 권리를 갖는다.

[0017] 본 개시는 다양한 구체예의 설명을 포함한다. 본 명세서에 기술된 다양한 구체예는 예시적이고, 설명적, 그리고 비-제한적임이 이해되어야 한다. 이와 같이, 본 개시는 다양한 예시적이고, 설명적, 그리고 비-제한적인 구체예의 설명에 의해 제한되지 않는다. 그보다, 본 발명은 청구범위에 의해 한정되고, 청구범위는 본 개시 내에서 명백하게 또는 내재적으로 기술되거나 명백하게 또는 내재적으로 본 개시에 의해 뒷받침되는 임의의 특징 또는 특성을 언급하기 위해 보정될 수 있다. 더구나, 출원인은 선행 기술에서 존재할 수 있는 특징 또는 특성을 확정적으로 부인하기 위하여 청구범위를 보정할 권리를 갖는다. 그러므로, 이러한 임의의 보정은 35 U.S.C. § 112, 첫 번째 단락, 및 35 U.S.C. § 132(a)의 요건을 준수한다. 본 명세서에 개시되고 기술된 다양한 구체예는 본 명세서에 다양하게 기술된 바와 같이, 특징 및 특성을 포함, 구성, 또는 본질적으로 구성될 수 있다.

[0018] 단조 작업에서, 소재 표면과 다이 표면 사이의 계면 마찰은 마찰전단응력(frictional shear stress)으로 정량화하여 표현될 수 있다. 마찰전단응력(τ)은 다음 방정식에 의해, 전단 계수(m)와 변형 물질(σ)의 고체 흐름 응력의 함수로 표현될 수 있다:

$$\tau = \frac{m}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}$$

[0019]

[0020] 전단 계수의 값은 단조 시스템에 대한 윤활성의 정량적인 수치를 제공한다. 예를 들면, 윤활제를 사용하지 않고 티타늄 합금 소재를 단조할 때, 전단 계수가 0.6 내지 1.0 범위에 있는 반면, 어떤 용융 윤활제를 사용하여 티타늄 합금 소재를 열간 단조할 때, 전단 계수는 0.1 내지 0.3 범위일 수 있다.

[0021] 예를 들어 단조 작업에 대해 상대적으로 높은 전단 계수의 값에 의해 특징지어진 불충분한 단조 윤활은 다수의 역효과를 가질 수 있다. 단조에서, 물질의 고체-상태 흐름은 다이로부터 소성 변형하는 소재로 전달되는 힘에 의해 야기된다. 다이/소재 계면에서 마찰 조건은 금속 흐름, 표면의 형성, 소재 내의 내부 응력, 다이에 작용하는 응력 및 압축 하중 그리고 에너지 요구량에 영향을 준다. 도 1A 및 1B는 개방-다이 업셋 단조 작업과 관련하여, 특정한 마찰 효과를 나타낸다.

[0022] 도 1A는 마찰이 없는 이론적인 조건하에서 원통형 소재(10)의 개방-다이 업셋 단조기를 도시한다. 도 1B는 마찰이 큰 조건하에서 동일한 원통형 소재(10)의 개방-다이 업셋 단조기를 도시한다. 상측 다이(14)는 소재의 초기 높이(점선에 의해 도시됨)에서 단조된 높이(H)까지 소재(10)를 압축한다. 상측 다이(14)와 하측 다이(16)는 소재(10)에 대하여 동일한 크기로 반대 방향으로 업셋팅 힘(upsetting force)을 가한다. 소재(10)를 형성하는 물질은 압착될 수 없고, 그러므로 초기 소재(10)의 부피와 단조된 소재(10a 및 10b)의 부피는 동일하다. 도 1A에 도시된 마찰이 없는 조건하에서, 소재(10)는 축 방향 및 레디얼 방향으로 일정하게 변형된다. 이는 단조된 소재(10a)의 선형 프로파일(12a)에 의해 표시된다. 도 1B에 도시된 마찰이 큰 조건하에서, 소재(10)는 축 방향 및 레디얼 방향으로 일정하게 변형되지 않는다. 이는 단조된 소재(10b)의 곡선형 프로파일(12b)에 의해 표시된다.

[0023] 이 방식에서, 단조된 소재(10b)는 마찰이 큰 조건하에서 "배럴링(barreling)"을 나타내는 반면, 단조된 소재(10a)는 마찰이 없는 조건하에서 어떠한 배럴링도 나타내지 않는다. 일반적으로 단조 동안에 다이/소재 계면 마찰 때문에 배럴링 및 다른 비-일정한 소성 변형의 효과는 바람직하지 않다. 예를 들어, 폐쇄-다이 단조에서, 계면 마찰은 변형 물질이 다이 내의 모든 공동부(cavity)를 채우지 않은 빈 공간의 형성을 야기할 수 있다. 이는 소재가 엄격한 공차 내로 단조되는 정형가공(net-shape) 또는 준정형가공(near-net-shape) 단조 작업에서 특히 문제될 수 있다. 결과적으로, 단조 윤활제는 단조 작업 동안에 다이 표면과 소재 표면 사이의 계면 마찰을 줄이기 위해 이용될 수 있다.

[0024] 다양한 구체예에서, 단조 윤활 방법은 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키는 단계(positioning)를 포함한다. 본 명세서에서 사용된, "고체 윤활제 시트(solid lubricant sheet)"는 금속성 표면들 사이의 마찰을 줄이는 고체-상태 윤활제를 포함하는 물질의 상대적으로 얇은 조각이다. 고체-상태 윤활제는 주변 조건하에서 고체 상태에 있고, 단조 조건(예를 들어, 상승된 온도)하에서 고체 상태로 유지된다. 고체 윤활제 시트는 단조 동안에, 다이와 소재 사이의 전단계수를 0.20 미만으로 감소시킬 수 있다. 고체 윤활제 시트

는 흑연, 몰리브덴 디설파이드, 텅스텐 디설파이드 및 보론 니트라이드로 구성된 그룹에서 선택된 고체-상태 윤활제 물질을 포함할 수 있다.

[0025] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 실온에서 0.3 이하의 마찰 계수 및/또는 1500°F 이상의 녹는점 온도를 갖는 고체-상태 윤활제를 포함할 수 있다. 본 명세서에 개시된 고체 윤활제 시트에서 유용성을 발견한 고체-상태 윤활제는, 예를 들어, 고체-상태 윤활제를 포함하는 고체 윤활제 시트로 단조된 물질의 전단 흐름 응력값 (shear flow stress value)의 20% 이하의 전단 흐름 응력값을 포함하는 것도 특징으로 할 수도 있다. 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트를 포함하는 고체-상태 윤활제는 500% 이상의 전단 연성(shear ductility)을 특징으로 한다. 본 명세서에 개시된 고체 윤활제 시트에서 유용성을 발견한 고체-상태 윤활제는 적절한 바인더 또는 접착제와 함께 또는 없이, 시트 형태로 가공될 수 있는 능력을 가진다.

[0026] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 가요성일 수 있고, 공동부 내에 그리고, 단조 다이 및/또는 소재의 윤곽과 비-평면 표면 위에 위치시킬 수 있다. 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 단단할 수 있고, 단조 장치에서 다이와 소재 사이에 위치시키는 동안에 미리-형성된 모양 또는 윤곽을 유지할 수 있다.

[0027] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 고체-상태 윤활제 혼합물(가령, 예를 들어, 흑연, 몰리브덴 디설파이드, 텅스텐 디설파이드 및/또는 보론 니트라이드) 및 잔여 불순물(가령, 예를 들어, 재(ash))로 구성될 수 있고, 바인더, 필러 또는 다른 첨가제를 함유하지 않는다. 대안적인 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 고체-상태 윤활제 및 바인더, 필러 및/또는 첨가제를 포함할 수 있다. 예를 들어, 고체 윤활제 시트는 산소-함유된 환경, 가령, 예를 들어, 주변 또는 고온 공기에서, 상승된 온도에서 계속적으로 또는 반복적으로 사용할 수 있도록 하는 산화 방지제를 함유할 수 있다.

[0028] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 섬유 시트에 결합된 고체-상태 윤활제의 박편을 포함할 수 있다. 예를 들어, 고체-상태 윤활제는 세라믹 섬유 시트, 유리 섬유 시트, 탄소 섬유 시트 또는 중합 섬유 시트에 접착적으로-결합되거나, 열적으로-결합될 수 있다. 적절한 섬유 시트는 직물 및 부-직물 섬유 시트를 포함한다. 고체 윤활제 시트는 섬유 시트의 한 면 또는 양 면에 결합된 고체-상태 윤활제의 박편을 포함할 수 있다. 고체 윤활제 시트와 같이 본 명세서에 개시된 방법에서 유용성을 찾을 수 있는 가요성 섬유 시트에 결합된 가요성 흑연 시트의 박편의 예는, 예를 들어, 본 명세서에 참조로 포함되는 미국 특허 제4,961,991호에 기술된다.

[0029] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 중합 시트에 결합된 고체-상태 윤활제의 박편을 포함할 수 있다. 예를 들어, 고체-상태 윤활제는 가요성 중합 시트의 한 면 또는 양 면에 접착적으로-결합되거나 열적으로-결합될 수 있다. 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 고체-상태 윤활제의 접착제-부착된(adhesive-backed) 시트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 흑연, 몰리브덴 디설파이드, 텅스텐 디설파이드 및/또는 보론 니트라이드의 시트는 시트의 한 면에 도포된 접착제 화합물을 포함할 수 있다. 접착제-부착된 고체 윤활제 시트는 단조 전에 다이 및/또는 소재 표면에 도포되고 접착되어, 예를 들어, 단조 작업 동안에 고체 윤활제 시트를 적합하게 위치시키도록 보장할 수 있다. 중합 물질, 접착제 및/또는 다른 유기 물질을 포함하는 고체 윤활제 시트는 유기 번-아웃(burn-out)이 허용되는 열간 단조 작업에서 사용될 수 있다.

[0030] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 0.005" (0.13 mm) 내지 1.000" (25.4 mm)의 범위 또는 그 안에 임의의 하위-범위의 두께를 가질 수 있다. 예를 들어, 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 0.005" (0.13 mm), 0.006" (0.15 mm), 0.010" (0.25 mm), 0.015" (0.38 mm), 0.020" (0.51 mm), 0.025" (0.64 mm), 0.030" (0.76 mm), 0.035" (0.89 mm), 0.040" (1.02 mm), 0.060" (1.52 mm), 0.062" (1.57 mm), 0.120" (3.05 mm), 0.122" (3.10 mm), 0.24" (6.10 mm), 0.5" (12.70 mm) 또는 0.75" (19.05 mm)의 최소, 최대 또는 평균 두께를 가질 수 있다. 상기 두께는 하나의 고체 윤활제 시트 또는 다수의 고체 윤활제 시트의 더미로 얻을 수 있다.

[0031] 단조 작업에서 사용된 고체 윤활제 시트 또는 시트의 더미의 두께는, 단조 온도, 단조 시간, 소재 크기, 다이 크기, 단조 압력, 소재의 변형 정도 등을 포함하는 다양한 요소에 따라 달라진다. 예를 들어, 단조 작업에서 소재와 다이의 온도는 고체 윤활제 시트의 윤활성 및 고체 윤활제 시트 전반에 걸쳐 열전달에 영향을 준다. 예를 들어, 고체-상태 윤활제의 압축, 점결(caking) 및/또는 산화 때문에, 더 두꺼운 시트 또는 시트의 더미가 고온 및/또는 더 긴 단조 시간에서 유용할 수 있다. 다양한 구체예에서, 본 명세서에 개시된 고체 윤활제 시트는 단조 작업 동안에, 소재 및/또는 다이의 표면 위에서 감소 될 수 있고, 그러므로, 더 두꺼운 시트 또는 시트의 더미는 소재의 증가된 변형을 위해 유용할 수 있다.

[0032] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 고체 흑연 시트일 수 있다. 고체 흑연 시트는 흑연 시트의 중량으로 적어도 95%의 흑연 탄소 함유량을 가질 수 있다. 예를 들어, 고체 흑연 시트는 흑연 시트의 중량으로 적어도 96%,

97%, 98%, 98.2%, 99.5% 또는 99.8%의 흑연 탄소 함유량을 가질 수 있다. 본 명세서에 개시된 방법에 적절한 고체 흑연 시트는 미국, 오하이오, 레이크우드(Lakeview)의 GrafTech International에서 시판되는 다양한 등급의 Grafoil® 가요성 흑연 물질; 미국, 캘리포니아, 우드랜드 힐의 HP Materials Solutions, Inc에서 시판되는 다양한 등급의 흑연 호일, 시트, 펠트(felt) 등; 미국, 뉴욕, 팔미라의 Garlock Sealing Technologies에서 시판되는 다양한 등급의 Graph-Lock® 흑연 물질; 미국, 오하이오, 시드니의 Thermoseal, Inc.에서 시판되는 다양한 등급의 가요성 흑연; 및 미국, 펜실베이니아 콘쇼켄의 DAR Industrial Products, Inc.에서 시판되는 다양한 등급의 흑연 시트 제품을 포함한다.

[0033] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는 단조 장치에서 가공 표면 위에 위치시킬 수 있고, 다이 위의 고체 윤활제 시트 위에 위치시킬 수 있다. 본 명세서에서 사용된, 다이의 "가공 표면(working surface)"은 단조 작업 동안에 소재에 접촉하거나 또는 접촉할 수 있는 표면이다. 예를 들어, 고체 윤활제 시트는 프레스 단조 장치의 하측 다이 위에 위치시킬 수 있고, 소재는 고체 윤활제 시트 위에 위치시켜서, 고체 윤활제 시트가 소재의 바닥면과 하측 다이 사이에 삽입된 위치에 있도록 한다. 소재가 하측 다이 위의 고체 윤활제 시트 위에 위치되기 전 또는 후에, 추가의 고체 윤활제 시트가 소재의 윗면 위에 위치되도록 할 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 고체 윤활제 시트는 단조 장치에서 상측 다이 위에 위치될 수 있다. 이 방식에서, 적어도 하나의 추가의 고체 윤활제 시트는 소재의 윗면과 상측 다이 사이에 삽입될 수 있다. 다이들 사이의 소재에 힘이 가해져서 다이와 소재 사이의 마찰을 감소시키면서 소재를 소성 변형시킬 수 있으며, 이는 원하지 않는 마찰 효과를 감소시킨다.

[0034] 다양한 구체예에서, 고체 윤활제 시트는, 구부러지거나, 형성되거나 또는 윤곽화 될 수 있는 가요성 또는 단단한 시트여서, 단조 작업에서 다이 및/또는 소재의 모양에 맞출 수 있다. 고체 윤활제 시트는 단조 장치에서 소재 및/또는 다이 위에 위치되기 전에 구부러지거나, 형성되거나 또는 윤곽, 즉, 기설정된 모양 또는 윤곽으로 미리-형성될 수 있다. 예를 들어, 미리-형성된 모양은 고체 윤활제 시트에서 하나 이상의 접힌 부분(fold)를 포함할 수 있다(예를 들어, 원통형 소재의 만곡된 상측 표면 위에 시트를 위치시키는 것을 돕기 위하여 원통형 소재의 종방향 축을 따라 축 방향으로 대략 135° 굽어지거나, 또는 직사각형 소재 위에 시트를 위치시키는 것을 돕기 위해 하나 이상의 대략 90° 굽어짐). 대안적으로, 고체 윤활제 시트는 가요성 또는 단단한 슬리브, 튜브, 중공 원통 또는 단조 전에 다이 또는 소재 위의 고체 윤활제 시트를 위치시키고 기계적으로 고정하도록 의도된 다른 기하학 구조로 형성될 수 있다.

[0035] 고체 윤활제 시트가 단조 장치에서 다이와 소재 사이에 삽입될 때, 고체 윤활제 시트는 다이와 소재 사이에 고체-상태 막을 제공할 수 있다. 이 방식으로, 다이는 고체 윤활제 시트를 통해 소재와 간접적으로 접촉하고, 이는 다이와 소재 사이의 마찰을 감소시킨다. 고체 윤활제 시트의 고체-상태 윤활제는 상대적으로 작은 전단 흐름 응력값과 상대적으로 큰 전단 연성값을 특징으로 하고, 이는 단조 동안에 고체 윤활제 시트가 연속 필름(continuous film)과 같이 다이-소재 계면을 따라 흐를 수 있게 한다. 예를 들어, 다양한 구체예에서, 본 명세서에 개시된 고체 윤활제 시트에서 유용성을 발견한 고체-상태 윤활제는, 예를 들어, 고체-상태 윤활제를 포함하는 고체 윤활제 시트로 단조된 물질의 전단 흐름 응력값(shear flow stress value)의 20% 이하의 전단 흐름 응력값과 500% 이상의 전단 연성을 포함하는 것을 특징으로 할 수도 있다.

[0036] 예로써, 흑연 고체-상태 윤활제는 축적된 그래핀(graphene) 층으로 구성된다. 그래핀 층은 공유-결합된 탄소의 일-원자-두께의 층이다. 흑연에서 그래핀 층 사이의 전단력은 매우 작고, 그러므로, 그래핀 층은 매우 작은 저항으로 서로에 대하여 미끄러질 수 있다. 이 방식에서, 흑연은 상대적으로 작은 전단 흐름 응력과 상대적으로 큰 전단 연성을 나타내며, 이는 흑연 시트가 단조 동안에 연속 필름과 같이 다이-소재 계면을 따라 흐를 수 있도록 한다. 헥사고날 보론 니트라이드, 폴리브덴 디설파이드 및 텅스텐 디설파이드는, 미끄럼면들 사이의 저항을 최소화하는 크리스털 격자층 사이에서 매우 작은 전단력을 가진 유사한 크리스털 격자 구조를 가지고, 그러므로, 유사한 건조 윤활성 특성을 나타낸다.

[0037] 단조 작업 동안에, 고체 윤활제 시트가 다이와 소재 사이에서 압축되고 윤활성을 유지하기 위해 전단에서 흐를 때, 단조 압력이 가해지는 위치에서 고체 윤활제 시트가 다져지게 됨에 따라, 다이와 소재의 표면에 기계적으로 접촉될 수 있다. 다양한 구체예에서, 임의의 다져진 또는 "점결된(caked)" 고체 윤활제 시트는 뒤이은 단조 작업 또는 다른 작업 전에 소재 또는 다이 위에 남겨나 제거될 수 있다.

[0038] 다양한 구체예에서, 소재가 단조 장치에 위치되기 전에 고체 윤활제 시트는 소재 위에 위치될 수 있다. 예를 들어, 소재의 표면의 적어도 한 부분은 고체 윤활제 시트(28)로 감싸질 수 있다. 도 2A 내지 2C는 단조 전에 고체 윤활제 시트로 감싸진 원통형 소재(20)를 도시한다. 도 2A는 소재(20)의 모든 외부 표면이 고체 윤활제 시트(28)로 커버된 것을 도시한다. 도 2B는 소재(20)의 원주 표면만이 고체 윤활제 시트로 커버된 것을 도시한다.

도 2B에서 고체 윤활제 시트는 소재(20)의 말단 표면에 위치되지 않는다. 도 2C는 밑에 있는 소재(20)의 원통형 표면(21)을 나타내기 위해 제거된 고체 윤활제 시트(28)의 부분을 가진 도 2B의 소재(20)를 도시한다.

[0039] 다양한 구체예에서, 소재가 단조 장치에 위치되기 전에, 고체 윤활제 시트는 단조 장치에서 하나 이상의 다이 위에 위치될 수 있다. 다양한 구체예에서, 단조 전에 접착제-부착된 고체 윤활제 시트는 소재 및/또는 다이 위에 위치된다. 대안적으로, 고체 윤활제 시트는 소재 및/또는 다이 위에 별개의 접착제로 고정되어 단조 작업 동안에 고체 윤활제 시트를 적합하게 위치시키는 것을 더욱 잘 보장할 수 있다. 단조 작업이 단조 장치의 두 번 이상의 스트로크(stroke)를 포함하는 구체예에서, 임의의 두 번의 스트로크 사이에, 추가의 고체 윤활제 시트가 다이 표면과 소재 표면 사이에 삽입될 수 있다.

[0040] 본 명세서에 개시된 단조 윤활 방법은 향상된 윤활성 및 단조성이 유리할 수 있는 임의의 단조 작업에 적용될 수 있다. 예를 들어, 그리고 제한 없이, 본 명세서에 개시된 단조 윤활 방법은 개방-다이 단조, 폐쇄-다이 단조, 전방 압출, 후방 압출, 레디얼 단조, 엷 단조 및 드로우 단조에 적용될 수 있다. 게다가, 본 명세서에 개시된 단조 윤활 방법은 정형가공 및 준정형가공 단조 작업에 적용될 수 있다.

[0041] 도 3A 내지 3D는 개방 편평한-다이 프레스 단조 작업을 도시한다. 도 3A 및 3C는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 단조 작업을 도시하고, 도 3B 및 3D는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 단조 작업을 도시한다. 상측 다이(34)는 초기 높이에서 단조된 높이(30)까지 소재를 가압한다. 상측 다이(34)와 하측 다이(36)에 의하여 소재(30)에 압력이 가해진다. 소재(30)의 물질은 압착될 수 없고, 그러므로, 초기 소재(30)의 부피와 단조된 소재(30a 및 30b)의 부피는 동일하다. 윤활제 없이, 도 3C에 도시된 단조된 소재(30a)는 일정하게 변형되지 않고, 소재(30)와 다이들(34 및 36) 사이의 상대적으로 큰 마찰 때문에 32a에서 배럴링을 나타낸다.

[0042] 도 3B에 도시된 바와 같이, 고체 윤활제 시트(38)는 소재(30)와 상측 및 하측 다이(34 및 36) 사이에 각각 위치된다. 고체 윤활제 시트(38)는 하측 다이(36) 위에 위치되고, 소재(30)는 고체 윤활제 시트(38) 위에 위치된다. 추가의 고체 윤활제 시트(38)는 소재(30)의 윗면 위에 위치된다. 고체 윤활제 시트(38)는 가요성이고, 소재(38) 위에 늘어뜨리게(drape) 위치될 수 있다. 고체 윤활제 시트(38)와 함께, 도 3D에 도시된 단조된 소재(30b)는 좀 더 일정하게 변형되고, 소재(30)와 다이들(34 및 36) 사이의 감소된 마찰 때문에 32b에서 작은 배럴링을 나타낸다.

[0043] 도 4A 에서 4F는 개방 V-모양다이 단조 작업을 도시한다. 도 4A, 4C 및 4E는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 단조 작업을 도시하고, 그리고 도 4B, 4D 및 4F는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 단조 작업을 도시한다. 도 4A 및 4B는 V-모양다이 공동부에 대해 중심에서 벗어나게 위치한 소재(40)를 도시한다. 도 4B에 도시된 바와 같이, 고체 윤활제 시트(48)는 소재(40)와 상측 및 하측 다이(44 및 46) 사이에 각각 위치된다. 고체 윤활제 시트(48)는 하측 다이(46) 위에 위치되고, 소재(40)는 고체 윤활제 시트(48) 위에 위치된다. 추가의 고체 윤활제 시트(48)는 소재(40)의 윗면 위에 위치된다. 고체 윤활제 시트(48)는 가요성이어서, 하측 다이(46)의 V-모양의 공동부의 윤곽에 맞춰지고, 소재(48) 위에 늘어뜨리시기 위해 위치될 수 있다.

[0044] 도 4C 및 4D는 상측 다이(44)와 바로 접촉이 된 소재(40)를 도시하고, 소재(40)에 압력이 가해지기 시작한다. 도 4C에 도시된 바와 같이, 프레스 스트로크 동안에 상측 다이(44)가 윤활 없이 소재(40)와 접촉하면서, 소재(40)와 다이들(44 및 46)의 접촉 표면 사이의 큰 마찰은 47에 표시된 바와 같이, 소재가 다이들에 부착되게 됨을 유발한다. "다이-로킹(die-locking)"으로 언급될 수 있는 이 현상은, 중심에서 벗어난 소재가 다이-록이 되고 다이의 윤곽 가지기 위한 변형이 적합하게 되지 않아서, 윤곽이 있는 다이 표면과 관계된 단조 작업에서 특히 바람직하지 않을 수 있다.

[0045] 윤활성 없는 단조 작업에서 프레스 스트로크 동안에, 소재는 압력이 부착 마찰력(sticking friction force)을 넘을 때까지 다이-록이 될 수 있다. 비-윤활된 단조 작업에서 압력이 부착 마찰력을 넘게 되면, 소재는 빠르게 단조 장치로 가속될 수 있다. 예를 들어, 도 4C에 도시된 바와 같이, 이후 압력이 소재(40)와 다이들(44 및 46, 47에 표시됨) 사이의 부착 마찰력을 넘게 되고, 화살표 (49)로 표시된 바와 같이, 소재(40)는 다이(46)의 V-모양 공동부 중심으로 빠르게 아래쪽으로 가속될 수 있다.

[0046] 단조 장치 내부로 소재의 빠른 가속화는 소재, 단조 장치, 또는 둘 다 손상시킬 수 있다. 예를 들어, 압력이 부착 마찰력을 초과할 때, 소재 및/또는 다이는 마모될 수 있다, 즉, 물질이 다이-로킹 동안 잡힌 국부적인 접촉 영역(예를 들어, 도 4C에서 영역(47)으로부터 원하지 않게 제거될 수 있다. 더구나, 만일 소재가 단조 장치 내로 가속되면, 단조된 소재는 손상, 스크래치, 깨지고, 갈라지고 및/또는 균열될 수 있다. 또한, 다이-로킹은 단

조된 제품에 걸쳐 치수 제어를 유지하는 능력에 악영향을 줄 수도 있다. 게다가, 단조 장치 내로 빠른 움직임은 단조 장치의 구성요소의 표면과 강력한 충격과 단조 장치의 흔들림을 유발할 수 있고, 이는 단조 장치를 손상시키거나 아니면, 단조 장치의 구성요소의 수명을 단축시킬 수 있다.

[0047] 고체 윤활제 시트를 사용한 단조 작업에서의 프레스 스트로크 동안에, 중심에서 벗어난 소재는 마찰 감소로 인한 다이-로킹을 경험하지 않는다. 고체 윤활제 시트는 부착 마찰을 현저하게 감소시키거나 제거해서, 그러므로, 허용될 수 없게 빠른 소재의 가속화는 발생하지 않는다. 대신에, 상측 다이가 소재 또는 소재 위의 윤활제 시트와 접촉하면서, 상대적으로 순조로운 자체-중심화 동작(self-centering action)이 발생한다. 예를 들어, 도 4D에 도시된 바와 같이, 상측 다이(44)가 소재(40)에 접촉할 때, 고체 윤활제 시트(48)는 부착 마찰을 현저하게 줄이거나 제거하고, 미끄럼 마찰을 감소시켜서, 소재(40)가 다이(46)의 V-모양의 공동부 내로 순조롭게 아래쪽으로 자체-중심화된다.

[0048] 도 4E 및 4F는 윤활제를 사용하지 않고, 고체 윤활제 시트(48)를 사용하여 단조된 소재(40a 및 40b)를 각각 도시한다. 도 4E에 도시된 단조된 소재(40a)는 윤활제를 사용하지 않고 단조하는 동안에 일정하게 변형되지 않고, 소재(40)와 다이들(44 및 46) 사이의 상대적으로 큰 마찰 때문에 42a에서 배럴링을 나타낸다. 도 4F에 도시된 단조된 소재(40b)는 좀 더 일정하게 변형되고, 소재(40)와 다이들(44 및 46) 사이의 감소된 마찰 때문에 42b에서 작은 배럴링을 나타낸다.

[0049] 도 5A 및 5B는 레디얼 단조 작업을 도시한다. 도 5A는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않는 레디얼 단조 작업을 나타내고, 도 5B는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 레디얼 단조 작업을 나타낸다. 다이들(54 및 56)에 대해 종방향으로 움직이는 원통형 소재(50)의 지름은 소재(50)에 대해 레디얼 방향으로 이동하는 다이들(54 및 56)에 의해 작아진다. 도 5A에 도시된 바와 같이, 윤활제를 사용하지 않고 수행된 레디얼 단조 작업은 52a에 표시된 바와 같이, 비-일정한 변형을 야기한다. 도 5B에 도시된 레디얼 단조 작업은 본 명세서에 개시된 방법에 따라 소재(50)를 감싸는 고체 윤활제 시트(58)를 사용하여 수행된다. 예를 들어, 소재(50)는 상기 도 2A 또는 2B에 도시된 바와 같이, 고체 윤활제 시트(58)로 감쌀 수 있다. 도 5B에 도시된 바와 같이, 고체 윤활제 시트를 사용하여 수행된 레디얼 단조 작업은 52b에 표시된 바와 같이 좀 더 일정한 변형을 야기한다.

[0050] 도 6A 내지 6D는 정형가공 또는 준정형가공 단조 작업일 수 있는 폐쇄-다이 프레스 단조 작업을 나타낸다. 도 6A 및 6C는 고체 윤활제 시트를 사용하지 않은 폐쇄-다이 프레스 단조 작업을 나타내고, 도 6B 및 6D는 본 명세서에 개시된 방법에 따라 고체 윤활제 시트를 이용한 동일한 단조 작업을 나타낸다. 상측 다이 또는 펀치(64)는 소재(60)를 하측 다이(66)의 다이 공동부 내로 가압한다. 도 6C에 도시된 소재(60a)는 윤활제를 사용하지 않는 단조 동안에 일정하게 변형되지 않고, 소재(60)와 하측 다이(66) 사이의 상대적으로 큰 마찰 때문에 62에 표시된 바와 같이, 다이 공동부를 완전하게 채우지 않는다. 이는 특히 정형가공 및 준정형가공 폐쇄-다이 단조 작업에서 특히 문제가 될 수 있고, 여기서, 단조된 소재는 완전히-형성된 제품 또는 뒤이은 단조 또는 기계가공이 약간 있거나 또는 없는 거의-형성된 제품인 것으로 의도된다.

[0051] 도 6B에 도시된 바와 같이, 소재(60)은 고체 윤활제 시트(68) 내에 감싸진다. 고체 윤활제 시트(68)는 가요성이어서 소재(60)의 표면에 일치된다(conform). 도 6D에 도시된 소재(60b)는 고체 윤활제 시트(68)에 의해 감소된 마찰 때문에 좀 더 균일하게 변형되고, 윤곽이 있는 표면과 감싸는 다이(64 및 66)의 공동부와 완전히 일치된다.

[0052] 다양한 구체예에서, 본 명세서에 개시된 고체 윤활제 시트는 별개의 절연 시트와 조합하여 사용될 수 있다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "절연 시트(insulating sheet)"는 단조 장치에서 소재를 다이의 가공 표면으로부터 열적으로 단열하도록 의도된 고체 물질의 시트이다. 예를 들어, 절연 시트는 고체 윤활제 시트와 소재 표면 사이에 위치될 수 있고, 및/또는 절연 시트는 고체 윤활제 시트와 다이 표면 사이에 위치될 수 있다. 게다가, 절연 시트는 두 개의 고체 윤활제 시트 사이에 샌드위치되고, 그리고 샌드위치된 시트는 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 위치될 수 있다. 도 7A 내지 7D는 단조 장치에서 소재(70)와 다이들(74 및 76)에 대한 고체 윤활제 시트(78)와 절연 시트(75)의 다양한 형상을 도시한다.

[0053] 도 7A는 하측 다이(76)의 가공 표면 위에 위치한 고체 윤활제 시트(78)를 나타낸다. 소재(70)는 하측 다이(76) 위의 고체 윤활제 시트(78) 위에 위치된다. 이 방식에서, 고체 윤활제 시트(78)는 소재(70)의 바닥면과 하측 다이(76) 사이에 위치된다. 절연 시트(75)는 소재(70)의 윗면 위에 위치된다.

[0054] 도 7B는 프레스 단조 장치에서 하측 다이(76)의 가공 표면 위에 위치한 절연 시트(75)를 나타낸다. 소재(70)는

고체 윤활제 시트(78) 내에 감싸진다. 감싸진 소재(70)는 하측 다이(76) 위의 절연 시트(75) 위에 위치된다. 이 방식에서, 고체 윤활제 시트(78)와 절연 시트(75)는 소재(70)의 바닥면과 하측 다이(76) 사이에 위치된다. 절연 시트(75)는 고체 윤활제 시트(78)와 하측 다이(76) 사이에 위치된다. 또 다른 절연 시트(75)는 소재(70)의 윗면 위의 고체 윤활제 시트(78) 위에 위치된다. 이 방식에서, 또한 고체 윤활제 시트(78)와 절연 시트(75)는 소재(70)의 윗면과 상측 다이(74) 사이에 위치된다. 절연 시트(75)는 고체 윤활제 시트(78)와 상측 다이(74) 사이에 위치된다.

[0055] 도 7C는 상측 다이(74)와 하측 다이(76) 모두의 가공 표면 위에 위치된 고체 윤활제 시트(78)를 나타낸다. 절연 시트(75)는 하측 다이(76) 위의 고체 윤활제 시트(78) 위에 위치된다. 소재(70)는 절연 시트(75) 위에 위치되어서, 절연 시트(75)와 고체 윤활제 시트(78), 모두가 소재와 하측 다이(76) 사이에 위치되도록 한다. 또 다른 절연 시트(75)는 소재(70)의 윗면 위에 위치되어서, 절연 시트(75)와 고체 윤활제 시트(78), 모두가 소재와 상측 다이(74) 사이에 위치되도록 한다.

[0056] 도 7D는 상측 다이(74)와 하측 다이(76) 모두의 가공 표면 위에 위치된 고체 윤활제 시트(78)를 나타낸다. 절연 시트(75)는 하측 다이(76) 위의 고체 윤활제 시트(78) 위에 위치된다. 소재(70)는 고체 윤활제 시트(78) 내에 감싸진다. 소재(70)는 절연 시트(75) 위에 위치되어서, 세 개의 층, 즉, 고체 윤활제 시트(78), 절연 시트(75) 및 또 다른 고체 윤활제 시트(78)가 소재(70)와 하측 다이(76) 사이에 위치된다. 또 다른 절연 시트(75)는 소재(70)의 윗면 위의 고체 윤활제 시트 위에 위치되어서, 세 개의 층, 즉, 고체 윤활제 시트(78), 절연 시트(75) 및 또 다른 고체 윤활제 시트(78)가 소재(70)와 상측 다이(74) 사이에 위치된다.

[0057] 단조 장치에서 소재 및 다이에 대한 고체 윤활제 시트와 절연 시트의 다양한 형상이 본 명세서에 기술되고 도시됨에도 불구하고, 개시된 방법의 구체에는 명시적으로 개시된 형상에 제한되지 않는다. 이와 같이, 소재 및 다이에 대한 고체 윤활제 시트와 절연 시트의 다른 다양한 형상이 본 개시에 의해 고려된다. 이와 같이, 고체 윤활제 시트 및/또는 절연 시트를 위치시키기 위한 다양한 기술과 기술의 조합(가령, 예를 들어, 놓기, 늘어뜨리기, 감싸기, 부착하기 등)이 본 명세서에 기술되어도, 개시된 방법은 명시적으로 개시된 위치시키는 기술과 위치시키는 기술의 조합에 제한되지 않는다. 예를 들어, 놓기, 늘어뜨리기, 감싸기, 부착하기 등의 다른 다양한 조합은, 소재가 단조 장치 내에 위치되기 전 및/또는 후에, 소재 및 다이에 대한 고체 윤활제 시트 및/또는 절연 시트를 도포 및 위치시키는데 사용될 수 있다.

[0058] 절연 시트는 가요성이어서, 공동부 내에 및 단조 다이 및/또는 소재의 윤곽 및 비-평면 표면 위에 위치될 수 있다. 다양한 구체예에서, 절연 시트는 직물 또는 부직물 세라믹 섬유 이불, 매트, 종이, 펠트 등을 포함할 수 있다. 절연 시트는 세라믹 섬유(가령, 예를 들어, 금속 산화 섬유) 및 잔여 불순물로 구성될 수 있고, 바인더 또는 유기물 첨가제를 포함하지 않을 수 있다. 예를 들어, 적절한 절연 시트는 미세한 알루미늄이나 실리카 섬유와 보다 적은 양의 다른 산화물의 혼합물을 포함할 수 있다. 본 명세서에 개시된 방법에 적절한 세라믹 섬유 절연 시트는, 예를 들어, 미국, 뉴욕, 나이아가라 폴스의 Unifrax에서 시판되는 다양한 Fiberfrax® 물질을 포함한다.

[0059] 다양한 구체예에서, 다수의 고체 윤활제 시트를 포함하는 샌드위치 구조는 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 위치될 수 있다. 예를 들어, 둘 이상의 고체 윤활제 시트의 층을 포함하는 샌드위치 구조는 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 위치될 수 있다. 또한 샌드위치 구조는 하나 이상의 절연 시트를 포함할 수 있다. 게다가, 다수의 고체 윤활제 시트는 더 넓은 영역을 커버하기 위해 도포될 수 있다. 예를 들어, 둘 이상의 고체 윤활제 시트는 다이 및/또는 소재에 도포되어 개개의 고체 윤활제 시트가 커버할 수 있는 것보다 더 넓은 표면 영역을 커버할 수 있다. 이 방식에서, 둘 이상의 고체 윤활제 시트는 겹치거나 겹치지 않는 식으로 다이 및/또는 소재에 도포될 수 있다.

[0060] 본 명세서에 개시된 윤활 방법은 임의의 온도에서, 냉간, 온간 및 열간 단조 작업에 적용될 수 있다. 예를 들어, 고체 윤활제 시트는 단조 장치에서 소재와 다이 사이에 위치될 수 있는데, 여기서, 단조는 주변 온도에서 발생한다. 대안적으로, 소재 및/또는 다이는 소재와 다이 사이에 고체 윤활제 시트를 위치시키기 전 또는 후에 가열될 수 있다. 다양한 구체예에서, 단조 장치 내의 다이는 고체 윤활제 시트가 다이에 도포되기 전 또는 후 중 어느 때에 토치로 가열될 수 있다. 소재는 고체 윤활제 시트가 소재에 도포되기 전 또는 후 중 어느 때에 노(furnace)에서 가열될 수 있다.

[0061] 다양한 구체예에서, 소재가 1000°F 초과와 온도에 있는 동안에 소재는 소성변형될 수 있고, 여기서, 고체 윤활제 시트는 그 온도에서 윤활성을 유지한다. 다양한 구체예에서, 소재가 1000°F 내지 2000°F, 또는 그 안의 임의의 하위-범위, 가령, 예를 들어, 1000°F 내지 1600°F 또는 1200°F 내지 1500°F 범위의 온도에 있는 동안에 소재

는 소성 변형될 수 있고, 여기서, 고체 윤활제 시트는 그 온도에서 윤활성을 유지한다.

[0062] 본 명세서에 개시된 방법은 단조 윤활을 위한 강건한 방법을 제공한다. 다양한 구체예에서, 초기 단조 작업 동안에 고체 윤활제 시트는 다이 위에 고체 윤활제 코팅물을 증착할 수 있다. 증착된 고체 윤활제 코팅물은 초기 단조 작업 및 하나 이상의 뒤이은 단조 작업에서 잔존할 수 있다. 다이 위의 잔존한 고체 윤활제 코팅물은 윤활성을 유지하고, 추가의 고체 윤활제 시트를 도포시킬 필요 없이 동일한 소재 및/또는 다른 소재에 대한 하나 이상의 추가의 단조 작업에 걸쳐서 효과적인 단조 윤활성을 제공할 수 있다.

[0063] 다양한 구체예에서, 다이 위에 고체 윤활제 코팅물을 증착하기 위한 제1 단조 작업 전에, 고체 윤활제 시트는 소재와 다이 사이에 위치될 수 있고, 그리고 추가의 고체 윤활제 시트는 기설정된 횟수의 단조 작업 이후에 도포될 수 있다. 이 방식에서, 고체 윤활제 시트의 도포를 위한 작동 주기(duty cycle)는, 허용될 만한 윤활성과 단조 윤활을 유지하는 동안에, 고체 윤활제 시트의 추가의 도포 없이 수행될 수 있는 단조 작업의 수에 의해 정해질 수 있다. 이후 추가의 고체 윤활제 시트는 각 작동 주기 이후에 도포될 수 있다. 다양한 구체예에서, 초기 고체 윤활제 시트는 상대적으로 두꺼워서 초기 고체 윤활제 코팅물을 다이 위에 증착할 수 있고, 그리고 뒤이어 도포된 고체 윤활제 시트는 상대적으로 얇아서 증착된 고체 윤활제 코팅물을 유지시킬 수 있다.

[0064] 본 명세서에 개시된 방법은 다양한 금속성 물질, 가령, 예를 들어, 티타늄, 티타늄 합금, 지르코늄 및 지르코늄 합금의 단조에 활용 가능하다. 게다가, 본 명세서에 개시된 방법은 금속간 물질, 비금속 변형가능한 물질 및 다-성분 시스템, 가령, 예를 들어, 금속 캡슐화된 세라믹의 단조에 활용 가능하다. 본 명세서에 개시된 방법은 다양한 유형의 소재, 가령, 예를 들어, 강괴, 빌릿, 바, 플레이트, 튜브, 소결된 사전-형성물(pre-forms) 등의 단조에 활용 가능하다. 또한 본 명세서에 개시된 방법은 형성된 또는 거의 형성된 제품의 정형가공 및 준정형가공 단조에 활용 가능하다.

[0065] 다양한 구체예에서, 본 명세서에 개시된 윤활 방법은 0.50 이하, 0.45 이하, 0.40 이하, 0.35 이하, 0.30 이하, 0.25 이하, 0.20 이하, 0.15 이하 또는 0.10 이하의 전단 마찰 계수(m)를 특징으로 한다. 다양한 구체예에서, 본 명세서에 개시된 윤활 방법은 0.05 내지 0.50 또는 그 안의 하위-범위, 예를 들어, 0.09 내지 0.15 범위에서의 전단 계수를 특징으로 한다. 이와 같이, 본 명세서에 개시된 윤활 방법은 상기 작업에서 다이와 소재 사이의 마찰을 실질적으로 감소시킨다.

[0066] 다양한 구체예에서, 본 명세서에 개시된 윤활 방법은 단조 작업에서 소재의 다이 로킹, 접촉되기 및/또는 마모되는 발생 빈도를 감소시키거나 없앨 수 있다. 액체 또는 입자의 윤활제는 단조 작업에서 절연 시트도 사용할 때에 용이하게 도포되지 않으나, 개시된 윤활 방법은 소재에서 다이로의 열 손실을 실질적으로 감소시키는 절연 시트의 동시 사용을 할 수 있게 한다. 또한 액체 또는 입자의 윤활제는 각 단조 작업 후에 다이 및 소재의 표면 위에 사라지는 경향이 있으나, 고체 윤활제 시트는 단조 작업에서 다이와 소재 사이에 안정된 막을 생성할 수 있다. 일반적으로 고체-상태 윤활제, 가령, 예를 들어 흑연, 몰리브덴 디설파이드, 텅스텐 디설파이드 및 보론 니트라이드는 단조 조건하에서 금속성 다이 및 소재에 대하여 화학적으로 비활성이고 마멸을 일으키지 않는다.

[0067] 다양한 구체예에서, 단조 작업 동안에, 다이 및 소재에 증착된 고체 윤활제는 고체 윤활제 시트로부터 제거될 수 있다. 예를 들어, 증착된 흑연은 산화분위기, 예를 들어 노에서 가열하여 다이 및 소재의 표면으로부터 용이하게 제거될 수 있다. 또한 증착된 고체 윤활제는 세정 절차에 의해 제거될 수도 있다.

[0068] 후술하는 설명적이고 비-제한적인 실시예는, 구체예의 범위를 제한하지 않고, 여러 가지 비-제한적인 구체예를 더욱 기술하는 것으로 의도된다. 당해 분야에서 통상의 기술을 가진 자는 청구범위에 의해 한정된 바와 같은 본 발명의 범위 내에서 실시예의 변형이 가능하다는 것을 이해할 것이다.

[0069] 실시예

[0070] 실시예 1

[0071] 링 압축 시험은 고체 흑연 시트의 윤활성과 Ti-6Al-4V 합금(ASM 등급 5)의 개방 다이 프레스 단조에 대한 윤활제로서의 효과를 평가하는데 사용되었다. 일반적으로, 링 압축 시험은 본 명세서에 참고로서 포함된, 예를 들어, Atlan 등., Metal Forming: fundamentals and Application, Ch. 6, Friction in Metal Forming, ASM: 1993에 기술된다. 시스템의 전단 계수(m)로 정량화되는 윤활성은 평평한 링-모양의 시편을 기설정된 높이 감소로 압축시키는 링 압축 테스트를 사용하여 측정된다. 압축된 링의 내부 및 외부 지름에서의 변화는 다이/시편 계면에서 마찰에 따라 달라진다.

[0072] 링 압축 시험의 일반적인 설정이 도 8에 도시된다. 링(80)(횡-단면으로 도시됨)은 두 개의 다이(84 및 86) 사이에 위치되고, 초기 높이에서 변형된 높이까지 축방향으로 압축된다. 만일 링(80)과 다이(84 및 86) 사이에 마찰이 존재하지 않는다면, 링(80)은 화살표(81)에 의해 표시된 바와 같이, 축 방향을 따라 중립면(83)으로부터 바깥쪽 레디얼 방향으로 흐르는 물질과 함께 일정한 속도로 고체 디스크처럼 변형된다. 압축 전의 링이 도 9(a)에 도시된다. 배럴링(barreling)은 마찰이 없거나 최소 마찰의 압축에서 발생하지 않을 것이다(도 9(b)). 만일 마찰이 상대적으로 작으면, 압축된 링의 내부 지름이 증가하고(도 9(c)), 만일 마찰이 상대적으로 높으면 감소한다(도 9(d) 및 도 9(e)). 도 10A는 압축 전에 링 시편(100)의 단면을 도시하고, 도 10B는 상대적으로 작은 마찰 조건하에서 압축된 링(100)을 도시하며, 도 10C는 상대적으로 높은 마찰 조건하에서 압축된 링(100)을 도시한다.

[0073] 배럴링의 내부 볼록한 곳의 정점 사이로 측정된, 압축된 링의 내부 반지름에서의 변화는 여러 가지 전단 계수를 사용하여 예측된 내부 지름에 대한 값과 비교된다. 압축된 내부 지름과 전단 계수 사이의 상관관계는, 예를 들어, 링 압축에서 금속 흐름을 기설정된 단조 조건하에서 기설정된 물질에 대한 배럴링으로 시뮬레이팅하는 컴퓨터를 이용한 유한요소법(finite element method, FEM)을 사용하여 측정될 수 있다. 이 방식으로, 전단 계수는 마찰성을 특징짓는 링 압축 시험에 대해, 그리고 더 나아가 시험 시스템의 유효성에 대해 측정될 수 있다.

[0074] 1.25"의 내부 지름, 2.50"의 외부 지름 및 1.00"의 높이를 갖는 Ti-6Al-4V 합금(ASM 등급 5)의 링(도 11A 및 도 11B)이 링 압축 시험에 사용되었다. 링은 1200-1500°F 범위의 온도에서 가열되고, 개방-다이 프레스 단조 장치에서 압축되어서 0.50"의 높이로 변형되었다. 압축된 내부 지름(ID)와 전단 계수(m)의 상관관계는 미국 오하이오 콜럼버스의 Scientific Forming Technologies Corporation에서 시판되는 DEFORM™ 금속 성형 방법 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 측정된다. 상관관계는 제시된 그래프로 도 12에 도시된다.

[0075] 링은 (1) 윤활제를 사용하지 않은 400-600°F 사이의 다이, (2) 유리 윤활제(미국, 오하이오, 신시내티의 Advanced Technical Products에서 시판되는 ATP300 유리 프릿)를 사용한 400-600°F 사이의 다이, (3) 윤활제를 사용하지 않은 1500°F 사이의 다이, (4) 유리 윤활제를 사용한 1500°F 사이의 다이 및 (5) 고체 윤활제 시트를 사용한 400-600°F 사이의 다이(미국, 펜실베이니아, 웨스트 콘쇼켄의 DAR Industrial Products, Inc에서 시판되는 B등급 흑연 시트(>중량으로 98% 흑연)로 압축된다. 유리 윤활제를 사용할 때, 링을 노에서 단조 온도로 가열하기 전에, 유리 프릿의 층을 배치시키고 다듬질하여 하측 다이의 윗면과 링의 윗면에 도포한다. 고체 윤활제 시트를 사용할 때, 하측 다이와 링의 바닥면 사이와 링의 윗면에 위치시켰다. 압축된 내부 지름과 해당 전단 계수가 아래 표 1에 보고된다.

표 1

	조건	ID (in.)	전단 계수
1	400-600°F 다이, 윤활제 없음	0.47	>0.6
2	400-600°F다이, 유리 윤활제	0.47	>0.6
3	1500°F다이, 윤활제 없음	0.51	>0.6
4	1500°F다이, 유리 윤활제	1.26, 1.38	0.14, 0.10
5	주변 온도 다이, 고체 윤활제 시트	1.37	0.10

[0077] 1 및 2 조건하에서 압축된 링의 내부 지름은 62.4% 감소 되었고, 그리고 3 조건하에서 압축된 링의 내부 지름은 59.2% 감소 되었다. 이는 링과 다이 사이의 매우 큰 마찰을 가리킨다. 이 시스템에 대하여, 전단 계수와 내부 지름 사이의 상관관계가 약 $m=0.6$ 을 넘어 접근선으로 접근하기 때문에, 링 압축 시험을 사용하여 0.6 보다 큰 전단 계수를 정확하게 측정하기는 어렵다. 그러나, 1-3 조건하에서 압축된 링의 내부 반지름에서의 현저한 감소는 0.6이 이들 조건에서 가능한 최저의 전단 계수라는 것을 가리키고, 그리고 실제 전단 계수는 0.6 보다 클 것이다.

[0078] 4 및 5 조건하에서 압축된 링의 내부 지름은 증가하였고, 이는 약 0.1의 전단 계수에 해당하는 현저하게 감소된 마찰을 가리킨다. 윤활을 제공하는 고체 윤활제 시트는 유리 윤활제에 의해 제공된 윤활성보다 비슷하거나 또는 더 우수하다. 흑연의 윤활성은 상승된 온도에서 현저하게 낮아진다는 것이 알려져 있기 때문에, 고온에서의 높은 윤활성($m=0.1$)은 예상 밖이고 놀랍다. 일반적으로, 흑연의 마찰 계수(μ)는 약 700°F를 넘어서 빠르게 증가하기 시작한다. 이와 같이, 차가운 다이와 링 사이의 고체 흑연 시트의 전단 계수(m)는 1200-1500°F 범위의 온

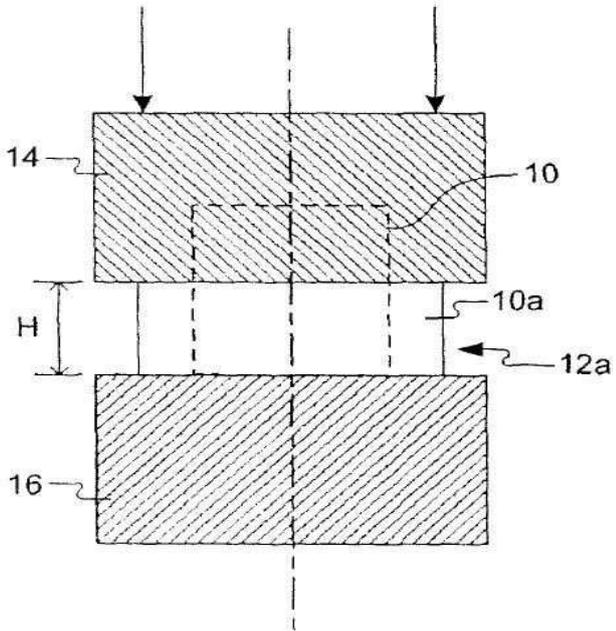
도에서 0.1 보다 현저하게 클 것으로 예상된다.

- [0079] 유리 윤활제가 단조 작업에 사용될 때에 다수의 결점을 가질 수 있기 때문에 고체 윤활제 시트의 효과 또한 현저하다. 예를 들어, 유리 윤활제는 고체 표면들 사이에 윤활을 제공하기 위하여 용융 상태에 있어야 하고, 충분히 작은 점도를 가져야 한다. 이와 같이, 유리 윤활제는 1500°F 미만의 단조 온도 또는 차가운 다이와 접촉할 때에 효과적인 윤활성을 제공하지 못할 수 있다. 유리의 유리화 온도(vitrification temperature)를 낮추기 위한 어떤 방법은 납과 같은 유독성 금속을 이용한다. 유독성 금속을 함유하는 유리 윤활제는 단조 윤활제로서 부적절하다고 생각될 수 있다. 또한, 단조를 위한 소재를 가열하기 전에 특별한 장비를 사용하여 소재 위에 유리 윤활제를 분무해야 한다. 유리 윤활제는 단조 작업 전반에 걸쳐 용융 상태로 유지되어야 하며, 이는 단조 전에 증착될 수 있는 유리 윤활제 코팅물의 두께를 제한한다.
- [0080] 더구나, 고온의 용융 유리는 소재의 운송과 취급을 방해한다. 예를 들어, 가열 노 또는 윤활제 도포 장비에서 단조 장치로 운송되는 동안에, 뜨거운 소재를 잡거나 조작하는데 사용되는 그림이 고온의 윤활된 유리 소재 위에 종종 미끄러진다. 더구나, 유리 윤활제는 단조 후에 냉각 제품 상에서 굳어질 수 있으며, 부서지기 쉬운 굳은 유리는 압박될 수 있고, 단조된 제품의 고체 유리는 격렬하게 균열되고 조각으로 부서질 수 있다. 게다가, 단조 후에 냉각 제품 상의 굳어진 잔여 유리 윤활제는 단조 수득물을 줄일 수 있고 오염된 찌꺼기 물질을 생산할 수 있는 기계적 방법에 의해 제거되어야 한다.
- [0081] 고체 윤활제 시트는 유리 윤활제가 갖는 상기 문제를 극복한다. 고체 윤활제 시트는 단조 작업 전반에 걸쳐 고체 상태를 유지하고, 다이 및/또는 소재의 가열 전 또는 후에 도포될 수 있다. 고체 윤활제 시트는 어떤 특별한 사용법 또는 취급 기술을 요하지 않고, 손에 의해 위치시킬 수 있고, 이는 좀 더 제어된 및/또는 목표가 된 활용을 가능하게 한다. 잔여 고체-상태 윤활제는 노 가열하기 및/또는 세척 절차를 사용하여 용이하게 제거될 수 있다. 고체 윤활제 시트는 소재가 단조 장치에 위치되기 전에 직접 접촉시킬 수 있다. 고체 윤활제 시트는 단조 장치에 위치되기 전에 소재에 직접 접촉시킬 수 있다. 게다가, 고체 윤활제 시트는 가요성 및/또는 연성일 수 있고, 그러므로, 단조 후에 냉각 제품으로부터 부서질 가능성이 현저하게 적을 것이다.
- [0082] 실시예 2
- [0083] Ti-6Al-4V 합금 (ASTM 등급 5)의 원통형 빌릿은 고체 윤활제 시트와 함께 및 없이, V-모양의 다이를 가진 1000 톤의 개방-다이 프레스 단조 장비에서 프레스 단조되었다. 빌릿은 노에서 1300°F 까지 가열되었다. 프레스 단조의 다이는 토치로 400-600°F로 미리 가열되었다. 빌릿은 조작자(manipulator)에 의해 노로부터 제거되고, 하측 V-모양의 다이 위에 위치된다. 조작자의 한계 때문에, 빌릿은 하측 다이의 V-모양의 윤곽에 대해 상대적으로 중심에서 벗어나게 위치된다. 고체 윤활제 시트를 사용한 단조 작업에 대하여, 빌릿을 다이 위에 위치시키기 바로 전에, 등급 HGB 흑연 시트(미국, 캘리포니아, 우드랜드 힐의 HP Materials Solutions, Inc에서 시판되고, 중량으로 99% 흑연)를 하측 다이 위에 위치시켰다. 제2 고체 윤활제 시트를 빌릿의 윗면 위에 위치시켰다. 이와 같이, 프레스 단조에서, 고체 윤활제 시트를 양 하측 다이 및 상측 다이와 빌릿 사이에 위치시켰다.
- [0084] 윤활제를 사용하지 않은 빌릿의 프레스 단조 동안에, 빌릿이 하측 다이에 다이-록킹된(die-locked) 것이 압축에 의해 생성된 힘이 마찰을 넘을 때까지 관측되었고, 이 때, 빌릿은 하측 다이의 V-모양의 윤곽 내에 빠르게 가속되어 시끄러운 소리를 내고, 프레스 단조 전체를 흔들게 할 것이다. 고체 윤활제 시트를 사용한 빌릿의 프레스 단조 동안에, 빌릿이 어떠한 다이-로킹, 빠른 가속, 시끄러운 소리 또는 프레스 단조의 흔들림 없이 하측 다이의 V-모양의 윤곽 내로 순조롭게 이동되는 자체-중심화 동작(self-centering action)이 관측되었다.
- [0085] 초기 단조 작업 동안에, 초기 고체 흑연 시트는 고체 흑연 코팅물을 하측 다이위에 증착했다. 증착된 흑연 코팅물은 초기 압축 작업 및 뒤이은 다수의 압축 작업에서 잔존했다(survived). 증착된 흑연 코팅물은 윤활성을 유지하였고, 추가의 고체 흑연 시트를 도포할 필요 없이 빌릿의 다양한 부분위에 대한 다수의 압축 작업에 걸쳐서 효과적인 단조 윤활을 제공하였다. 하나의 초기 고체 흑연 시트는 뒤이은 압축 작업을 위하여 다이-로킹을 방지하였다.
- [0086] 본 개시는 다양한 예시적, 설명적 및 비-제한적인 구체예를 참조하여 기재되었다. 그러나, 본 발명의 범위로 부터 벗어나지 않고 개시된 구체예의 다양한 치환, 변형 또는 임의의 조합이 이루어질 수 있다는 것은 당해 분야에서 통상의 기술을 가진 자에 의해 인식될 것이다. 이와 같이, 본 개시는 본 명세서에 명백하게 제시되지 않은 추가의 구체예를 포함한다는 것이 고려되고 이해된다. 이러한 구체예는 예를 들어, 본 명세서에 기술된 구체예의 조합, 변형 또는 개시된 단계, 구성, 요소, 특징, 모양, 특성, 제한 등의 재조합에 의하여 얻어질 수 있다.

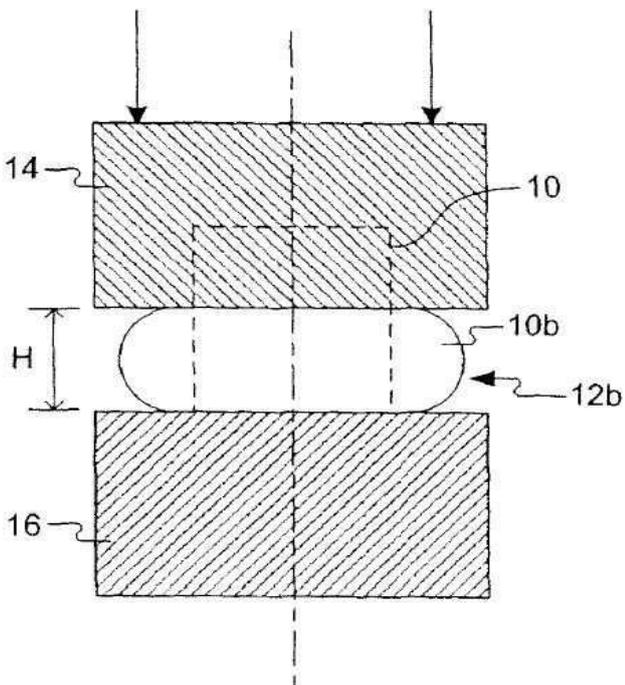
이 방식으로, 출원인은 본 명세서에 다양하게 기술된 바와 같은 특징을 추가하기 위한 절차 동안에 청구 범위를 수정할 권리를 갖는다.

도면

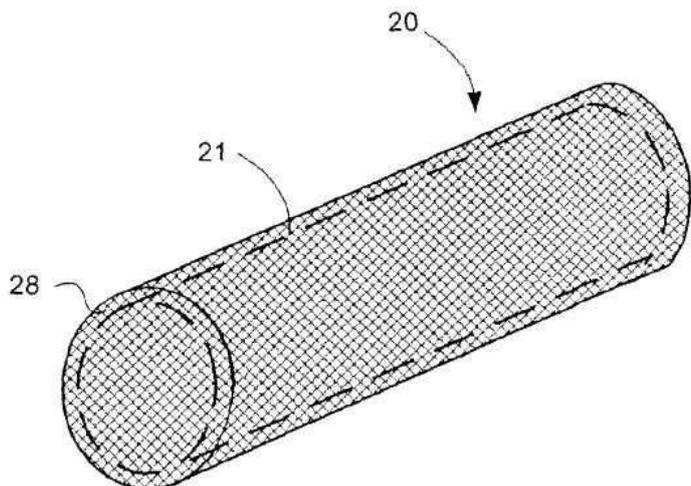
도면1a



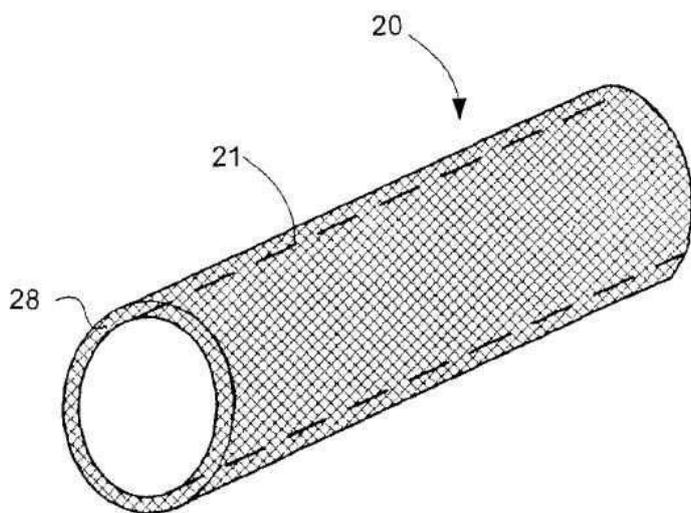
도면1b



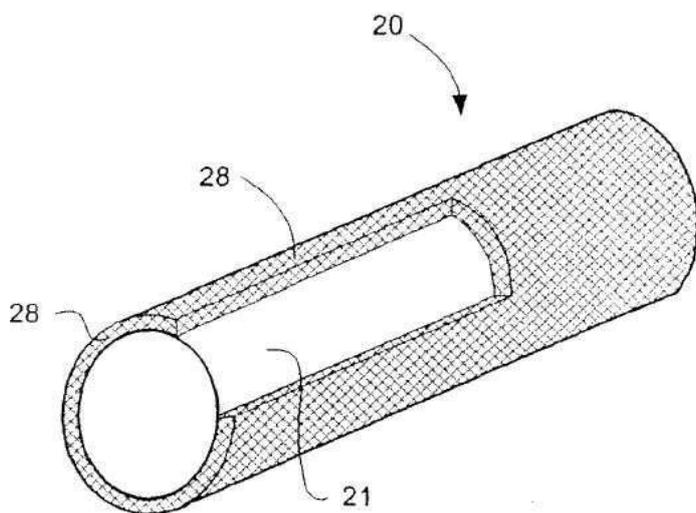
도면2a



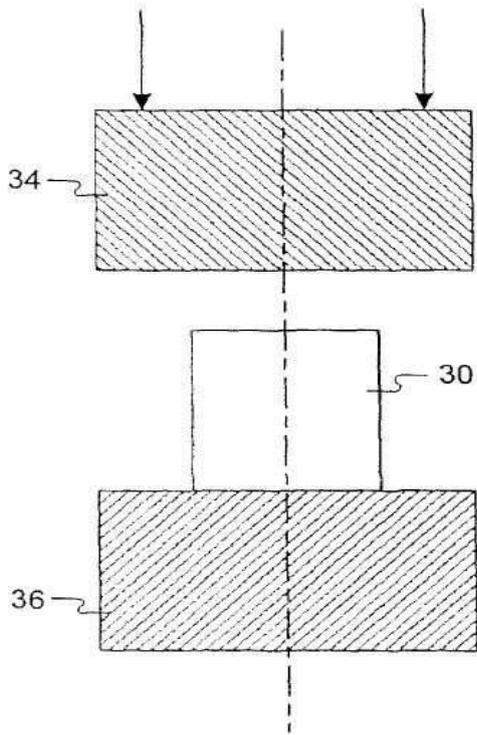
도면2b



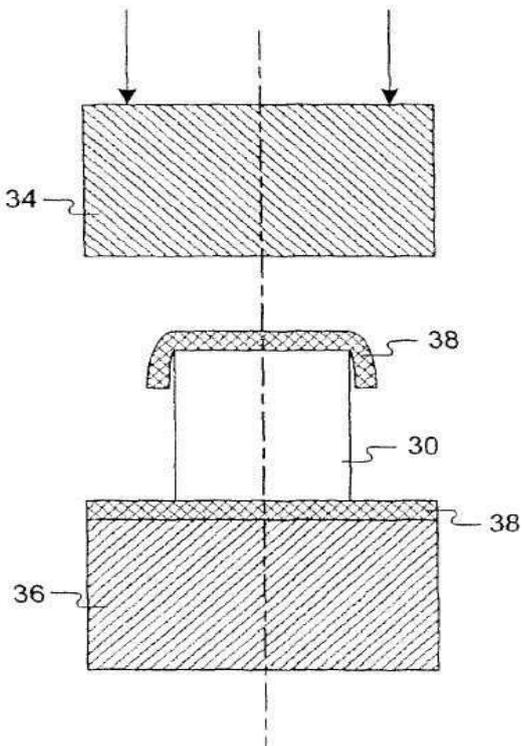
도면2c



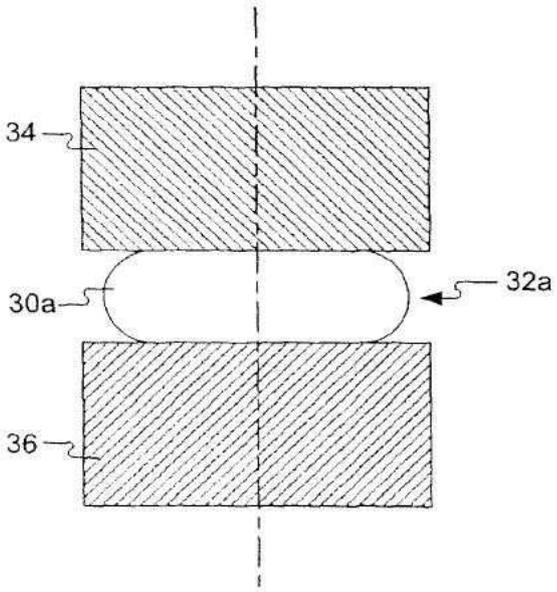
도면3a



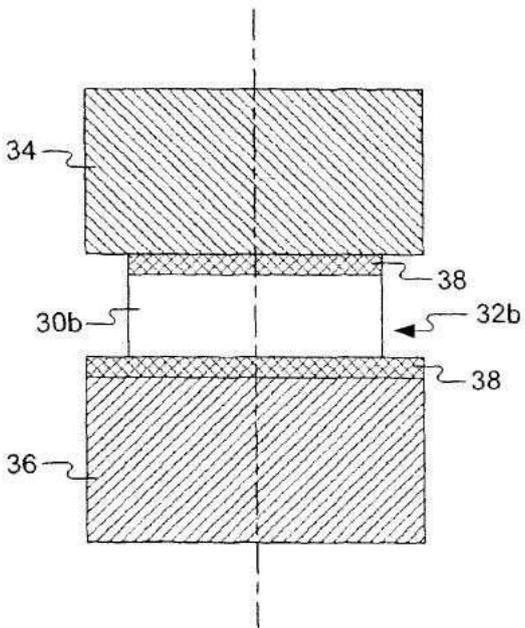
도면3b



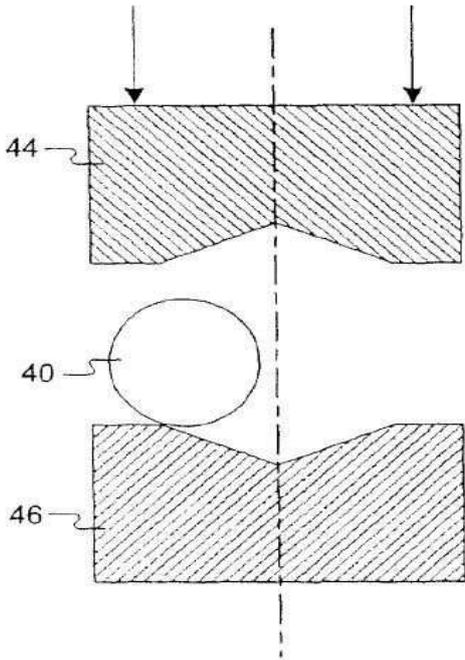
도면3c



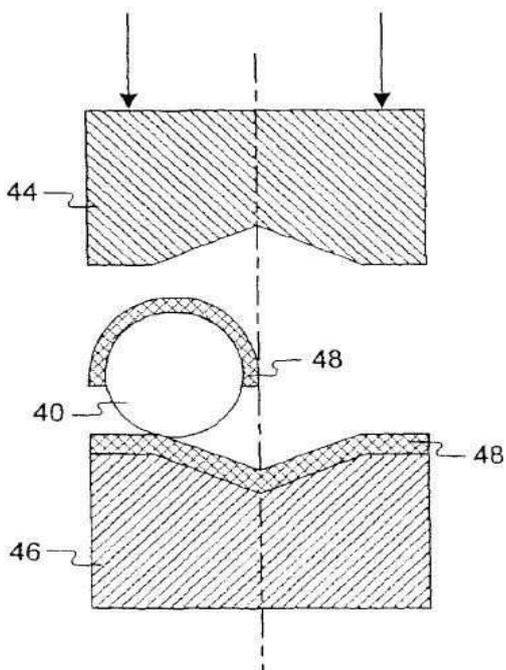
도면3d



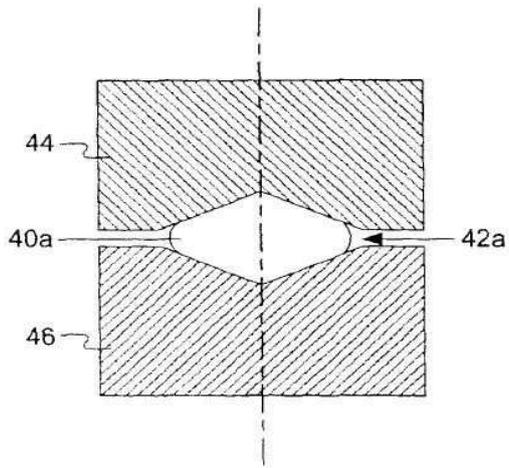
도면4a



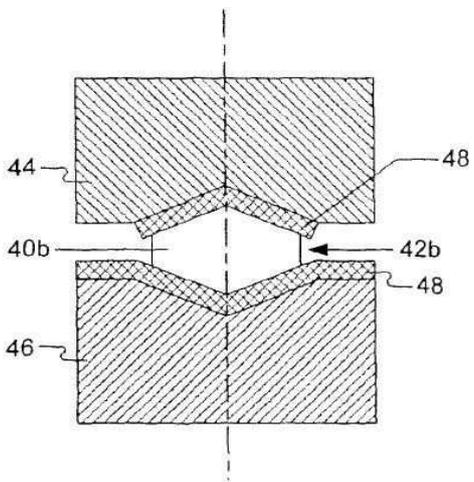
도면4b



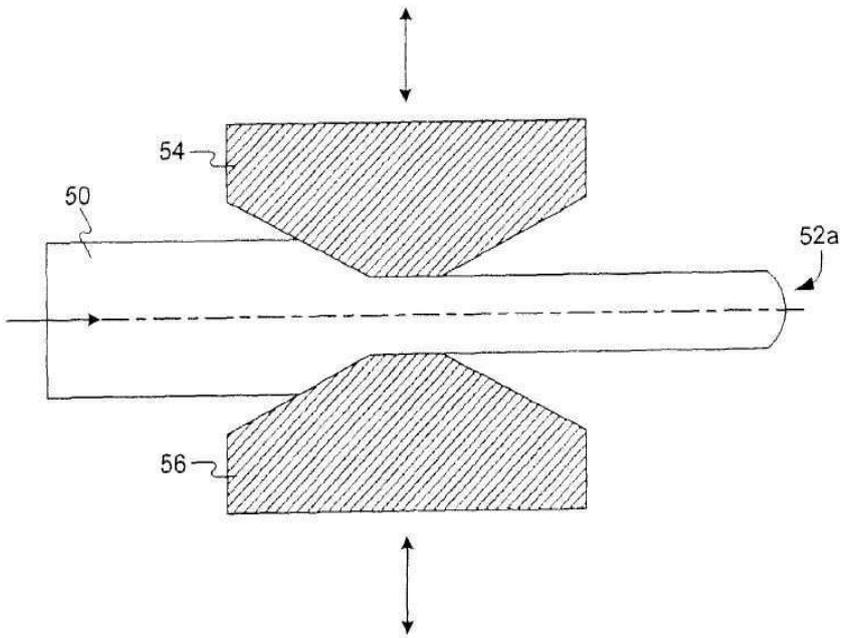
도면4e



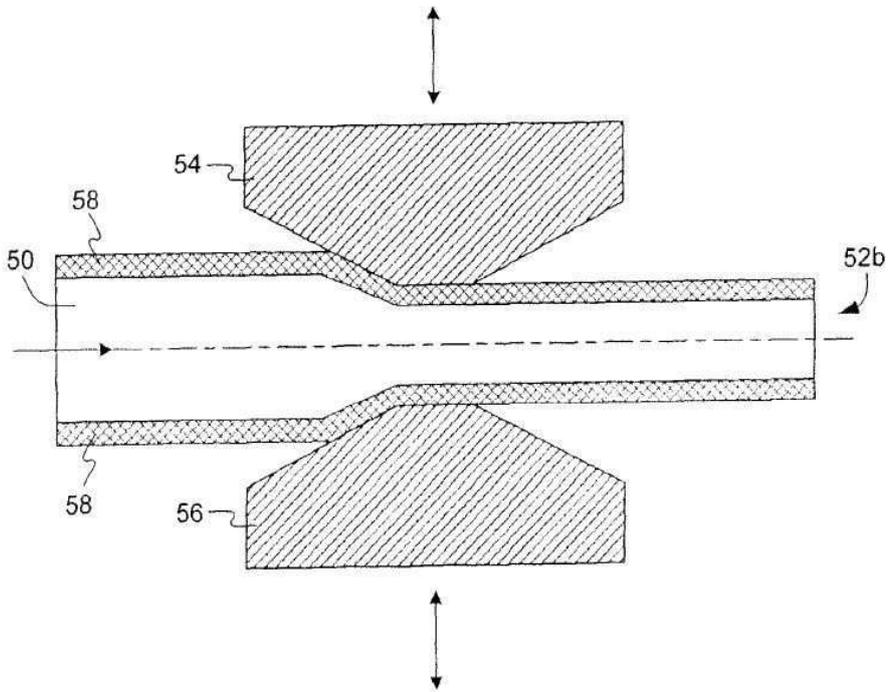
도면4f



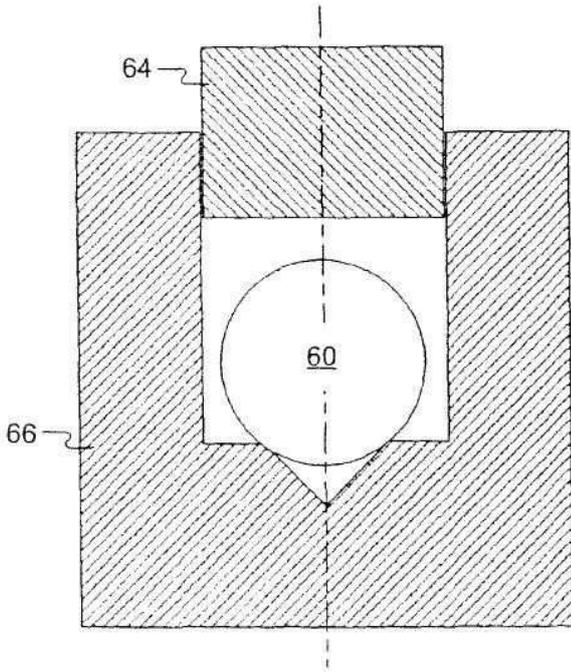
도면5a



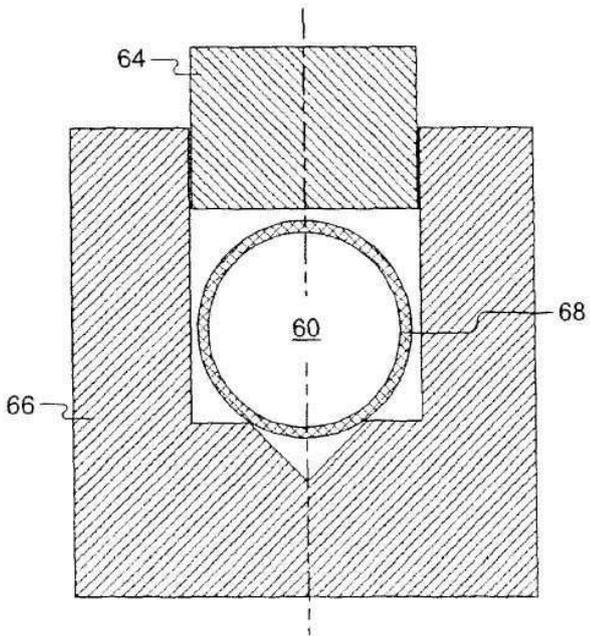
도면5b



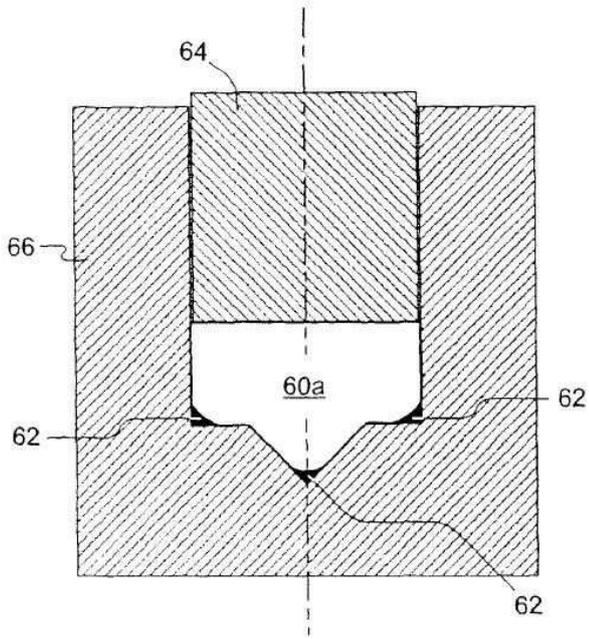
도면6a



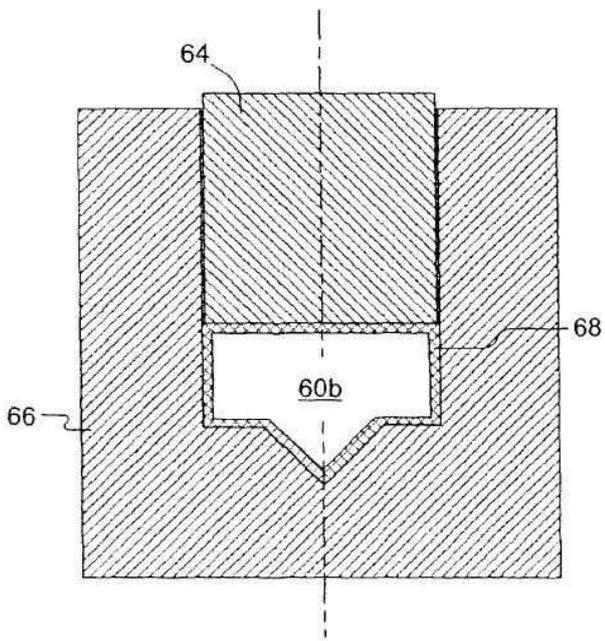
도면6b



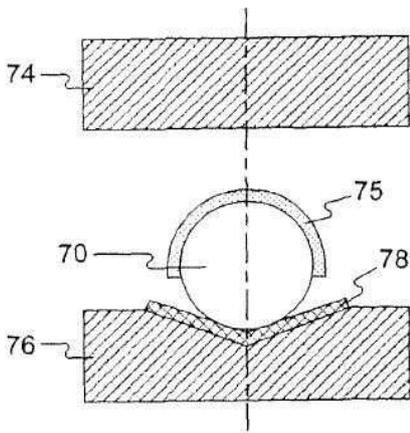
도면6c



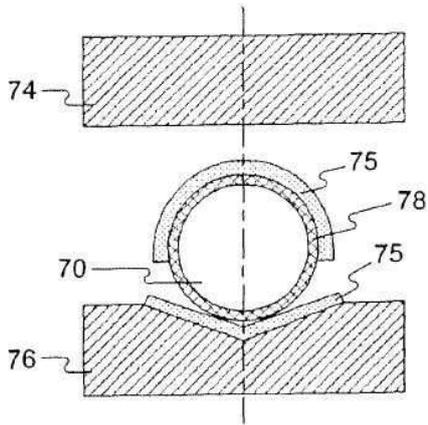
도면6d



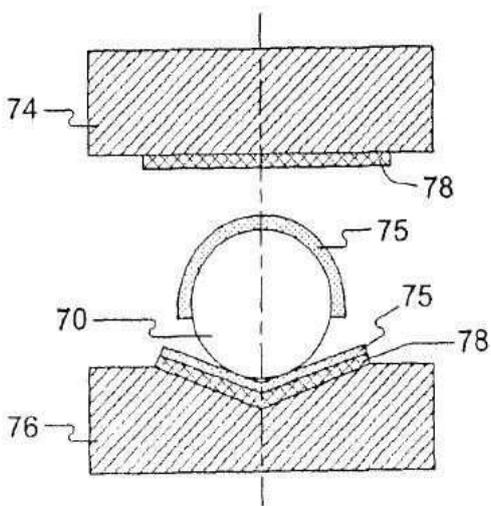
도면7a



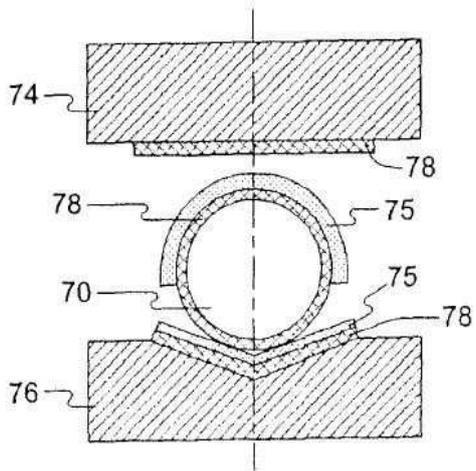
도면7b



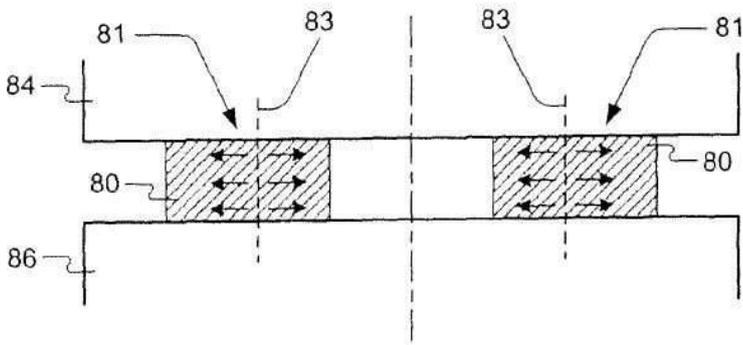
도면7c



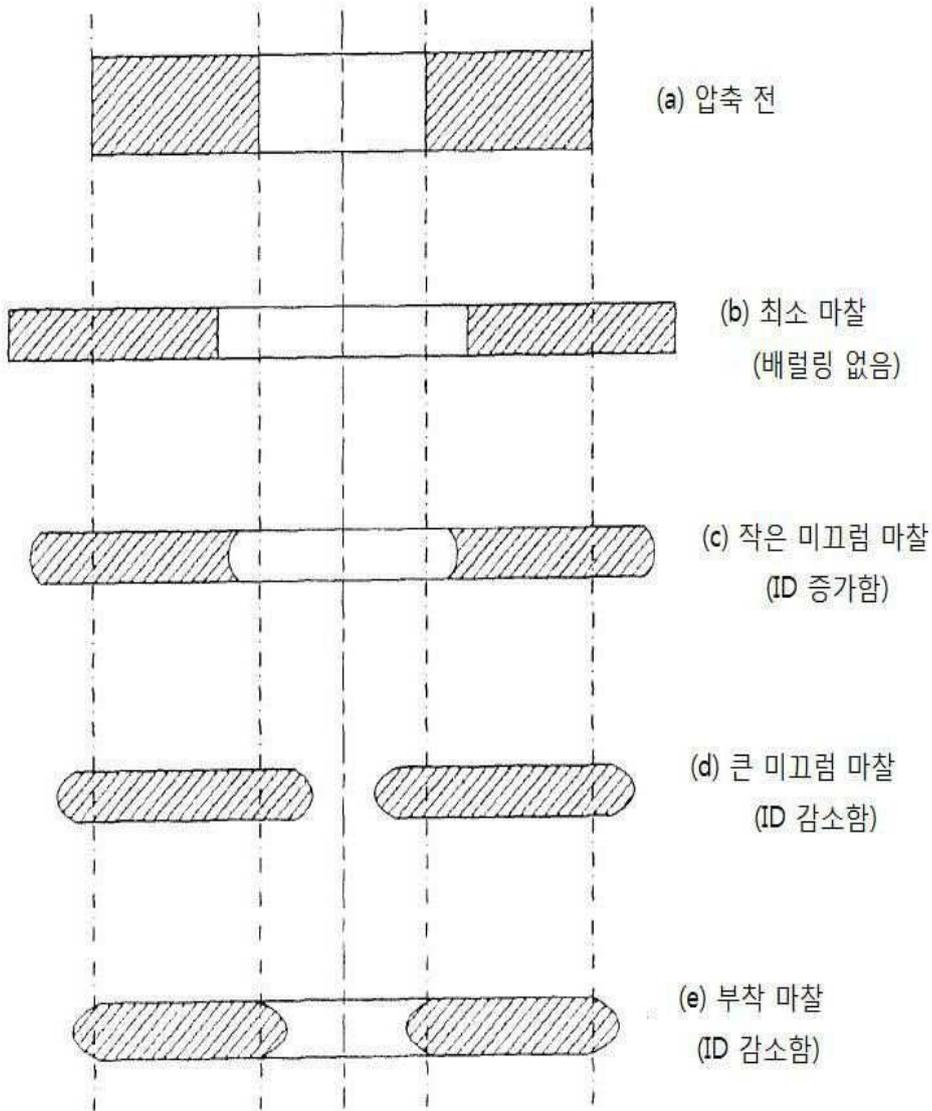
도면7d



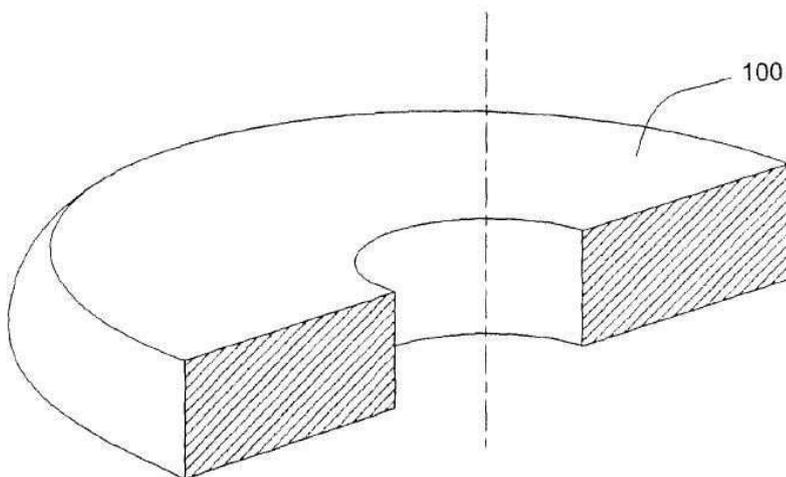
도면8



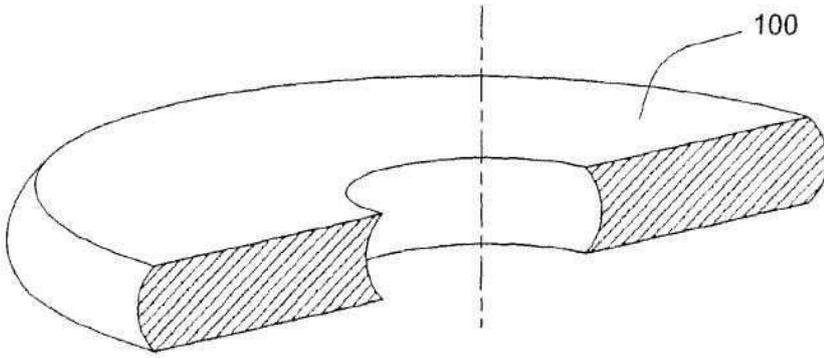
도면9



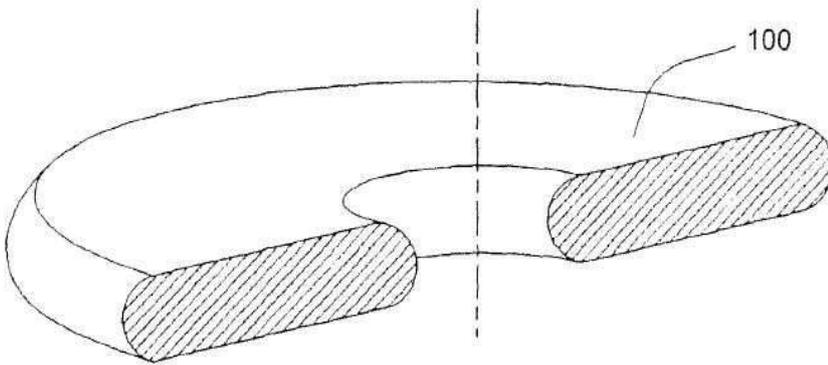
도면10a



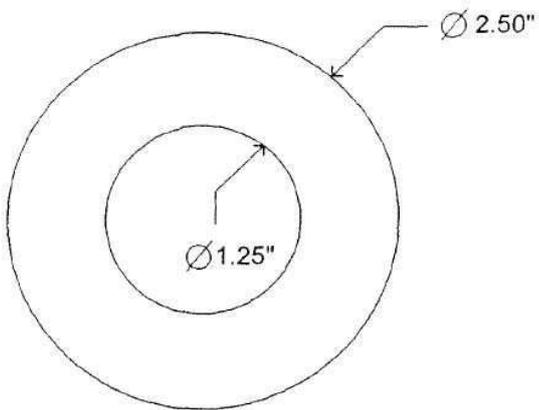
도면10b



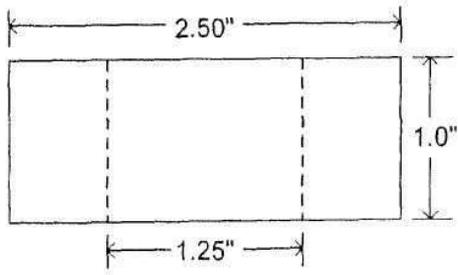
도면10c



도면11a



도면11b



도면12

