(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년02월28일
(11) 등록번호 10-1833571
(24) 등록일자 2018년02월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22F 1/18 (2006.01) *B21D 1/00* (2006.01)
B21D 3/00 (2006.01) *B21D 3/12* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7000860
(22) 출원일자(국제) 2011년07월14일
심사청구일자 2016년06월29일
(85) 번역문제출일자 2013년01월11일
(65) 공개번호 10-2014-0000183
(43) 공개일자 2014년01월02일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/043951
(87) 국제공개번호 WO 2012/015602
국제공개일자 2012년02월02일
(30) 우선권주장
12/845,122 2010년07월28일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US6077369 A
US5658403 A
JP08300044 A
JP08090074 A

(73) 특허권자
에이티아이 프로퍼티즈 엘엘씨
미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이. 올드 살렘 로드
(72) 발명자
브라이언, 데이비드 제이.
미국, 노스캐롤라이나 28079, 인디안 트레일, 블루 스트림 레인 8005
(74) 대리인
강명구, 이경민

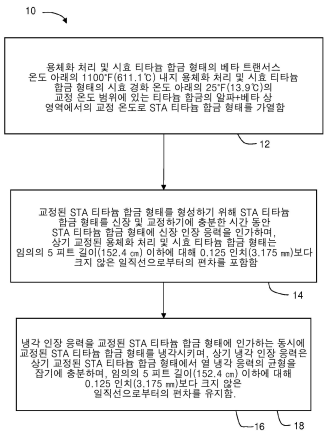
전체 청구항 수 : 총 31 항 심사관 : 한석환

(54) 발명의 명칭 **고 강도 알파 / 베타 처리된 티타늄의 열 신장 교정**

(57) 요 약

용체화 처리 및 시효된(STA) 티타늄 합금 형태를 교정하기 위한 방법은 시효 경화 온도 아래의 적어도 25°F의 교정 온도로 STA 티타늄 합금 형태를 가열하는 단계, 및 상기 형태를 신장하고 교정하기에 충분한 시간 동안 신장 인장 응력을 인가하는 단계를 포함한다. 상기 신장 인장 응력은 항복 응력의 적어도 20%이며, 상기 교정 온도에서의 상기 항복 응력보다 크거나 동일하지 않다. 교정된 형태는 임의의 5 피트 길이 또는 그보다 짧은 길이에 대해 0.125 인치보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다. 교정된 형태는 그에 의해 임의의 5 피트 길이 또는 그보다 짧은 길이에 대해 0.125 인치보다 크지 않은 직선으로부터의 편차를 유지하기 위해 상기 티타늄 합금에서 열 냉각 응력의 균형을 잡는 냉각 인장 응력을 인가하는 동시에 냉각된다.

대 표 도



명 세 서

청구범위

청구항 1

다음 단계를 포함하는, 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태 교정 방법:

용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 교정 온도까지 가열하는 단계,

여기서 교정 온도는 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 베타 트랜서스 온도(beta transus temperature) 아래의 1100°F(611.1℃) 내지 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 교정 온도 범위에 있는 α+β 상장(phase field)에서의 교정 온도를 포함함;

교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 제공하기 위해 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태에 신장 인장 응력(elongation tensile stress)을 인가하는 단계,

여기서 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어남; 및

교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태에 냉각 인장 응력을 인가하는 동시에 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 냉각하는 단계;

여기서 냉각 인장 응력은 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태에서의 열 냉각 응력의 균형을 잡고 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치 (3.175 ㎜) 이하의 일직선으로부터의 편차를 유지하기에 충분함.

청구항 2

제1항에 있어서, 신장 인장 응력 인가 단계 및 냉각 단계 이후, 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치 (2.388 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어나는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 모든 10 피트 길이(304.8 ㎝)에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어나는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각봉(square bar), 압출물(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 시트(sheet), 및 판(plate)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 형태인 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 가열 단계는 500°F/min(277.8℃/min) 내지 1000°F/min(555.6℃/min)의 가열 속도의 가열을 포함하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 경화시키기 위해 사용되는 시효 경화 온도는 티타늄 합금의 β-트랜서스 온도 아래의 500°F(277.8℃) 내지 티타늄 합금의 β-트랜서스 온도 아래의 900°F(500℃)의 범위에 있는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 교정 온도는 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 시효 경화 온도 아래의 200°F(111.1℃)

내지 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 교정 온도 범위에 있는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 냉각 단계는 냉각 인장 응력이 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 일직선으로부터의 편차를 변경하지 않고 제거될 수 있는 최종 온도까지 냉각하는 것을 포함하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 냉각 단계는 250°F(121.1℃) 이하의 최종 온도까지 냉각하는 것을 포함하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 티타늄 합금 형태는 준(near) α-티타늄 합금을 포함하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 티타늄 합금 형태는 Ti-8Al-1Mo-1V 합금 (UNS R54810) 및 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo 합금 (UNS R54620)으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 합금을 포함하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 티타늄 합금 형태는 α+β-티타늄 합금을 포함하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 티타늄 합금 형태는 Ti-6Al-4V 합금 (UNS R56400), Ti-6Al-4V ELI 합금 (UNS R56401), Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo 합금 (UNS R56260), Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr 합금 (UNS R58650), 및 Ti-6Al-6V-2Sn 합금 (UNS R56620)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 합금을 포함하는 방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 티타늄 합금 형태는 β-티타늄 합금을 포함하는 방법.

청구항 15

제1항에 있어서, 티타늄 합금 형태는 Ti-10V-2Fe-3Al 합금 (UNS 56410), Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr 합금 (UNS 비할당), Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr 합금 (UNS R58650), 및 Ti-15Mo 합금 (UNS R58150)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 합금을 포함하는 방법.

청구항 16

제1항에 있어서, 교정 후 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 항복 강도 및 최대 인장 강도(ultimate tensile strength)는 교정 전 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 항복 강도 및 최대 인장 강도의 5% 내에 있는 방법.

청구항 17

다음 단계를 포함하는, 금속 및 금속 합금 중 하나로부터 선택된 시효 경화된 금속 형태 교정 방법:

시효 경화된 금속 형태를 교정 온도까지 가열하는 단계,

여기서 교정 온도는 시효 경화된 금속 형태의 켈빈으로 나타낸 용융 온도의 0.3 (0.3 T_m) 내지 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 교정 온도 범위에 있음;

교정된 시효 경화된 금속 형태를 제공하기 위해 시효 경화된 금속 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 시효 경화된 금속 형태에 신장 인장 응력을 인가하는 단계,

여기서 교정된 시효 경화된 금속 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어남; 및

교정된 시효 경화된 금속 형태에 냉각 인장 응력을 인가하는 동시에 교정된 시효 경화된 금속 형태를 냉각하는 단계,

여기서 냉각 인장 응력은 합금에서의 열 냉각 응력의 균형을 잡고 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜) 이하의 일직선으로부터의 편차를 유지하기에 충분함.

청구항 18

제17항에 있어서, 신장 응력은 항복 응력의 적어도 20%이며 교정 온도에서 시효 경화된 금속 형태의 항복 응력 이상이 아닌 방법.

청구항 19

제17항에 있어서, 교정된 시효 경화된 금속 형태는 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어나는 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 냉각 응력은 합금에서의 열 냉각 응력의 균형을 잡고 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜) 이하의 일직선으로부터의 편차를 유지하기에 충분한 방법.

청구항 21

제17항에 있어서, 교정된 시효 경화된 금속 형태는 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 10 피트 길이(304.8 ㎝)에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어나는 방법.

청구항 22

제17항에 있어서, 시효 경화된 금속 형태는 티타늄 합금, 니켈 합금, 알루미늄 합금, 및 철 합금으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하는 방법.

청구항 23

제17항에 있어서, 시효 경화된 금속 형태는 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각봉(square bar), 압출물(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 시트(sheet), 및 판(plate)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 형태인 방법.

청구항 24

제17항에 있어서, 교정 온도는 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 경화 온도 아래의 200°F (111.1℃) 내지 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 범위에 있는 방법.

청구항 25

다음 단계를 포함하는, 금속 및 금속 합금 중 하나로부터 선택된 시효 경화된 금속 형태 교정 방법:

시효 경화된 금속 형태를 교정 온도까지 가열하는 단계,

여기서 교정 온도는 시효 경화된 금속 형태의 켈빈으로 나타낸 용융 온도의 0.3 (0.3 T_m) 내지 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 교정 온도 범위에 있음;

교정된 시효 경화된 금속 형태를 제공하기 위해 시효 경화된 금속 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 시효 경화된 금속 형태에 신장 인장 응력을 인가하는 단계,

여기서 신장 응력은 항복 응력의 적어도 20%이며 교정 온도에서 시효 경화된 금속 형태의 항복 응력 이상이 아님; 및

여기서 교정된 시효 경화된 금속 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175

㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어남; 및

교정된 시효 경화된 금속 형태에 냉각 인장 응력을 인가하는 동시에 교정된 시효 경화된 금속 형태를 냉각하는 단계,

여기서 냉각 인장 응력은 합금에서의 열 냉각 응력의 균형을 잡고 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜) 이하의 일직선으로부터의 편차를 유지하기에 충분함.

청구항 26

제25항에 있어서, 교정된 시효 경화된 금속 형태는 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어나는 방법.

청구항 27

제26항에 있어서, 냉각 응력은 합금에서의 열 냉각 응력의 균형을 잡고 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜) 이하의 일직선으로부터의 편차를 유지하기에 충분한 방법.

청구항 28

제25항에 있어서, 교정된 시효 경화된 금속 형태는 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 10 피트 길이(304.8 ㎝)에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜) 이하만큼 일직선으로부터 벗어나는 방법.

청구항 29

제25항에 있어서, 시효 경화된 금속 형태는 티타늄 합금, 니켈 합금, 알루미늄 합금, 및 철 합금으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 재료를 포함하는 방법.

청구항 30

제25항에 있어서, 시효 경화된 금속 형태는 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각봉(square bar), 압출물(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 시트(sheet), 및 판(plate)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 형태인 방법.

청구항 31

제25항에 있어서, 교정 온도는 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 경화 온도 아래의 200°F (111.1℃) 내지 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 범위에 있는 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 α+β 상장(phase field)에서 시효(age)된 고 강도 티타늄 합금들을 교정하기 위한 방법들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 티타늄 합금들은 통상적으로 높은 비강도(strength-to-weight ratio)를 나타내고, 내식성(corrosion resistance)을 가지며 적당히 높은 온도에서 크리프(creep)에 강하다. 이러한 이유들로, 티타늄 합금들은 예를 들면, 착륙 장치 부재들, 엔진 프레임(engine frame)들 및 다른 중요한 구조적 부품들을 포함하는 항공 우주 산업 및 항공 어플리케이션들에 사용된다. 또한, 티타늄 합금들은 회전자(rotor)들, 압축기 날(compressor blade)들, 유압식 시스템(hydraulic system) 부품들, 및 나셀(nacelle)들과 같은, 제트 엔진(jet engine) 부품들에 사용된다.

[0003] 최근에, β-티타늄 합금들이 항공 우주 산업에서 증가된 관심 및 응용을 얻고 있다. β-티타늄 합금들은 적정한 인성(toughness) 및 연성(ductility) 특성들을 유지하면서 매우 높은 강도들로 처리될 수 있다. 또한, 높은 온

도에서 β-티타늄 합금들의 낮은 유동 응력(flow stress)은 향상된 프로세싱을 야기할 수 있다.

[0004] 그러나, β-티타늄 합금들은, 예를 들면, 합금들의 β-트랜서스 온도(transus temperatures)가 통상적으로 1400 °F 내지 1600°F(760℃ 내지 871.1℃)의 범위에 있기 때문에, α+β 상장(phase field)에서 처리하는 것이 어려울 수 있다. 또한, α+β 용체화(solution) 처리 및 시효 후, 물 또는 공기 담금질(quenching)과 같은, 급속 냉각이 제품의 원하는 기계적 특성들을 달성하기 위해 요구된다. 일자형의 α+β 용체화 처리 및 시효된 β-티타늄 합금 바(bar)는, 예를 들면, 담금질 동안 휘고 및/또는 비틀릴 수 있다. ("용체화 처리 및 시효"는 때때로 여기에서 "STA"로서 나타내어진다.) 또한, β-티타늄 합금들을 위해 사용되어야 하는 낮은 시효 온도, 예컨대, 890°F 내지 950°F(477℃ 내지 510℃)는 그 다음의 교정을 위해 사용될 수 있는 온도를 엄격하게 제한한다. 최종 교정은 교정 동작들 동안 기계적 특성들에서의 큰 변화들을 방지하기 위해 시효 온도 아래에서 발생해야 한다.

[0005] 예를 들면, Ti-6Al-4V 합금과 같은, α+β 티타늄 합금들에 대해, 긴 제품 또는 바 형태로, 값비싼 수직 용체화 열 처리 및 시효 프로세스들이 종래에 왜곡을 최소화하기 위해 이용된다. 종래 기술의 STA 프로세싱의 통상적인 예는 수직로에서의 바(bar)와 같은 긴 부품을 매다는 것, α+β 상장에서의 온도로 바를 용체화 처리하는 것, 및 α+β 상장에서 보다 낮은 온도로 바를 시효시키는 것을 포함한다. 빠른 담금질, 예컨대, 물 담금질 후, 시효 온도보다 낮은 온도에서 바를 교정하는 것이 가능할 수 있다. 수직 방향으로 매달리면, 막대에서의 변형력(stress)들은 사실상 보다 방사상(radial)이며 보다 적은 왜곡을 야기한다. 그 후 STA 처리된 Ti-6Al-4V 합금(UNS R56400) 바는 가스로(gas furnace)에서 시효 온도 아래의 온도로 가열함으로써 교정될 수 있으며, 그 후 이 기술분야의 숙련자에게 알려진 2-평면(2-plane), 7-평면(7-plane), 또는 다른 교정기를 사용하여 교정될 수 있다. 그러나, 수직 열 처리(vertical heat treatment) 및 물 담금질 동작들은 값비싸며 상기 능력들이 모든 티타늄 합금 제조자들에서 발견되지 않는다.

[0006] 용체화 처리 및 시효된 β-티타늄 합금들의 높은 실온 강도로 인해, 수직 열 처리와 같은 종래의 교정 방법들은 바와 같은 긴 제품을 교정하기 위해 효과적이지 않다. 예를 들면, 800°F 내지 900°F(427℃ 내지 482℃) 사이에서의 시효 후, STA 준안정 β-티타늄 Ti-15Mo 합금(UNS R58150)은 실온에서 200 ksi(1379 MPa)의 최대 인장 강도(ultimate tensile strength)를 가질 수 있다. 그러므로, 교정력(straightening forces)이 인가될 때, 기계적 특성들에 영향을 미치지 않을, 이용가능한 교정 온도는 합금으로 구성된 바(bar)가 깨질 수 있을 만큼 충분히 낮기 때문에, STA Ti-15Mo 합금은 종래의 교정 방법들에 그 자체로 적합하지 않다.

[0007] 따라서, 시효 금속 또는 금속 합금의 강도에 상당히 영향을 미치지 않는 용체화 처리 및 시효 금속들 및 금속 합금들에 대한 교정 프로세스가 바람직하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 금속 및 금속 합금 중 하나로부터 선택된 시효 경화된 금속 형태를 교정하기 위한 방법의 비-제한적인 실시예는 교정 온도로 시효 경화된 금속 형태를 가열하는 단계를 포함한다. 특정 실시예들에서, 상기 교정 온도는 상기 시효 경화된 금속 형태의 용융 온도 0.3 켈빈(kelvin)(0.3Tm)으로부터 상기 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 온도 아래의 적어도 25°F(13.9℃)까지의 교정 온도 범위에 있다. 신장 인장 응력(elongation tensile stress)은 교정된 시효 경화된 금속 형태를 제공하기 위해 상기 시효 경화된 금속 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 상기 시효 경화된 금속 형태에 인가된다. 상기 교정된 시효 경화된 금속 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 일직선으로부터 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 정도만큼 벗어난다. 상기 교정된 시효 경화된 금속 형태는 상기 합금에서 열 냉각 응력들의 균형을 잡기에 충분한 상기 교정된 시효 경화된 금속 형태에 냉각 인장 응력을 인가하는 동시에 냉각되며, 상기 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 일직선으로부터 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 편차를 유지한다.

[0009] 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 교정하기 위한 방법은 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 교정 온도로 가열하는 단계를 포함한다. 상기 교정 온도는 상기 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 α+β 상장(phase field)에서의 교정 온도를 포함한다. 특정 실시예들에서, 상기 교정 온도 범위는 상기 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금의 베타 트랜서스 온도(beta transus temperature) 아래의 1100°F(611.1℃) 내지 상기 용체화

처리 및 시효 티타늄 합금 처리의 상기 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)이다. 신장 인장 응력은 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 형성하기 위해 상기 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 상기 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태에 인가된다. 상기 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 일직선으로부터 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 정도만큼 벗어난다. 상기 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 상기 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태에 냉각 인장 응력을 인가하는 동시에 냉각된다. 상기 냉각 인장 응력은 상기 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하며, 상기 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 일직선으로부터 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 편차를 유지한다.

도면의 간단한 설명

[0010] 본 출원에 설명된 방법들의 특징들 및 이점들은 첨부한 도면들을 참조하여 보다 양호하게 이해될 수 있다.

도 1은 본 발명에 따른 티타늄 합금 형태들에 대한 열 신장 교정 방법의 비-제한적 실시예의 흐름도이다.

도 2는 금속 바 재료의 일직선으로부터의 편차를 측정하기 위한 개략적인 표현이다.

도 3은 본 발명에 따른 금속 제품 형태들에 대한 열 신장 교정 방법의 비-제한적 실시예의 흐름도이다.

도 4는 Ti-10V-2Fe-3Al 합금의 용체화 처리 및 시효된 바들의 사진이다.

도 5는 예 7의 비-제한적인 예의 Serial #1 바를 교정하기 위한 온도 대 시간 차트이다.

도 6은 예 7의 비-제한적인 예의 Serial #2 바를 교정하기 위한 온도 대 시간 차트이다.

도 7은 본 발명의 비-제한적인 실시예에 따른 열 신장 교정 후 Ti-10V-2Fe-3Al 합금의 용체화 처리 및 시효된 바들의 사진이다.

도 8은 비-제한적인 예 7의 열 신장 교정 바들의 미세 구조들의 마이크로그래프(micrograph)들을 포함한다.

도 9는 예 9의 비-교정된 용체화 처리 및 시효된 제어 바들의 마이크로그래프들을 포함한다.

독자는 본 발명에 따른 방법들의 특정한 비-제한적인 실시예들에 대한 다음의 상세한 설명을 고려할 때, 앞서 말한 상세 내용들, 뿐만 아니라 다른 내용들도 이해할 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 동작 예들에서 다른 또는 달리 표시되는, 비-제한적인 실시예들에 대한 본 설명에 있어서, 양들 또는 특성들을 표현하는 모든 숫자들은 용어 "약"에 의해 모든 인스턴스들에서 조정되는 바와 같이 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 표시되지 않는다면, 다음의 설명에 제시된 임의의 수치적 파라미터(parameter)들은 본 발명에 따른 방법들에서 획득하고자 하는 원하는 특성들에 따라 변할 수 있는 근사치들이다. 적어도, 및 청구항들의 범위에 대한 균등론(the doctrine of equivalents)의 적용을 제한하기 위한 시도로서가 아닌, 각각의 수치적 파라미터는 적어도 보고된 중요한 숫자들의 수를 고려하여 및 보통의 라운딩 기술들을 적용함으로써 해석되어야 한다.

[0012] 본 출원에 참조로서 전체적으로 또는 부분적으로 통합된 것으로 언급되는 임의의 특허, 공개물, 또는 다른 발명은 단지 통합된 자료가 기존의 정의들, 서술들, 또는 본 발명에 제시된 다른 발명 자료와 모순되지 않는 정도로만 본 출원에 통합된다. 이와 같이, 및 필요한 정도로, 본 출원에 제시된 바와 같은 발명은 참조로서 본 출원에 통합된 임의의 모순되는 자료를 대체한다. 본 출원에 참조로서 통합된다고 언급되지만, 기존의 정의들, 서술들, 또는 본 출원에 제시된 다른 발명 자료와 모순되는 단지 임의의 자료, 또는 그 일부는 통합 자료 및 기존의 발명 자료 사이에서 모순이 발생하지 않는 정도로만 통합된다.

[0013] 이제 도 1의 흐름도를 참조하면, 본 발명에 따른 용체화 처리 및 시효된 티타늄 합금 형태를 교정하기 위한 열 신장 교정 방법(10)의 비-제한적인 실시예는 용체화 처리 및 시효된 티타늄 합금 형태를 교정 온도로 가열하는 단계(12)를 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 교정 온도는 α+β 상장(phase field) 내에서의 온도이다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 교정 온도는 티타늄 합금의 베타 트랜서스 온도(beta transus temperature) 아래의 약 1100°F(611.1℃)로부터 용체화 처리 및 시효된 합금 형태의 시효 경화 온도(age hardening temperature) 아래의 약 25° 까지의 교정 온도 범위에 있다.

[0014] 본 출원에 사용된 바와 같이, "용체화 처리 및 시효"(STA; solution treated and aged)는 2-상(two-phase) 영

역에서, 즉 티타늄 합금의 α+β 상장에서 용체화 처리 온도로 티타늄 합금을 용체화 처리하는 것을 포함하는 티타늄 합금들의 열 처리 프로세스(process)를 나타낸다. 비-제한적인 실시예에서, 용체화 처리 온도는 티타늄 합금의 β-트랜서스 온도 아래의 약 50°F(27.8℃)로부터 티타늄 합금의 β-트랜서스 온도 아래의 약 200°F(111.1℃)까지의 범위에 있다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 용체화 처리 시간은 30분에서 2시간까지의 범위에 있다. 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 용체화 처리 시간은 30분보다 짧거나 또는 2시간보다 길 수 있으며, 일반적으로 티타늄 합금 형태의 크기 및 단면에 따른다. 이러한 2-상 영역 용체화 처리는 티타늄 합금에 존재하는 α-상의 대부분을 용해시키지만, 어느 정도 결정립 성장(grain growth)을 고정시키는, 몇몇 α-상을 남겨둔다. 용체화 처리의 완료시, 티타늄 합금은 상당한 부분의 합금 원소들이 β-상에 보유되도록 물 담금질된다.

[0015] 그 후, 용체화 처리된 티타늄 합금은 2-상장에서, 미립자 α-상을 침전시키기에 충분한 시효 시간 동안, 용체화 처리 온도 아래의 400°F(222.2℃)로부터 용체화 처리 온도 아래의 900°F(500℃)까지의 범위에 있는, 또한 시효 경화 온도로서 본 출원에서 참조되는, 시효 온도로 시효된다. 비-제한적인 실시예에서, 시효 시간은 30분에서 8시간까지에 이를 수 있다. 특정한 비-제한적인 실시예들에서, 시효 시간은 30분보다 더 짧거나 또는 8시간보다 더 길 수 있으며, 일반적으로 티타늄 합금 형태의 크기 및 단면에 따른다는 것이 인식된다. STA 프로세스는 높은 항복 강도(yield strength) 및 높은 최대 인장 강도를 나타내는 티타늄 합금들을 생성한다. STA 프로세스에 사용된 일반적인 기술들은 이 기술분야에서 보통의 기술의 전문가들에게 알려져 있으며, 그러므로 본 출원에서 추가로 상술되지 않는다.

[0016] 도 1을 다시 참조하면, 가열(12) 후, 신장 인장 응력(elongation tensile stress)은 STA 티타늄 합금 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 STA 티타늄 합금 형태에 인가되며(14), 교정된 STA 티타늄 합금 형태를 제공한다. 비-제한적인 실시예에서, 신장 인장 응력은 교정 온도에서 STA 티타늄 합금 형태의 항복 응력의 적어도 약 20%이며, 교정 온도에서 STA 티타늄 합금 형태의 항복 응력과 동일하거나 또는 그보다 크지 않다. 비-제한적인 실시예에서, 인가된 신장 인장 응력은 신장을 유지하기 위해 교정 단계 동안 증가될 수 있다. 비-제한적인 실시예에서, 신장 인장 응력은 신장 동안 2의 배수만큼 증가된다. 비-제한적인 실시예에서, STA 티타늄 합금 제품 형태는 Ti-10V-2Fe-3Al 합금(UNS 56410)을 포함하며, 이것은 900°F(482.2℃)에서 약 60 ksi의 항복 강도를 가지며, 인가된 신장 응력은 교정의 초반에는 900°F에서 약 12.7ksi이며, 신장 단계 말에는 약 25.5ksi이다.

[0017] 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 신장 인장 응력을 인가한 후(14), 교정된 STA 티타늄 합금 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 정도만큼 일직선으로부터 벗어난다.

[0018] 신장 인장 응력은 상기 형태가 냉각하도록 허용하는 동안 인가될 수 있는 본 발명의 비-제한적인 실시예들의 범위 내에 있다는 것이 인식된다. 그러나, 응력은 온도의 함수이기 때문에, 온도가 감소할수록, 필수 신장 응력은 상기 형태를 계속해서 신장하고 교정하기 위해 증가되어야 할 것이라는 것이 이해될 것이다.

[0019] 비-제한적인 실시예에서, STA 티타늄 합금 형태가 충분히 교정될 때, STA 티타늄 합금 형태는 교정된 용체화 처리 및 시효된 티타늄 합금 형태에 냉각 인장 응력을 인가하는(18) 동시에 냉각된다(16). 비-제한적인 실시예에서, 냉각 인장 응력은 STA 티타늄 합금 형태는 냉각 동안 휘고, 구부러지거나 또는 그 외 왜곡되지 않도록, 교정된 STA 티타늄 합금 형태에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하다. 비-제한적인 실시예에서, 냉각 응력은 신장 응력과 등가이다. 제품 형태의 온도가 냉각 동안 감소하기 때문에, 신장 인장 응력과 등가인 냉각 인장 응력을 인가하는 것은 제품 형태의 추가적인 신장을 야기하지 않을 것이지만, 제품 형태에서의 냉각 응력들이 제품 형태를 휘게 하는 것을 방지하고 신장 단계에서 수립된 일직선으로부터의 편차를 유지하도록 작용한다는 것이 인식된다.

[0020] 비-제한적인 실시예에서, 냉각 인장 응력은 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 유지하기에 충분하다.

[0021] 비-제한적인 실시예에서, 신장 인장 응력 및 냉각 인장 응력은 STA 티타늄 합금 형태의 크리프 형성(creep forming)을 가능하게 하기에 충분하다. 크리프 형성은 보통 탄성 영역에서 일어난다. 임의의 특정한 이론에 의해 제한되길 원하지 않지만, 교정 온도에서의 보통의 탄성 영역에서의 인가된 응력은 제품 형태의 교정을 야기하는 동적 전위 회복(dynamic dislocation recovery) 및 결정립계 슬라이딩(grain boundary sliding)을 허용한다고 믿어지고 있다. 제품 형태 상에 냉각 인장 응력을 유지함으로써 열 냉각 응력들을 냉각 및 보상한 후, 상기 이동된 전위들 및 결정립계들은 STA 티타늄 합금 제품 형태의 새로운 탄성 상태를 가정한다.

[0022] 도 2를 참조하면, 예를 들면, 바(22)와 같은 제품 형태의 일직선으로부터의 편차를 결정하기 위한

방법(20)에서, 바(22)는 직선 에지(24) 옆에 줄지어 있다. 바(22)의 곡률(curvature)은, 바가 직선 에지(24)로부터 떨어져 곡선을 이루는 거리로서, 줄자와 같은, 길이를 측정하기 위해 사용되는 디바이스를 갖고 바 상에서의 곡선의 또는 꼬인 위치들에서 측정된다. 직선 에지로부터 각각의 꼬임 또는 곡선의 거리는 일직선으로부터의 최대 편차(도 2에서 26), 즉 바(22)의 규정된 길이 내에서의 직선 에지(24)로부터 바(22)의 최대 거리를 결정하기 위해 바(28)의 규정된 길이를 따라 측정된다. 동일한 기술이 다른 제품 형태들에 대해 일직선으로부터의 편차를 수량화하기 위해 사용될 수 있다.

[0023] 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 본 발명에 따른 신장 인장 응력을 인가한 후, 교정된 STA 티타늄 합금 형태는 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 본 발명에 따라 냉각 인장 응력을 인가하면서 냉각한 후, 교정된 STA 티타늄 합금 형태는 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 본 발명에 따라 신장 인장 응력을 인가한 후, 교정된 STA 티타늄 합금 형태는 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 모든 10 피트 (304.8 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 본 발명에 따라 냉각 인장 응력을 인가하면서 냉각한 후, 교정된 STA 티타늄 합금 형태는 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 모든 10 피트 (304.8 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다.

[0024] 신장 및 냉각 인장 응력들을 균일하게 인가하기 위해, 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, STA 티타늄 합금은 STA 티타늄 합금 형태의 전체 단면에 걸쳐 단단히 그립(grip)될 수 있어야 한다. 비-제한적인 실시예에서, STA 티타늄 합금 형태의 형상은 적절한 그립(grip)들이 본 발명의 방법에 따라 인장 응력을 인가하기 위해 제조될 수 있는 임의의 분쇄 제품의 형상일 수 있다. 본 출원에 사용된 바와 같은 "분쇄 제품(mill product)"은 제작된 것으로서 그 후에 사용되거나 또는 중간 또는 완제품으로 추가 제작되는 분쇄의 임의의 금속 제품, 즉 금속 또는 금속 합금 제품이다. 비-제한적인 실시예에서, STA 티타늄 합금 형태는 빌릿(billet), 블룸(bloom), 환봉(round bar), 각봉(square bar), 압출(extrusion), 튜브(tube), 파이프(pipe), 슬랩(slab), 시트(sheet), 및 판(plate) 중 하나를 포함한다. 본 발명에 따라 신장 및 냉각 인장 응력들을 인가하기 위한 그립들 및 기계는 예를 들면, 미국, 노스캐롤라이나, 먼로, 시릴 바스 컴퍼니로부터 이용가능하다.

[0025] 본 발명의 놀라운 측면은 STA 티타늄 합금 형태들의 인장 강도들을 크게 감소시키지 않고, STA 티타늄 합금 형태들을 열 신장 교정하는 능력이다. 예를 들면, 비-제한적인 실시예에서, 본 발명의 비-제한적인 방법들에 따라 열 신장 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 평균 항복 강도 및 평균 최대 인장 강도는 열 신장 교정 전의 값들로부터 단지 5퍼센트보다 크지 않은 만큼 감소된다. 관찰되는 열 신장 교정에 의해 생성된 특성들의 최대 변화는 신장률(percent elongation)에 있다. 예를 들면, 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태의 신장률에 대한 평균 값은 열 신장 교정 후 약 2.5%의 절대 감소를 나타내었다. 임의의 동작 이론에 의해 제한되도록 의도하지 않고, 신장률의 감소는 본 발명에 따른 열 신장 교정의 비-제한적인 실시예들 동안 발생하는 STA 티타늄 합금 형태의 신장으로 인해 발생할 수 있다. 예를 들면, 비-제한적인 실시예에서, 본 발명의 열 신장 교정 후, 교정된 STA 티타늄 합금 형태는 열 신장 교정 이전의 STA 티타늄 합금 형태의 길이에 비해 약 1.0% 내지 약 1.6% 만큼 신장될 수 있다.

[0026] 본 발명에 따라 STA 티타늄 합금 형태를 교정 온도로 가열하는 단계는 이에 제한되지 않지만, 형태를 대기로(box furnace)에서 가열하고, 복사 가열하며, 유도 가열(induction heating)하는 것과 같이, 바의 교정 온도를 유지할 수 있는 가열의 형태들의 임의의 단일 또는 조합을 이용할 수 있다. 형태의 온도는 형태의 온도가 STA 프로세스시 사용된 시효 온도 아래의 적어도 25°F(13.9℃)를 유지하는 것을 보장하도록 모니터링(monitoring)되어야 한다. 비-제한적인 실시예들에서, 상기 형태의 온도는 열전대(thermocouple)들 또는 적외선 센서(infrared sensor)들을 사용하여 모니터링된다. 그러나, 이 기술분야의 숙련자들에게 알려진 온도를 가열하고 모니터링하는 다른 수단은 본 발명의 범위 내에 있다.

[0027] 하나의 비-제한적인 실시예에서, STA 티타늄 합금 형태의 교정 온도는 내내 비교적 일정해야 하며, 위치마다 100°F(55.6℃) 이상만큼 변하지 않아야 한다. STA 티타늄 합금 형태의 임의의 위치에서의 온도는 바람직하게는 STA 시효 온도 이상 증가하지 않으며, 이는 이에 제한되지 않지만 항복 강도 및 최대 인장 강도를 포함하는 기계적 특성들이 불리하게 영향을 받을 수 있기 때문이다.

[0028] STA 티타늄 합금 형태를 교정 온도로 가열하는 속도는, 보다 빠른 가열 속도들이 교정 온도의 오버런(overrun)을 초래하며 기계적 특성들의 손실을 초래할 수 있다는 예방책을 갖고, 중대하지 않다. 타겟 교정 온도를 오버

런하지 않도록, 또는 STA 시효 온도 아래의 적어도 25°F(13.9℃)로 온도를 오버런하지 않도록 조치를 취함으로써, 보다 빠른 가열 속도들이 부품들 사이에서 보다 짧은 교정 순환 시간들, 및 개선된 생산성을 야기할 수 있다. 비-제한적인 실시예에서, 교정 온도로 가열하는 것은 500°F/min(277.8℃/min)으로부터 1000°F/min(555.6℃/min)까지의 가열 속도로 가열하는 것을 포함한다.

[0029] STA 티타늄 합금 형태의 임의의 국소화된 영역은 바람직하게는 STA 시효 온도와 동일하거나 또는 그보다 높은 온도에 이르지 않아야 한다. 비-제한적인 실시예에서, 형태의 온도는 항상 STA 시효 온도 아래의 적어도 25°F(13.9℃)이어야 한다. 비-제한적인 실시예에서, STA 시효 온도(또한 시효 경화 온도, α+β 상장에서의 시효 경화 온도, 및 시효 온도로서 본 출원에 다양하게 지칭되어지는)는 티타늄 합금의 β-트랜서스 온도 아래의 500°F(277.8℃) 내지 티타늄 합금의 β-트랜서스 온도 아래의 900°F(500℃)의 범위에 있을 수 있다. 다른 비-제한적인 실시예들에서, 교정 온도는 STA 티타늄 합금 형태의 시효 경화 온도 아래의 50°F(27.8℃) 내지 STA 티타늄 합금 형태의 시효 경화 온도 아래의 200°F(111.1℃)의 교정 온도 범위 있거나, 또는 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃) 내지 시효 경화 온도 아래의 300°F(166.7℃)에 있다.

[0030] 본 발명에 따른 방법의 비-제한적인 실시예는 최종 온도로 교정된 STA 티타늄 합금 형태를 냉각시키는 단계를 포함하고, 그 포인트에서 냉각 인장 응력이 교정된 STA 티타늄 합금 형태의 일직선으로부터의 편차를 변경하지 않고 제거될 수 있다. 비-제한적인 실시예에서, 냉각시키는 단계는 250°F(121.1℃)보다 크지 않은 최종 온도로 냉각시키는 단계를 포함한다. STA 티타늄 합금 형태의 일직선에서 편차 없이 냉각 인장 응력을 경감할 수 있으면서 실온보다 높은 온도로 냉각시키기 위한 능력은 부품들 사이에서의 보다 짧은 교정 사이클 시간들 및 개선된 생산성을 가능하게 한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 냉각은 실온으로의 냉각을 포함하며, 이것은 약 64°F(18℃) 내지 약 77°F(25℃)로서 본 출원에 정의된다.

[0031] 이해될 바와 같이, 본 발명의 하나의 측면은 본 출원에 개시된 열 신장 교정의 특정한 비-제한적인 실시예들이, 이에 제한되지 않지만, 종래에 교정하기 어렵다고 고려되는 금속들 및 금속 합금들을 포함하는, 비록 모두는 아닐지라도, 많은 금속들 및 금속 합금들을 포함하는 실질적으로 임의의 금속 형태 상에서 사용될 수 있다는 것이다. 놀랍게도, 본 출원에 개시된 열 신장 교정 방법의 비-제한적인 실시예들은 종래에 교정하기 어렵다고 고려되는 티타늄 합금들에서 효과적이었다. 본 발명의 범위 내에서의 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 준 α-티타늄 합금을 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 Ti-8Al-1Mo-1V 합금(UNS 54810) 및 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo 합금(UNS R54620) 중 적어도 하나를 포함한다.

[0032] 본 발명의 범위 내에 있는 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 α+β-티타늄 합금을 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 Ti-6Al-4V 합금(UNS R56400), Ti-6Al-4V ELI 합금(UNS R56401), Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo 합금(UNS R56260), Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr 합금(UNS R58650), 및 Ti-6Al-6V-2Sn 합금(UNS R56620) 중 적어도 하나를 포함한다.

[0033] 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 β-티타늄 합금을 포함한다. 본 출원에 사용된 바와 같이, "β-티타늄 합금"은 이에 제한되지 않지만, 준 β-티타늄 합금들 및 준안정(metastable) β-티타늄 합금들을 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 Ti-10V-2Fe-3Al 합금(UNS 56410), Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr 합금(UNS 비할당), Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr 합금(UNS R58650), 및 Ti-15Mo 합금(UNS R58150) 중 하나를 포함한다. 특정의 비-제한적인 실시예에서, 티타늄 합금 형태는 Ti-10V-2Fe-3Al 합금(UNS 56410) 형태이다.

[0034] 특정 β-티타늄 합금들, 예를 들면, Ti-10V-2Fe-3Al 합금을 갖고, 종래의 교정 프로세스들을 사용하여 본 출원에 개시된 허용 오차들로 이들 합금들의 STA 형태들을 교정하면서, 또한 합금의 원하는 기계적 특성들을 또한 유지하는 것은 가능하지 않다는 것이 주의된다. β-티타늄 합금들에 대해, β 트랜서스 온도는 본질적으로 공업용 순 티타늄(commercially pure titanium)보다 낮다. 그러므로, 또한 STA 시효 온도가 낮아져야 한다. 또한, 이에 제한되지는 않지만, Ti-10V-2Fe-3Al 합금과 같은, STA β-티타늄 합금들은 200 ksi(1379 MPa)보다 높은 최대 인장 강도들을 나타낼 수 있다. STA 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)보다 크지 않은 온도에서, 2-면(two-plane) 교정기를 사용하는 것과 같이, 종래의 신장 방법들을 사용하여 이러한 높은 강도들을 가진 STA β-티타늄 합금 바들을 교정하려고 시도할 때, 상기 바들은 부스러지는 강한 경향을 나타낸다. 놀랍게도, 이들 고 강도 STA β-티타늄 합금들은 균열 없이 단지 약 5%의 항복 및 최대 인장 강도들의 평균 손실만을 갖고 본 발명에 따른 비-제한적인 열 신장 교정 방법 실시예들을 사용하여 본 출원에 개시된 허용 오차들에 대해 교정될 수 있다는 것이 발견되어 왔다.

[0035] 상술된 논의는 주로 교정된 티타늄 합금 형태들 및 STA 티타늄 합금 형태들을 교정하는 방법들에 관련되지만, 본 출원에 개시된 열 신장 교정의 비-제한적인 실시예들은 가상의 임의의 시효 경화 금속 제품 형태, 즉 임의의

금속 또는 금속 합금을 포함하는 금속 제품상에서 성공적으로 사용될 수 있다.

[0036] 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 용체화 처리 및 금속 및 금속 합금 중 하나를 포함하는 시효 경화 금속 형태를 교정하기 위한 방법(30)은 시효 경화 금속 형태의 용융 온도 0.3 켈빈(kelvin)(0.3Tm)으로부터 시효 경화 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 온도 아래의 적어도 25°F(13.9℃)의 온도까지의 교정 온도 범위에서의 교정 온도로 용체화 처리 및 시효 경화 금속 형태를 가열하는 단계(32)를 포함한다.

[0037] 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예는 교정된 시효 경화 금속 형태를 제공하기 위해 시효 경화 금속 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 용체화 처리 및 시효 경화 금속 형태에 신장 인장 응력을 인가하는 단계(34)를 포함한다. 비-제한적인 실시예에서, 신장 인장 응력은 교정 온도에서 시효 경화 금속 형태의 항복 응력의 적어도 약 20%이며 교정 온도에서 STA 티타늄 합금의 항복 응력보다 크거나 또는 동일하지 않다. 비-제한적인 실시예에서, 인가된 신장 인장 응력은 신장을 유지하기 위해 교정 단계 동안 증가될 수 있다. 비-제한적인 실시예에서, 신장 인장 응력은 신장 동안 2의 배수로 증가된다. 비-제한적인 실시예에서, 교정된 시효 경화 금속 형태는 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다. 비-제한적인 실시예에서, 교정된 시효 경화 금속 형태는 교정된 시효 경화 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 교정된 시효 경화 금속 형태는 교정된 시효 경화 금속 형태의 모든 10 피트 길이(304.8 ㎝)에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜)보다 크지 않은 만큼 일직선으로부터 벗어난다.

[0038] 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예는 냉각 인장 응력을 교정된 시효 경화 금속 형태에 인가하는(38) 동시에 교정된 시효 경화 금속 형태를 냉각시키는 단계(36)를 포함한다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 냉각 인장 응력은 교정된 시효 경화 금속 형태가 냉각시키는 단계 동안 휘고, 구부러지거나 또는 그 외 왜곡되지 않도록, 교정된 시효 경화 금속 형태에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하다. 비-제한적인 실시예에서, 냉각 응력은 신장 응력과 등가이다. 제품 형태의 온도가 냉각시키는 단계 동안 감소하기 때문에, 신장 인장 응력과 등가인 냉각 인장 응력을 인가하는 것은 제품 형태의 추가적인 신장을 야기하지 않을 것이지만, 제품 형태에서의 냉각 응력들이 제품 형태를 휘게 하는 것을 방지하고 신장 단계에서 수립된 일직선으로부터의 편차를 유지하도록 작용한다는 것이 인식된다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 냉각 인장 응력은 시효 경화된 금속 형태가 냉각시키는 단계 동안 휘고, 구부러지거나 또는 그 외 왜곡되지 않도록, 합금에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 냉각 인장 응력은 시효 경화된 금속 형태가 교정된 시효 경화 금속 형태의 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 유지하도록, 합금에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 냉각 응력은 시효 경화된 금속 형태가 모든 5 피트 (152.4 ㎝) 이하의 길이에 대해 0.094 인치(2.388 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 유지하도록, 합금에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하다. 또 다른 비-제한적인 실시예에서, 냉각 응력은 시효 경화된 금속 형태가 교정된 시효 경화된 금속 형태의 모든 10 피트 길이(304.8 ㎝)에 대해 0.25 인치(6.35 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 유지하도록, 합금에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하다.

[0039] 본 발명에 따른 다양한 비-제한적인 실시예들에서, 용체화 처리 및 시효 경화 금속 형태는 티타늄 합금(titanium alloy), 니켈 합금(nickel alloy), 알루미늄 합금(aluminum alloy), 및 철 합금(ferrous alloy) 중 하나를 포함한다. 또한, 본 발명에 따른 특정한 비-제한적인 실시예에서, 용체화 처리 및 시효 경화된 금속 형태는 빌릿, 블룸, 환봉, 각봉, 압출, 튜브, 파이프, 슬랩, 시트, 및 판으로부터 선택된다.

[0040] 본 발명에 따른 비-제한적인 실시예에서, 교정 온도는 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 경화 온도 아래의 200°F(111.1℃)로부터 시효 경화 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)까지의 범위에 있다.

[0041] 이어지는 예들은 본 발명의 범위를 제한하지 않고, 특정한 비-제한적인 실시예들을 추가로 설명하도록 의도된다. 이 기술분야의 숙련자들은 다음의 예들의 변형들이 단지 청구항들에 의해서만 정의되는, 본 발명의 범위 내에서 가능하다는 것을 이해할 것이다.

[0042] 예 1

[0043] 이러한 비교 예에서, Ti-10V-2Fe-3Al의 여러 개의 10 피트 길이의 바들은 바들을 교정하기 위해 강력한 프로세스를 식별하기 위한 시도로 용체화 처리, 시효, 및 종래의 교정의 여러 개의 순열들을 사용하여 제조되고 처리

된다. 바들은 0.5 인치 내지 3 인치들(1.27 ㎝ 내지 7.62 ㎝)까지의 직경 범위에 있다. 바들은 1375°F(746.1°)에서 1475°F(801.7℃)까지의 온도에서 용체화 처리된다. 그 후, 바들은 900°F(482.2℃) 내지 1000°F(537.8℃)까지의 범위에 있는 시효 온도에서 시효된다. 교정하기 위해 평가되는 프로세스들은, (a) 시효 온도 아래에서의 수직 용체화 처리 및 2-면 교정; (b) 수직 용체화 열 처리에 뒤이은 1400°F(760℃)에서의 2-면 교정, 시효, 및 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)에서의 2-면 교정; (c) 1400°F(760℃)에서의 교정에 뒤이은 수직 용체화 처리 및 시효, 및 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)에서의 2-면 교정; (d) 고온 용체화 열 처리에 뒤이은 1400°F(760℃)에서의 2-면 교정, 수직 용체화 처리 및 시효, 및 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)에서의 2-면 교정; 및 (e) 분쇄 어닐링(mill annealing)에 뒤이은 1100°F(593.3℃)에서의 2-면 교정, 수직 용체화 열 처리, 및 시효 온도 아래의 25°F(13.9℃)에서의 2-면 교정을 포함한다.

[0044] 프로세스된 바들은 일직선에 대해 시각적으로 검사되며, 통과 또는 실패로서 분류된다. (e)로 라벨링된 프로세스는 가장 성공적인 것으로 관찰되었다. 그러나, 수직 STA 열 처리들을 사용한 모든 시도들은 단지 50% 미만의 통과율을 가진다.

[0045] 예 2

[0046] Ti-10V-2Fe-3Al 합금의 2개의 1.875 인치(47.625 ㎜) 직경, 10 피트(3.048 m) 바들이 이 예를 위해 사용되었다. 바들은 업셋(upset) 및 단일의 재결정화된 빌릿으로부터 생성되는 회전식 단조 재-롤링(rotary forged re-rolling)으로부터 α+β 상장에서의 온도에서 롤링(rolling)된다. 900°F(482.2℃)에서의 높은 온도 인장 테스트들이 이용가능한 장비를 갖고 교정될 수 있는 바의 최대 직경을 결정하기 위해 수행되었다. 높은 온도 인장 테스트들은 1.0 인치(2.54 ㎝) 직경 바가 장비 제한들 내에 있다는 것을 표시하였다. 바들은 1.0 인치(2.54 ㎝) 직경 바들까지 필링(peeling)되었다. 그 후, 바들은 2시간 동안 1460°F(793.3℃)에서 용체화 처리되며, 물 담금질된다. 바들은 940°F(504.4℃)에서 8시간 동안 시효된다. 바들의 교정은 몇몇 꼬임 및 웨이브(wave)를 갖고 일직선으로부터 대략 2 인치(5.08 ㎝) 벗어나도록 측정되었다. STA 바들은 두 개의 상이한 유형들의 보우(bow)를 나타낸다. 제 1 바(Serial #1)는 단부들에서 비교적 일직선이 되도록 관찰되며, 일직선으로부터 대략 2.1 인치(5.334 ㎝)의 중간까지 심하지 않은 보우(bow)를 가진다. 제 2 바(Serial #2)는 중간 가까이에서 매우 일직선이지만, 단부들 근처에서 킹크(kink)들을 가진다. 일직선으로부터의 최대 편차는 대략 2.1 인치(5.334 ㎝)이다. 담금질 방치(as-quenched) 상태에 있는 바들의 표면 마감은 매우 균일한 산화된 표면을 나타낸다. 도 4는 용체화 처리 및 시효 후 바들의 대표적인 사진이다.

[0047] 예 3

[0048] 예 2의 용체화 처리 및 시효 바들은 본 발명의 비-제한적인 실시예에 따라 열 신장 교정되었다. 바 온도의 제어를 위한 온도 피드백(feedback)은 중간 부분에 위치된 열전대를 통하였다. 그러나, 열전대 부착이 가진 본래의 어려움들을 해소하기 위해, 두 개의 부가적인 열전대들은 그들 단부들 가까운 부분들에 용접(welding)되었다.

[0049] 제 1 바는 열 램프(heat lamp) 동안 발진들을 초래하는 실패한 주 제어 열전대를 경험했다. 또 다른 제어 이상(anomaly)과 함께, 이것은 900°F(482.2℃)의 원하는 온도를 초과하는 부분을 이끌었다. 달성된 고온은 2분 미만 동안 대략 1025°F(551.7℃)였다. 제 1 바는 또 다른 열전대를 갖고 재-설치(re-instrument)되었으며, 유사한 오버슈트(overshoot)가 이전 구동으로부터 소프트웨어 제어 프로그램에서의 에러로 인해 발생했다. 제 1 바는 허용된 최대 전력을 갖고 가열되며, 이것은 대략 2분 내에 실온에서 1000°F(537.8℃)까지로 이 예에 사용된 크기의 바를 가열할 수 있다.

[0050] 프로그램은 리셋되며, 제 1 바 교정 프로그램이 진행하도록 허용된다. 기록된 최고 온도는 열전대 번호 2(TC#2)에 의해 944°F(506.7℃)이며, 이것은 바의 하나의 단부 근처에 위치된다. TC#2는 부족 전력(under power)일 때, 약간의 열 접점(hot junction) 실패를 경험하였다고 믿어진다. 이러한 사이클 동안, 바의 중심에 위치된 열전대 번호 0(TC#0)는 908°F(486.7℃)의 최대 온도를 기록하였다. 교정 동안, TC#2로부터 바의 반대 단부 근처에 위치된, 열전대 번호 1(TC#1)는 바에서 떨어지며 바 온도를 판독하는 것을 중단한다. 바 Serial #1 상에서 이러한 최종 열 사이클에 대한 온도 그래프는 도 5에 도시된다. 제 1 바(Serial #1)에 대한 사이클 시간은 50분이었다. 바는 신장 단계 말에서 인가된 바 상에서 톤수(tonnage)를 유지하면서 250°F(121.1℃)로 냉각되었다.

[0051] 제 1 바는 3분의 기간에 걸쳐 0.5 인치(1.27㎝) 신장되었다. 상기 상(phase) 동안 톤수(tonnage)는 초기에 5톤(44.5 kN)에서 완료 후 10톤(89.0 kN)까지 증가되었다. 바는 1인치(2.54 ㎝) 직경을 갖기 때문에, 이들 톤수들은 12.7 ksi(87.6 MPa) 및 25.5 ksi(175.8 MPa)의 인장 응력들로 변환한다. 상기 부분은 온도 제어 실패로 인해 중단된 이전 열 사이클들에서도 신장을 경험하였다. 교정 후 측정된 총 신장은 1.31 인치(3.327 ㎝)였다.

[0052] 제 2 바(Serial #2)는 열전대 부착 포인트들 가까이에서 조심스럽게 세정되며, 열전대들이 부착되며 명백한 결함들에 대해 검사된다. 제 2 바는 900°F(482.2℃)의 타겟 설정 값으로 가열된다. TC#1은 973°F(522.8℃)의 온도를 기록하지만, TC#0 및 TC#2는 각각 단지 909°F(487.2℃) 및 911°F(488.3℃)의 온도를 기록하였다. 도 6에 보여지는 바와 같이, TC#1은 대략 700°F(371.1℃)까지 다른 2개의 열전대들을 갖고 제대로 추적되며, 이 포인트에서 몇몇 편차가 관찰되었다. 다시 한 번, 열전대의 부착은 편차의 소스가 되는 것으로 추측된다. 이러한 부분에 대한 총 사이클 시간은 45분이었다. 제 2 바(Serial #2)는 제 1 바(Serial #1)에 대해 설명된 바와 같이 열 신장되었다.

[0053] 열 신장 교정된 바들(Serial #1 및 Serial #2)은 도 7의 사진에 도시된다. 바들은 모든 5 피트(1.524 m) 길이에 대해 0.094 인치(2.387 ㎜)의 일직선으로부터의 최대 편차를 가진다. Serial #1 바는 1.313 인치(3.335 ㎝)만큼 신장되며, Serial #2 바는 열 신장 교정 동안 2.063 인치(5.240 ㎝)만큼 신장되었다.

[0054] 예 4

[0055] 예 3에 따른 열 신장 교정 후 바들(Serial #1 및 Serial #2)의 화학적 성질들은 예 2의 1.875 인치(47.625 ㎜) 바들의 화학적 성질과 비교된다. 예 3의 바들은 교정된 바들(Serial #1 및 Serial #2)과 동일한 열로부터 생성된다. 화학적 분석의 결과들이 표 1에 제시된다.

표 1

[0056]

MOT	크기	Al	C	Fe	H	N	O	Ti	V
69550C	1.875"RD	3.089	0.008	1.917	0.004	0.006	0.108	85.275	9.654
69550C	1.875"RD	3.070	0.007	1.905	0.005	0.004	0.104	85.346	9.616
69550C	1.875"RD	3.090	0.010	1.912	0.004	0.004	0.102	85.288	9.647
69550C	1.875"RD	3.088	0.009	1.926	0.005	0.004	0.106	85.291	9.635
69550C	1.875"RD	3.058	0.007	1.913	0.006	0.004	0.104	85.350	9.610
	평균	**3.079**	**0.008**	**1.915**	**0.005**	**0.004**	**0.105**	**85.310**	**9.632**
92993F	1"RD	3.098	0.006	1.902	0.005	0.002	0.112	85.306	9.608
92993F	1"RD	3.060	0.006	1.899	0.004	0.002	0.104	85.368	9.598
	평균	**3.079**	**0.006**	**1.901**	**0.004**	**0.002**	**0.108**	**85.337**	**9.603**

[0057] 화학적 성질에서의 어떤 변화도 예 3의 비-제한적인 실시예에 따른 열 신장 교정으로부터 발생하였던 것으로 관찰되지 않는다.

[0058] 예 5

[0059] 열 신장 교정된 바들(Serial #1 및 Serial #2)의 기계적 특성들은 용체화 처리 및 시효되고, 1400°F에서 2-면 교정되며, 범핑(bumping)된 제어 바들과 비교된다. 범핑은 바의 긴 길이들에 대한 작은 양의 곡률을 산출하기 위해 하나의 바 상에서의 다이(die)를 갖고 작은 양의 힘이 가해지는 프로세스이다. 제어 바들은 Ti-10V-2Fe-3Al 합금으로 구성되며, 직경 1.772 인치(4.501 ㎝)였다. 제어 바들은 2시간 동안 1460°F(793.3℃)에서 α+β 용체화 처리되며, 물 담금질된다. 제어 바들은 8시간 동안 950°F(510℃)에서 시효되며, 공기 담금질된다. 제어 바들 및 열 신장 교정된 바들의 인장 특성들 및 파괴 인성(fracture toughness)이 측정되며, 결과들은 표 2에 제시된다.

표 2

[0060]

MOT	직경 크기 (인치)	열	YLD (ksi)	UTS (ksi)	ELG (%)	RA (%)	$K1_C$ (ksi $in^{1/2}$)
열 교정 및 범핑된 바들							
69548E	1.772RD	H94H	170.13	183.04	12.14	42.91	44.10
69548E	1.772RD	H94H	172.01	183.99	11.43	41.59	45.90
69548E	1.772RD	H94H	173.09	183.48	10.71	41.76	48.90
69548E	1.772RD	H94H	171.53	182.76	12.14	46.96	47.30
69548E	1.772RD	H94H	170.48	182.97	11.43	38.53	46.60
69548E	1.772RD	H94H	169.51	183.84	11.43	40.20	46.60
69548E	1.772RD	H94H	171.38	183.02	12.86	47.69	46.00
69548E	1.772RD	H94H	171.21	183.31	12.14	44.40	47.90
		평균	**171.17**	**183.30**	**11.79**	**43.00**	**46.66**
열 신장 교정된 바들							
92993F	1RD	H94H	172.01	182.68	8.57	29.34	47.50
92993F	1RD	H94H	170.78	180.91	10.00	36.85	49.40
		평균	**171.39**	**181.79**	**9.29**	**33.10**	**48.45**
타겟 평균			**167**	**176**	**6**	**NA**	**39**
최소치들			**158**	**170**	**6**	**NA**	**40**

[0061] 열 신장 교정된 바들의 모든 특성들은 타겟 및 최소치 요건들을 충족시킨다. 열 신장 교정된 바들(Serial #1 및 Serial #2)은 약간 더 낮은 연성 및 영역에서의 감소(RA; reduction in area) 값들을 가지며, 이것은 아마 교정 동안 발생하는 신장의 결과이다. 그러나, 열 신장 교정 후의 인장 강도들은 교정되지 않은 제어 바들과 비슷한 것으로 보인다.

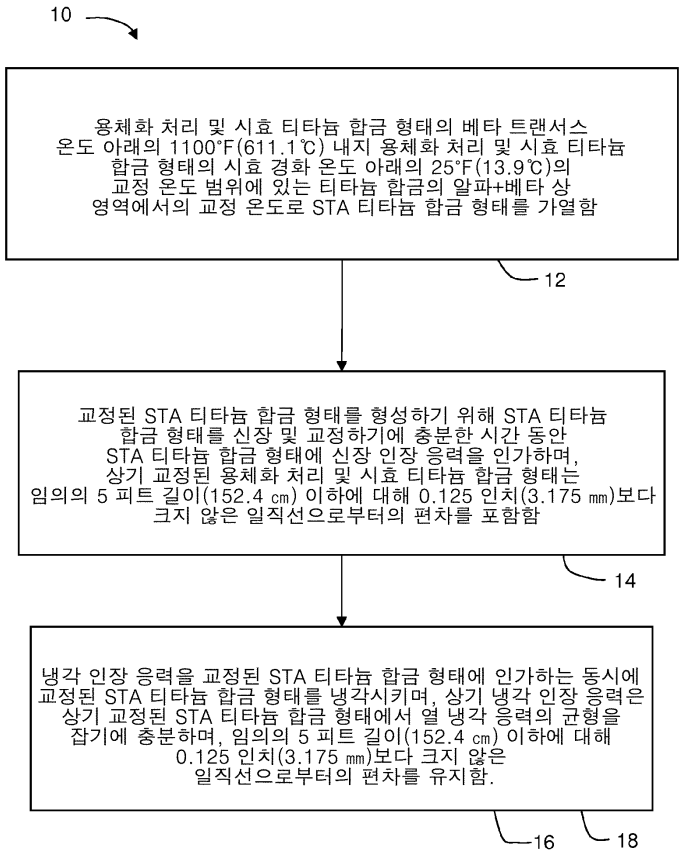
[0062] 예 6

[0063] 열 신장 교정된 바들(Serial #1 및 Serial #2)의 종적인 미세 구조들은 예 5의 교정되지 않은 제어 바들의 종적인 미세 구조들과 비교된다. 예 3의 열 신장 교정된 바들의 미세구조들의 마이크로그래프들이 도 8에 제시된다. 마이크로그래프들은 동일한 샘플 상에서 두 개의 상이한 위치들로부터 취해졌다. 예 5의 교정되지 않은 제어 바들의 미세구조들의 마이크로그래프들은 도 9에 제시된다. 상기 미세 구조들은 매우 유사하게 관찰된다.

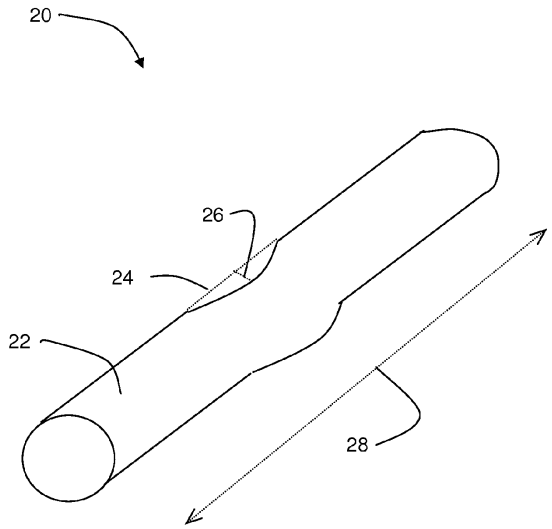
[0064] 본 발명은 다양한 대표적, 예시적, 및 비-제한적인 실시예들을 참조하여 작성되었다. 그러나, 개시된 실시예들(또는 그 일부들) 중 임의의 것에 대한 다양한 대체예들, 변경예들, 또는 조합예들이 단지 청구항들에 의해 정의된 바와 같이 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 이루어질 수 있다는 것이 이 기술분야의 숙련자들에 의해 인식될 것이다. 따라서, 본 발명은 본 출원에 명확하게 제시되지 않은 부가적인 실시예들을 포괄하는 것으로 고려되고 이해된다. 예를 들면, 이러한 실시예들은 본 출원에 설명된 실시예들의, 개시된 단계들, 재료들, 구성 성분들, 구성요소들, 요소들, 특징들, 측면들 등 중 임의의 것을 조합 및/또는 변경함으로써 획득될 수 있다. 따라서, 본 개시는 다양한 대표적, 예시적, 및 비-제한적인 실시예들의 설명에 의해 제한되지 않으며, 오히려 단지 청구항들에 의해 제한된다. 이러한 방식으로, 청구항들은 본 출원에 다양하게 설명된 바와 같이 청구된 발명에 특징들을 부가하기 위해 본 특허 출원의 심사시 보정될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

도면

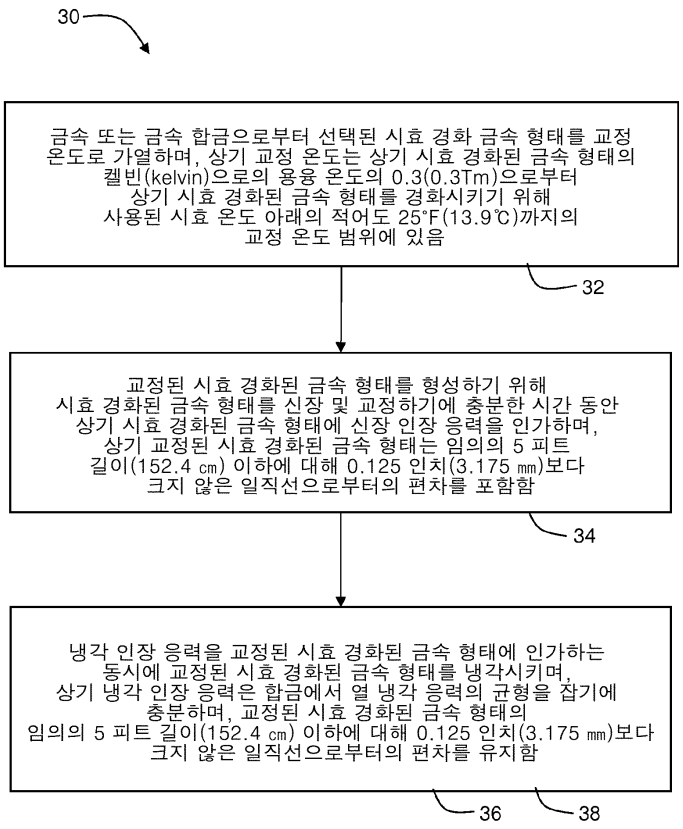
도면1


10
용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 베타 트랜서스 온도 아래의 1100°F(611.1℃) 내지 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태의 시효 경화 온도 아래의 25°F(13.9℃)의 교정 온도 범위에 있는 티타늄 합금의 알파+베타 상 영역에서의 교정 온도로 STA 티타늄 합금 형태를 가열함
12
교정된 STA 티타늄 합금 형태를 형성하기 위해 STA 티타늄 합금 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 STA 티타늄 합금 형태에 신장 인장 응력을 인가하며, 상기 교정된 용체화 처리 및 시효 티타늄 합금 형태는 임의의 5 피트 길이(152.4 ㎝) 이하에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 포함함
14
냉각 인장 응력을 교정된 STA 티타늄 합금 형태에 인가하는 동시에 교정된 STA 티타늄 합금 형태를 냉각시키며, 상기 냉각 인장 응력은 상기 교정된 STA 티타늄 합금 형태에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하며, 임의의 5 피트 길이(152.4 ㎝) 이하에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 유지함.
16
18

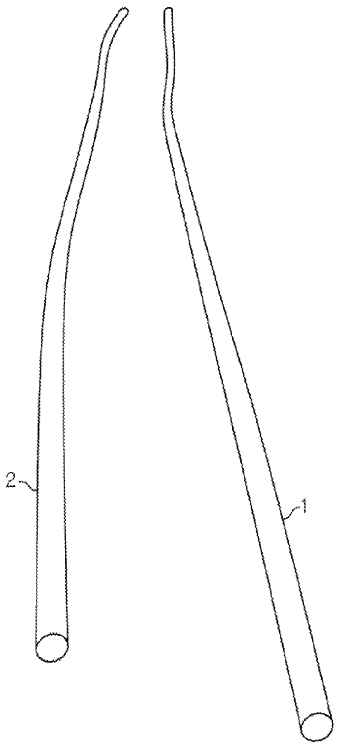
도면2


20
26
24
22
28

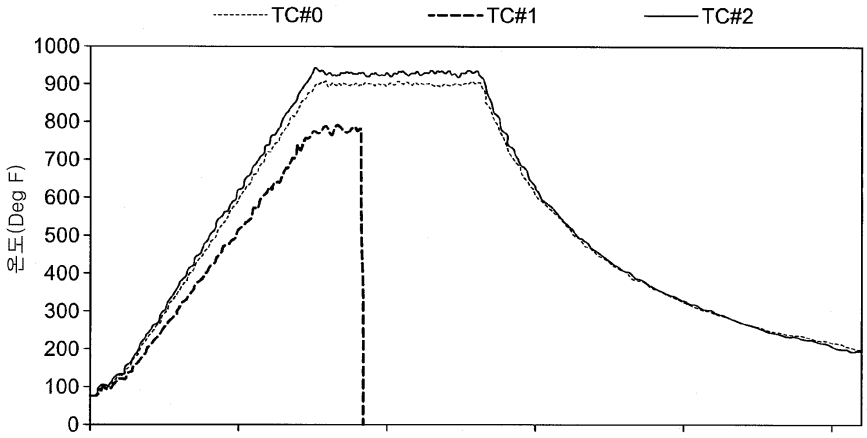
도면3


30
금속 또는 금속 합금으로부터 선택된 시효 경화 금속 형태를 교정 온도로 가열하며, 상기 교정 온도는 상기 시효 경화된 금속 형태의 켈빈(kelvin)으로의 용융 온도의 0.3(0.3Tm)으로부터 상기 시효 경화된 금속 형태를 경화시키기 위해 사용된 시효 온도 아래의 적어도 25°F(13.9℃)까지의 교정 온도 범위에 있음
32
교정된 시효 경화된 금속 형태를 형성하기 위해 시효 경화된 금속 형태를 신장 및 교정하기에 충분한 시간 동안 상기 시효 경화된 금속 형태에 신장 인장 응력을 인가하며, 상기 교정된 시효 경화된 금속 형태는 임의의 5 피트 길이(152.4 ㎝) 이하에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 포함함
34
냉각 인장 응력을 교정된 시효 경화된 금속 형태에 인가하는 동시에 교정된 시효 경화된 금속 형태를 냉각시키며, 상기 냉각 인장 응력은 합금에서 열 냉각 응력의 균형을 잡기에 충분하며, 교정된 시효 경화된 금속 형태의 임의의 5 피트 길이(152.4 ㎝) 이하에 대해 0.125 인치(3.175 ㎜)보다 크지 않은 일직선으로부터의 편차를 유지함
36
38

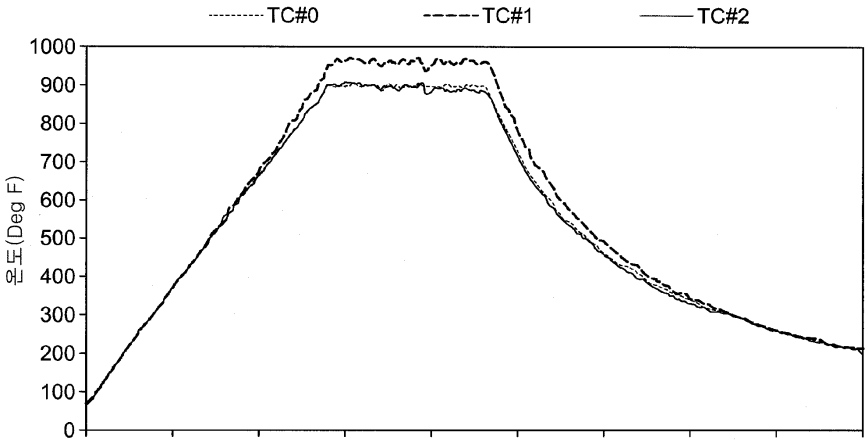
도면4


2
1

도면5


TC#0
TC#1
TC#2
온도(Deg F)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

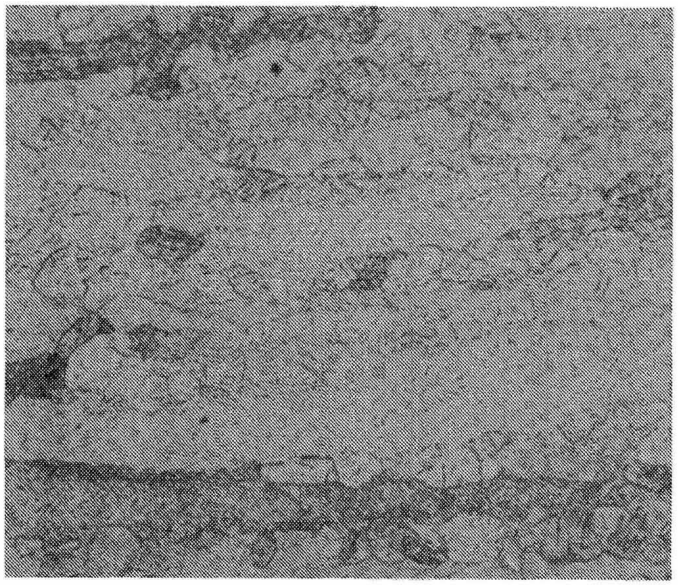
도면6

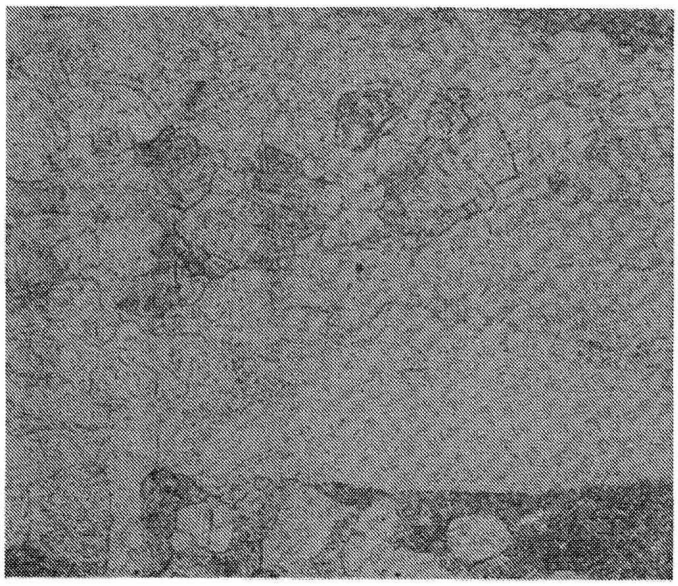

TC#0
TC#1
TC#2
온도(Deg F)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

도면7



도면8





도면9

