(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월14일
(11) 등록번호 10-2695594
(24) 등록일자 2024년08월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01) *C22F 1/00* (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
C22F 1/002 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7030881
(22) 출원일자(국제) 2019년03월20일
심사청구일자 2022년01월07일
(85) 번역문제출일자 2020년10월27일
(65) 공개번호 10-2020-0132992
(43) 공개일자 2020년11월25일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/023061
(87) 국제공개번호 WO 2019/194972
국제공개일자 2019년10월10일
(30) 우선권주장
15/945,037 2018년04월04일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP1993148599 A*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 24 항

(73) 특허권자
에이티아이 프로퍼티즈 엘엘씨
미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이. 올드 살렘 로드
(72) 발명자
만티온 존 브이.
미국, 노스캐롤라이나 28079, 인디언 트레일, 루럴 팜 로드 1003
브라이언 데이비드 제이.
미국, 노스캐롤라이나 28079, 인디언 트레일, 블루 스트림 레인 8005
가르시아-아빌라 마티아스
미국, 노스캐롤라이나 28079, 인디언 트레일, 태프트 플레이스 7604
(74) 대리인
강명구, 이경민

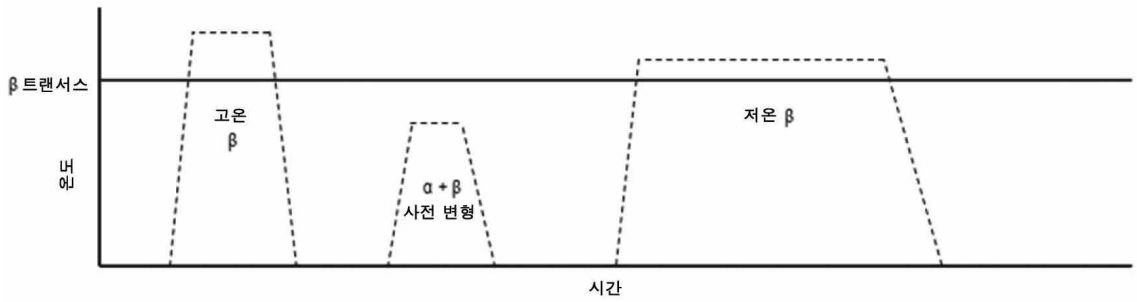
심사관 : 구본승

(54) 발명의 명칭 **고온 티타늄 합금**

(57) 요 약

티타늄 합금의 비-제한적인 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 하여 중량%로,5.1 내지 6.5의 알루미늄; 1.9 내지 3.2의 주석; 1.8 내지 3.1의 지르코늄; 3.3 내지 5.5의 몰리브덴; 3.3 내지 5.2의 크롬; 0.08 내지 0.15의 산소; 0.03 내지 0.20의 실리콘; 0 내지 0.30의 철; 티타늄; 및 불순물을 포함한다. 티타늄 합금의 비-제한적인 실시 양태는 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 달성하기 위한 특정 다른 합금 첨가물과 함께 실리콘의 의도적인 첨가를 포함하며, 이는 고온에서 인장 강도를 개선시키는 것으로 관찰되었다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C22F 1/183 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
CA0974095 A
JP1998195563 A
JP2012052219 A
JP05148599 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명 세 서

청구범위

청구항 1

총 합금 중량을 기준으로 한 중량%로 하기를 포함하는 티타늄 합금:

5.5 내지 6.5의 알루미늄;

1.9 내지 2.9의 주석;

1.8 내지 3.0의 지르코늄;

4.5 내지 5.5의 몰리브덴;

4.2 내지 5.2의 크롬;

0.08 내지 0.15의 산소;

0.03 내지 0.20의 실리콘;

0 초과 내지 0.30의 철;

나머지 티타늄 및

불순물,

여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값을 포함하고,

여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고,

여기서 티타늄 합금은 316℃에서 적어도 160 ksi의 극한 인장 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타내고,

여기서 티타늄 합금은 규화물 침전물을 포함함.

청구항 2

제1항에 있어서, 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 하기를 포함하는 티타늄 합금:

5.5 내지 6.5의 알루미늄;

2.2 내지 2.6의 주석;

2.0 내지 2.8의 지르코늄;

4.8 내지 5.2의 몰리브덴;

4.5 내지 4.9의 크롬;

0.08 내지 0.13의 산소;

0.03 내지 0.11의 실리콘;

0 초과 내지 0.25의 철;

나머지 티타늄; 및

불순물.

청구항 3

제1항에 있어서, 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 하기를 포함하는 티타늄 합금:

5.9 내지 6.0의 알루미늄;

2.3 내지 2.5의 주석;

2.3 내지 2.6의 지르코늄;

4.9 내지 5.1의 몰리브덴;

4.5 내지 4.8의 크롬;

0.08 내지 0.13의 산소;

0.03 내지 0.10의 실리콘;

0 초과 내지 0.07의 철;

나머지 티타늄; 및

불순물.

청구항 4

제1항에 있어서, 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 하기를 더 포함하는 티타늄 합금:

0 내지 0.05의 질소;

0 내지 0.05의 탄소;

0 내지 0.015의 수소; 및

0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈륨, 망간, 코발트 및 구리.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 316 ℃에서 적어도 140 ksi의 항복 강도를 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 60 ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 적어도 20시간의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 8

삭제

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 316 ℃에서 적어도 140 ksi의 항복 강도를 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 60 ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 적어도 20시간의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 11

제1항에 있어서, 하기를 포함하는 방법에 의해 제조되는, 티타늄 합금:

상기 티타늄 합금을 800 ℃내지 860 ℃에서 4 시간 동안 용액 처리하는 단계;

상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계;

620 ℃내지 650 ℃에서 8 시간 동안 상기 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및

상기 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

청구항 12

합금을 제조하는 방법으로서, 하기를 포함하는 방법:

800 ℃ 내지 860 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계로서, 상기 티타늄 합금은 5.5 내지 6.5의 알루미늄, 1.9 내지 2.9의 주석, 1.8 내지 3.0의 지르코늄, 4.5 내지 5.5의 몰리브덴, 4.2 내지 5.2의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 초과 내지 0.30의 철, 나머지 티타늄 및 불순물을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 316℃에서 적어도 160 ksi의 극한 인장 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타내고, 여기서 티타늄 합금은 규화물 침전물을 포함하는 단계;

상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계;

620 ℃내지 650 ℃에서 8 시간 동안 상기 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및;

상기 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈륨, 망간, 코발트 및 구리를 더 포함하는, 방법.

청구항 14

총 합금 중량을 기준으로 한 중량%로, 하기를 포함하는 티타늄 합금:

5.1 내지 6.1의 알루미늄;

2.2 내지 3.2의 주석;

1.8 내지 3.1의 지르코늄;

3.3 내지 4.3의 몰리브덴;

3.3 내지 4.3의 크롬;

0.08 내지 0.15의 산소;

0.03 내지 0.20의 실리콘;

0 내지 0.30의 철;

나머지 티타늄; 및 불순물;

여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값을 포함하고,

여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고,

여기서 티타늄 합금은 316℃에서 적어도 160 ksi의 극한 인장 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타내고,

여기서 티타늄 합금은 규화물 침전물을 포함함.

청구항 15

제14항에 있어서, 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 하기를 포함하는 티타늄 합금:

5.1 내지 6.1의 알루미늄;

2.2 내지 3.2의 주석;

2.1 내지 3.1의 지르코늄;

3.3 내지 4.3의 몰리브덴;

3.3 내지 4.3의 크롬;

0.08 내지 0.15의 산소;

0.03 내지 0.11의 실리콘;

0 내지 0.30의 철;

나머지 티타늄; 및

불순물.

청구항 16

제14항에 있어서, 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 하기를 포함하는 티타늄 합금:

5.6 내지 5.8의 알루미늄;

2.5 내지 2.7의 주석;

2.6 내지 2.7의 지르코늄;

3.8 내지 4.0의 몰리브덴;

3.7 내지 3.8의 크롬;

0.08 내지 0.14의 산소;

0.03 내지 0.05의 실리콘;

최대 0.06의 철;

나머지 티타늄; 및

불순물.

청구항 17

제14항에 있어서, 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 하기를 더 포함하는 티타늄 합금:

0 내지 0.05의 질소;

0 내지 0.05의 탄소;

0 내지 0.015의 수소; 및

0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈륨, 망간, 코발트 및 구리.

청구항 18

삭제

청구항 19

제14항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 316 ℃에서 적어도 130 ksi의 항복 강도를 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 20

제14항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 60 ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 86 시간 이상의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 21

삭제

청구항 22

제14항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 316 ℃에서 적어도 130 ksi의 항복 강도를 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 23

제14항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 60 ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 86 시간 이상의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타내는, 티타늄 합금.

청구항 24

제14항에 있어서, 하기를 포함하는 방법에 의해 제조되는, 티타늄 합금:

상기 티타늄 합금을 800 ℃내지 860 ℃에서 4 시간 동안 용액 처리하는 단계;

상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계;

620 ℃내지 650 ℃에서 8 시간 동안 상기 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및;

상기 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

청구항 25

합금을 제조하는 방법으로서, 하기를 포함하는 방법:

800 ℃ 내지 860 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계로서, 상기 티타늄 합금은 5.5 내지 6.5의 알루미늄, 1.9 내지 2.9의 주석, 1.8 내지 3.0의 지르코늄, 4.5 내지 5.5의 몰리브덴, 4.2 내지 5.2의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 내지 0.30의 철, 나머지 티타늄 및 불순물을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 316℃에서 적어도 160 ksi의 극한 인장 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타내고, 여기서 티타늄 합금은 규화물 침전물을 포함하는 단계;

상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계;

620 ℃내지 650 ℃에서 8 시간 동안 상기 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및;

상기 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈륨, 망간, 코발트 및 구리를 더 포함하는, 방법.

청구항 27

합금을 제조하는 방법으로서, 하기를 포함하는 방법:

800 ℃ 내지 860 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계로서, 상기 티타늄 합금은 5.1 내지 6.1의 알루미늄, 2.2 내지 3.2의 주석, 1.8 내지 3.1의 지르코늄, 3.3 내지 4.3의 몰리브덴, 3.3 내지 4.3의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 내지 0.30의 철, 나머지 티타늄 및 불순물을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 8.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 여기서 티타늄 합금은 316℃에서 적어도 160 ksi의 극한 인장 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타내고, 여기서 티타늄 합금은 규화물 침전물을 포함하는 단계;

상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계;

620 ℃내지 650 ℃에서 8 시간 동안 상기 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및

상기 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈륨, 망간, 코발트 및 구리를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고온 티타늄 합금에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 티타늄 합금은 일반적으로 강도 대 중량 비율이 높고 내부식성이 있으며 중간 정도의 고온에서 크리프에 강하다. 예를 들어, Ti-5Al-4Mo-4Cr-2Sn-2Zr 합금 (UNS R58650에 명시된 조성을 갖는 "Ti-17 합금"이라고도 함)은 상업용 합금으로, 최대 800 °F (약 427 ℃)의 작동 온도에서 고강도, 내피로성 및 인성(toughness)의 조합을 요구하는 제트 엔진 응용 분야에 널리 사용된다. 고온 응용에 사용되는 티타늄 합금의 다른 예는 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo 합금 (UNS R54620에 명시된 조성을 가짐) 및 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금 (또한 "베타-C", UNS R58640에 명시된 조성을 가짐). 그러나, 이들 합금에서의 고온에서 크리프 내성 및/또는 인장 강도에는 한계가 있다. 고온에서 개선된 크리프 저항성 및/또는 인장 강도를 갖는 티타늄 합금에 대한 요구가 개발되었다.

발명의 내용

[0003] 본 발명의 하나의 비제한적인 측면에 따르면, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 하여 중량%로 하기를 포함한다: 5.5 내지 6.5의 알루미늄; 1.9 내지 2.9의 주석; 1.8 내지 3.0의 지르코늄; 4.5 내지 5.5의 몰리브덴; 4.2 내지 5.2의 크롬; 0.08 내지 0.15의 산소; 0.03 내지 0.20의 실리콘; 0 내지 0.30의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0004] 본 발명의 또 다른 비제한적인 측면에 따르면, 티타늄 합금은 전체 합금 중량을 기준으로 하여 중량%로 하기를 포함한다: 5.1 내지 6.1의 알루미늄; 2.2 내지 3.2의 주석; 1.8 내지 3.1의 지르코늄; 3.3 내지 4.3의 몰리브덴; 3.3 내지 4.3의 크롬; 0.08 내지 0.15의 산소; 0.03 내지 0.20의 실리콘; 0 내지 0.30의 철; 티타늄; 및 불순물.

도면의 간단한 설명

[0005] 본원에 기술된 합금, 제품, 및 방법의 특징 및 이점은 하기의 첨부된 도면을 참조함으로써 더 잘 이해될 수 있다:

도 1은 본 발명에 따른 티타늄 합금의 비-제한적인 실시 양태를 처리하는 방법의 비-제한적인 실시 양태를 도시하는 플롯이고;

도 2는 도1에서와 같이 처리된 티타늄 합금의 주사 전자 현미경 이미지(후방산란 전자 모드)이며, "a"는 1차 α를 나타내고, "b"는 입자 경계 α를 나타내고, "c"는 α 래스(laths)를 나타내고, "d"는 2차 α를 나타내고, "e"는 규화물을 나타내고;

도 3은 비교 용액 처리되고 숙성된 티타늄 합금의 주사 전자 현미경 이미지(후방산란 전자 모드)이며, "a"는 1차 α를 나타내고, "b"는 경계 α를 나타내고, "c"는 α 래스를 나타내고, "d"는 2차 α를 나타내고;

도 4는 비교 티타늄 합금 및 통상적인 티타늄 합금과의 특성을 비교하여, 본 발명에 따른 티타늄 합금의 비-제한적인 실시 양태에 대한 온도에 대한 극한 인장 강도의 플롯이고;

도 5는 비교 티타늄 합금 및 통상적인 티타늄 합금과 이들 특성을 비교하여, 본 발명에 따른 티타늄 합금의 비-제한적인 실시 양태에 대한 온도 대 항복 강도의 플롯이고; 그리고

도 6은 본 발명에 따른 티타늄 합금의 비-제한적인 실시예의 주사 전자 현미경 이미지 (후방산란 전자 모드)로서, "a"는 입자 경계 α를 나타내고, "b"는 α 래스를 나타내고, "c"는 2차 α를 나타내고 "d"는 규화물을 나타낸다.

독자는 본 발명에 따른 임의의 비-제한적인 실시예들의 이하의 상세한 설명을 고려하여 앞에서의 세부사항들,

뿐만 아니라 다른 것들을 이해할 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] 비-제한적인 실시 양태의 본원의 설명에서, 작동예 또는 달리 지시하지 않는 한, 양 또는 특성을 나타내는 모든 숫자는 모든 경우에서 용어 "약"에 의해 변형되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 달리 지시되지 않는 한, 하기의 설명에 기재된 임의의 숫자 매개변수는 본 발명에 따른 물질 및 방법에 의해 얻으려고 하는 원하는 특성에 따라 변할 수 있는 근사치이다. 적어도, 그리고 전혀 청구범위의 범주에 균등론의 적용을 제한하려는 시도로서가 아니며, 각각의 수치 매개변수는 적어도 기록된 유효 숫자의 수를 고려하고 일반적인 반올림 기법을 적용함으로써 해석되어야 한다. 본 명세서에 기재된 모든 범위는 다르게 언급되지 않는 한 설명된 종점을 포함한다.

[0007] 본 출원에 참조로서 전체로 또는 부분으로 통합된 것으로 말해지는 임의의 특허, 간행물, 또는 다른 개시 자료는 통합된 자료가 존재하는 정의들, 표현들, 또는 본 개시에 서술된 다른 개시 자료와 상충되지 않는 정도로 단지 본 출원에 통합된다. 이와 같이, 그리고 필요한 정도로, 본 명세서에 제시된 바와 같은 개시내용은 본 명세서에 참고로 포함된 임의의 상충되는 자료를 대체한다. 본 명세서에 참고로 포함된 것으로 언급되지만, 본 명세서에 제시된 기존 정의, 진술, 또는 다른 개시내용과 상충되는 임의의 자료, 또는 이의 일부는 단지 포함된 자료와 기존 개시내용 자료 사이에서 상충이 일어나지 않는 정도로 포함된다.

[0008] 고온 환경에서의 제품 및 부품은 크리프(creep)가 발생할 수 있다. 본원에 사용된 "고온"은 약 100 °F (약 37.8 ℃)를 초과하는 온도를 의미한다. 크리프는 응력 하에서 발생하는 시간에 따른 변형이다. 감소하는 변형률 속도에서 발생하는 크리프는 1차 크리프라고 불리고; 최소 및 거의 일정한 변형률 속도에서 발생하는 크리프는 2차 (정상 상태) 크리프라고 불리고; 가속 변형률 속도에서 발생하는 크리프는 3차 크리프라고 한다. 크리프 강도는 지정된 일정한 환경에서 주어진 시간에 크리프 테스트에서 주어진 크리프 변형을 일으킬 스트레스이다.

[0009] 고온 및 지속 하중 하에서 티타늄 및 티타늄 합금의 크리프 저항 거동은 주로 미세구조적 특징에 의존한다. 티타늄은 두 가지 동소체 형태를 갖는다: 체심 중심 ("bcc") 결정 구조를 갖는 베타("β")-상; 및 육각형에 가까운 패킹된 ("hcp") 결정 구조를 갖는 알파("α")-상. 일반적으로, β 티타늄 합금은 열악한 상승된-온도 크리프 강도를 갖는다. 열악한 승온 크리프 강도는 예를 들어 500 ℃와 같은 고온에서 이들 합금이 나타내는 β 상의 상당한 농도의 결과이다. β 상은 많은 변형 메커니즘을 제공하는 체심 중심 입방 구조로 인해 크리프에 잘 견딘다. 이러한 단점의 결과로, β 티타늄 합금의 사용이 제한되었다.

[0010] 다양한 응용 분야에서 널리 사용되는 티타늄 합금의 한 그룹은 α/β 티타늄 합금이다. α/β 티타늄 합금에서 1차 α 입자의 분포와 크기는 크리프 저항에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 실리콘을 함유하는 α/β 티타늄 합금에 대한 연구 보고서에 따르면, 결정립계에서 규화물의 석출은 크리프 저항을 더 향상시킬 수 있지만 상온 인장 연성을 손상시킨다. 실리콘 첨가로 발생하는 실온 인장 연성의 감소는 일반적으로 0.2 중량% (중량 기준)로 첨가될 수 있는 실리콘의 양을 제한한다.

[0011] 본 발명은 부분적으로는 통상적인 티타늄 합금의 특정 제한 사항을 해결하는 합금에 관한 것이다. 도 1은 본 발명에 따른 티타늄 합금의 비-제한적인 실시 양태를 처리하는 방법의 비-제한적인 실시 양태를 도시하는 도면이다. 본 발명에 따른 티타늄 합금의 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 중량%로 5.5 내지 6.5의 알루미늄, 1.9 내지 2.9의 주석, 1.8 내지 3.0의 지르코늄, 4.5 내지 5.5의 몰리브덴, 4.2 내지 5.2의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 내지 0.30의 철, 티타늄 및 불순물을 포함한다. 본 발명에 따른 티타늄 합금의 또 다른 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로, 5.5 내지 6.5의 알루미늄, 2.2 내지 2.6의 주석, 2.0 내지 2.8의 지르코늄, 4.8 내지 5.2의 몰리브덴, 4.5 내지 4.9의 크롬, 0.08 내지 0.13의 산소, 0.03 내지 0.11의 실리콘, 0 내지 0.25의 철, 티타늄 및 불순물을 포함한다. 본 발명에 따른 티타늄 합금의 또 다른 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로, 5.9 내지 6.0의 알루미늄, 2.3 내지 2.5의 주석, 2.3 내지 2.6의 지르코늄, 4.9 내지 5.1의 몰리브덴, 4.5 내지 4.8의 크롬, 0.08 내지 0.13의 산소, 0.03 내지 0.10의 실리콘, 최대 0.07의 철, 티타늄 및 불순물을 포함한다. 본 발명에 따른 합금의 비-제한적인 실시 양태에서, 합금 조성물에서 부수적인 요소들 및 불순물은 질소, 탄소, 수소, 니오븀, 텅스텐, 바나듐, 탄탈, 망간, 니켈, 하프늄, 갈륨, 안티몬, 코발트 및 구리 중 하나 이상을 포함하거나 이를 필수적으로 구성할 수 있다. 본 발명의 티타늄 합금의 특정 비-제한적인 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소, 및 0 내지 최대 0 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈, 망간, 코발트 및 구리를 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 티타늄 합금의 특정 비-제한적인 실시 양태에서, 티타늄 합금은 6.9 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및

7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 달성하기 위해 다른 특정 합금 첨가물과 함께 실리콘의 의도적 첨가를 포함하며, 발명자들은 고온에서 인장 강도를 향상시키는 것을 관찰하였다. 본원에서 사용되는 "알루미늄 등가 값" 또는 "알루미늄 당량"(Al_{eq})은 하기와 같이 결정될 수 있다(모든 원소 농도는 표시된 바와 같이 중량 백분율임): $Al_{eq} = Al_{(중량\%)} + (1/6)\times Zr_{(중량\%)} + (1/3)\times Sn_{(중량\%)} + 10\times O_{(중량\%)}$. 본원에서 사용되는 "몰리브덴 등가 값" 또는 "몰리브덴 등량" (Mo_{eq})은 하기와 같이 결정될 수 있다(모든 원소 농도는 표시된 바와 같이 중량 백분율임):$Mo_{eq} = Mo_{(중량\%)} + (1/5)\times Ta_{(중량\%)} + (1/3.6)\times Nb_{(중량\%)} + (1/2.5)\times W_{(중량\%)} + (1/1.5)\times V_{(중량\%)} + 1.25\times Cr_{(중량\%)} + 1.25\times Ni_{(중량\%)} + 1.7\times Mn_{(중량\%)} + 1.7\times Co_{(중량\%)} + 2.5\times Fe_{(중량\%)}$.

[0013] 티타늄 합금의 기계적 성질은 일반적으로 시험되는 시험편의 크기에 의해 영향을받는다는 것을 인식하고 있지만, 본 발명에 따른 비-제한적인 실시 양태에서, 티타늄 합금은 적어도 6.9 또는 구현예에서 8.0 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 9.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 316℃에서 적어도 160 ksi의 극한 인장 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타낸다. 본 발명에 따른 다른 비-제한적인 실시 양태에서, 티타늄 합금은 적어도 6.9, 또는 특정 실시 양태에서 8.0 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 8.0 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 316℃에서 적어도 150 ksi의 항복 강도 및 적어도 10%의 신장율을 나타낸다. 또 다른 비-제한적인 실시 양태에서, 본 발명에 따른 티타늄 합금은 적어도 6.9, 또는 구현예에서 6.9 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 60 ksi의 하중 하에서 427℃에서 20 시간 이상의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타낸다. 또 다른 비-제한적인 실시 양태에서, 본 발명에 따른 티타늄 합금은 적어도 6.9, 또는 특정 구현예에서 8.0 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 7.4 내지10.4의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 60 ksi의 하중 하에서 427℃에서 86시간 이상의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타낸다.

[0014] 표 1은 본 발명에 따른 티타늄 합금("실험용 티타늄 합금 번호 1" 및 "실험용 합금 번호 2")의 비-제한적인 실시 양태의 원소 조성, Al_{eq}, 및 Mo_{eq}, 의도적인 실리콘 첨가 및 임의의 통상적인 티타늄 합금의 구현을 포함하지 않는 비교 티타늄 합금의 구현을 열거한다. 임의의 이론에 구애됨이 없이, 표 1에 열거된 실험적 티타늄 합금 번호 1 및 실험적 티타늄 합금 번호 2의 규소 함량은 하나 이상의 규화물 상들의 침전을 촉진할 수 있다고 믿어진다.

[0015] 표 1

합금	Al (중량%)	V (중량%)	Fe (중량%)	Sn (중량%)	Cr (중량%)	Zr (중량%)	Mo (중량%)	Nb (중량%)	Si (중량%)	O (중량%)	Al-Eq	Mo-Eq
Ti64 (UNS R56400)	6	4	0.4	-	-	-	-	-	<0.03	0.20	8.0	3.7
Ti834	5.8	-	0.05	4	-	3.5	0.5	0.7	0.3	0.15	9.2	0.8
Ti6242Si (UNS R54620)	6	-	0.25	2	-	4	2	-	0.1	0.15	8.8	2.6
Ti17 (UNS 58650)	5	-	0.3	2	4	2	4	-	<0.03	0.13	7.3	9.8
Ti38644 (UNS R58640)	3	8	0.3	-	6	4	4	-	<0.03	0.12	4.9	17.6
비교 티타늄 합금	5.9	-	0.07	2.4	4.6	2.4	5	-	0.02	0.13	8.4	10.9
실험용 티타늄 합금 번호 1	6	-	0.06	2.4	4.7	2.5	5	-	0.04	0.13	8.5	11.0
실험용 티타늄 합금 번호 2	5.6	-	0.06	2.7	3.8	2.6	3.8		.05	0.13	8.3	8.7

[0016]

[0017] 표 1에 열거된 비교 티타늄 합금 및 실험용 티타늄 합금 번호 1의 수많은 플라즈마 아크 용융 (PAM) 열은 플라즈마 아크 로(furnace)를 사용하여 각각 약 400-800 lb의 직경 9 인치 전극을 생산하였다. 전극을 진공 아크 재용융 (VAR) 로에서 다시 용해하여 직경 10 인치의 잉곳을 생산하였다. 각 잉곳은 뜨거운 작업 프레스를 사용하여 직경 3 인치의 빌렛으로 변환되었다. 7 인치 직경의 β 단조 단계(forging step), 5 인치 직경의 α+β 사전 변형 단조 단계 및 3 인치 직경의 β 마무리 단조 단계 후에, 각 빌렛의 말단을 잘라내어 빨려들어간 부분(suck-in)과 단말-균일을 제거하고, 빌렛을 여러 조각으로 절단한다. 7 인치 직경의 각 빌렛의 상단과 맨 아래의 빌렛의 바닥을 화학 및 β 변형으로 샘플링하였다. 중간 빌렛 화학 결과에 기초하여, 빌렛으로부터 2 인치 길이의 샘플을 절단하고 프레스 상에 "팬케이크"을 단련하였다. 팬케이크 시험편을 용액 처리 및 숙성 조건에

대응하는 하기 열처리 프로파일을 사용하여 열처리 하였다: 800 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계; 티타늄 합금을 주위 온도로 물로 급냉시키는 단계; 티타늄 합금을 635 ℃에서 8 시간 동안 시효 처리하는 단계; 및 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

[0018] 본원에서 사용되는 "용액 처리 및 시효 처리(STA)" 가공은 티타늄 합금의 β-트랜서스 (transus) 온도보다 낮은 온도로 처리되는 용액에서 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계를 포함하는 티타늄 합금에 적용되는 열처리 공정을 의미한다. 비-제한적인 실시 양태에서, 용액 처리 온도는 약 800 ℃ 내지 약 860 ℃의 온도 범위에 있다. 이어서, 용액 처리된 합금은 β-트랜서스 온도 미만이고 티타늄 합금의 용액 처리 온도 미만인 시효 처리 온도 범위로 합금을 일정 기간 동안 가열함으로써 시효 처리된다. 본원에서 사용된 바와 같이, 온도, 온도 범위, 최소 온도와 관련하여 "가열될" 또는 "가열된", 등과 같은 용어는 합금의 적어도 원하는 부분이 적어도 참조된 것과 동일한 온도 또는 최소 온도, 또는 그 부분 범위 전체를 걸쳐 기준 온도 범위 내내 가질 때까지 가열된다는 의미이다. 비-제한적인 실시 양태에서, 용액 처리 시간은 약 30 분 내지 약 4 시간 범위이다. 특정 비-제한적인 실시 양태에서, 용액 처리 시간은 30 분보다 짧거나 4 시간보다 길 수 있고 일반적으로 티타늄 합금의 크기 및 단면에 좌우되는 것으로 인식된다. 용액 처리가 완료되면, 티타늄 합금은 티타늄 합금의 단면 두께에 따른 비율로 주위 온도로 냉각된다.

[0019] 상기 용액 처리된 티타늄 합금은 이후 "시효 경화 온도"로 지칭되는 시효 온도, 즉 티타늄 합금의 β 트랜서스 온도 미만의 α+β 2-상 영역에서 시효 처리된다. 비-제한적인 실시 양태에서, 시효 온도는 약 620 ℃ 내지 약 650 ℃의 온도 범위이다. 특정 비-제한적인 실시 양태에서, 숙성 시간은 약 30 분 내지 약 8 시간 범위 일 수 있다. 특정 비-제한적인 실시 양태에서, 숙성 시간은 30 분보다 짧거나 8 시간보다 길 수 있고 일반적으로 티타늄 합금 제품 형태의 크기 및 단면에 의존한다는 것을 알 수 있다. 티타늄 합금의 STA 가공에 사용되는 일반적인 기술은 당업자에게 공지되어 있으므로 여기에서 더 이상 논의하지 않는다.

[0020] STA 가공된 팬케이크 시편에서 실내 및 고온 인장 시험, 크리프 시험, 파괴 인성 및 미세구조 분석을 위한 시험 블랭크를 절단하였다. 최종 화학 분석은 화학적 특성과 기계적 특성 사이의 정확한 상관 관계를 보장하기 위해 테스트 후 파괴 인성 쿠폰에 대해 수행되었다.

[0021] 최종 3 인치 직경 빌렛의 검사는 균일한 판상 알파/베타 미세구조를 나타내었다. 도 2 (표 1에 열거된 실험적인 티타늄 합금 번호 1을 나타냄) 및 도 3 (표 1에 열거된 비교 티타늄 합금을 도시함)을 참조하면, 잉곳 및 STA 열처리된 팬케이크 샘플에서 제거된 샘플에 대한 금속판술(metallography)은 Widmanstätten α와 일부 1차 α 및 입자 경계 α의 미세한 네트워크를 나타냈다. 특히, 실험용 티타늄 합금 번호 1은 규화물 침전물을 포함하고 (표 2 참조, 실리사이드 침전물은 "e"로 표시됨), 표 1에 나열된 비교 티타늄 합금은 포함하지 않았다(그림 3 참조).

[0022] 도 4 내지 도 5를 참조하면, 표 1에 열거된 실험용 티타늄 합금 번호 1 (도 4-5에서 "08BA"로 표시됨)의 기계적 성질이 측정되어 표 1에 열거된 비교 티타늄 합금의 기계적 성질 (도 4-5의 "07BA"로 표시됨) 및 기존의 Ti17 합금 (도 4-5에서 UNS-R58650에 명시된 조성을 가지며, "B4E89"로 표시됨)과 비교된다. 인장 시험은 미국 재료 시험 협회 (ASTM) 표준 E8/E8M-09 ("Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials", ASTM International, 2009)에 따라 수행되었다. 표 2의 실험 결과에서 알 수 있듯이 실험용 티타늄 합금 번호 1은 의도적인 실리콘 첨가 (예: Ti834 및 Ti6242Si 합금)를 포함한 기존의 특정 티타늄 합금과 비교하여 그리고 의도적인 실리콘 첨가 (예: Ti64 및 Ti17 합금)를 포함하지 않는 기존의 특정 티타늄 합금 및 비교 티타늄 합금과 비교할 때 316 ℃에서 극한 인장 강도, 항복 강도 및 연성 (% 신장율로 보고됨)을 나타내었다.

[0023] 표 2

합금	온도(℃)	UTS (ksi)	0.2% YS (ksi)	신장율%
Ti64	316	114	90	보고된 바 없음
Ti834	316	120	100	11
Ti6242Si	204	129	112	11
Ti17	204	149	129	11
Ti17	316	140-145	116-120	11-15
Ti38644	316	157	131	12
비교 티타늄 합금	204	154	134	6
	316	142	118	16
실험용 티타늄 합금 번호 1	204	187	165	11
	316	180	157	12
실험용 티타늄 합금 번호 2	204	165.4	146.9	14
	316	159.4	136.8	15

[0024]

[0025] 표 1 (의도적인 실리콘 첨가)에 열거된 실험용 티타늄 합금 번호 1 및 표 1 (의도적인 실리콘 첨가)에 열거된 실험용 티타늄 합금 번호 2에 대해 427 ℃에서의 고온 인장 시험 결과 및 크리프 시험 결과는 표 1의 비교 티타늄 합금 (의도적으로 실리콘을 첨가하지 않은 것) 및 표 1에 열거된 기존의 티타늄 합금 샘플의 특정 수치와 비교하였다. 데이터는 표 3에 나와있다. 예를 들어, 실험용 티타늄 합금 번호 1은 비교 티타늄 합금에 비해 UTS가 약 25% 증가하고 427 ℃에서 크리프 수명이 약 77% 증가하였음을 나타낸다.

[0026] 표 3

합금	인장 특성 (427 ℃)				60 ksi 하중 하에서 0.2 % 변형에 대한 크리프 시간(hr) (427 ℃)
	UTS (ksi)	YS (ksi)	신장율%	%RA	
Ti64	-	-	-	-	11
Ti6242Si	-	-	-	-	150+
Ti17	-	-	-	-	16-30
비교 티타늄 합금	134.0	111.3	20.4	62.5	13.3
실험용 티타늄 합금 번호 1	170.6	149.3	14.5	28.2	23.5
실험용 티타늄 합금 번호 2	151.1	129.3	15.6	-	90.4

[0027]

[0028] 특정 다른 티타늄 합금 실시 양태가 이제 기술된다. 본 발명의 하나의 비-제한적인 측면에 따르면, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 하여 중량%로 5.1 내지 6.1의 알루미늄, 2.2 내지 3.2의 주석, 1.8 내지 3.1의 지르코늄, 3.3 내지 4.3의 몰리브덴, 3.3 내지 4.3의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 내지 0.30의 철, 티타늄 및 불순물을 포함한다. 본 발명에 따른 티타늄 합금의 또 다른 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 5.1 내지 6.1의 알루미늄, 2.2 내지 3.2의 주석, 2.1 내지 3.1의 지르코늄, 3.3 내지 4.3의 몰리브덴, 3.3 내지 4.3의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.11의 규소, 0 내지 0.30의 철, 티타늄 및 불순물을 포함한다. 본 발명에 따른 티타늄 합금의 또 다른 실시 양태는 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 5.6 내지 5.8의 알루미늄, 2.5 내지 2.7의 주석, 2.6 내지 2.7의 지르코늄, 3.8 내지 4.0의 몰리브덴, 3.7 내지 3.8의 크롬, 0.08 내지 0.14의 산소, 0.03 내지 0.05의 실리콘, 최대 0.06의 철, 티

타늄 및 불순물을 포함한다. 본 발명에 따른 합금의 비-제한적인 실시 양태에서, 합금 조성물 내의 부수적인 요소들 및 불순물은 질소, 탄소, 수소, 니오븀, 텅스텐, 바나듐, 탄탈륨, 망간, 니켈, 하프늄, 갈륨, 안티몬, 코발트 및 구리 중 하나 이상을 포함하거나 이들을 필수적으로 구성할 수 있다. 본 발명에 따른 티타늄 합금의 특정 구현 예에서, 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈, 망간, 코발트 및 구리가 본원에 개시된 티타늄 합금에 존재할 수 있다.

[0029] 도 1 내지 도 3에 도시되고 이들 도면과 관련하여 기술된 티타늄 합금과 유사하게, 대안적인 티타늄 합금은 의도적으로 실리콘을 첨가하는 것을 포함한다. 그러나, 대안적인 티타늄 합금 실시예는 도 1 내지 도 3에 도시되고 설명된 실험용 티타늄 합금에 비해 감소된 크롬 함량을 포함한다. 표 1은 감소된 크롬 함량 및 의도적인 실리콘 첨가를 갖는 대안적인 티타늄 합금("실험용 티타늄 합금 번호 2")의 비-제한적인 실시 양태의 조성을 열거한다.

[0030] 본 발명에 따른 티타늄 합금의 특정 비-제한적인 실시 양태에서, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 달성하기 위한 특정 다른 합금 첨가물과 함께 실리콘의 의도적 첨가를 포함하며, 이는 고온에서 인장 강도를 개선시키는 것으로 관찰되었다. 본 발명에 따른 비-제한적인 실시 양태에서, 티타늄 합금은 적어도 6.9, 또는 특정 구현예에서 6.9 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 316 ℃에서 적어도 150 ksi의 극한 인장 강도를 나타낸다. 본 발명에 따른 다른 비-제한적인 실시 양태에서, 티타늄 합금은 적어도 6.9, 또는 특정 실시 양태에서 8.0 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 316℃에서 적어도 130 ksi의 항복 강도를 나타낸다. 또 다른 비-제한적인 실시 양태에서, 본 발명에 따른 티타늄 합금은 적어도 6.9, 또는 특정 구현예에서 8.0 내지 9.5의 범위 내의 알루미늄 등가 값, 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하고, 60 ksi의 하중 하에서 427℃에서 86 시간 이상의 0.2%의 크리프 변형 시간을 나타낸다.

[0031] 800 °F (427 ℃)에서 표 1의 실험용 티타늄 합금 번호 2의 고온 인장 시험 결과 및 크리프 시험 결과가 표 3에 나열되어있다. 시험 전에, 합금은 도 1 내지 도 3과 관련하여 전술한 실시예에서 확인된 열처리를 받았다: 800 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계; 티타늄 합금을 주위 온도로 물로 급냉시키는 단계; 티타늄 합금을 635 ℃에서 8 시간 동안 시효 처리하는 단계; 및 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계. 도 6을 참조하면, STA 열 처리된 실험용 합금 번호 2의 금속판술은 규화물 침전물 ("d"로 식별된 하나의 침전물)을 나타냈다. 이론에 구애됨이 없이, 표 1에 열거된 실험용 티타늄 합금 번호 2의 규소 함량이 이러한 규화물 상의 침전을 촉진시킬 수 있다고 믿어진다.

[0032] 본 발명에 따라 제조된 합금의 특정 양태 및 이러한 합금으로 제조된 물품은 예를 들어 제트 엔진 터빈 디스크 및 터보팬 블레이드와 같은 항공 부품 및 구성요소에 유리하게 적용될 수 있다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자는 전술한 장비, 부품 및 본원 명세서의 추가 설명을 할 필요 없이 본 개시에 따른 합금으로부터 다른 제조 물품을 제조 할 수 있을 것이다. 본 발명에 따른 합금에 대한 가능한 적용의 상기 예는 단지 예로서 제공되며, 본 합금 제품 형태가 적용될 수 있는 모든 적용을 포괄하지는 않는다. 통상의 지식을 가진 자라면, 본원을 읽을 때, 본원에 기재된 바와 같은 합금에 대한 부가적인 적용을 용이하게 식별할 수 있다.

[0033] 본 개시에 따른 신규한 합금의 다양한 비-한정적이고 비-제한적인 측면은 단독으로 또는 본원에 기재된 하나 이상의 다른 측면과 조합하여 유용할 수 있다. 전술한 설명을 제한하지 않고, 본 개시의 제1 비-제한적인 양태에서, 티타늄 합금은 전체 합금 중량을 기준으로 하여 중량%로 하기를 포함한다: 5.5 내지 6.5의 알루미늄; 1.9 내지 2.9의 주석; 1.8 내지 3.0의 지르코늄; 4.5 내지 5.5의 몰리브덴; 4.2 내지 5.2의 크롬; 0.08 내지 0.15의 산소; 0.03 내지 0.20의 실리콘; 0 내지 0.30의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0034] 제1 측면와 함께 사용될 수 있는 본원의 제2 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 하여 중량 백분율로 하기를 포함한다: 5.5 내지 6.5의 알루미늄; 2.2 내지 2.6의 주석; 2.0 내지 2.8의 지르코늄; 4.8 내지 5.2의 몰리브덴; 4.5 내지 4.9의 크롬; 0.08 내지 0.13의 산소; 0.03 내지 0.11의 실리콘; 0 내지 0.25의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0035] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제3의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 하기를 포함한다: 5.9 내지 6.0의 알루미늄; 2.3 내지 2.5의 주석; 2.3 내지 2.6의 지르코늄; 4.9 내지 5.1의 몰리브덴; 4.5 내지 4.8의 크롬; 0.08 내지 0.13의 산소; 0.03 내지 0.10의 실리콘; 최대 0.07의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0036] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제4의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 하기를 포함한다: 0 내지 0.05의 질소; 0 내지 0.05의 탄소; 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈, 망간, 코발트 및 구리.

[0037] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제5의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며 316 ℃에서 적어도 160ksi의 극한 인장 강도를 나타낸다.

[0038] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본 개시의 제6의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 316 ℃에서 항복 강도가 140 ksi 이상을 나타낸다.

[0039] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본 개시의 제7의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 60 ksi의 하중 하에서 427℃에서 적어도 20시간의 0.2% 크리프 변형 시간을 나타낸다.

[0040] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본 개시의 제8의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 316 ℃에서 160ksi 이상의 극한 인장 강도를 나타낸다.

[0041] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 함께 사용될 수 있는 본 발명의 제 9의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 316 ℃에서 140 ksi 이상의 항복 강도를 나타낸다.

[0042] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본 개시의 제10의 비-제한적. 측면에 따라, 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 60ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 적어도 20 시간의 0.2 % 크리프 변형 시간을 나타낸다.

[0043] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제11의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 다음을 포함하는 방법에 의해 제조된다: 티타늄 합금을 800 ℃ 내지 860 ℃에서 4 시간 동안 용액 처리하는 단계; 상기 티타늄 합금의 단면 두께에 따른 비율로 상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계; 620 ℃ 내지 650 ℃에서 8 시간 동안 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

[0044] 본 발명의 제12의 비-제한적인 측면에 따르면, 본 발명은 또한 총 합금 중량을 기준으로 중량%로 하기를 포함하는 티타늄 합금을 또한 제공한다: 5.1 내지 6.1의 알루미늄; 2.2 내지 3.2의 주석; 1.8 내지 3.1의 지르코늄; 3.3 내지 4.3의 몰리브덴; 3.3 내지 4.3의 크롬; 0.08 내지 0.15의 산소; 0.03 내지 0.20의 실리콘; 0 내지 0.30의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0045] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본 개시의 제13의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 중량 백분율로 하기를 포함한다: 5.1 내지 6.1의 알루미늄; 2.2 내지 3.2의 주석; 2.1 내지 3.1의 지르코늄; 3.3 내지 4.3의 몰리브덴; 3.3 내지 4.3의 크롬; 0.08 내지 0.15의 산소; 0.03 내지 0.11의 실리콘; 0 내지 0.30의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0046] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제14의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 하기를 포함한다: 5.6 내지 5.8의 알루미늄; 2.5 내지 2.7의 주석; 2.6 내지 2.7의 지르코늄; 3.8 내지 4.0의 몰리브덴; 3.7 내지 3.8의 크롬; 0.08 내지 0.14의 산소; 0.03 내지 0.05의 실리콘; 최대 0.06의 철; 티타늄; 및 불순물.

[0047] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제15의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로 하기를 더 포함한다: 0 내지 0.05의 질소; 0 내지 0.05의 탄소; 0 내지 0.015의 수소; 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈, 망간, 코발트 및 구리.

[0048] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제 16의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며 316 ℃에서

150ksi 이상의 극한 인장 강도를 나타낸다.

[0049] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제 17의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 316 ℃에서 항복 강도가 적어도 130ksi를 나타낸다.

[0050] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제 18의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 적어도 6.9의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 60ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 86 시간 이상의 0.2 % 크리프 변형 시간을 나타낸다.

[0051] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제 19의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 6.9 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 316 ℃에서 150ksi 이상의 극한 인장 강도를 나타낸다.

[0052] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제 20의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 316 ℃에서 항복 강도가 적어도 130ksi를 나타낸다.

[0053] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제21의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 8.0 내지 9.5의 알루미늄 등가 값 및 7.4 내지 12.8의 몰리브덴 등가 값을 포함하며, 60ksi의 하중 하에서 427 ℃에서 86 시간 이상의 0.2 % 크리프 변형 시간을 나타낸다.

[0054] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제22의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 다음을 포함하는 방법에 의해 제조된다: 티타늄 합금을 800 ℃ 내지 860 ℃에서 4 시간 동안 용액 처리하는 단계; 티타늄 합금을 주위 온도로 물로 급냉시키는 단계; 620 ℃에서 650 ℃로 8 시간 동안 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

[0055] 본 발명의 제23의 비-제한적인 측면에 따르면, 본 발명은 또한 합금을 제조하는 방법을 제공하며, 하기를 포함한다: 800 ℃에서 860 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계로서, 여기서 티타늄 합금은 5.5 내지 6.5의 알루미늄, 1.9 내지 2.9의 주석, 1.8 내지 3.0의 지르코늄, 4.5 내지 5.5의 몰리브덴, 4.2 내지 5.2의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 내지 0.30의 철, 티타늄 및 불순물을 포함하는, 단계; 상기 티타늄 합금의 단면 두께에 따른 비율로 상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계; 620 ℃에서 650 ℃로 8 시간 동안 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

[0056] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제24의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 하여 중량 백분율로, 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈, 망간, 코발트 및 구리를 포함한다.

[0057] 본 발명의 제25의 비-제한적인 측면에 따르면, 본 발명은 또한 합금을 제조하는 방법을 제공하며, 하기를 포함한다: 800 ℃에서 860 ℃에서 4 시간 동안 티타늄 합금을 용액 처리하는 단계로서, 상기 티타늄 합금은 5.1 내지 6.1의 알루미늄, 2.2 내지 3.2의 주석, 1.8 내지 3.1의 지르코늄, 3.3 내지 4.3의 몰리브덴, 3.3 내지 4.3의 크롬, 0.08 내지 0.15의 산소, 0.03 내지 0.20의 규소, 0 내지 0.30의 철, 티타늄 및 불순물을 포함하는, 단계; 상기 티타늄 합금의 단면 두께에 따른 비율로 상기 티타늄 합금을 주위 온도로 냉각시키는 단계; 620 ℃에서 650 ℃로 8 시간 동안 티타늄 합금을 시효 처리하는 단계; 및 티타늄 합금을 공기 냉각시키는 단계.

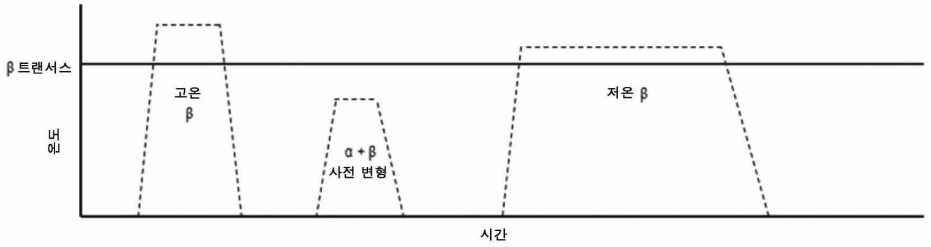
[0058] 전술한 측면 중 각각 또는 임의의 측면과 조합하여 사용될 수 있는 본원의 제26의 비-제한적인 측면에 따라, 티타늄 합금은 총 합금 중량을 기준으로 한 중량 백분율로, 0 내지 0.05의 질소, 0 내지 0.05의 탄소, 0 내지 0.015의 수소 및 0 내지 최대 0.1의 각각의 니오븀, 텅스텐, 하프늄, 니켈, 갈륨, 안티몬, 바나듐, 탄탈, 망간, 코발트 및 구리를 더 포함한다.

[0059] 본 설명은 본 발명의 명확한 이해와 관련된 본 발명의 해당 측면들을 예시한다는 것이 이해될 것이다. 기술 분야에서의 통상의 기술자들에 분명할 것이어서, 더 나은 본 발명의 이해를 용이하게 하지 않는 임의의 측면들은 본 설명을 간략하게 하기 위해 제공되지 않는다. 비록 단지 제한된 수의 본 발명의 실시예들이 본 출원에서 필연적으로 설명되지만, 관련 기술 분야에서의 통상의 기술자는 앞에서의 설명을 근거하여, 본 발명의 많은 수정예들 및 변형들이 채용될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 본 발명의 모든 이런 변형들 및 수정예들은 앞에서의

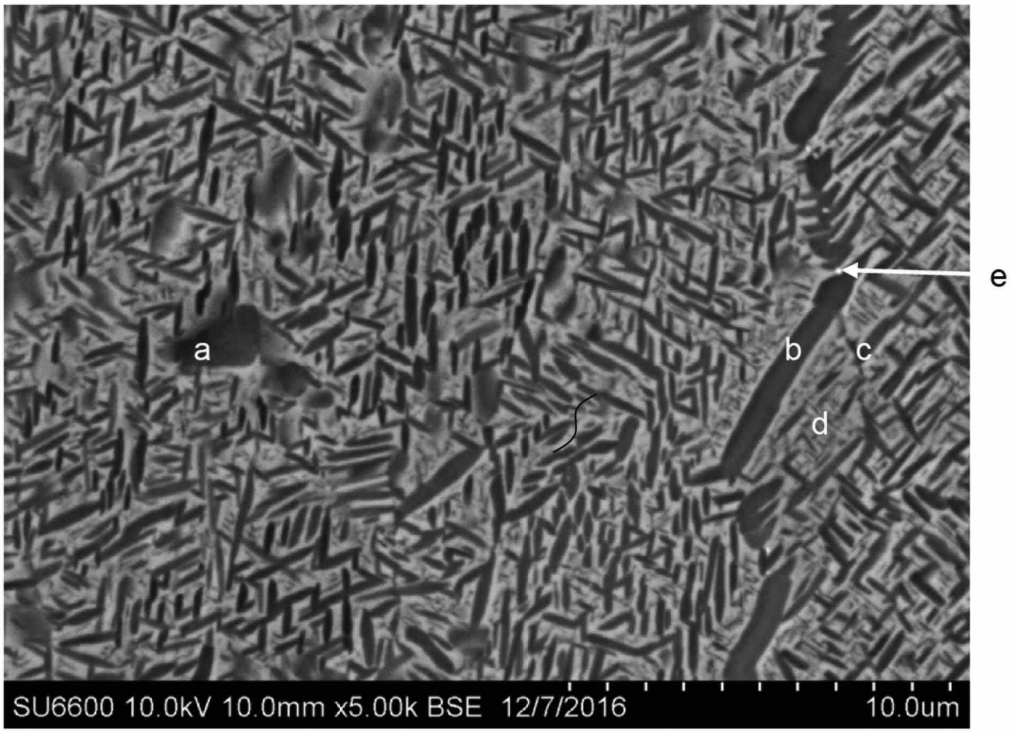
설명 및 이하의 청구항들에 의해 커버되도록 의도된다.

도면

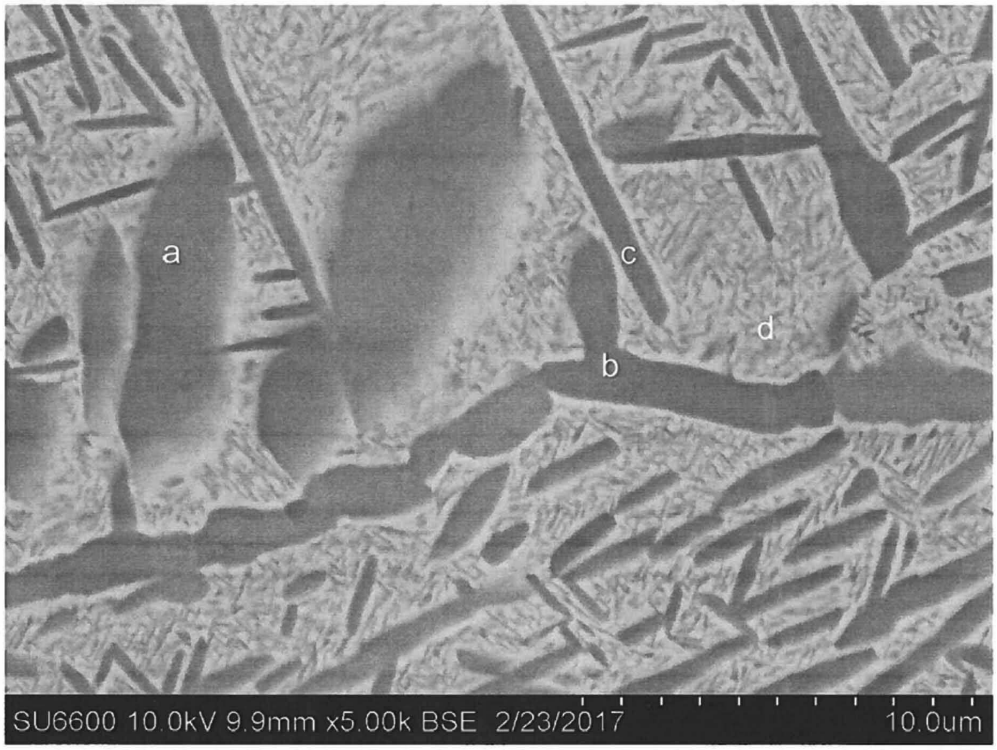
도면1



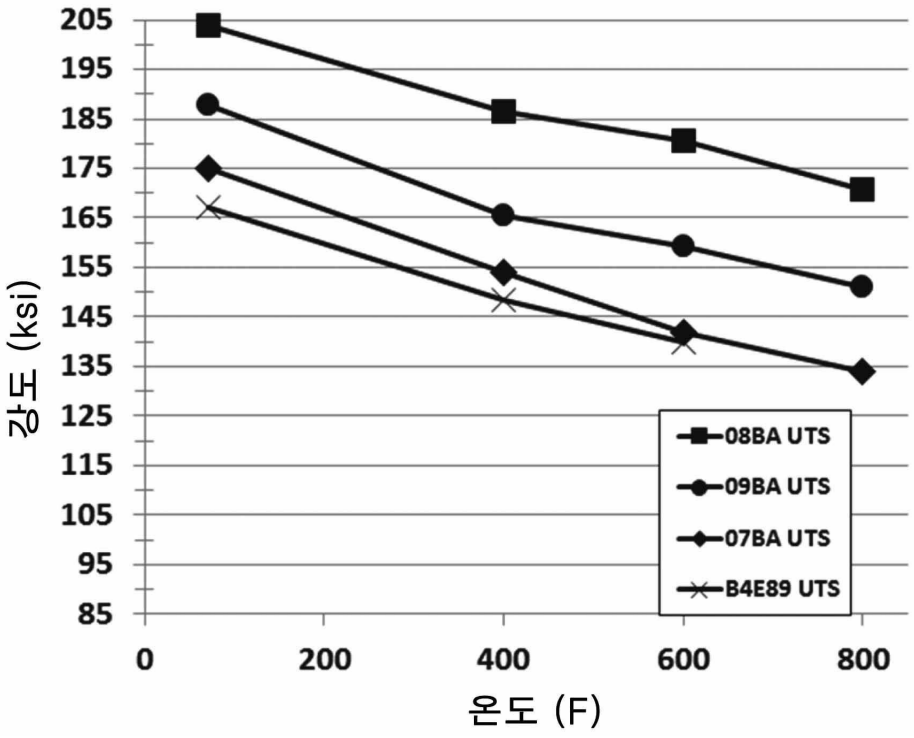
도면2



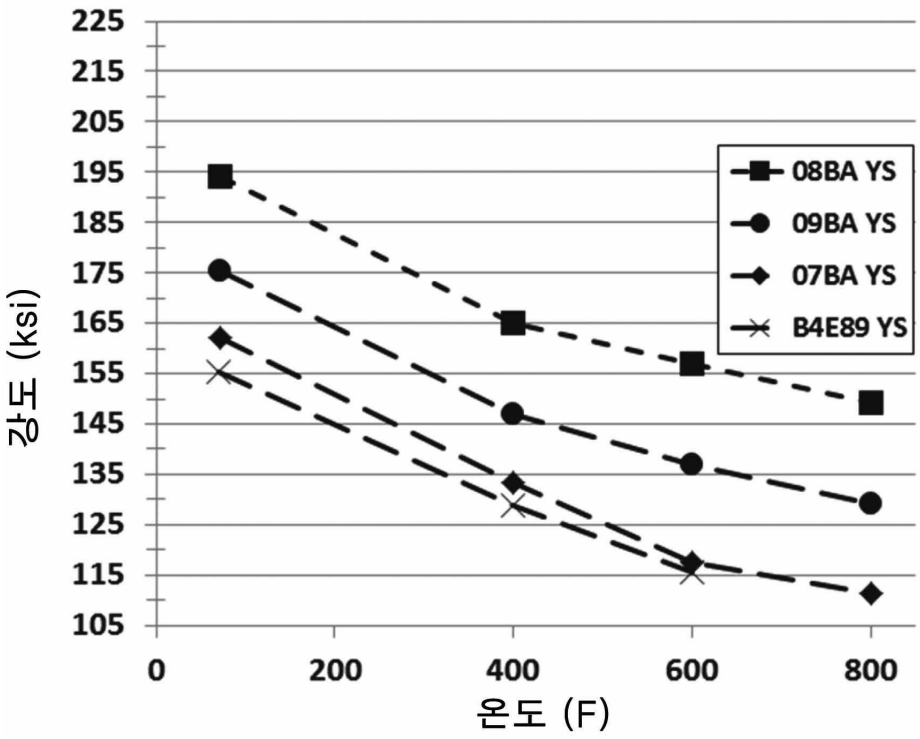
도면3


a
b
c
d
SU6600 10.0kV 9.9mm x5.00k BSE 2/23/2017
10.0um

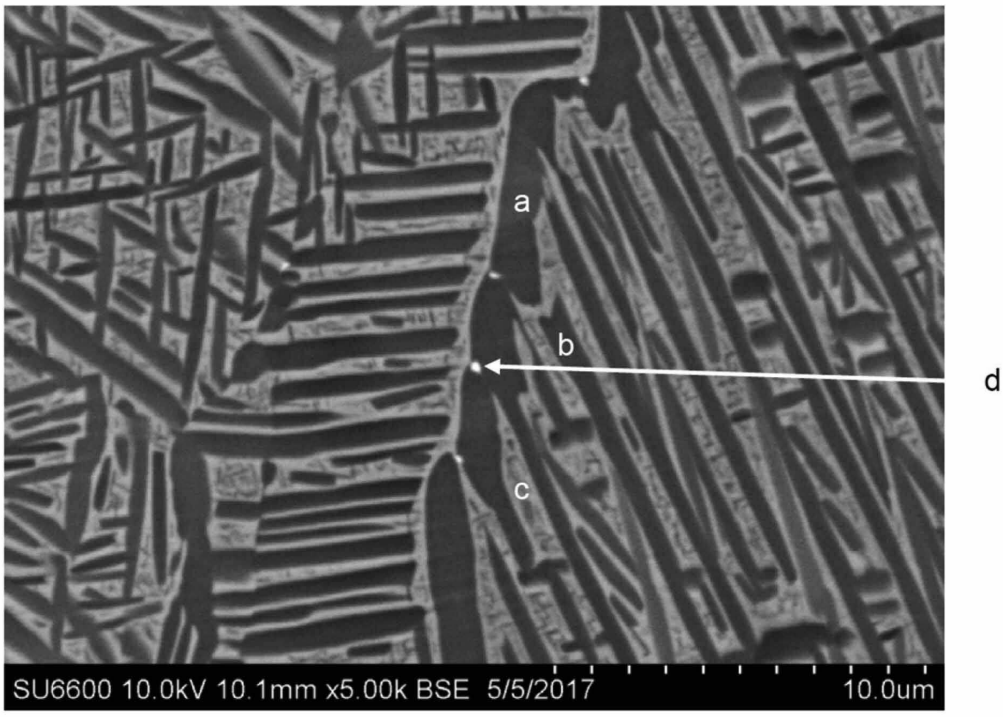
도면4


205
195
185
175
165
155
145
135
125
115
105
95
85
강도 (ksi)
0
200
400
600
800
온도 (F)
08BA UTS
09BA UTS
07BA UTS
B4E89 UTS

도면5


225
215
205
195
185
175
165
155
145
135
125
115
105
강도 (ksi)
0
200
400
600
800
온도 (F)
08BA YS
09BA YS
07BA YS
B4E89 YS

도면6


a
b
c
d
SU6600 10.0kV 10.1mm x5.00k BSE 5/5/2017
10.0um