(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0088655
(43) 공개일자 2023년06월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 14/00 (2006.01) *C21D 8/02* (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 14/00 (2013.01)
C21D 8/0236 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0073827(분할)
(22) 출원일자 2023년06월08일
심사청구일자 2023년06월08일
(62) 원출원 특허 10-2020-0175012
원출원일자 2020년12월15일
심사청구일자 2020년12월15일

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
김재혁
부산광역시 강서구 명지국제6로 266 (명지동) 208동 101호
홍재근
경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79 유니온빌리지 114동-502호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

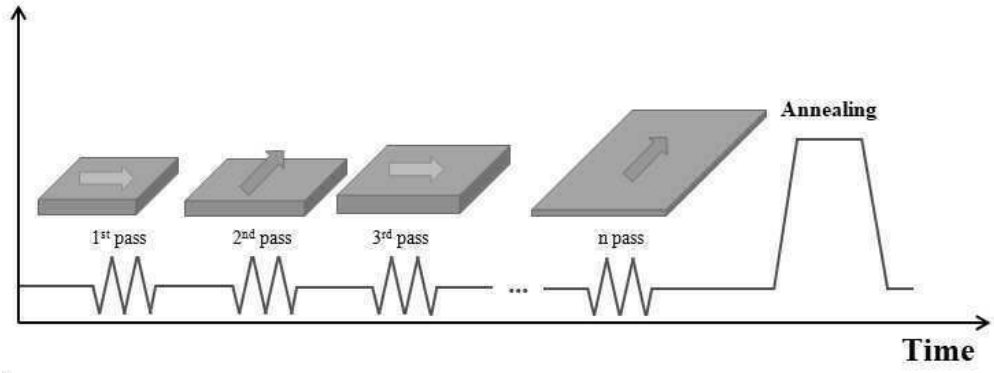
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **상온 성형성이 우수한 고강도 순수 타이타늄 판재 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직 세기가 동일한 값을 가지는 궤적이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축에 대해 동시에 대칭적인 것을 특징으로 하는 순수한 타이타늄 판재와 그 제조 방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
C21D 8/0273 (2013.01)
C22F 1/183 (2013.01)
(72) 발명자
이상원
부산광역시 연제구 봉수로 25(연산동, 힐스테이트 연산 2단지) 207동 1502호
원종우
경상남도 창원시 성산구 창원천로 34(대원동, 포레나 대원) 107동 2603호
박찬희
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18 (상남동, 상남 꿈에그린) 105동 402호
최성우
부산광역시 강서구 신호산단 3로 27 107동 503호(신호동, 부산신호사랑으로부영1차)
염종택
경상남도 김해시 번화1로 168 (삼문동, 젤미마을10단지 한림리츠빌)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1695007336
과제번호	16-CM-MA-10
부처명	방위사업청
과제관리(전문)기관명	민군협력진흥원
연구사업명	민군겸용기술개발사업
연구과제명	초미세립 고강도 티타늄 광폭 박판재 및 응용부품 제조기술개발(2단계)(2/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국재료연구원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직 세기가 동일한 값을 가지는 궤적이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축에 대해 동시에 대칭적이며,

RD와 TD의 집합조직 세기 비가 0.345 이상 1.0 이하인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재.

(단, 상기 RD와 TD의 집합조직 세기 비는 RD와 TD 방향에서의 각각의 집합조직 세기 측정값의 최대값을 비교하여, 더 높은 값을 분모로 하고 더 낮은 값을 분자로 계산한 비를 의미한다)

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직 세기의 최대 값의 궤적이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축과 동시에 교차하는 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 {002} 집합조직 세기는 최대 5.2 이하인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 판재의 압연 방향(RD)와 압연 측 방향(TD)에서의 각각의 항복 강도 값의 차이 및/또는 압연 방향(RD)와 압연 측 방향(TD)에서의 각각의 인장 강도 값의 차이는 5% 이내인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 판재의 결정립의 종횡 비(aspect ratio)는 0.4 이상인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 판재의 에릭슨 값(index of Erichsen)은 15㎜ 이상인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재.

청구항 7

(a) 타이타늄 판재를 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD)으로 냉간 압연하는 단계;

(b) 상기 압연된 판재를 소둔하는 단계;를 포함하고,

상기 (a) 단계에서 상기 압연 방향에서의 압하량과 상기 압연 측 방향에서의 압하량의 비가 1: 1.25 내지 1: 1.75인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재의 제조 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 (a) 단계에서의 총 압하량은 60% 이상인 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재의 제조 방법.

청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 (b) 단계에서의 소둔은 600℃ 이하에서 유지되는 것을 특징으로 하는 타이타늄 판재의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 새로운 방식의 압연 공정을 이용한 판재의 제조와 후속 가공 열처리 공정을 통해 우수한 강도 및 성형에 유리한 집합조직을 가짐으로써 종래의 타이타늄 판재에 비해 프레스 성형성이 크게 개선된 고성형성 타이타늄 판재에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 타이타늄 합금은 낮은 밀도와 높은 강도, 우수한 비강도 및 내식성을 갖는 구조 재료용 합금으로, 최근 발전용 블레이드 및 열교환기 등과 같이 경량화가 필요한 산업용 소재로서 수요가 증대되고 있다.

[0003] 그 중에서도 상업적으로 순수한 타이타늄(commercially pure titanium, 이하 본 명세서에서 타이타늄 또는 순수 타이타늄은 상업적으로 순수한 타이타늄을 의미한다)은 우수한 부식 저항성과 생체 적합성을 가진다.

[0004] 그러나 순수 타이타늄은 육방정계(hexagonal close packed, HCP) 단상(single phase) 결정 구조의 특성으로 인해 낮은 항복강도를 가지므로 공업적인 응용에 제한을 받아 왔다.

[0005] 상기 순수 타이타늄의 강도를 증가시키기 위해 기존에는 주로 결정립 미세화(grain refinement) 방법이 주로 적용되었다.

[0006] 그런데 결정립 미세화를 위해서는 높은 압하율의 압연 공정을 여러 번 실시해야 하는데, 상기 높은 압하율의 압연 공정은 육방정계 결정을 가지는 순수 타이타늄 판재 내에 강한 집합조직(texture)을 발달시킨다.

[0007] 순수 타이타늄 판재에서의 집합조직의 발달은 슬립계(slip system)가 적은 타이타늄의 경우 성형성을 저하시키는 문제가 있다.

[0008] 또한 상기 높은 압하율의 압연 공정과 같은 종래의 제조법에 의해 제조된 순수 타이타늄 판재는 성형성, 특히 프레스 가공성이 떨어져서 복잡한 형상으로 가공하기 어렵다는 문제가 있다.

[0009] 따라서 고강도와 동시에 성형성이 향상된 순수 타이타늄 판재의 개발이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 전술한 종래의 순수 타이타늄 판재의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 압연공정과 후속 가공열처리 공정 설계를 통해 성형성과 강도의 조합이 종래의 순수 타이타늄 판재에 비해 크게 개선된 고강도 고성형성 순수 타이타늄 판재 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 보다 구체적으로 본 발명은 초미세 결정립 미세조직을 가지면서 동시에 성형에 유리한 집합조직을 형성하여 고강도 및 우수한 성형성을 달성할 수 있는 순수 타이타늄 판재 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0012] 또한, 본 발명은 별도의 강소성 공정 없이 일반적인 압연 공정만으로도 상온 성형성이 우수한 고강도 순수 타이타늄 판재를 경제적으로 제공할 수 있는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 타이타늄 판재는, 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직 세기가 동일한 값을 가지는 궤적(contour)이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축에 대해 동시에 대칭적인 것을 특징으로 한다.

[0014] 이 때, 상기 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직 세기의 최대 값의 궤적(contour)이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축과 동시에 교차하는 것이 바람직하다.

[0015] 이 때, 상기 {002} 집합조직 세기는 최대 5.2 이하인 것이 바람직하다.

[0016] 이 때, 상기 판재의 압연 방향(RD)에서의 항복 강도 및/또는 인장 강도와 압연 측 방향(TD)에서의 항복 강도 및/또는 인장 강도의 차이는 5% 이내인 것이 바람직하다.

[0017] 이 때, 상기 판재의 결정립의 종횡 비(aspect ratio)는 0.4 이상인 것이 바람직하다.

[0018] 이 때, 상기 판재의 에릭슨 값(index of Erichsen)은 15㎜ 이상인 것이 바람직하다.

[0019] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 타이타늄 판재의 제조 방법은, (a) 타이타늄 판재를 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD)으로 냉간 압연하는 단계; (b) 상기 압연된 판재를 소둔하는 단계;를 포함하고, 상기 (a) 단계에서 상기 압연 방향에서의 압하량과 상기 압연 측 방향에서의 압하량의 비가 1: 1.25 내지 1: 1.75인 것을 특징으로 한다.

[0020] 이 때, 상기 (a) 단계에서의 총 압하량은 60% 이상인 것이 바람직하다.

[0021] 이 때, (b) 단계에서의 소둔은 600℃ 이하에서 유지되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 의하면, 압연공정과 후속 가공열처리 공정 설계를 통한 결정립 미세화와 집합조직의 제어를 통해, 종래의 순수 타이타늄 판재에 비해 상온 강도는 물론 성형성이 크게 향상되어 경량화가 필요한 산업에 폭넓게 적용이 가능한 고성형성 순수 타이타늄 판재를 얻을 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명에 따른 타이타늄 판재의 제조방법에 의하면, 개선된 상온 프레스 성형성을 얻을 수 있기 때문에 종래의 순수 타이타늄 판재에 비해 저렴한 비용으로 타이타늄 부품을 제조할 수 있다.

[0024] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 종래의 일반 압연 공정을 이용한 타이타늄 판재의 제조 방법을 나타낸다.

도 2의 (a)는 도 1의 일반 압연공정에 의해 만들어진 순수한 타이타늄 판재의 미세조직을 관찰한 주사전자현미경 미세조직을 나타내고, (b)는 상기 일반 압연공정에 의한 순수한 타이타늄 판재의 {002} 면의 극점도(pole figure, PF)를 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 순수한 타이타늄 판재의 제조 방법을 나타낸다.

도 4의 (a)는 도 3의 제어 압연공정에 의해 만들어진 순수한 타이타늄 판재의 미세조직을 관찰한 주사전자현미경 미세조직을 나타내고, (b)는 상기 제어 압연공정에 의한 순수한 타이타늄 판재의 {002} 면의 극점도(pole figure, PF)를 도시한다.

도 5는 본 발명의 순수한 타이타늄 판재의 성형성을 평가하기 위한 에릭슨(Erichsen) 시험 방법을 나타낸 도식도이다.

도 6의 (a)~(h)는 각각 원소재(mill-annealed), 일반 압연공정(RD), RD:TD 압하율=1:1, RD:TD 압하율=1:1.25, RD:TD 압하율=1:1.5, RD:TD 압하율=1:1.75, RD:TD 압하율=1:2 및 TD 압연된 순수한 타이타늄 판재의 극점도 측

정 결과를 도시한다.

도 7은 상기 도 6의 "RD/TD 집합 조직 세기 비"를 도시한다.

도 8의 (a)와 (b)는 각각 일반 압연공정(RD)과 RD:TD 압하율이 1:1.5인 제어 압연공정으로 압연된 순수한 타이타늄 판재의 전자 후방 산란 이미지(electron backscatter diffraction)를 도시한다.

도 9의 (a)~(d)는 각각 일반 압연공정(RD), TD 압연 공정, RD:TD 압하율=1:1, 및 RD:TD 압하율=1:1.5 조건에서 압연된 순수한 타이타늄 판재의 기계적 특성 평가 측정 결과를 도시한다.

도 10은 본 발명의 순수한 타이타늄 판재의 성형성을 평가하기 위한 에릭슨(Erichsen) 시험 결과를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0027] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다. 또한, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가질 수 있다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 수 있다.

[0028] 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질, 차례, 순서 또는 개수 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 다른 구성 요소가 "개재"되거나, 각 구성 요소가 다른 구성 요소를 통해 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0030] 도 1은 종래의 일반 압연 공정을 이용한 타이타늄 판재의 제조 방법을 나타낸다.

[0031] 판상의 타이타늄 판재는 일반 압연공정에서 원하는 최종 압하율까지 상온에서 압연 방향(판재의 길이 방향, rolling direction, 도 1의 화살표 참조)으로 복수 회(n번) 압연된다. 그 후 상기 압연된 타이타늄 판재는 내부에 축적된 내부 에너지를 제거하기 위해 소둔(annealing)된다. 상기 소둔 공정은 통상적으로 용융 온도(melting point)의 절반 이상의 온도에서 최소 1시간 이상 진행된다. 이와 같이 소둔된 최종 타이타늄 판재 내에는 전위(dislocation)와 같은 결함이 현저하게 줄어든 새로운 재결정된 미세조직을 가지게 된다.

[0032] 다만, 재결정된 새로운 미세조직이 상기 소둔에 의해 형성되더라도, 압연과 같은 특정 방향으로의 물질의 흐름을 만드는 가공방법은 결과적으로 특정 결정 방향(압연 방향)으로 결정립들이 배열된 집합조직을 만든다. 특히 압연된 판재의 경우, 결정 방향뿐만 아니라 결정면까지 방향이 규정될 수 있다.

[0033] 상기 집합조직을 가지는 미세조직은 기계적 이방성을 만들게 된다. 다시 말하면 집합조직의 미세조직을 가지는 압연된 판재는 방향에 따라 기계적 특성이 서로 달라지는 특성을 가진다.

[0034] 상기 기계적 이방성은 다시 프레스 성형성과 같은 판재의 가공성에 나쁜 영향을 미친다. 예를 들어 판재의 압연 방향(rolling direction, RD)과 압연 횡 방향(transverse direction, TD)에서의 기계적 특성이 서로 다르면, 이 중 취약한 방향에서의 열악한 가공성은 판재의 균일한 가공을 어렵게 하는 문제를 일으킬 수 있다.

[0035] 도 2의 (a)는 도 1의 일반 압연공정에 의해 만들어진 순수한 타이타늄 판재의 미세조직을 관찰한 주사전자현미경 미세조직을 나타내고, (b)는 상기 일반 압연공정에 의한 순수한 타이타늄 판재의 {002} 면의 극점도(pole figure, PF)를 도시한다.

[0036] 도 2(a)에서 도시하는 바와 같이 결정립 미세화를 위해 높은 압하율로 압연이 진행된 경우, 비록 소둔에 의해 내부 결함이 제거된 재결정된 미세조직이 형성된다 할 지라도, 순수한 타이타늄 판재는 결정립이 압연방향으로

연신된 이방성 미세조직을 가짐을 알 수 있다.

[0037] 육방밀집구조(hexagonal closed packed, HCP)의 결정 구조를 가지는 순수한 타이타늄 판재의 특성으로 인해 압연 과정을 거치면서 압연 횡 방향으로 강한 집합조직이 형성되는 것으로 측정되었다(도 2(b)). 상기 도 2(b)를 살펴보면, {002} 면들이 압연 횡 방향에 수직한 방향으로 강하게 배향되어 있음을 알 수 있다.

[0038] 도 1 및 2의 상기 결과는 결정립 미세화를 위해 높은 압하율로 일반 압연공정을 통해 순수한 타이타늄 판재를 가공하게 되면, 기계적 특성의 이방성은 반드시 수반됨을 의미한다. 그리고 상기 결과는 일반 압연공정으로는 결정립 미세화를 통한 기계적 특성 향상은 가능해도, 등방성(isotropic) 기계적 특성의 향상은 달성할 수 없음을 의미한다.

[0040] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 순수한 타이타늄 판재의 제조 방법을 나타낸다.

[0041] 도 3의 판재 제조 방법은, 도 1의 종래의 일반 압연공정 대비, 압연 과정에서 압연 방향을 제어한 특징을 가진다. 보다 구체적으로 도 3의 판재 제조 방법은 압연 과정에서 압연 방향을 압연 방향(rolling direction)과 압연 횡 방향(transverse direction)으로 혼합한 것에 특징이 있다. 다시 말하면 도 3의 판재 제조 방법에서는 압연 시 압연 방향에서의 압하율과 압연 횡 방향에서의 압하율을 각각 특정 비율로 제어하였다.

[0042] 한편 도 3의 판재 제조 방법에서 상기 제어 압연공정 이후의 소둔 과정은 상기 도 1의 일반 압연공정 이후의 소둔 과정과 실질적으로 동일하다. 다만 상기 상기 소둔 과정은 600℃ 이하에서 수행되는 것이 바람직하다. 만일 상기 소둔이 600℃를 초과하게 되면, 재결정 이후 결정립 성장이 지나치게 발생하여 기계적 강도의 저하가 발생할 수 있다.

[0043] 도 4의 (a)는 도 3의 제어 압연공정에 의해 총 누적 압하량 73.3%(3.0t > 0.8t)만들어진 순수한 타이타늄 판재의 미세조직을 관찰한 주사전자현미경 미세조직을 나타내고, (b)는 상기 제어 압연공정에 의한 순수한 타이타늄 판재의 {002} 면의 극점도(pole figure, PF)를 도시한다.

[0044] 도 4(a)에서 도시하는 바와 같이 결정립 미세화를 위해 높은 압하량으로 제어 압연이 진행된 경우, 순수한 타이타늄 판재는 결정립이 압연방향으로 연신된 이방성(anisotropy) 경향이 없고 오히려 등방성(isotropy) 경향을 가짐을 알 수 있다. 이에 더하여 제어 압연공정에 의해 제조된 미세조직의 결정립 크기가 일반 압연공정에 의해 제조된 미세조직의 결정립 크기 보다 더 미세함을 알 수 있다.

[0045] 더 나아가 비록 육방밀집구조(hexagonal closed packed, HCP)의 결정 구조를 가지는 순수한 타이타늄이 소성변형에 있어서 이방성 특징을 가진다 하더라도, 제어 압연공정에 의해 제조된 순수한 타이타늄 판재의 집합조직은 압연 방향 및 횡 방향으로 더욱 균형잡힌 형태를 가지며 집합조직의 세기 역시 상당히 약해진 것으로 나타났다(도 4(b)).

[0046] 도 3 및 4의 상기 결과는 결정립 미세화를 위해 높은 압하율로 제어 압연공정을 통해 순수한 타이타늄 판재를 가공하게 되면, 기계적 특성의 이방성이 억제될 수 있음을 의미한다. 그리고 상기 결과는 제어 압연공정은 결정립 미세화를 통한 기계적 특성 향상은 물론이거니와 등방성(isotropic) 기계적 특성의 달성도 가능할 수 있음을 의미한다.

[0047] 한편 상기 도 4의 결과는 총 압하량이 73.3%인 경우이나, 상기 총 압하량이 대략 60% 이상이면 상기 도 4와 같은 미세조직 및 집합 조직이 얻어짐을 확인하였다.

[0049] 도 5는 본 발명의 순수한 타이타늄 판재의 성형성을 평가하기 위한 에릭슨(Erichsen) 시험 방법을 나타낸 도식도이다.

[0050] 본 발명에 따른 순수한 타이타늄 판재의 등방성 향상은 특히 판재의 성형성에 크게 영향을 미친다. 본 발명에서는 판재의 성형성을 평가하기 위해, EN ISO 20482 및 KS B 5529 규격에 따라 에릭슨 시험을 실시하였다.

[0051] 에릭슨 시험은 직경 50㎜, 두께 0.7㎜의 디스크형 시험편을 제작한 후, 상부 다이와 하부 다이 사이에 상기 시험편을 삽입한 후 10kN의 힘으로 시편을 고정한다. 이 때, 윤활유는 공지의 프레스유가 사용될 수 있다. 이후 20㎜의 직경을 가지는 구형의 펀치를 사용하여 0.1㎜/sec의 속도로 변형을 가하여, 도 5에서 도시된 바와 같이 시편의 파단 시까지 펀치를 삽입한 후 파단 시의 변형 높이를 측정한다.

[0053] 이하 본 발명의 실험예들을 통해 본 발명을 더욱 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0055] 도 6은 전체 압하량은 60% 이상일 때, 다양한 RD와 TD의 압하율 변화에 따른 극점도(pole figure, PF)의 변화를 도시한다.

[0056] 도 6의 (a)~(h)는 각각 원소재(mill-annealed), 일반 압연공정(RD), RD:TD 압하율=1:1, RD:TD 압하율=1:1.25, RD:TD 압하율=1:1.5, RD:TD 압하율=1:1.75, RD:TD 압하율=1:2 및 TD 압연된 순수한 타이타늄 판재의 극점도 측정 결과를 도시한다.

[0057] 먼저 원소재(mill-anneaed)의 경우, 압연 횡 방향으로 강한 {002} 집합 조직을 가지며 집합조직의 세기(또는 강도)도 매우 높은 것으로 측정되었다(도 6 (a)).

[0058] 일반 압연공정의 경우와 RD:TD의 압하율이 1:1인 경우도 압연 횡 방향으로 강한 {002} 집합 조직을 가지며 집합조직의 세기(또는 강도)도 여전히 매우 높은 것으로 측정되었다(도 6 (b) 및 (c)).

[0059] 반면 RD:TD의 압하율이 1:1.25인 경우, 비록 압연 횡 방향으로 강한 {002} 집합 조직을 가지지만 집합조직의 세기(또는 강도)는 보다 감소한 것으로 측정되었다(도 6 (d)). 특히 RD:TD의 압하율이 1:1.25인 경우, 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직은 압연 방향 및 압연 횡 방향 축에 동시에 실질적으로 대칭적인 형상을 나타낸다. 상기와 같은 집합조직은 압연 방향 및 압연 횡 방향을 포함하는 평면 상에서 순수 타이타늄 판재의 이방성이 감소함을 의미한다.

[0060] 한편 RD:TD의 압하율이 1:1.5인 경우는 매우 극적인 변화가 나타났다. 구체적으로 RD:TD의 압하율이 1:1.5인 경우 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직은 압연 방향 및 압연 횡 방향 축에 동시에 실질적으로 대칭적이면서 극점도(pole figure) 상에서 집합조직 세기의 최대 값의 궤적이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축과 동시에 교차하는 집합 조직을 가지며, 집합조직의 세기(또는 강도)도 전체 압하율에 따라 다르지만 모두 4 이하의 낮은 값을 가지는 것으로 측정되었다(도 6 (e)).

[0061] 도 6 (e)의 RD:TD의 압하율이 1:1.5인 경우의 집합 조직의 결과는 매우 이례적이며 고무적이다. 왜냐하면 집합조직이 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직은 압연 방향 및 압연 횡 방향 축에 동시에 실질적으로 대칭적이면서 극점도(pole figure) 상에서 집합조직 세기의 최대 값의 궤적이 압연 방향(RD)과 압연 측 방향(TD) 각각의 축과 동시에 교차한다는 것은 압연 방향 및 압연 횡 방향을 포함하는 평면 상에서 순수 타이타늄 판재의 이방성이 사라졌음을 의미하기 때문이다.

[0062] 더 나아가 집합 조직의 강도가 3 이하(도 6 (e))로 감소한 것은, 순수 타이타늄 판재 내의 결정립의 방향성이 크게 감소함을 의미하고, 이는 순수 타이타늄 판재의 등방성이 향상됨을 의미한다.

[0063] 한편 RD:TD의 압하율이 1:1.75, 1:2 및 TD 압연의 경우, 다시 {002} 집합 조직이 더 강하게 발현되었다(도 6 (f)~(h)). 구체적으로 상기 압연 조건에서는 앞에서의 RD 압연 경우와는 달리, 집합 조직은 압연 방향을 따라 나타났으며 집합 조직의 강도 또한 증가하는 경향을 나타냈다.

[0064] 다만 RD:TD의 압하율이 1:1.75인 경우는 극점도(pole figure) 상에서 {002} 집합조직은 압연 방향 및 압연 횡 방향 축에 동시에 실질적으로 대칭적인 특징을 유지하였으나, RD:TD의 압하율이 1:2.0인 경우는 상기 집합조직의 대칭성이 완전히 사라진 것으로 측정되었다.

[0066] 아래의 표 1은 상기 도 6의 결과를 정리한 표이다.

[0067] [표 1]

[0068]

	일반공정 압연	RD:TD 압하율 =1:1	RD:TD 압하율 =1:1.25	RD:TD 압하율 =1:1.5	RD:TD 압하율 =1:1.75	RD:TD 압하율 =1:2	TD압연
집합조직 세기	5.9	6.8	5.2	3.1	4.7	4.5	6.9
RD/TD 집합조직 세기비	0.169	0.147	0.345	1.0	0.357	0.222	0.145

[0070] 상기 표 1에서의 "집합 조직 세기"는 RD(압연 방향) 또는 TD(압연 횡 방향) 에서 측정된 집합 조직의 최대 값을 의미한다.

[0071] 상기 표 1에서의 "RD/TD 집합 조직 세기 비"는 각각의 실험예에서 측정된 RD 및 TD 에서의 최대 값들을 나눈 비이다. 여기서 일반 압연공정부터 RD:TD 압하율이 1:1.25까지는 TD 측정 값이 RD 측정 값보다 크므로(도 6 참조), 표 1에서의 "RD/TD 집합 조직 세기 비"는 TD 측정 값/RD 측정 값을 의미한다. 반면 RD:TD 압하율이 1:1.75부터 TD 압연까지는 RD 측정 값이 TD 측정 값보다 크므로(도 6 참조), 표 1 "RD/TD 집합 조직 세기 비"는 RD 측정 값/TD 측정 값을 의미한다. 따라서 상기 "RD/TD 집합 조직 세기 비"(RD와 TD의 집합조직 세기 비)는 RD와 TD 방향에서의 각각의 집합조직 세기 측정값의 최대값을 비교하여, 더 높은 값을 분모로 하고 더 낮은 값을 분자로 계산한 비를 의미한다.

[0072] 결국 상기 표 1에서의 "RD/TD 집합 조직 세기 비"가 1에 가깝다는 것은 순수 타이타늄 판재 내의 압연 방향과 압연 횡 방향에서의 집합 조직의 강도가 서로 유사한 것을 의미하며, 이는 다시 순수 타이타늄 판재의 기계적 특성의 등방성이 향상됨을 의미한다.

[0073] 도 7은 상기 도 6의 "RD/TD 집합 조직 세기 비"를 도시한 것이다.

[0074] 도 7에서 도시하는 바와 같이, 압연 방향 별 집합 조직 세기 비는 RD:TD 압하율이 1:1 내지 1:1.25 사이에서 변곡점을 가지고 급격히 증가하기 시작하고, RD:TD 압하율이 1:1.5일 때 최대값을 가지는 것으로 측정되었다. 이후 다시 집합 조직 세기 비는 급격히 감소하기 시작하다가 RD:TD 압하율이 1:1.75 내지 1:2 사이에서 변곡점을 가지고 완만하게 감소하는 것으로 측정되었다.

[0075] 도 7의 상기 집합 조직 세기 비 결과는 RD:TD 압하율이 1:1.25 내지 1:1.75 사이에서 임계적 의의가 있음을 정량적으로 입증하는 것이라 할 수 있다.

[0077] 도 8의 (a)와 (b)는 각각 일반 압연공정(RD)과 RD:TD 압하율이 1:1.5인 제어 압연공정으로 압연된 순수한 타이타늄 판재의 전자 후방 산란 이미지(electron backscatter diffraction)를 도시한다.

[0078] 도 8 (a)에서 도시하는 바와 같이, 먼저 일반 압연공정(RD)으로 압연된 순수한 타이타늄 판재는 발달된 집합조직으로 인해 특정 방향으로 길게 연신된 결정립을 가진다. 그 결과 동일한 전체 압하량 조건에서 일반 압연된 순수한 타이타늄 판재 내의 결정립의 종횡비(grain aspect ratio)가 0.2로 낮은 값을 보임을 확인하였으며, 결정립 평균 크기(average grain size)는 약 3.6㎛인 것으로 측정되었다.

[0079] 반면 제어 압연공정으로 압연된 순수한 타이타늄 판재는 상대적으로 집합조직의 발달이 미약하여 대체적으로 균일하고 미세한 결정립들이 주를 이루며 특정 방향으로 연신되고 조대한 결정립이 일부를 이루는 미세조직을 가짐을 알 수 있다(도 8 (b)). 그 결과 동일한 전체 압하량 조건에서 제어 압연된 순수한 타이타늄 판재 내의 결정립의 종횡비(grain aspect ratio)는 0.43으로 매우 높은 값을 가짐을 확인하였으며, 결정립 평균 크기(average grain size)는 약 0.8㎛로 서브 마이크로(sub-micron) 수준인 것으로 측정되었다.

[0081] 도 9는 다양한 RD와 TD의 압하율 변화에 따른 순수 타이타늄 판재의 기계적 특성 평가 결과를 도시한다.

[0082] 도 9의 (a)~(d)는 각각 일반 압연공정(RD), TD 압연 공정, RD:TD 압하율=1:1, 및 RD:TD 압하율=1:1.5 조건에서 압연된 순수한 타이타늄 판재의 기계적 특성 평가 측정 결과를 도시한다.

[0083] 먼저 일반 압연공정(RD)의 경우(도 9 (a))와 RD:TD 압하율=1:1로 압연된 순수한 타이타늄 판재의 경우(도 9 (c)), 압연 방향(RD)의 인장시험 결과가 압연 측 방향(TD) 방향의 인장시험 결과보다 인장 강도는 우수한 반면 항복 강도는 더 낮은 것으로 측정되었으며, 연신율은 대략 동일한 것으로 측정되었다. 반면 45도 방향의 인장시험 결과는 RD 방향 및 TD 방향보다 강도는 모두 낮고 연신율은 크게 증가하는 것으로 측정되었다. 상기 인장시험 결과는 일반 압연공정(RD) 및 RD:TD 압하율=1:1로 압연된 순수한 타이타늄 판재는 기계적 이방성이 매우 높은 것을 의미하며, 상기 인장 시험결과는 도 6의 극점도의 결과와도 매우 잘 부합된다.

[0084] 한편 압연 측 방향(TD) 압연된 순수한 타이타늄 판재의 경우(도 9 (b))도 인장시험 결과 기계적 이방성이 매우 높은 것으로 측정되었으며, 상기 인장 시험결과는 도 6의 극점도의 결과와도 매우 잘 부합된다.

[0085] 반면, 본 발명의 일 실시예에 따른 RD:TD 압하율=1:1.5로 압연된 순수한 타이타늄 판재(도 9 (d))는 방향 별 항복 강도와 인장 강도가 거의 동일하거나 또는 유사한 것으로 측정되었다. 상기 인장시험 결과는 도 6의 극점도의 결과와 매우 잘 부합되며, 압연 공정의 제어를 통해 순수한 타이타늄 판재의 이방성이 크게 개선될 수 있음을 의미한다.

[0087] 아래의 표 2은 상기 도 9의 (a)와 (d)의 기계적 특성 평가 결과를 정리한 표이다.

[0088] [표 2]

	일반 압연공정			제어 압연공정		
	YS	UTS	El.%	YS	UTS	El.%
RD	330.1	458.1	42.7	347.5	422.0	44.2
45	354.0	421.4	51.0	352.8	418.9	47.5
TD	376.9	438.5	41.7	354.8	421.7	48.8

[0089]

[0090] (YS, UTS: MPa)

[0092] 상기 표 2에 기재된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 RD:TD 압하율=1:1.5로 압연된 순수한 타이타늄 판재(도 9 (d))는 RD, 45도, TD 방향 별 항복 강도(YS) 및 인장 강도(UTS)의 차이가 모두 3% 이내이며, 강도 면에서 실질적으로 등방성 특성을 가짐을 알 수 있다.

[0093] 또한 제어 압연에 의해 압연된 순수한 타이타늄 판재는 총 압하량이 변화하더라도 RD, 45도, TD 방향 별 항복 강도(YS) 및 인장 강도(UTS)의 차이는 모두 5% 이내인 것으로 측정되었다. 이는 본 발명에서의 제어 압연에 의해 생성된 집합 조직은 종래의 일반 압연에 의한 집합 조직 대비 등방성이 더 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

[0094]

[0095] 도 10은 본 발명의 순수한 타이타늄 판재의 성형성을 평가하기 위한 에릭슨(Erichsen) 시험 결과를 보여준다.

[0096] 아래의 표 3은 등급 1 및 2 상용 순수 타이타늄 판재(mill annealed), 일반 압연공정(RD), 압연 횡 방향 압연공정(TD), RD:TD 압하율=1:1 및 RD:TD 압하율=1:1.5 제어 압연된 순수한 타이타늄 판재의 에릭슨 값을 나타낸다. 여기서 I. E.는 에릭슨 값(index Erichsen)이란 적어도 시험편의 1개소의 뒷면에 도달하는 균열이 생길 때까지(파단 시까지) 펀치 끝이 하형 다이 면에서 이동한 거리(펀치 스트로크)를 mm로 표시한 수치이며, I. E.값이 클수록 스트레칭 특성이 우수함을 의미한다.

[0098] [표 3]

[0099]

	Gr. 1	Gr. 2	일반공정	TD 압연	교차 1:1	교차 1:1.5
I.E. (mm)	14.5	12.5	12.7	14.3	14.0	15.5

[0101] 표 3의 결과로부터, RD:TD 압하율=1:1.5 제어 압연된 순수한 타이타늄 판재는 15㎜ 이상의 에릭슨 값을 가짐을 알 수 있다. 특히 RD:TD 압하율=1:1.5 제어 압연된 순수한 타이타늄 판재는 산소 등의 불순물이 가장 적게 포함되어 연신율 및 가공성이 매우 뛰어난 등급 1의 순수한 타이타늄 판재보다도 더 우수한 가공성을 가지는 것으로 측정되었다.

[0103] 표 4는 상용(mill annealed) 등급 1, 2 순수 타이타늄 판재, 일반 압연된(RD) 순수 타이타늄 판재, 제어 압연된(RD:TD 압하율=1:1.5) 순수 타이타늄 판재의 압연 방향(RD)에서의 기계적 특성 평가 결과를 요약한 것이다.

[0105] [표 4]

[0106]

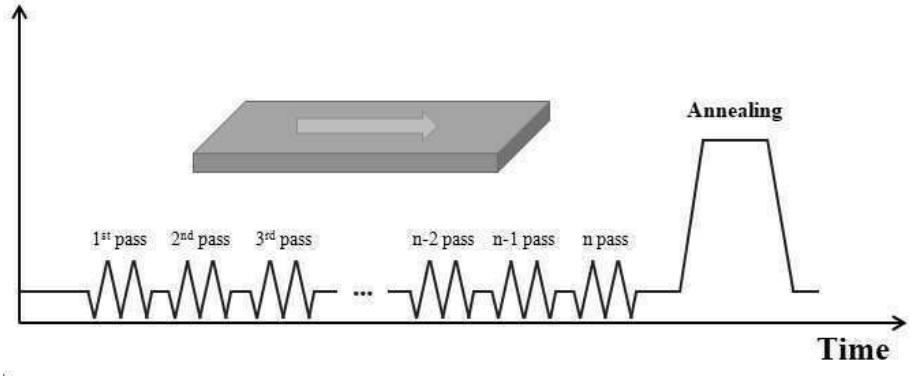
	YS (MPa)	UTS (MPa)	El.%	에릭슨값 (mm)	
제어 압연 공정	347.5	422.0	44.2	15.5	실시예
일반 압연 공정	330.1	458.1	42.7	12.7	비교예
ASTM Gr.2 상용판재	311.8	398.8	41.0	12.5	비교예
ASTM Gr.1 상용판재	215.7	383.5	49.2	14.5	비교예

[0108] 본 발명의 일 실시예에 따른 제어 압연된 순수한 타이타늄 판재는 기존의 등급 1, 2의 상용 타이타늄 판재는 물론이거니와 일반 압연된 순수한 타이타늄 판재보다 높은 항복 강도와 에릭슨 값을 가짐을 알 수 있다. 특히 본 발명의 제어 압연된 순수한 타이타늄 판재는 본 발명 특유의 향상된 기계적 특성의 등방성으로 인해 등급 1의 상용 타이타늄 판재보다도 더 우수한 가공성(높은 에릭슨 값)을 가짐을 확인할 수 있다.

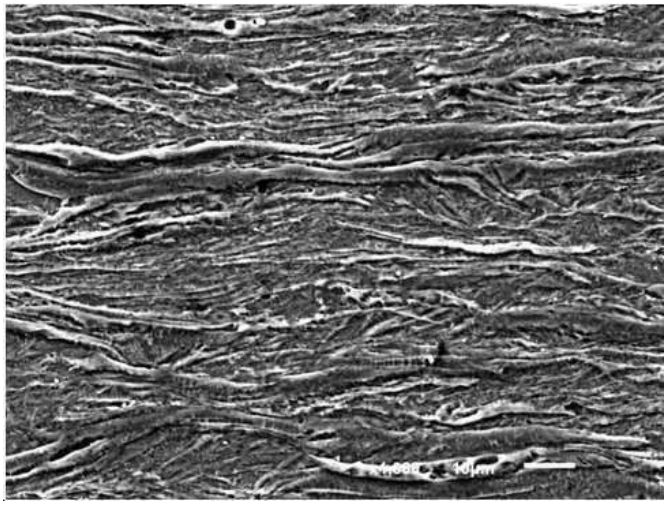
[0110] 이상과 같이 본 발명에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 통상의 기술자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 자명하다. 아울러 앞서 본 발명의 실시예를 설명하면서 본 발명의 구성에 따른 작용 효과를 명시적으로 기재하여 설명하지 않았을지라도, 해당 구성에 의해 예측 가능한 효과 또한 인정되어야 함은 당연하다.

도면

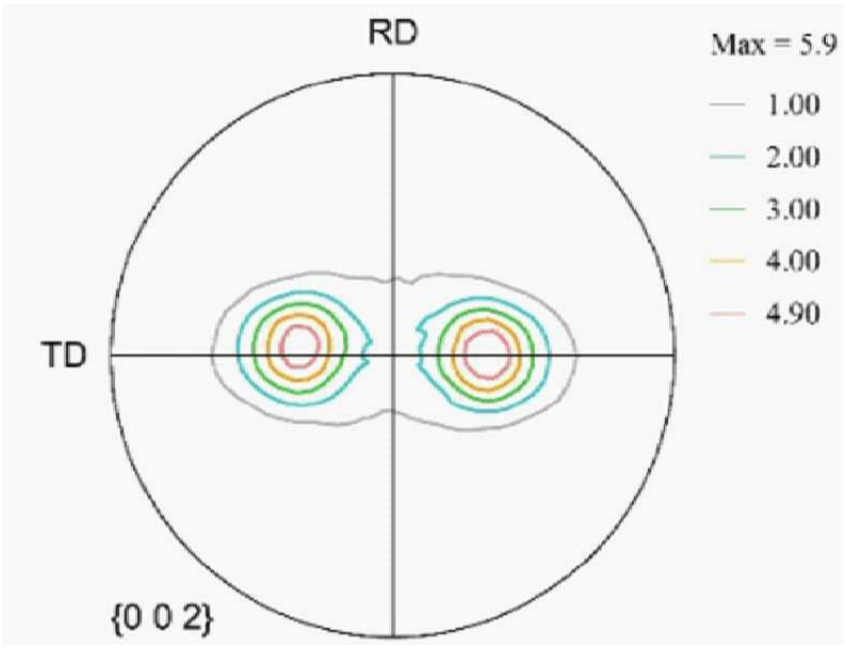
도면1



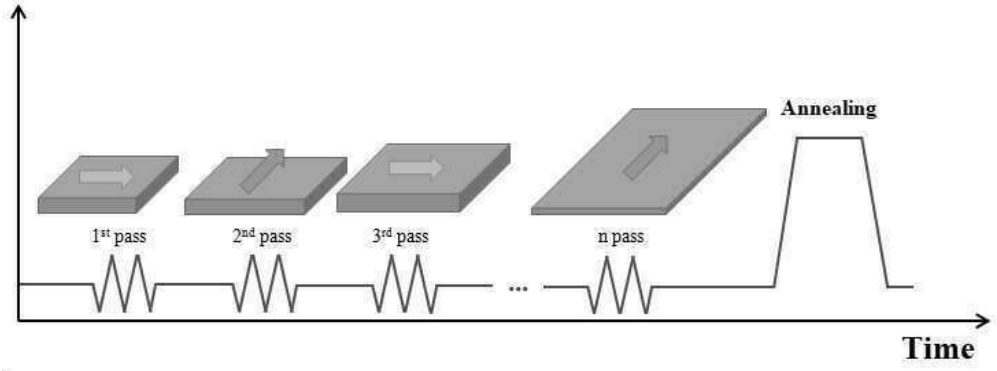
도면2a



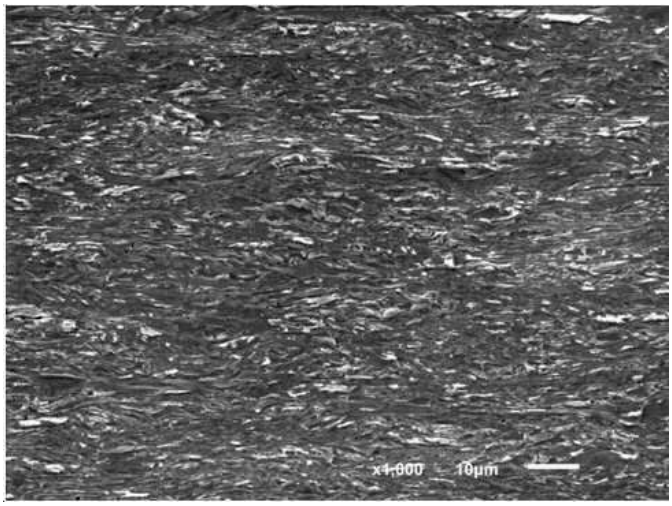
도면2b



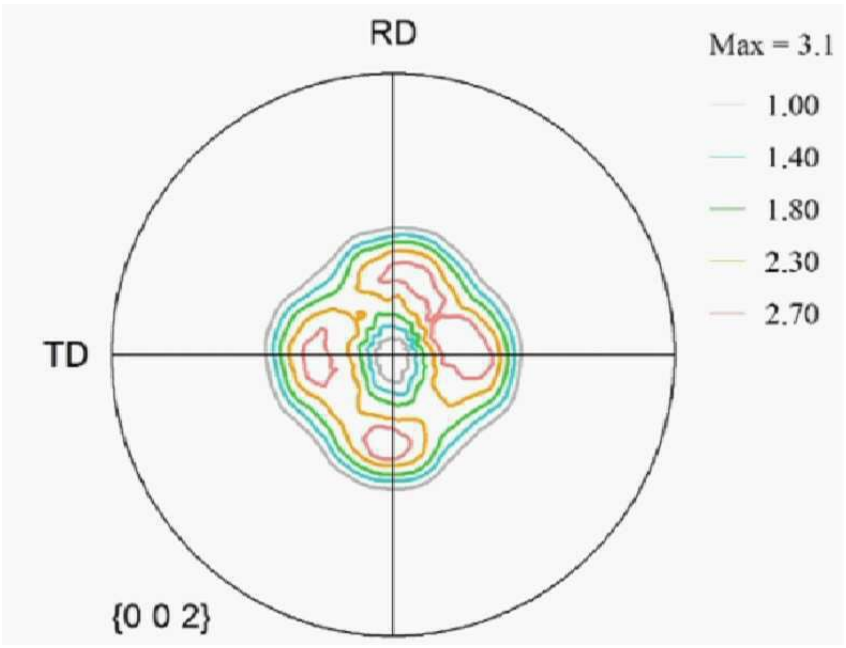
도면3



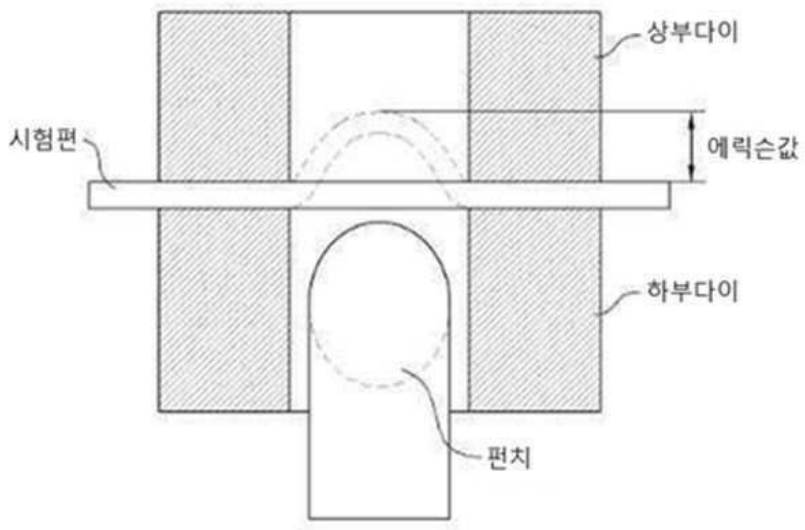
도면4a



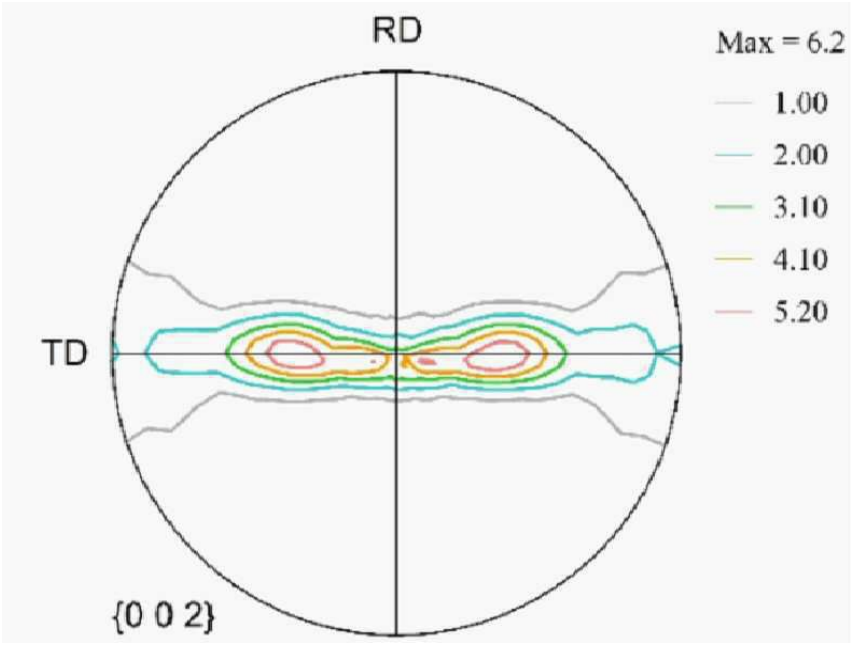
도면4b



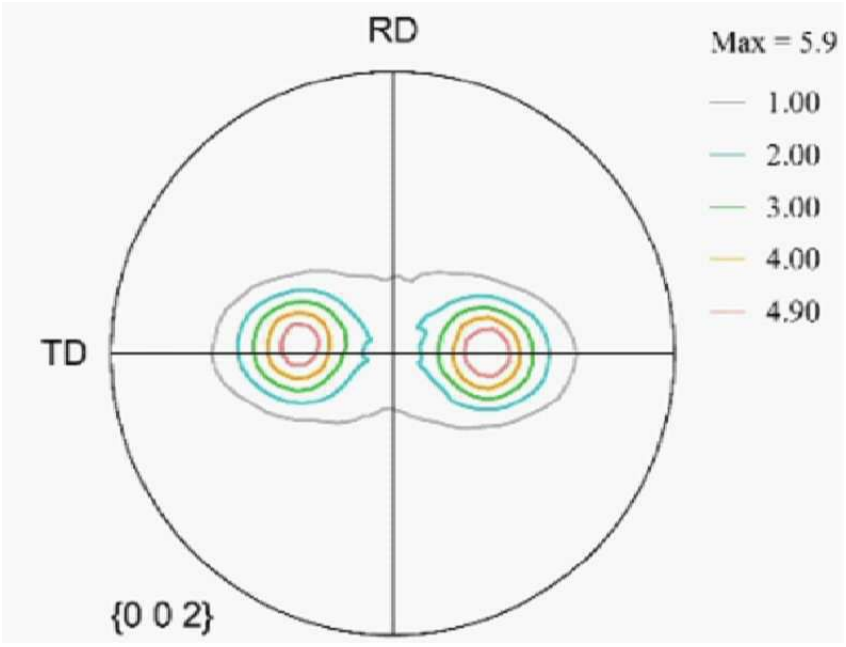
도면5



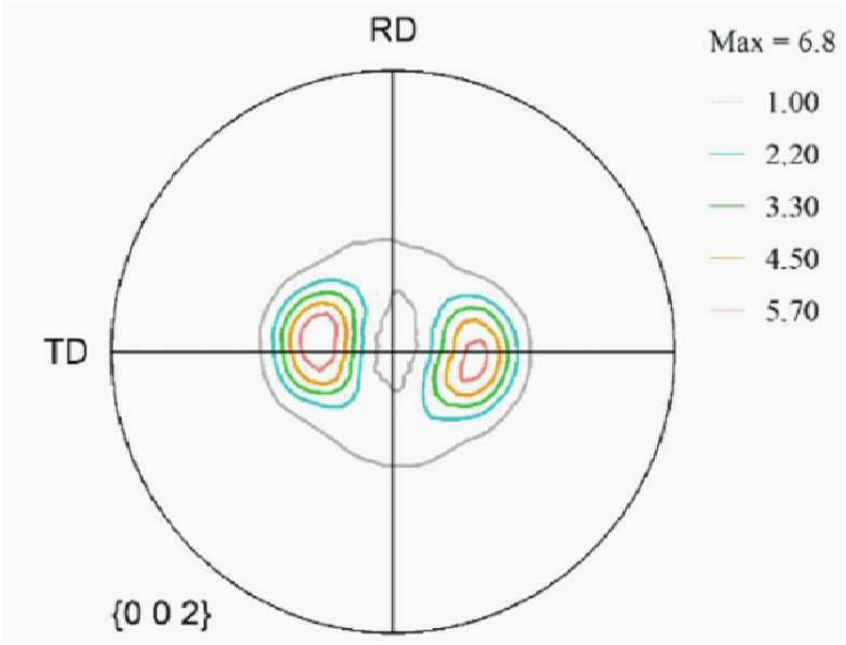
도면6a



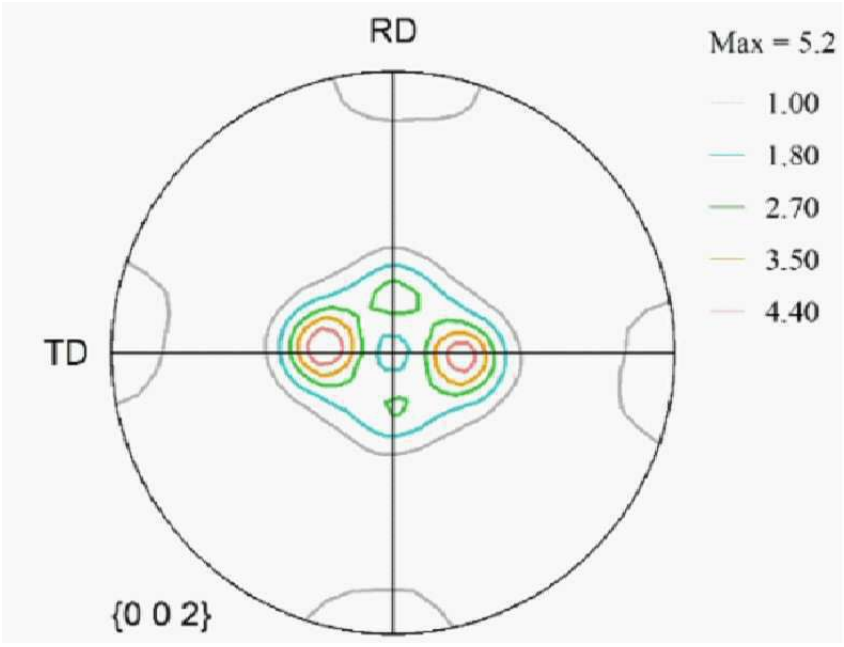
도면6b


RD
TD
{0 0 2}
Max = 5.9
1.00
2.00
3.00
4.00
4.90

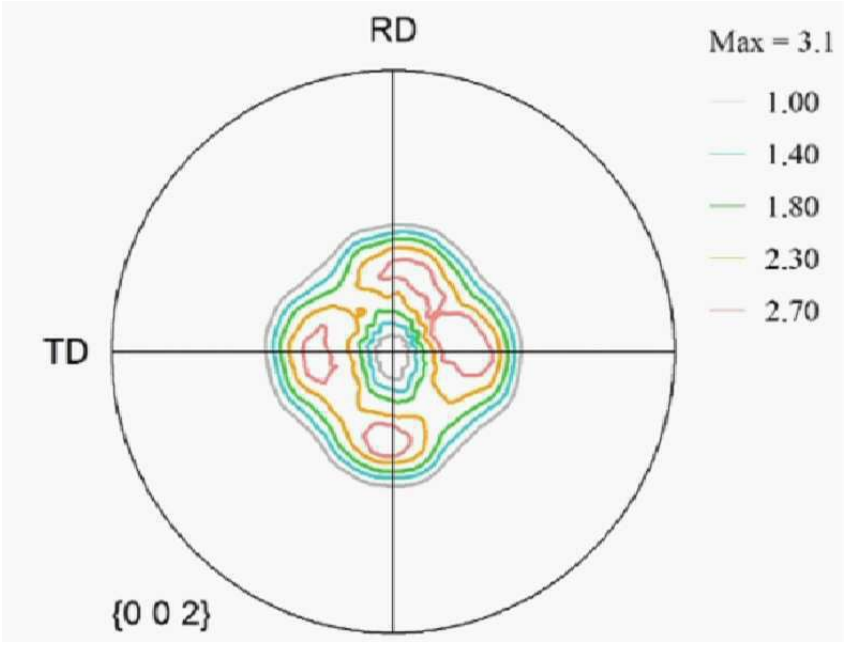
도면6c


RD
TD
{0 0 2}
Max = 6.8
1.00
2.20
3.30
4.50
5.70

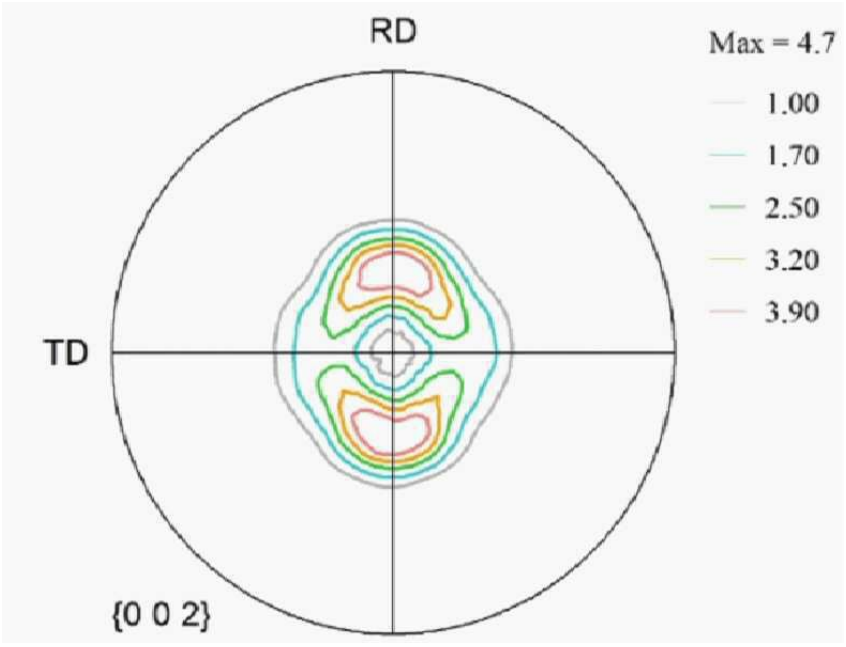
도면6d


RD
TD
{0 0 2}
Max = 5.2
1.00
1.80
2.70
3.50
4.40

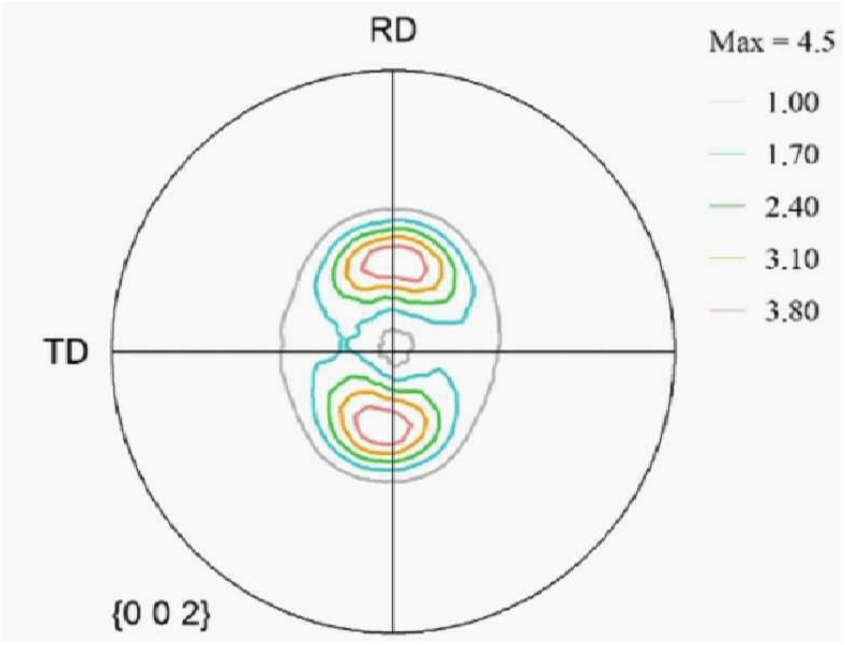
도면6e


RD
TD
{0 0 2}
Max = 3.1
1.00
1.40
1.80
2.30
2.70

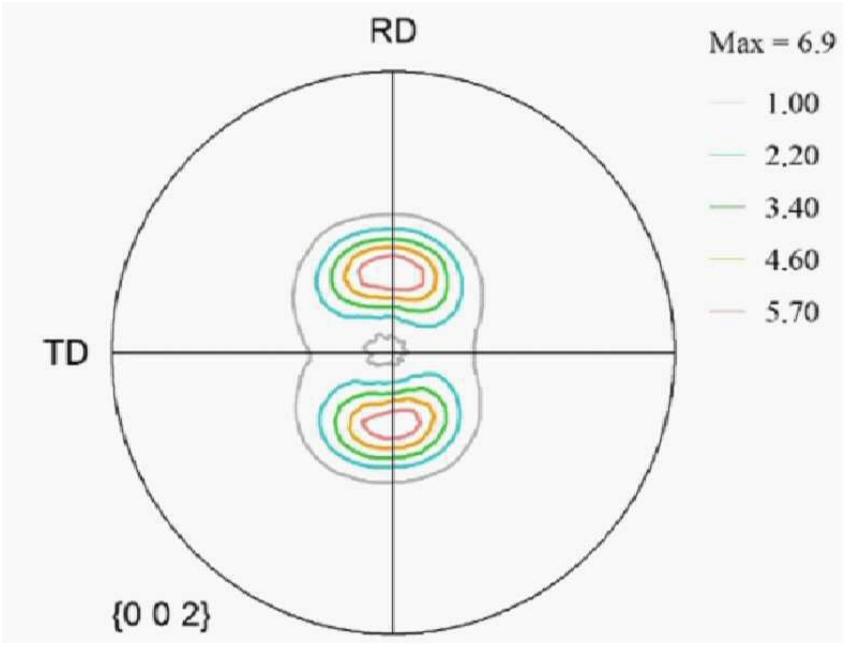
도면6f


RD
TD
{0 0 2}
Max = 4.7
1.00
1.70
2.50
3.20
3.90

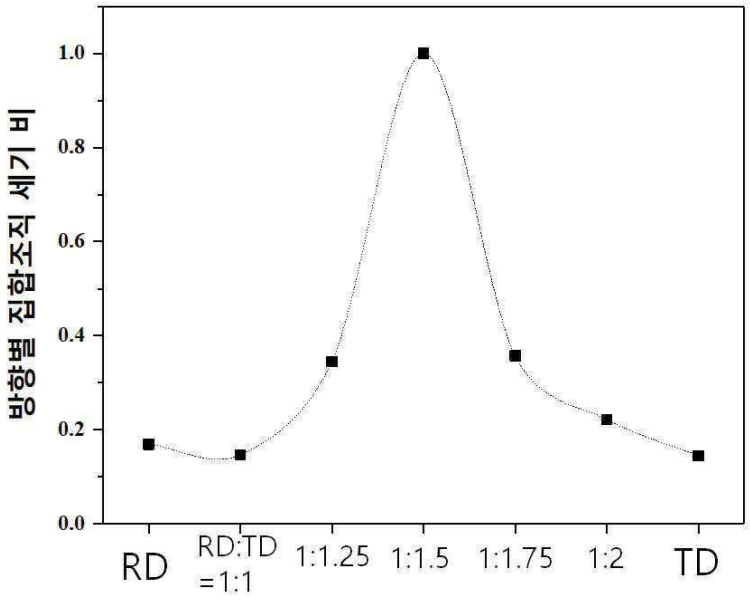
도면6g


RD
TD
{0 0 2}
Max = 4.5
1.00
1.70
2.40
3.10
3.80

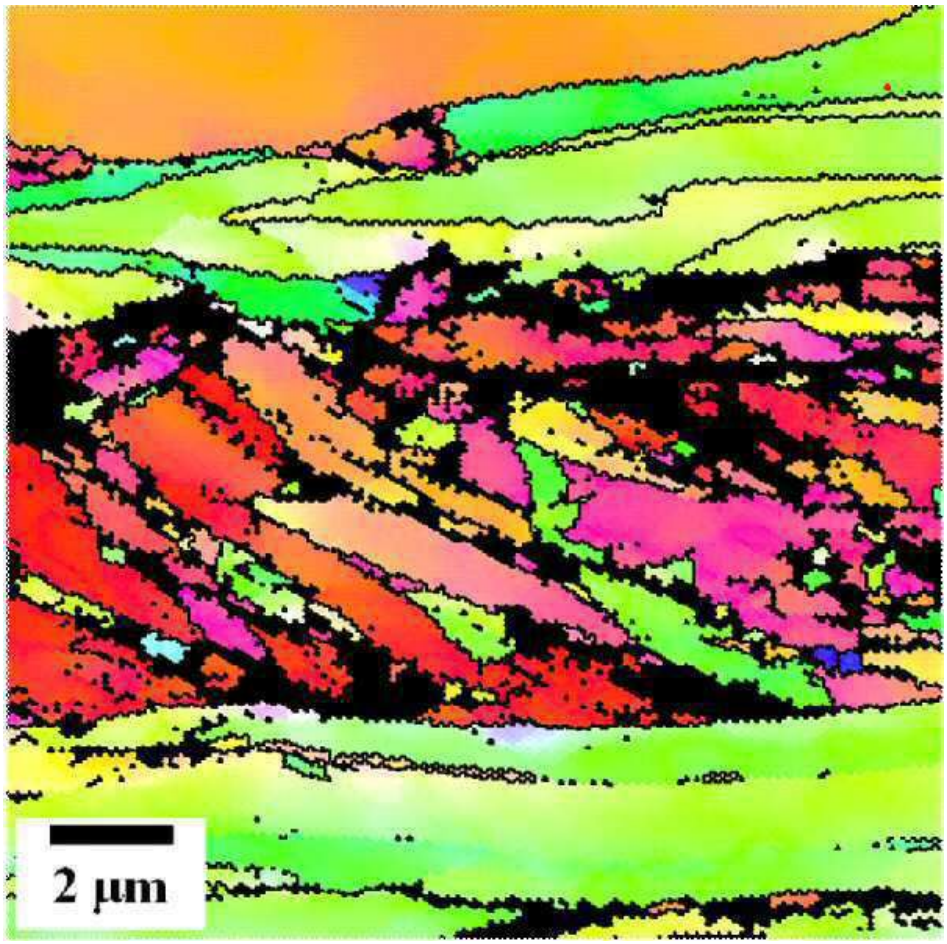
도면6h


RD
TD
{0 0 2}
Max = 6.9
1.00
2.20
3.40
4.60
5.70

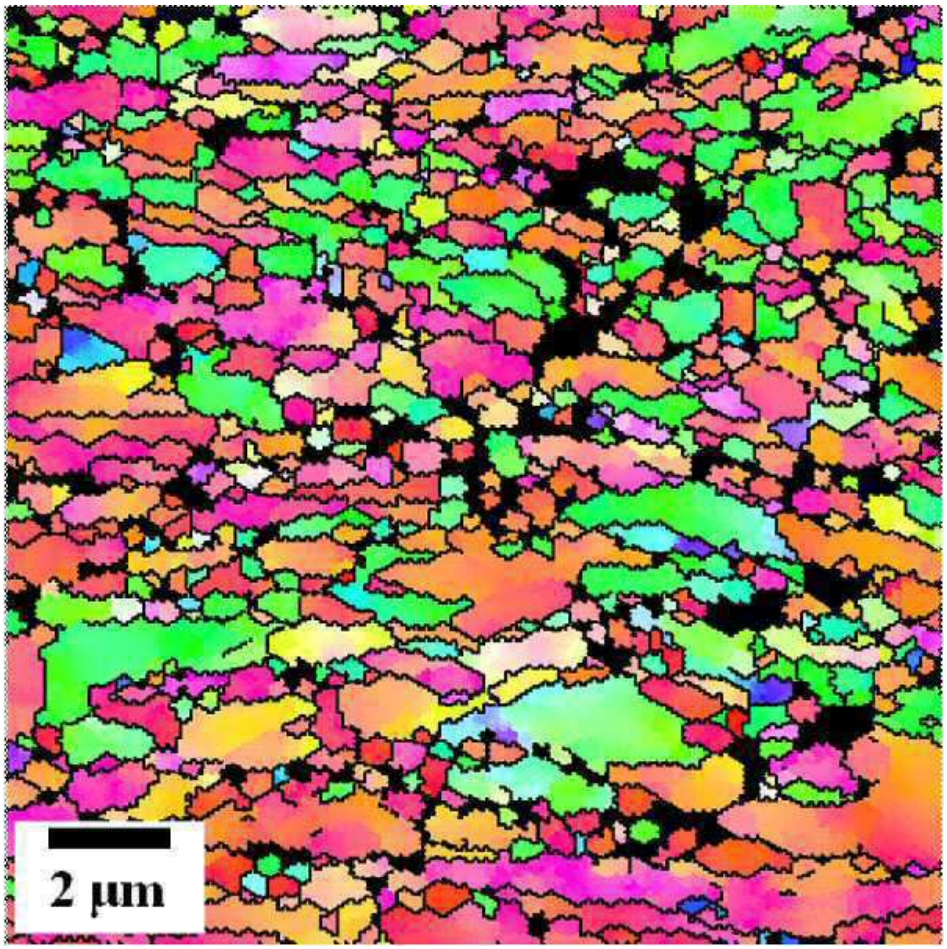
도면7


방향별 집합조직 세기 비
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
RD
RD:TD =1:1
1:1.25
1:1.5
1:1.75
1:2
TD

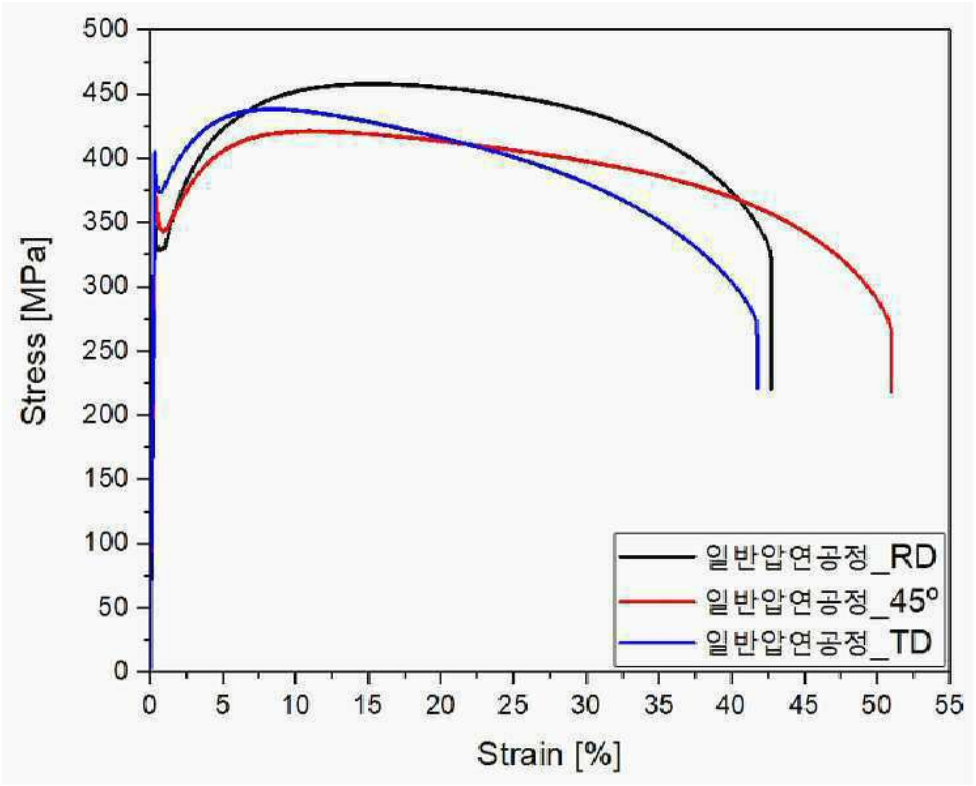
도면8a



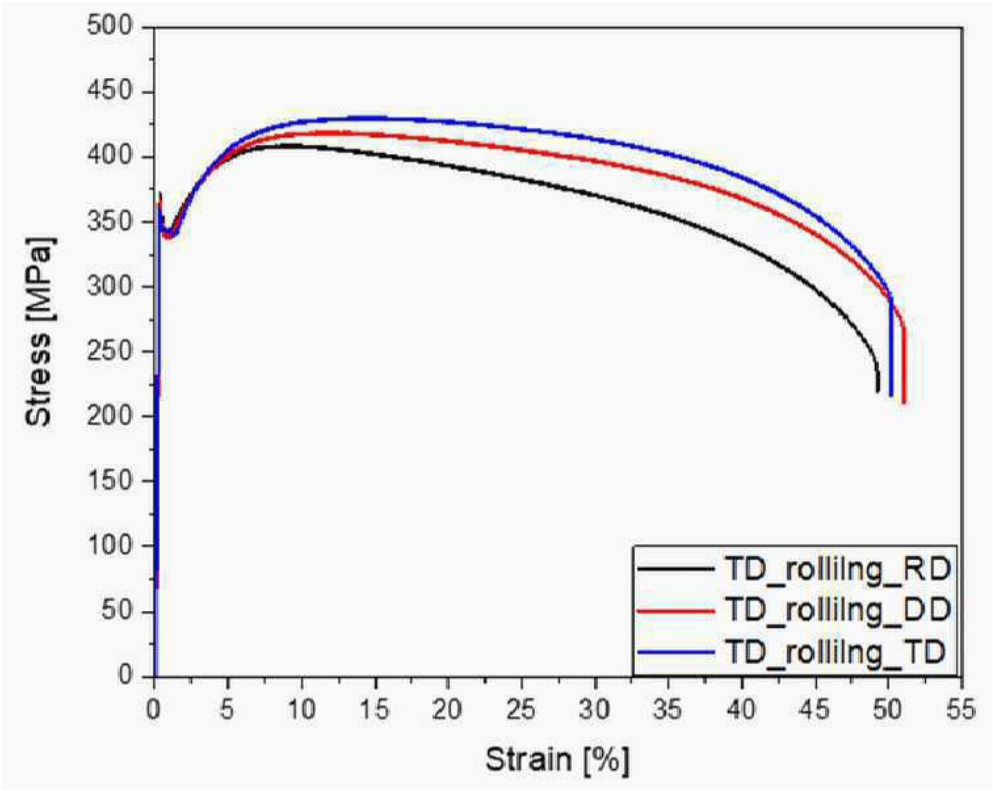
도면8b



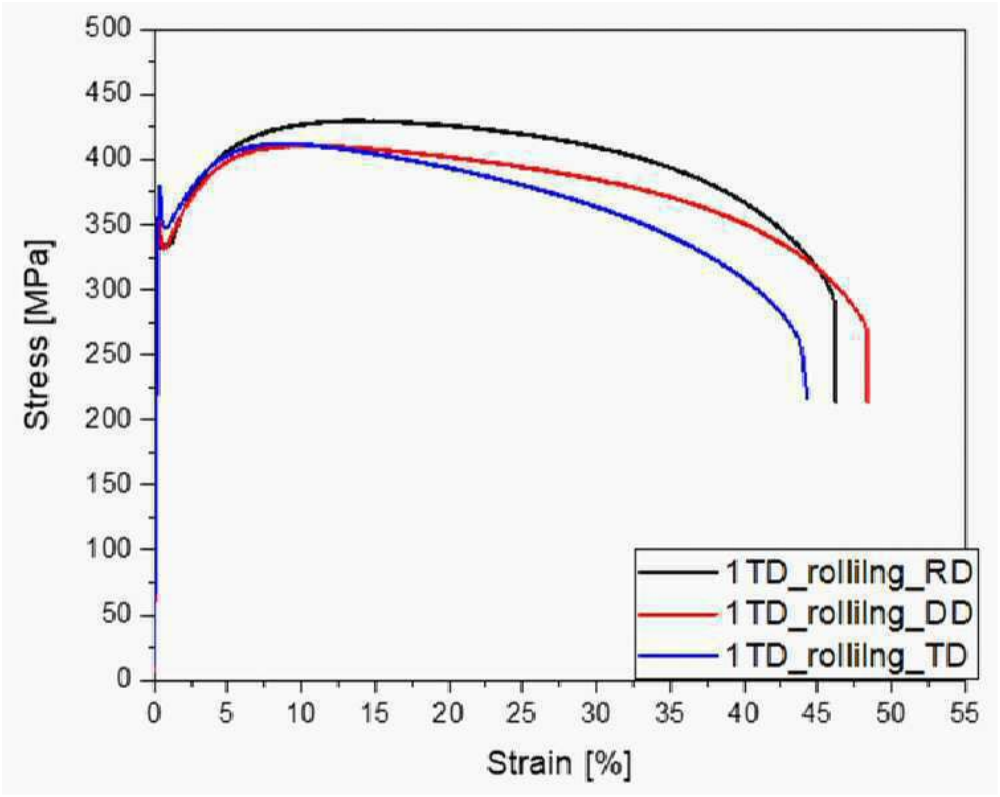
도면9a


Stress [MPa]
Strain [%]
일반압연공정_RD
일반압연공정_45°
일반압연공정_TD

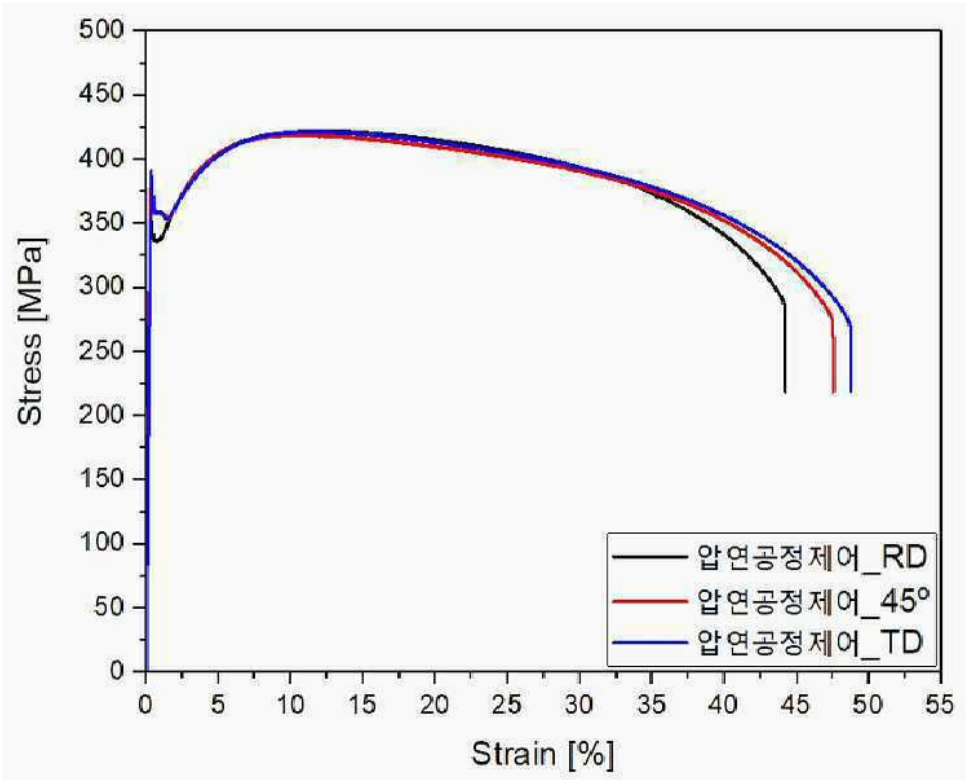
도면9b


Stress [MPa]
Strain [%]
TD_rollilng_RD
TD_rollilng_DD
TD_rollilng_TD

도면9c


Stress [MPa]
Strain [%]
1TD_rollilng_RD
1TD_rollilng_DD
1TD_rollilng_TD

도면9d


Stress [MPa]
Strain [%]
압연공정제어_RD
압연공정제어_45°
압연공정제어_TD

도면10

