(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년03월31일
(11) 등록번호 10-2095607
(24) 등록일자 2020년03월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C21D 6/00 (2006.01) *C21D 8/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7027871
(22) 출원일자(국제) 2013년03월12일
심사청구일자 2018년02월01일
(85) 번역문제출일자 2014년10월02일
(65) 공개번호 10-2014-0132396
(43) 공개일자 2014년11월17일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/056800
(87) 국제공개번호 WO 2013/137249
국제공개일자 2013년09월19일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-057986 2012년03월14일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
WO2010059201 A2*
JP2012040584 A
JP2008073694 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
고꾸리쯔 다이가꾸 호우징 오사까 다이가꾸
일본 565-0871 오사까후 스이따시 야마다오까 1방 1고
(72) 발명자
후지이 히데토시
일본국 오사까후 스이따시 야마다오까 1방 1고 고꾸리쯔 다이가꾸 호우징 오사까 다이가꾸 내
모리사다 요시아키
일본국 오사까후 스이따시 야마다오까 1방 1고 고꾸리쯔 다이가꾸 호우징 오사까 다이가꾸 내
(74) 대리인
강일우

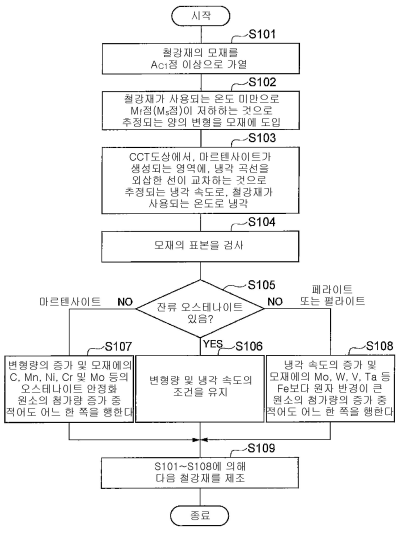
전체 청구항 수 : 총 1 항 심사관 : 최정식

(54) 발명의 명칭 **철강재의 제조 방법**

(57) 요 약

철강재의 모재가 오스테나이트가 출현하는 온도인 A_{C1}점 이상으로 가열되어, 모재(1a, 1b)에 오스테나이트를 출현시킨다(S101). 모재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 M_f점이 실온 미만으로 저하하는 것으로 추정되는 양의 변형이 모재에 도입된다(S102). 실온으로 철강재가 냉각되었을 때에 철강재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 것이 방지된다. CCT도상의 마르텐사이트가 생성되는 영역에 모재의 냉각 곡선을 외삽한 선이 교차하는 냉각 속도에 의해, 모재가 실온으로 냉각된다(S103). 제조된 철강재의 조직에는 실온에서 오스테나이트가 잔류한다.

대 표 도 - 도3



명 세 서

청구범위

청구항 1

철강재의 모재를 오스테나이트가 출현하는 온도인 A_{C1}점 이상으로 가열하는 가열 공정과,

상기 모재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 M_f점이 상기 철강재가 사용되는 온도 미만으로 저하하는 것으로 추정되는 양의 변형(strain)을 상기 모재에 도입하는 변형 도입 공정과,

연속 냉각 변태선도(CCT선도) 상의 상기 모재에 마르텐사이트가 생성되는 영역에 냉각 곡선을 외삽(extrapolation)한 선이 교차하는 것으로 추정되는 냉각 속도에 의해, 상기 가열 공정 및 상기 변형 도입 공정이 실시된 상기 모재를 상기 M_f점보다 높은 온도로 냉각하는 냉각 공정과,

상기 냉각 공정이 실시된 상기 모재의 조직을 검사하는 검사 공정을 포함하며,

상기 검사 공정에서 상기 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 마르텐사이트가 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는, 다음에 상기 철강재를 제조할 때에, 상기 변형 도입 공정에 있어서의 상기 모재에 도입하는 변형의 양의 증가, 및 상기 모재에의 오스테나이트 안정화 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽을 행하고,

상기 검사 공정에서 상기 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 페라이트 및 펄라이트 중의 어느 하나가 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는, 다음에 상기 철강재를 제조할 때에, 상기 냉각 공정에 있어서의 상기 냉각 속도의 증가 및 상기 모재에의 확산 변태를 억제하는 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽을 행하며,

상기 가열 공정 및 상기 변형 도입 공정에서는, 상기 모재에 봉 형상의 회전 툴의 선단부를 접촉시키면서 상기 회전 툴을 회전시키는 것에 의해, 상기 모재의 가열 및 상기 모재에의 변형의 도입을 행하고,

상기 냉각 공정에서는, 상기 모재에 상기 회전 툴의 상기 선단부를 접촉시키면서 상기 회전 툴을 회전시킨 상태에서 상기 회전 툴의 상기 선단부를 이동시키는 것, 및 상기 회전 툴의 상기 선단부를 상기 모재로부터 떨어뜨리는 것 중 적어도 어느 한 쪽에 의해, 상기 모재의 냉각을 행하는, 철강재의 제조 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 일실시 형태는, 철강재의 제조 방법에 관한 것으로, 철강재의 모재에 처리를 실시하는 것에 의해서 강도와 연성을 높인 철강재를 제조하는 철강재의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 마찰 교반 접합(FSW: Friction Stir Welding)은, 이음매 특성을 비롯하여 여러 가지 우수한 특성을 가지고, 알루미늄 합금에 대해서는, 개발되고 바로 각종 산업 분야로 적용되고 있다. 한편, 구조 재료의 대부분을 차지하는 철강 재료의 마찰 교반 접합에 관해서도, 최근 활발히 연구가 이루어지고 있다. 연구 단계에서는 하기의 비특허문헌 1~3에 마찰 교반 접합에 의해서 탄소강의 접합을 행하는 것이 보고되고 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0003] (비특허문헌 0001) 더블유·엠·토머스(W. M. Thomas), 외 2명, 「과학·기술·용접·접합 4」(Sci. Technol. Weld. Join. 4), 1999년, p.365~372

(비특허문헌 0002) 티·제이·리너트(T. J. Lienert), 외 3명, 「접합 저널 82」(Weld. J. 82), 2003년, 1s~9s

(비특허문헌 0003) 에이·피·레이놀드(A. P. Reynolds), 외 3명, 「과학·기술·용접·접합 8」(Sci. Technol. Weld. Join. 8), 2003년, p.455~460

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 여기서, 철강 재료는 조성 및 조직 등에 의해서 기계적 특성의 향상이 도모되고 있지만, 고강도와 고연성을 양립시키는 것은 극히 곤란하다. 철강 재료의 마찰 교반 이음매에 있어서도 강도와 연성의 향상은 실용적으로는 극히 중요한 팩터이며, 자동차를 시작으로 하는 여러 가지의 산업계로부터 절실히 요망되고 있다. 또한, 마찰 교반 접합 이외의 압연 및 단조 등의 처리에 있어서도, 철강 재료의 강도 향상과 연성 향상을 양립시키는 것은 중요한 과제이다.

[0005] 본 발명의 일실시 형태는 상기 과제에 비추어서 이루어진 것으로, 고강도를 가지면서도 고연성을 가지는 철강재를 제조하는 것이 가능한 철강재의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일실시 형태는, 철강재의 모재를 오스테나이트가 출현하는 온도인 A_{C1}점 이상으로 가열하는 가열 공정과, 모재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 M_f점이 철강재가 사용되는 온도 미만으로 저하하는 것으로 추정되는 양의 변형(strain)을 모재에 도입하는 변형 도입 공정과, 연속 냉각 변태선도(CCT선도) 상의 모재에 마르텐사이트가 생성되는 영역에 냉각 곡선을 외삽(extrapolation)한 선이 교차하는 것으로 추정되는 냉각 속도에 의해, 가열 공정 및 변형 도입 공정이 실시된 모재를 M_f점보다 높은 온도로 냉각하는 냉각 공정을 포함하는 철강재의 제조 방법이다.

[0007] 이 구성에 의하면, 가열 공정에서는, 철강재의 모재를 오스테나이트가 출현하는 온도인 A_{C1}점 이상으로 가열한다. 이것에 의해, 모재에 오스테나이트를 출현시킬 수 있다. 변형 도입 공정에서는, 모재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 M_f점이 철강재가 사용되는 온도 미만으로 저하하는 것으로 추정되는 양의 변형을 모재에 도입한다. 이 때문에, 실온 등의 철강재가 사용되는 온도로 철강재가 냉각되었을 때에 철강재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 것을 방지할 수 있다. 모재에 변형을 도입하면, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역도 확대된다. 그러나, 냉각 공정에서는, 철강재의 모재가 연속하여 냉각되었을 때의 상변태를 시간 및 온도의 좌표 평면상에 나타낸 연속 냉각 변태선도(CCT선도: Continuous Cooling Transformation diagram)의 마르텐사이트가 생성되는 영역에 모재의 시간에 대한 온도의 함수를 나타내는 선인 냉각 곡선을 외삽한 선이 교차하는 것으로 추정되는 냉각 속도에 의해, 가열 공정 및 변형 도입 공정이 실시된 모재를 M_f점보다 높은 온도로 냉각한다. 이 때문에, 제조된 철강재의 조직에는 사용되는 온도에 있어서 오스테나이트가 잔류한다. 오스테나이트가 잔류된 철강재에 외부 응력이 인가되었을 경우, 변형을 받은 오스테나이트가 경질인 마르텐사이트로 변태하고, 변형을 받은 부분의 강도가 향상된다. 그 결과, 이 부분의 변형이 억제되고, 상대적으로 저강도인 미변태의 오스테나이트의 부분에 변태가 전파(傳搬)되는 TRIP 효과가 생긴다. 이 때문에, 고강도를 가지면서도 고연성을 가지는 철강재를 제조할 수 있다.

[0008] 이 경우, 냉각 공정이 실시된 모재의 조직을 검사하는 검사 공정을 더 포함하고, 검사 공정에 있어서 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 마르텐사이트가 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는, 다음에 철강재를 제조할 때에, 변형 도입 공정에 있어서의 모재에 도입하는 변형의 양의 증가, 및 모재에의 오스테나이트 안정화 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽을 행하고, 검사 공정에 있어서 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 페라이트 및 펄라이트 중의 어느 한 쪽이 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는, 다음에 철

강재를 제조할 때에, 냉각 공정에 있어서의 냉각 속도의 증가 및 모재에의 확산 변태를 억제하는 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽을 행할 수 있다.

[0009] 이 구성에 의하면, 냉각 공정이 실시된 모재의 조직을 검사하는 검사 공정을 더 포함한다. 검사 공정에 있어서 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 마르텐사이트가 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는, 철강재가 사용되는 온도에 대해서 충분히 M_f점이 저하되어 있지 않은 것이 추정된다. 여기서, 다음에 철강재를 제조할 때에, 변형 도입 공정에 있어서의 모재에 도입하는 변형의 양의 증가, 및 모재에의 C, Mn, Ni, Cr 및 Mo 등의 오스테나이트 안정화 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽이 행해진다. 이것에 의해, 철강재가 사용되는 온도에 대해서 충분히 M_f점을 저하시켜서, 오스테나이트를 잔류시킬 수 있다. 또한, 검사 공정에 있어서 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 페라이트 및 펄라이트 중의 어느 한 쪽이 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는, CTT 선도에 있어서의 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역을 회피하기 위해서는, 냉각 속도가 너무 낮거나, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역이 너무 확대되어 있는 것이 추정된다. 여기서, 다음에 철강재를 제조할 때에, 냉각 공정에 있어서의 냉각 속도의 증가 및 Mo, W, V 및 Ta 등 Fe보다도 원자 반경이 큰 원소 등의 확산 변태를 저해하는 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽이 행해진다. 이것에 의해, CCT선도 상에 있어서의 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역을 회피하여, 오스테나이트를 잔류시킬 수 있다.

[0010] 또한, 가열 공정 및 변형 도입 공정에서는, 모재에 봉 형상의 회전 툴의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴을 회전시키는 것에 의해, 모재의 가열 및 모재에의 변형의 도입을 행하고, 냉각 공정에서는, 모재에 회전 툴의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴을 회전시킨 상태에서 회전 툴의 선단부를 이동시키는 것, 및 회전 툴의 선단부를 모재로부터 떨어뜨리는 것 중 적어도 어느 한 쪽에 의해, 모재의 냉각을 행할 수 있다.

[0011] 이 구성에 의하면, 가열 공정 및 변형 도입 공정에서는, 모재에 봉 형상의 회전 툴의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴을 회전시키는 것에 의해, 모재의 가열 및 모재에의 변형의 도입을 행하고, 냉각 공정에서는, 모재에 회전 툴의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴을 회전시킨 상태에서 회전 툴의 선단부를 이동시키는 것, 및 회전 툴의 선단부를 모재로부터 떨어뜨리는 것의 적어도 어느 한 쪽에 의해, 모재의 냉각을 행한다. 이러한 마찰 교반 접합의 기술을 이용하는 것에 의해, 하나의 처리로 가열 공정, 변형 도입 공정 및 냉각 공정을 행하는 것이 가능해진다. 또한, 마찰 교반 접합의 기술을 이용하는 것에 의해, 모재를 국소적으로 가열하는 것, 및 모재에 국소적으로 변형을 도입하는 것이 용이해진다. 또한, 이 구성에 의하면, 회전 툴의 선단부의 이동 속도나, 회전 툴의 회전수를 조절하는 것에 의해, 냉각 속도를 제어하는 것이 용이해진다.

발명의 효과

[0012] 본 발명의 일실시 형태의 철강재의 제조 방법에 의하면, 고강도를 가지면서도 고연성을 가지는 철강재를 제조하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 실시 형태의 철강재의 제조 방법에 있어서의 마찰 교반 접합의 형태를 나타내는 사시도이다.

도 2는 도 1의 회전 툴의 사시도이다.

도 3은 실시 형태의 철강재의 공정을 나타내는 플로우 차트이다.

도 4는 철강재(1)의 상태도이다.

도 5는 철강재(2)의 CCT도이다.

도 6은 철강재에 있어서 변형이 도입되는 것에 의해, CCT도에서 펄라이트가 생성되는 영역과 마르텐사이트가 생성되는 영역이 변동하는 작용을 나타내는 도면이다.

도 7은 Zener-Hollomon 인자와 M_s점과의 관계를 나타내는 그래프 도면이다.

도 8은 Mo의 첨가에 의해 펄라이트가 생성되는 영역이 변동하는 작용을 나타내는 도이다.

도 9는 실시 형태의 철강재의 제조 방법에 있어서의 마찰 교반 접합의 다른 형태를 나타내는 사시도이다.

도 10은 실험예 1에 있어서의 철강재(1)의 화학적 조성을 나타내는 표이다.

도 11의 (a) ~ (d)는 실험예 1에 있어서의 철강재(1)의 교반부의 위상도(phase map)을 나타내고, 각각 회전 속도 100rpm, 200rpm, 300rpm 및 400rpm에서의 교반부의 위상도를 나타낸다.

도 12는 실험예 1에 있어서의 모재 및 각각의 회전 속도에 따른, 평행부의 폭이 5mm인 시료의 인장 강도를 나타내는 그래프 도면이다.

도 13는 실험예 1에 있어서의 모재 및 각각의 회전 속도에 따른, 평행부의 폭이 5mm인 시료의 연신을 나타내는 그래프 도면이다.

도 14는 실험예 1에 있어서의 모재, 회전 속도 100rpm에서의 시료 및 회전 속도 300rpm에서의 시료의 공칭 응력-공칭 소성 변형 곡선을 나타내는 그래프 도면이다.

도 15는 실험예 2에 있어서의 철강재(2) 및 철강재(3)의 화학적 조성을 나타내는 표이다.

도 16은 실험예 2에 있어서의 철강재(2)의 모재의 EBSD 상(相)분포 형상을 나타내는 도면이다.

도 17은 실험예 2에 있어서의 철강재(2)의 회전 속도 400rpm-접합 속도 100mm/min에서의 교반부의 EBSD 상분포 형상을 나타내는 도면이다.

도 18은 실험예 2에 있어서의 철강재(2)의 회전 속도 400rpm-접합 속도 400mm/min에서의 교반부의 EBSD 상분포 형상을 나타내는 도면이다.

도 19는 실험예 2에 있어서의 철강재(2)의 모재 및 회전 속도 400rpm-접합 속도 400mm/min에서의 공칭 응력-공칭 변형 곡선을 나타내는 그래프 도면이다.

도 20은 실험예 2에 있어서의 철강재(3)의 모재의 fcc 방위 맵을 나타내는 도면이다.

도 21은 실험예 2에 있어서의 철강재(3)의 회전 속도 200rpm-접합 속도 400mm/min에서의 모재의 fcc 방위 맵을 나타내는 도면이다.

도 22는 실험예 2에 있어서의 철강재(3)의 회전 속도 300rpm-접합 속도 400mm/min에서의 모재의 fcc 방위 맵을 나타내는 도면이다.

도 23은 실험예 2에 있어서의 철강재(3)의 회전 속도 400rpm-접합 속도 400mm/min에서의 모재의 fcc 방위 맵을 나타내는 도면이다.

도 24는 실험예 3에 있어서의 철강재(4)의 화학적 조성을 나타내는 표이다.

도 25는 실험예 3에 있어서의 여러 회전 속도에서의 교반부의 XRD 패턴을 나타내는 그래프 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 도면을 참조하여, 본 발명의 실시 형태에 대한 철강재의 제조 방법의 실시 형태에 대하여 상세하게 설명한다. 본 실시 형태에서는, 마찰 교반 접합의 기술을 이용하여 강도와 연성을 높인 철강재를 제조한다. 우선, 간단하게 마찰 교반 접합에 대해 설명한다.

[0015] 도 1에 나타내는 바와 같이, 마찰 교반 접합에서는, 판 형상의 철강재의 모재(1a, 1b)의 단부끼리를 맞대어 교반부(20)를 형성하고, 모재(1a, 1b)를 접합한다. 모재(1a, 1b)의 교반부(20) 상에, 회전 툴(100)의 선단의 프로브(102)를 접촉시키면서, 후술하는 소정의 조건에 의해 회전시키고, 또한 교반부(20)의 길이 방향을 따라서 회전 툴(100)을 후술하는 소정의 조건에 의해 이동시키는 것에 의해, 교반부(20)에 강도와 연성을 높인 철강재를 제조한다. 이 경우, 교반부(20)의 길이 방향을 따라서 2회 이상, 회전 툴(100)을 통과시키도록 해도 좋다.

[0016] 모재(1a, 1b)는, 예를 들면, 페라이트강, Cr-Mo강 및 고탄소강을 이용할 수 있다. 모재(1a, 1b)의 교반부(20) 상에는, 상황에 따라서 첨가재(10)를 충전할 수 있다. 첨가재(10)로서는, 가루 상태 또는 입자 상태로 한 C, Mn, Ni, Cr, Mo, W, V 및 Ta 등을 이용할 수 있다. 또한, 첨가재(10)로서는, 판 형상이나 얇은 시트 형상으로 한 C, Mn, Ni, Cr, Mo, W, V 및 Ta 등이 교반부(20) 상 혹은 교반부(20) 상 외의 모재(1a, 1b)의 표면에 배치되어 있어도 좋다. 혹은, 첨가재(10)는 교반부(20)에 한정되지 않고, 모재(1a, 1b)의 전체의 조성에 첨가되어 있어도 좋다.

[0017] 후술하는 바와 같이, 본 실시 형태에서는 교반부(20)의 냉각 속도가 중요하기 때문에, 교반부(20)의 상면 또는 하면에, 냉각된 냉매를 순환시키는 것에 의해 교반부(20)를 외부로부터 강제적으로 냉각하는 냉각 수단이 배치

되어 있어도 좋다. 이 경우의 냉각 수단으로서는, 예를 들면, 액체 CO_2, 액체 질소 및 물 등을 교반부(20)에 공급하는 것으로도 할 수 있다.

[0018] 본 실시 형태에서는, 도 2에 나타내는 회전 툴(100)을 준비한다. 회전 툴(100)은, 대략 원통 형상을 이루고, 선단의 쇼울더(shoulder)(101)보다 작은 직경의 대략 원기둥 형상의 프로브(102)를 구비하고 있다. 회전 툴(100)의 재질은, 예를 들면, 일본공업규격에 규격되어 있는 SKD61강 등의 공구강이나, 텅스텐 카바이트(WC)를 주성분으로 하는 초경합금, 또는 Si_3N_4 등의 세라믹스로 이루어지는 것으로 할 수 있다.

[0019] 이하, 상기한 마찰 교반 접합의 기술을 이용한 철강재의 제조 방법에 대해 설명한다. 도 3에 나타내는 바와 같이, 모재(1a, 1b)의 교반부(20) 상에 회전 툴(100)의 선단의 프로브(102)를 접촉시키면서 회전시키는 것에 의해, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)가, 오스테나이트가 출현하는 온도인 A_{C1}점 이상으로 가열된다(S101). 도 4의 철강재(1)의 상태도에 나타내는 바와 같이, 철강재(1) 등의 철강재는, A_{C1}점 이상의 온도로 가열되면 도면 중의 γ에 나타내는 영역에서 오스테나이트가 출현한다. 예를 들면, 철강재(1)에서는, A_{C1}점은 840℃가 된다. 철강재의 조직에 오스테나이트를 잔류시키는 것에 의해, 후술하는 바와 같이 고강도를 가지면서도 고연성을 가지는 철강재로 할 수 있다. 또한, 철강재의 조성마다의 A_{C1}점은 하기 수학식(1)에 의해 구할 수 있다. 또한, 마찰 교반 처리시에 있어서의 교반부(20)에의 입열량(Q)은 하기 수학식(2)에 의해 구할 수 있다.

수학식 1

[0020]
$$A_{C1}[℃] = 723 - 10.7Mn[mass\%] - 16.9Ni[mass\%] + 29.1Si[mass\%] + 16.9Cr[mass\%] + 290As[mass\%] + 6.38W[mass\%] \quad \cdots(1)$$

수학식 2

[0021]
$$Q = 4/3\pi^2 \mu PNR^3 \cdot 1/t \cdot 1/v \quad \cdots(2)$$

[0022] μ: 마찰계수, P: 교반부의 압력,

[0023] N: 회전 툴의 회전 속도,

[0024] R: 쇼울더의 직경, t: 교반부의 판 두께

[0025] v: 회전 툴의 이동 속도

[0026] 그러나, 도 5의 철강재(2)가 연속하여 냉각되었을 때의 상변태를 시간 및 온도의 좌표 평면상에 나타낸 CCT도(Continuous Cooling Transformation diagram: 연속 냉각 변태선도)에 나타내는 바와 같이, A_{C1}점을 초과하는 온도로부터 실온 근처까지 철강재가 냉각되면, 오스테나이트에서 마르텐사이트나, 오스테나이트에서 페라이트 또는 펄라이트로의 변태가 생긴다. 도 5에 나타내는 바와 같이, 빠른 냉각 속도의 냉각 곡선 Cr1~Cr3에 의해 마르텐사이트가 출현하는 온도인 M_s점 미만으로 냉각된 철강재에서는, 도면 중의 M의 영역에 나타내는 바와 같이, 오스테나이트로부터, 인성이 떨어지는 마르텐사이트로의 변태가 생긴다. 또한, 느린 냉각 속도의 냉각 곡선 Cr4~Cr8에 의해 페라이트가 출현하는 온도인 F_s점이나, 펄라이트가 출현하는 온도인 P_s점보다 낮은 온도로 냉각된 철강재에서는, 도면 중의 F나 P의 영역으로 나타내는 바와 같이, 오스테나이트에서 페라이트나 펄라이트로의 변태가 생긴다. 이 때문에, 일반적으로 가열 처리 후에 실온까지 냉각된 철강재의 조직에는 오스테나이트는 잔류하고 있지 않다. 또한, 철강재의 조성마다의 M_s점은 하기 수학식(3)에 의해 구할 수 있다.

수학식 3

[0027] $$M_S[℃] = 539 - 423C[mass\%] - 30.4Mn[mass\%] - 17.7Ni[mass\%] - 12.1Cr[mass\%] - 7.5Mo[mass\%] \quad \ldots(3)$$

[0028] 여기서 본 실시 형태에서는, 도 3에 나타내는 바와 같이, 모재(1a, 1b)의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 M_f점이, 철강재가 사용되는 온도 미만으로 저하하는 것으로 추정되는 양의 변형이 모재(1a, 1b)의 교반부(20)에 도입되는 것에 의해, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 조직에 오스테나이트가 잔류한다(S102). 도 6에 나타내는 바와 같이, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)에 변형이 도입되면, 마르텐사이트가 출현하는 온도인 M_s점이 저하한다. M_s점의 저하에 수반하여, M_s점보다 낮은 온도이며 모재(1a, 1b)의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 미도시의 M_f점도 저하한다. 변형량이 충분히 큰 경우는, M_f점 및 M_s점의 양쪽 모두, 실온(20℃)보다 낮은 온도로 저하한다. 이것에 의해, 철강재가 사용되는 온도가 실온이라도, 모재(1a, 1b)의 조직에 오스테나이트를 잔류시키는 것이 가능해진다. 또한, 본 실시 형태에서는, M_f점을 철강재가 사용되는 온도 미만으로 저하시키는 것에 의해 철강재가 사용되는 온도에서 오스테나이트를 잔류시키는 것이 가능하지만, 철강재의 조직 전체면에 오스테나이트를 잔류시키기 위해서, M_s점을 철강재가 사용되는 온도 미만으로 저하시킬 수 있다.

[0029] 본 실시 형태에서는, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)에의 변형의 도입은, 모재(1a, 1b)의 교반부(20) 상에 회전 툴(100)의 선단의 프로브(102)를 접촉시키면서 회전시키는 것에 의해, A_{C1}점 이상에서의 가열과 동시에 하나의 처리로 행할 수 있다. 이러한 마찰 교반 접합의 기술을 이용하여 도입되는 변형의 양은, 하기 수학식(4)에 의해 구할 수 있다. 또한 하기 수학식(4)에 있어서, ε는 변형(하기 수학식 중에서는 ε을 시간으로 미분한 단위 시간 당의 변형의 도입량인 변형 속도)이며, R_m는 회전 툴(100)의 회전 속도의 1/2의 값이며, r_e는 교반부(20)의 유효(평균) 반경이며, L_e는 교반부(20)의 유효(평균) 깊이이다. 이들 값은, 회전 툴(100)의 회전 속도, 쇼울더(101)의 직경, 프로브(102)의 직경 및 프로브(102)의 길이를 조정하는 것에 의해 제어할 수 있다.

수학식 4

[0030] $$\dot{\varepsilon} = \frac{R_m \cdot 2\pi r_e}{L_e} \quad \ldots(4)$$

[0031] 그러나, 변형의 도입에 의한 M_f점 및 M_s점을 저하시키는 효과는 모재(1a, 1b)의 온도가 높아질수록 저하한다. 여기서, 하기 수학식(5)에 나타내는 바와 같이 온도에 따른 보상을 곱한 Zener-Hollomon 인자 Z가, 변형의 도입에 따른 M_f점 및 M_s점을 저하시키는 효과를 산출하기 위하여 이용된다. 도 7에 나타내는 바와 같이, Zener-Hollomon 인자 Z의 자연대수의 감소에 수반하여 M_s점은 저하하는 것을 알 수 있다. 또한, 하기 수학식(5)에서, R은 1mol의 기체 정수이며, T_C는, 철의 퀴리 온도이다.

수학식 5

[0032] $$Z = \dot{\varepsilon}\exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad \ldots(5)$$
$$Q: 241kj \cdot mol^{-1}(T > T_C), 254kj \cdot mol^{-1}(T < T_C)$$

[0033] 도 3으로 돌아와서, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)가, 철강재가 사용되는 온도로 냉각된다(S103). 여기서, 도 6에 나타내는 바와 같이, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)에 변형이 도입되고, M_f점 및 M_s점이 저하하면, 동시에 펄라이트가 생성되는 영역도 확대된다. 도 6에 나타내는 CCT도상의 모재(1a, 1b)의 교반부(20)에 펄라이트가 생성되는 영역 내에서 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 냉각이 종료되면, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 조직이 펄라이트가

되고 오스테나이트가 잔류하지 않을 가능성이 있다.

[0034] 여기서, 본 실시 형태에서는, 도 6에 나타내는 바와 같이, CCT선도상의 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 마르텐사이트가 생성되는 영역에 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 냉각 곡선을 외삽한 선이 교차하는 것으로 추정되는 냉각 속도에 의해서, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)는 적어도 M_f점보다 높고, 예를 들면 M_s점보다도 높은 온도로 냉각된다(S103). 이것에 의해, 냉각 후의 모재(1a, 1b)의 교반부(20)에 오스테나이트가 잔류한다.

[0035] 또한, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 냉각시에 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 시간에 대한 온도의 함수를 나타내는 선이 펄라이트가 생성되는 영역에 교차한다고 해도, 최종적으로 펄라이트가 생성되는 영역 외에서 냉각이 종료되면 오스테나이트는 잔류한다. 그러나, 철강재의 조직 전체면에 오스테나이트를 잔류시키기 위하여, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 냉각시에 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 시간에 대한 온도의 함수를 나타내는 선이 펄라이트가 생성되는 영역과 교차하지 않을 수가 있다.

[0036] 본 실시 형태에서는, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 냉각은, 모재(1a, 1b)의 교반부(20) 상에 회전 툴(100)의 선단의 프로브(102)를 접촉시키면서 회전시킨 상태에서 회전 툴(100)의 선단을 교반부(20)를 따라서 이동시키는 것에 의해, 교반부(20)에의 가열과 변형의 도입과 동시에 하나의 처리로 행할 수 있다. 회전 툴(100)의 회전 속도 또는 이동 속도(접합 속도)를 증가시키는 것에 의해 냉각 속도를 증가시키고, 회전 툴(100)의 회전 속도 또는 이동 속도(접합 속도)를 감소시키는 것에 의해 냉각 속도를 감소시킬 수 있다.

[0037] 다음에 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 표본을 채취하고, 표본의 조직의 검사가 행해진다(S104). 표본의 검사는, 예를 들면, EBSD(Electron Back-Scatter Diffraction: 전자 후방 산란 회절)나, XRD(X-ray Diffraction: X선 회절)에 의해 행할 수 있다. 검사된 표본의 조직 중에 오스테나이트가 잔류하고 있는 경우는(S105), 다음의 철강재를 제조할 때에, S102에서 도입되는 변형량과 S103에서의 냉각 속도의 조건인 회전 툴(100)의 쇼울더(101)의 직경, 프로브(102)의 직경, 프로브(102)의 길이, 회전 속도 및 이동 속도가 유지된다(S106).

[0038] 검사된 표본의 조직 중에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 마르텐사이트가 생성되고 있는 경우는(S105), S102에 있어서 M_s점 및 M_f점이 충분히 저하하지 않고 있는 것이 추정된다. 이 경우, 다음의 철강재를 제조할 때에, S102에 있어서, 변형량의 증가, 및 모재(1a, 1b)에의 첨가재(10) 중의 C, Mn, Ni, Cr 및 Mo 등의 오스테나이트 안정화 원소의 양의 증가 중 적어도 어느 한 쪽이 행해진다(S107). 변형량의 증가는, 상기 수학식(4), (5)의 변형 ε 혹은 Zener-Hollomon 인자 Z의 증대에 의해 실현된다. 구체적으로는, 회전 툴(100)의 회전수의 증가, 쇼울더(101)의 직경의 증가 및 프로브(102)의 직경의 증가에 의해서, 변형량을 증대시킬 수 있다. 또한, 마찰 교반 처리에 있어서의 교반부(20)의 온도를 저하시키는 것에 의해서, 변형량을 증대시킬 수 있다.

[0039] 또한, 상기 수학식(3)에 나타낸 바와 같이, M_s점은 특히 C의 첨가량이 많을 수록 저하하기 때문에, 첨가재(10) 중의 C의 양의 증가에 의해, M_s점을 더 저하시키는 것이 가능해진다. M_f점에 대해서도 동일하다. 또한, M_s점 및 M_f점을 저하시키는 효과는, C의 첨가량이 가장 영향이 크기 때문에, 첨가재(10) 중의 C의 양을 제어하는 것에 의해, M_s점 및 M_f점의 저하의 정도를 제어할 수 있다. 그러나, 첨가재(10) 중의 Mn, Ni, Cr 및 Mo의 어느 하나의 양을 증대시키는 것에 의해서도, M_s점 및 M_f점의 저하의 정도를 증대시킬 수 있다.

[0040] 검사된 표본의 조직 중에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되고 있는 경우는(S105), S103에 있어서 냉각 속도가 너무 낮거나, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역이 너무 확대되어 있기 때문에, 도 6에 나타내는 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역에서 냉각이 종료되고 있는 것이 추정된다. 이 경우, 다음의 철강재를 제조할 때에, S103에 있어서, 냉각 속도의 증가, 및 모재(1a, 1b)에의 첨가재(10) 중의 Mo, W, V 및 Ta 등 Fe보다도 원자 반경이 큰 원소 등의 확산 변태를 저해하는 원소의 양의 증가 중 적어도 어느 한 쪽이 행해진다(S108). 냉각 속도의 증가는, 회전 툴(100)의 회전 속도 또는 이동 속도(접합 속도)를 증가시키는 것에 의해 실현된다. 혹은, 모재(1a, 1b)의 교반부(20)의 상부 또는 하부에 설치된 냉각 수단에 의한 냉각량을 증대시키는 것에 의해 실현된다. 이 냉각 수단으로서는, 액체 CO_2의 사용량의 증가 등에 의해, 외부로부터의 강제적인 냉각량을 증대시킬 수 있다.

[0041] 또한, 도 8에 나타내는 바와 같이, 펄라이트 또는 페라이트가 생성되는 영역은, 모재(1a, 1b)에의 첨가재(10) 중의 Mo, W, V 및 Ta 등 Fe보다도 원자 반경이 큰 원소 등의 확산 변태를 저해하는 원소의 양이 많을수록 감소한다. 이것은, 도 6에 나타내는 바와 같이, 교반부(20)에 변형이 도입되면, 이에 따라 펄라이트 또는 페라이트가 생성되는 영역이 증대하지만, Mo, W, V 및 Ta와 같이 Fe보다 큰 원자가 첨가되어 있으면, 확산 변태가 저해

되고 펄라이트 또는 페라이트가 생성되는 영역이 증대하는 작용이 억제된다고 생각된다. 그 때문에, 첨가재(10) 중의 Mo, W, V 및 Ta 등의 확산 변태를 저해하는, Fe보다도 원자 반경이 큰 원소의 양을 증가시키는 것에 의해, 동일한 냉각 속도라도, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역이 아니라, 오스테나이트가 잔류하는 영역에서 냉각을 종료시킬 수 있다.

[0042] 이상과 같이 하여 제어된 조건에 의해, 다음의 철강재가 제조된다(S109). 또한, S105에 있어서, 오스테나이트가 잔류하고 있는 경우라도, 마르텐사이트가 생성되고 있는 경우에는 S107의 공정을 행하고, 페라이트 또는 펄라이트가 생성하고 있는 경우에는 S108의 공정을 행하는 것에 의해, 다음의 철강재의 제조에 있어서, 보다 많이 오스테나이트가 잔류하고 있는 철강재를 제조할 수 있다.

[0043] 본 실시 형태에서는, 철강재의 모재(1a, 1b)가 오스테나이트가 출현하는 온도인 A_{C1}점 이상으로 가열된다(S101). 이것에 의해, 모재(1a, 1b)에 오스테나이트를 출현시킬 수 있다. 모재(1a, 1b)의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 온도인 M_f점이 실온 미만으로 저하하는 것으로 추정되는 양의 변형이 모재에 도입된다(S102). 이 때문에, 실온으로 철강재가 냉각되었을 때에 철강재의 조직 전체면이 마르텐사이트가 되는 것을 방지할 수 있다.

[0044] 모재(1a, 1b)에 변형을 도입하면, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역도 확대된다. 그러나, 철강재의 모재가 연속하여 냉각되었을 때의 상변태를 시간 및 온도의 좌표 평면상에 나타낸 연속 냉각 변태선도(CCT선도: Continuous Cooling Transformation diagram)의 마르텐사이트가 생성되는 영역에 모재(1a, 1b)의 시간에 대한 온도의 함수인 냉각 곡선을 외삽한 선이 교차하는 것으로 추정되는 냉각 속도에 의해, 모재(1a, 1b)가 실온으로 냉각된다(S103). 이 때문에, 제조된 철강재의 조직에는 실온에서 오스테나이트가 잔류한다.

[0045] 오스테나이트가 잔류된 철강재에 외부 응력이 인가되었을 경우, 변형을 받은 오스테나이트가 경질인 마르텐사이트로 변태하고, 변형을 받은 부분의 강도가 향상한다. 그 결과, 이 부분의 변형이 억제되고, 상대적으로 저강도인 미변태의 오스테나이트의 부분에 변태가 전파되는 TRIP 효과가 생긴다. 이 때문에, 고강도를 가지면서도 고연성을 가지는 철강재를 제조할 수 있다.

[0046] 본 실시 형태에서는, 철강재의 전체의 화학적 조성에 의해 고강도 및 고연성을 가지는 철강재로 하는 것이 아니라, 철강재의 모재에 대해서 전체적 또는 국소적으로 처리를 가하는 것으로, 고강도 및 고연성을 가지는 철강재로 하는 것이 가능하다. 예를 들면, 자동차의 구조 부재의 특정 부위에 있어서는, 충돌시의 충격에 대해서, 고강도에 의해 차체의 형상을 유지하면서, 고연성에 의해 충격을 흡수하여 차를 탄 사람을 보호하는 것이 필요하다. 그렇지만, 본 실시 형태에 의하면, 철강재의 모재의 특정 부위에 국소적인 처리를 가하여, 특정 부위만 고강도 및 고연성을 갖게 하는 것이 가능하다. 이러한 본 실시 형태의 철강재를 자동차의 구조 부재에 적용한 경우는, 충돌시의 변형 중에 서서히 강도가 상승하기 때문에, 충돌시의 차를 탄 사람에 대한 충격을 저감할 수 있다. 따라서, 본 실시 형태의 처리가 실시된 자동차의 구조 부재는 우수한 충돌 안전성을 나타내는 것을 기대할 수 있다. 그 때문에, 본 실시 형태의 산업상의 이용성은 극히 높다.

[0047] 또한, 본 실시 형태에서는, 모재(1a, 1b)의 조직을 검사하는 공정을 더 포함한다(S104). 모재의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 마르텐사이트가 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는(S105), 실온에 대해서 충분히 M_f점이 저하하지 않고 있는 것이 추정된다. 여기서, 다음에 철강재를 제조할 때에, S102에 있어서의 모재(1a, 1b)에 도입하는 변형의 양의 증가, 및 모재(1a, 1b)에의 C, Mn, Ni, Cr 및 Mo 등의 오스테나이트 안정화 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽이 행해진다(S107). 이것에 의해, 실온에 대해서 충분히 M_f점을 저하시켜서, 오스테나이트를 잔류시킬 수 있다.

[0048] 또한, 모재(1a, 1b)의 조직에 오스테나이트가 잔류하고 있지 않고, 페라이트 및 펄라이트 중의 어느 한 쪽이 생성되고 있는 것이 판명되었을 때는(S105), CCT선도 상에 있어서의 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역을 회피하기 위해서는, 냉각 속도가 너무 낮거나, 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역이 너무 확대되어 있는 것이 추정된다. 여기서, 다음에 철강재를 제조할 때에, S103에 있어서의 냉각 속도의 증가, 및 모재(1a, 1b)에의 Mo, W, V 및 Ta 등 Fe보다도 원자 반경이 큰 원소 등의 확산 변태를 저해하는 원소의 첨가량의 증가 중 적어도 어느 한 쪽이 행해진다(S108). 이것에 의해, CCT선도 상에 있어서의 페라이트 또는 펄라이트가 생성되는 영역을 회피하여, 오스테나이트를 잔류시킬 수 있다.

[0049] 또한, 본 실시 형태에서는, 모재(1a, 1b)에 봉 형상의 회전 툴(100)의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴(100)을 회전시키는 것에 의해, 모재(1a, 1b)의 가열 및 모재(1a, 1b)에의 변형의 도입을 행하고, 모재(1a, 1b)에 회전 툴(100)의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴(100)을 회전시킨 상태에서 회전 툴(100)의 선단부를 이동시키는 것에

의해, 모재(1a, 1b)의 냉각을 행한다. 이러한 마찰 교반 접합의 기술을 이용하는 것에 의해, 하나의 처리로 가열, 변형의 도입 및 냉각을 행하는 것이 가능해진다. 또한, 마찰 교반 접합의 기술을 이용하는 것에 의해, 모재(1a, 1b)를 국소적으로 가열하는 것, 및 모재(1a, 1b)에 국소적으로 변형을 도입하는 것이 용이해진다. 또한, 본 실시 형태에서는, 회전 툴(100)의 선단부의 이동 속도나, 회전 툴(100)의 회전수를 조절하는 것에 의해, 냉각 속도를 제어하는 것이 용이해진다.

[0050] 또한, 본 발명은 상기 실시 형태로 한정되지 않고, 여러 가지 변형 형태가 가능하다. 예를 들면, 상기 실시 형태에서는, 모재(1a, 1b)에 회전 툴(100)의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴(100)을 회전시킨 상태에서 회전 툴(100)의 선단부를 이동시키는 것에 의해, 모재(1a, 1b)끼리를 접합하고, 접합에 의한 교반부(20)에 철강재를 생성시키는 형태를 주로 설명했다. 그러나, 본 발명의 다른 실시 형태에서는, 모재(1a, 1b)에 회전 툴(100)의 선단부를 접촉시키면서 회전 툴(100)을 회전시킨 상태에서 회전 툴(100)의 선단부를 단수 혹은 복수의 부위에서 정지시키는 스팟형의 마찰 교반 접합의 기술에 의해, 교반부(20)에 철강재를 생성시켜도 좋다. 이 경우, 모재(1a, 1b)의 냉각은, 회전 툴(100)의 선단부를 모재(1a, 1b)로부터 떨어뜨리는 것으로 행할 수 있다. 냉각 속도의 제어는, 회전 툴(100)의 인발 속도 및 회전 속도 등을 조절하는 것에 의해 행할 수 있다.

[0051] 혹은, 도 9에 나타내는 바와 같이, 판 형상의 모재(1a, 1b)를 중첩하고, 그 사이에 분말 상태 또는 입자 상태의 첨가재(10)를 충전하거나, 판 형상 또는 시트 형상의 첨가재(10)를 배치하여 교반부(20)로 하고, 회전 툴(100)을 모재(1a)에 접촉시키면서 회전시키고, 모재(1a) 위를 이동시키는 것에 의해, 교반부(20)를 교반하는 중첩 접합과 유사한 형태로 마찰 교반 처리를 행해도 좋다. 이 경우도, 회전 툴(100)의 이동을 수반하지 않는 스팟형의 마찰 교반 처리로 할 수 있다.

[0052] 혹은, 모재끼리의 접합을 수반하지 않고, 단일의 모재(1a)의 표면에 분말 상태, 입자 상태, 판 형상 또는 시트 형상의 첨가재(10)를 공급한 후에, 회전 툴(100)을 모재(1a)에 접촉시키면서 회전시키고, 모재(1a) 위를 이동시키는 것으로써, 교반부(20)를 교반하는 것에 의해, 교반부(20)의 조직을 개질하여 교반부(20)에 철강재를 생성시켜도 좋다. 이 경우도, 회전 툴(100)의 이동을 수반하지 않는 스팟형의 마찰 교반 처리로 할 수 있다. 또한, 상기한 여러 가지 마찰 교반 접합 및 마찰 교반 처리에 있어서는, 필요가 없는 경우에는 첨가재(10)의 배치를 생략할 수 있다.

[0053] 또한, 상기 실시 형태에 있어서는, 마찰 교반 처리를 이용하는 것에 의해, 고강도와 고연성을 가지는 철강재를 제조하는 형태를 설명했다. 그러나, 본 발명의 실시 형태는 이것으로 한정되지 않고, 철강재의 모재에의 가열, 변형의 도입 및 냉각을 본 발명의 실시 형태에서 규정한 조건에 합치하도록 행하는 것으로, 마찰 교반 처리 이외에도 고강도와 고연성을 가지는 철강재를 제조하는 것이 가능하다. 예를 들면, 철강재의 모재의 가열은 소정의 열원 등에 의해서도 행할 수 있다. 또한, 철강재의 모재에의 변형의 도입은 압연 및 단조 등의 처리에 의해서도 행할 수 있다. 또한, 철강재의 모재의 냉각은 소정의 냉각 수단에 의해 행할 수 있다.

[0054] (실험예 1)

[0055] 이하, 본 실시 형태의 실험예에 대하여 설명한다. 도 10에 나타내는 화학적 조성을 가지는 철강재(1)에 대해서, 마찰 교반 접합의 기술을 이용하여 접합부에 철강재를 생성했다. 회전 툴로서는, WC의 초경합금 툴을 사용했다. 나사를 가지지 않는 원기둥 형상의 프로브 및 10° 의 오목 경사를 가지는 쇼울더를 특징으로 하는 단순 형상의 툴을 이용했다. 길이 200㎜×폭 50㎜×두께 1.5㎜의 철강재(1)의 평판의 단부끼리를 맞대고, 마찰 교반 접합에 의해 접합했다. 접합 조건은, 쇼울더의 직경=12㎜, 프로브의 직경=4㎜, 프로브의 길이=1.3㎜, 회전 툴의 기울기=3° 로 했다. 회전 속도는 100~400rpm으로 하고, 접합 속도는 100㎜/min로 일정하게 했다. 철강재(1)는 750℃ 이상이면 급격하게 연화하기 쉬워지기 때문에 하중을 가능한 한 감소시켜서 접합을 행했다. 접합시는 회전 툴 및 교반부의 산화 방지를 위해서 실드 가스로서 아르곤 가스를 30ℓ/min의 유량으로 사용했다. 회전 툴 및 접합 장치의 냉각을 위해서 수냉의 쿨링 홀더를 장착했다.

[0056] 교반부의 검사를 행했다. 도 11(a)~(d)의 위상도에 나타내는 바와 같이, 철강재(1)의 모재의 조직은 페라이트 및 템퍼링 마르텐사이트이지만, 회전 속도의 증가에 수반하여, 도면 중에서 흑색, 회색, 백색의 3색 중에서 회색으로 나타나는 잔류 오스테나이트의 양이 증가하고 있는 것이 확인할 수 있다.

[0057] 모재 및 각 회전 속도에 따라 얻어진 접합 이음매에 대해서, 시험편의 평행부의 폭을 5㎜로 하여 인장 시험을 행했다. 도 12에 나타내는 바와 같이, 잔류 오스테나이트의 양이 많은 회전 속도 300rpm 및 400rpm의 접합 이음매는, 모재(BM) 및 다른 회전 속도에서 얻어진 접합 이음매에 비하여 인장 강도가 증대하고 있는 것이 알 수 있다. 또한, 도 13에 나타내는 바와 같이, 잔류 오스테나이트의 양이 많은 회전 속도 300rpm 및 400rpm의 접합 이

음매는, 인장 강도가 향상되어 있음에도 불구하고, 모재(BM) 및 다른 회전 속도에서 얻어진 접합 이음매에 비하여 연신도 증대하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 도 14에 나타내는 바와 같이, 잔류 오스테나이트의 양이 많은 회전 속도 300rpm의 접합 이음매는, 모재나 회전 속도 100rpm의 접합 이음매에 비하여 강도 및 연성의 양쪽 모두가 향상된 것이 되는 것을 알 수 있다.

[0058] (실험예 2)

[0059] 도 15에 나타내는 화학적 조성을 가지는 철강재(2) 및 철강재(3)에 대하여, 마찰 교반 접합의 기술을 이용하여 접합부에 철강재를 생성했다. 접합 조건은, 쇼울더의 직경=12㎜, 프로브의 직경=4㎜, 프로브의 길이=1.4㎜로 했다. 접합 조건으로서는, 회전 툴의 회전 속도=200~400rpm, 접합 속도=100, 400㎜/min, 회전 툴로부터 모재에의 접합 하중=1500~3300kg, 철강재(2) 및 철강재(3)의 판 두께=1.6㎜로 했다. 철강재(2)에 대해서는, 회전 속도 400rpm으로 일정하게 하고, 접합 속도를 100 및 400㎜/min으로 변화시켰다. 철강재(3)에 대해서는, 접합 속도를 400㎜/min으로 일정하게 하고, 회전 속도를 200, 300 및 400rpm으로 변화시켰다.

[0060] 접합부를 EBSD에 의해 검사했다. 도 16에 나타내는 철강재(2)의 모재와, 도 17에 나타내는 철강재(2)의 회전 속도 400rpm- 접합 속도 100㎜/min의 조건에서의 접합부에서는, 도면 중에 회색으로 나타나는 잔류 오스테나이트가 적은 것을 알 수 있다. 한편, 도 18에 나타내는 철강재(2)의 회전 속도 400rpm- 접합 속도 400㎜/min의 조건에서의 접합부에서는, 도면 중에 회색으로 나타나는 잔류 오스테나이트가 많은 것을 알 수 있다. 모재 및 각 접합 속도에 따라 얻어진 접합 이음매에 대하여, 인장 시험을 행했다. 도 19에 나타내는 바와 같이, 잔류 오스테나이트의 양이 많은 접합 속도 400㎜/min의 접합 이음매는, 모재에 비해 강도 및 연성의 양쪽 모두가 향상된 것이 되는 것을 알 수 있다.

[0061] 또한, 도 21에 나타내는 철강재(3)의 회전 속도 400rpm- 접합 속도 100㎜/min의 조건에서의 접합부에서는, 도 20, 도 22~23에 나타내는 철강재(3)의 모재나 다른 회전 속도에서의 접합부에 비하여, 도면 중에 밝은 색으로 나타나는 잔류 오스테나이트가 많은 것을 알 수 있다.

[0062] (실험예 3)

[0063] 도 24에 나타내는 화학적 조성을 가지는 철강재(4)에 대해서, 마찰 교반 접합의 기술을 이용하여 접합부에 철강재를 생성했다. 판 두께=2㎜, 회전 툴의 회전 속도=100~400rpm으로 하고, 회전 툴의 이동 속도는 100㎜/min으로 일정하게 했다. 회전 툴은, 초경합금제이며, 쇼울더의 직경=12㎜, 프로브의 직경=4㎜, 프로브의 길이=1.8㎜로 했다. 얻어진 접합부를 XRD에 의해 검사했다. 도 25에 나타내는 바와 같이, 회전 속도가 증가하면 잔류 오스테나이트(γ)의 피크가 커져 있는 것을 알 수 있다.

[0064] 본 발명의 일실시 형태의 제조 방법에 의하면, 고강도를 가지면서도 고연성을 가지는 철강재를 제조하는 것이 가능해진다.

부호의 설명

[0065] 1a, 1b: 모재

10: 첨가재

20: 교반부

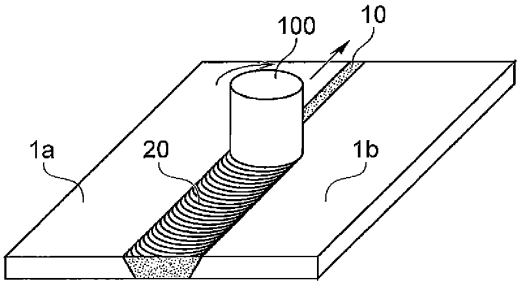
100: 회전 툴

101: 쇼울더

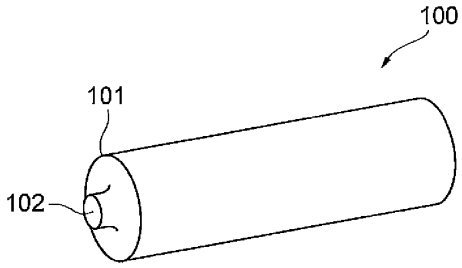
102: 프로브

도면

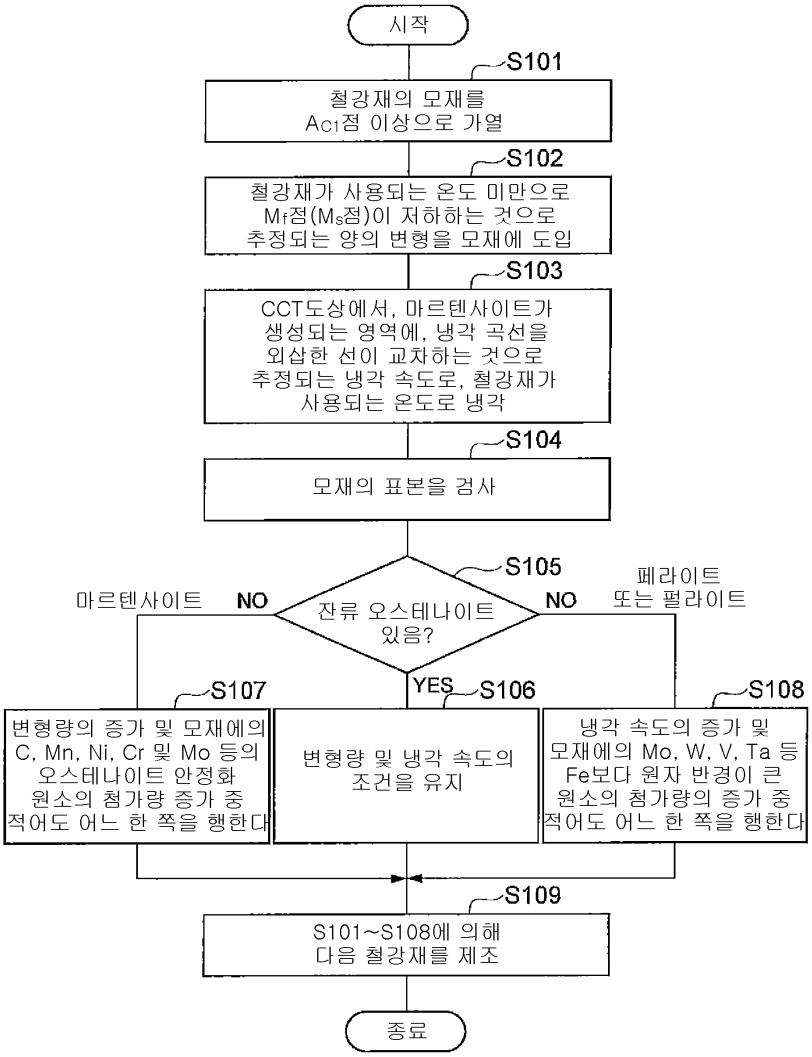
도면1



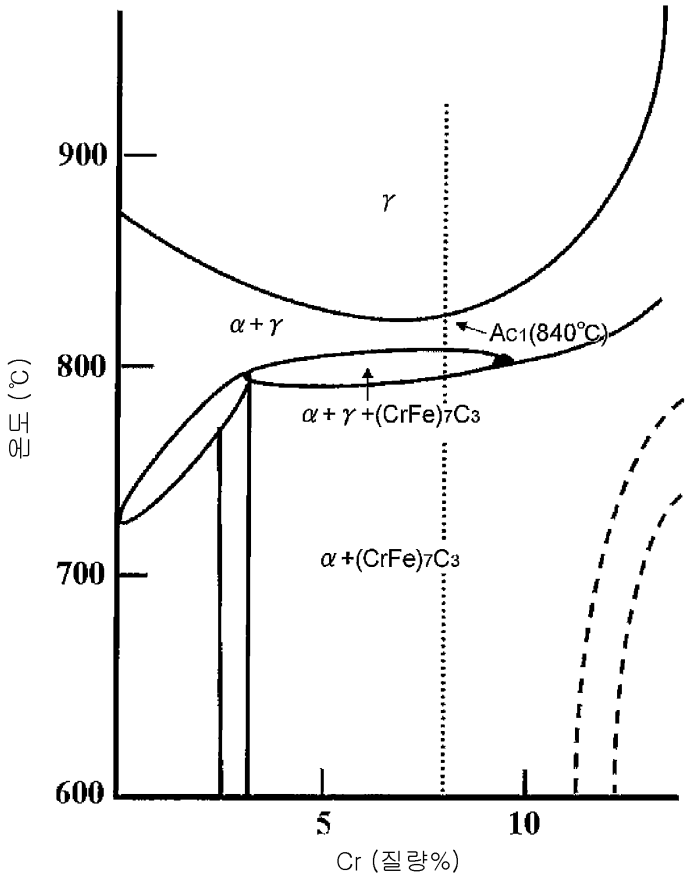
도면2



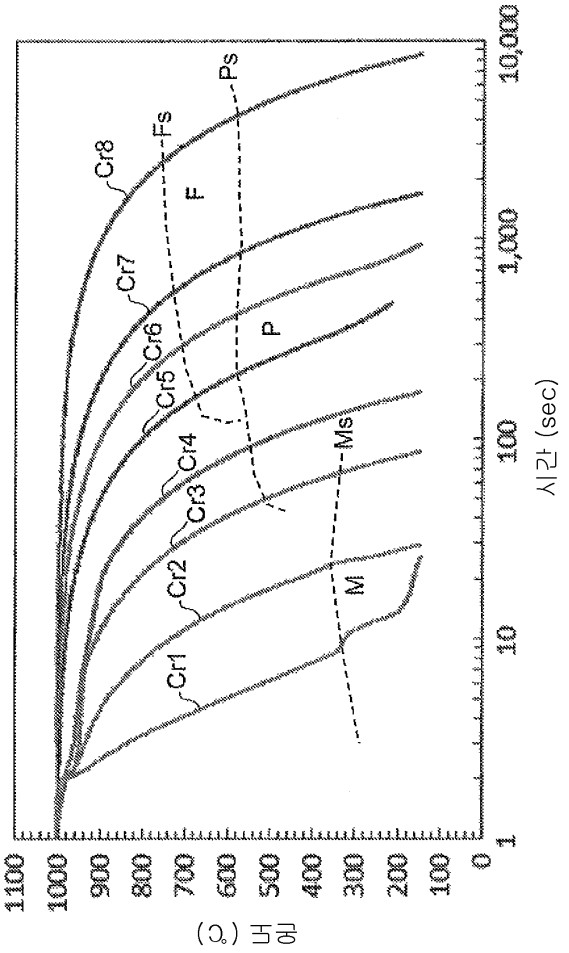
도면3


시작
S101
철강재의 모재를
A_{C1}점 이상으로 가열
S102
철강재가 사용되는 온도 미만으로
M_f점(M_s점)이 저하하는 것으로
추정되는 양의 변형을 모재에 도입
S103
CCT도상에서, 마르텐사이트가
생성되는 영역에, 냉각 곡선을
외삽한 선이 교차하는 것으로
추정되는 냉각 속도로, 철강재가
사용되는 온도로 냉각
S104
모재의 표본을 검사
S105
잔류 오스테나이트
있음?
마르텐사이트
NO
NO
페라이트
또는 펄라이트
YES
S107
변형량의 증가 및 모재에의
C, Mn, Ni, Cr 및 Mo 등의
오스테나이트 안정화
원소의 첨가량 증가 중
적어도 어느 한 쪽을 행한다
S106
변형량 및 냉각 속도의
조건을 유지
S108
냉각 속도의 증가 및
모재에의 Mo, W, V, Ta 등
Fe보다 원자 반경이 큰
원소의 첨가량의 증가 중
적어도 어느 한 쪽을 행한다
S109
S101~S108에 의해
다음 철강재를 제조
종료

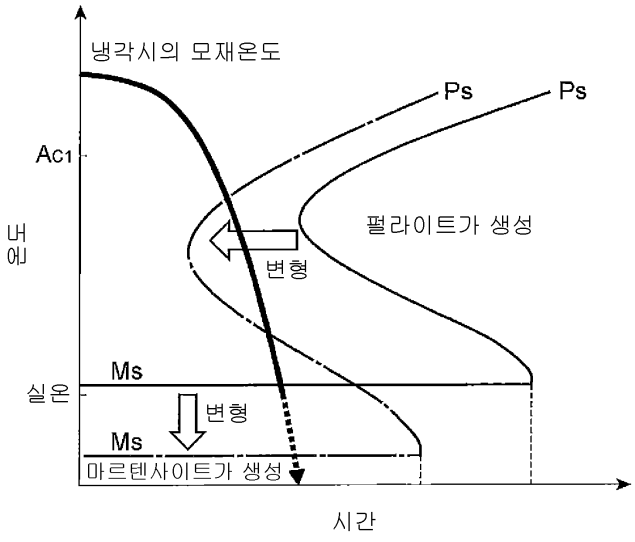
도면4



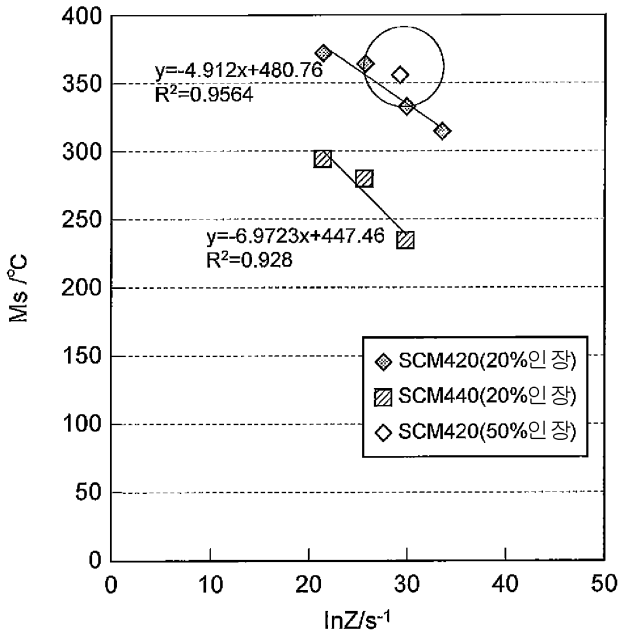
도면5


Ps
Fs
Cr8
Cr7
Cr6
Cr5
Cr4
Cr3
Cr2
Cr1
F
P
Ms
M
10,000
1,000
100
10
1
시간 (sec)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
(℃) 도공

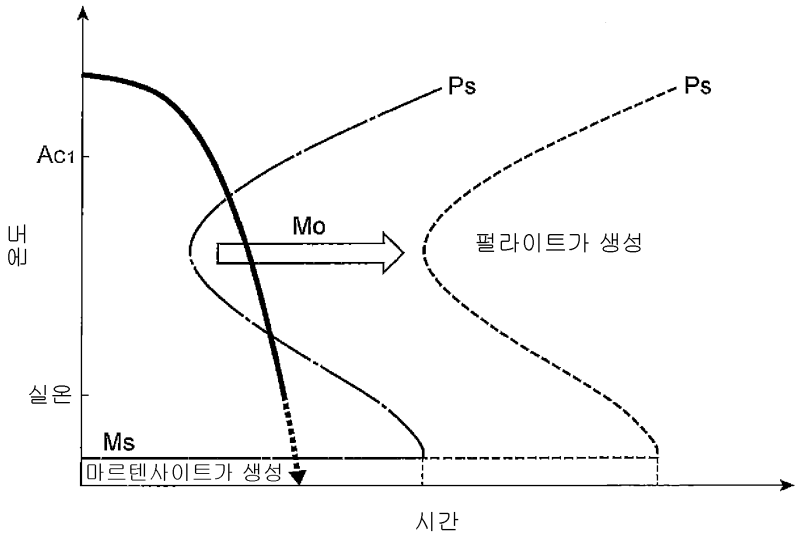
도면6


냉각시의 모재온도
Ps
Ps
Ac1
펄라이트가 생성
변형
Ms
실온
변형
Ms
마르텐사이트가 생성
시간

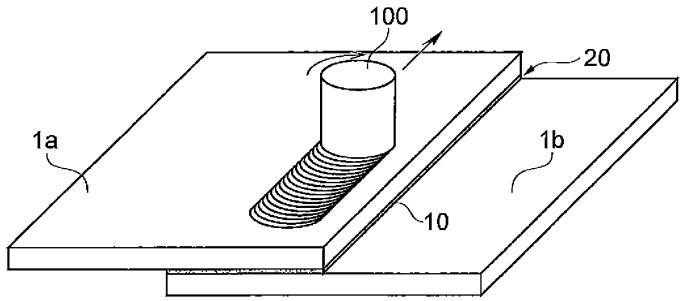
도면7


400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
10
20
30
40
50
Ms /°C
lnZ/s-1
y=-4.912x+480.76
R²=0.9564
y=-6.9723x+447.46
R²=0.928
SCM420(20%인 장)
SCM440(20%인 장)
SCM420(50%인 장)

도면8


Ps
Ps
Ac1
Mo
펄라이트가 생성
온도
실온
Ms
마르텐사이트가 생성
시간

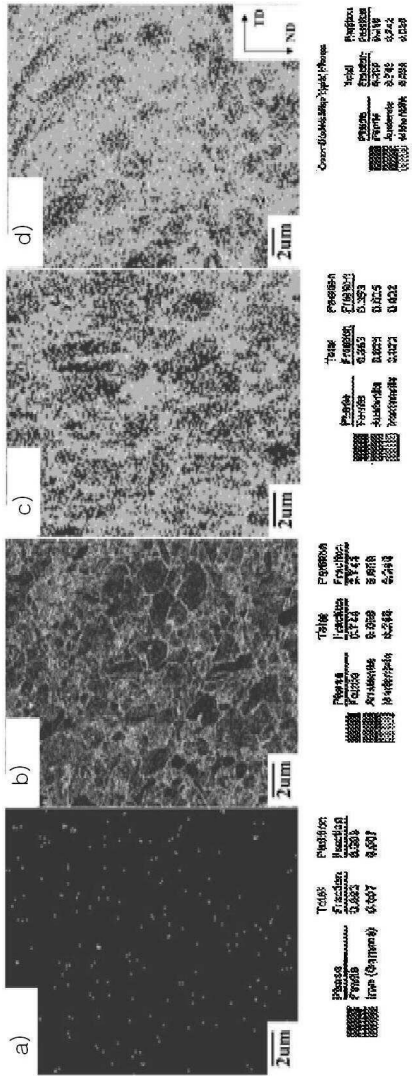
도면9


100
20
1a
1b
10

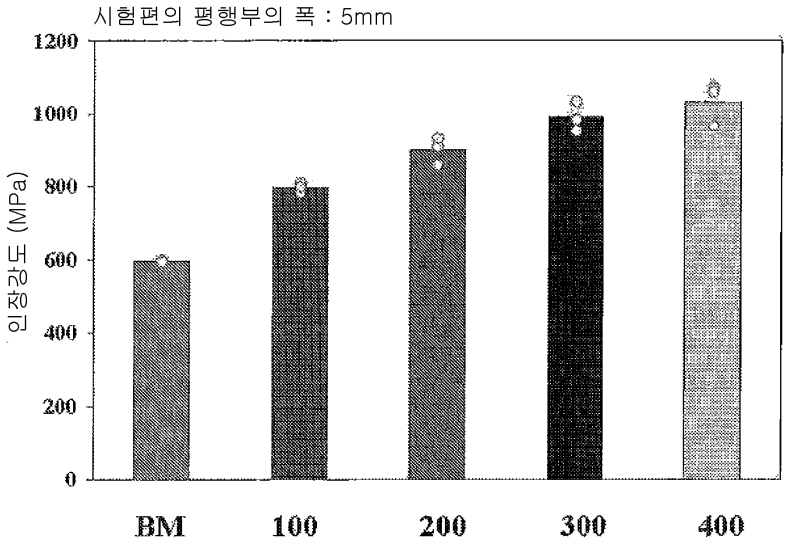
도면10

종류	화학적 조성 (질량%)				
	C	Cr	W	V	Ta
철강재1	0.1	8	2	0.2	0.04

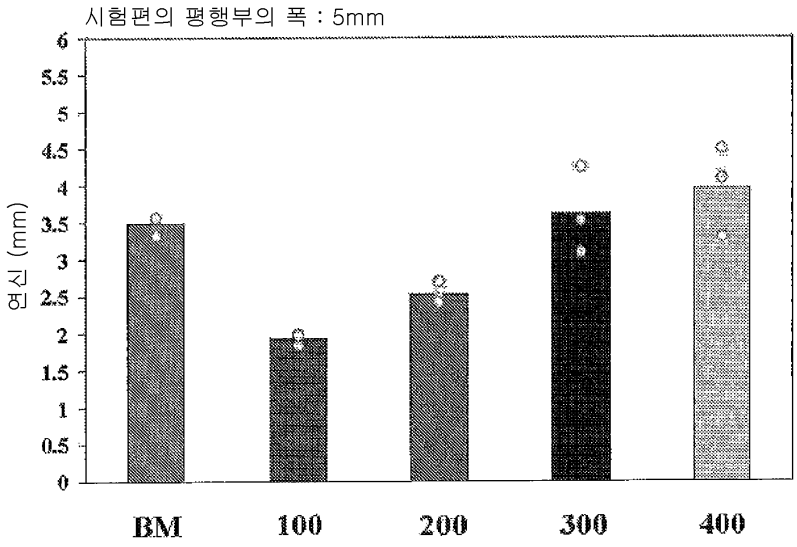
도면11



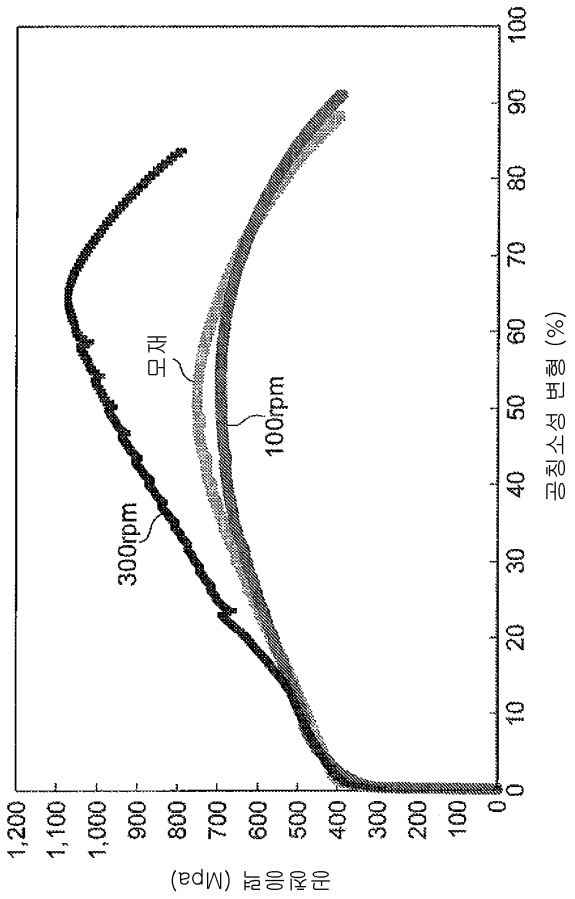
도면12


시험편의 평행부의 폭 : 5mm
인장강도 (MPa)
1200
1000
800
600
400
200
0
BM
100
200
300
400

도면13


시험편의 평행부의 폭 : 5mm
연신 (mm)
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
BM
100
200
300
400

도면14

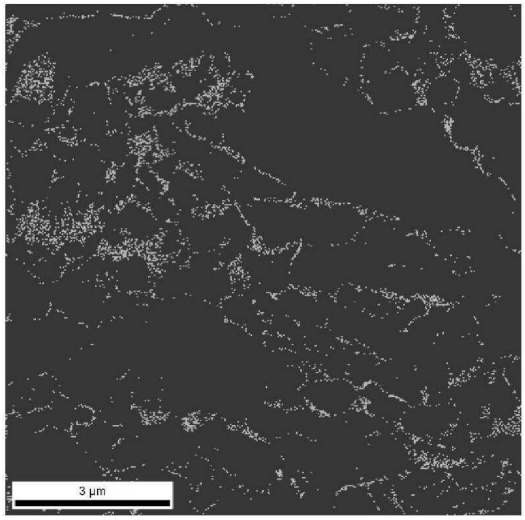

1,200
1,100
1,000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
공칭응력 (Mpa)
공칭소성 변형 (%)
300rpm
모재
100rpm

도면15

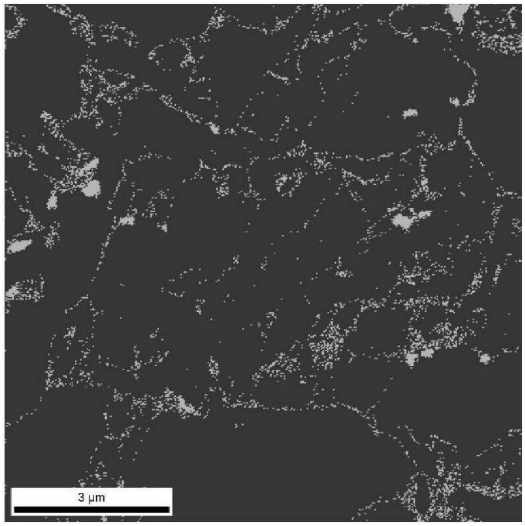
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo
철강재2	잔부	0.202	0.237	0.608	0.008	0.000	0.103	1.07	0.16
철강재3	잔부	0.397	0.165	0.674	0.015	0.005	0.151	1.11	0.15

mass%

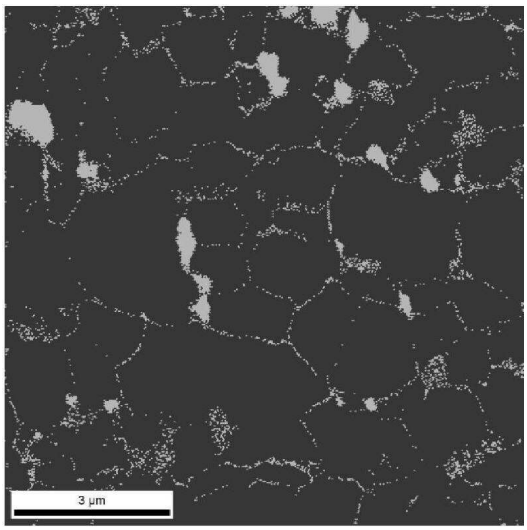
도면16



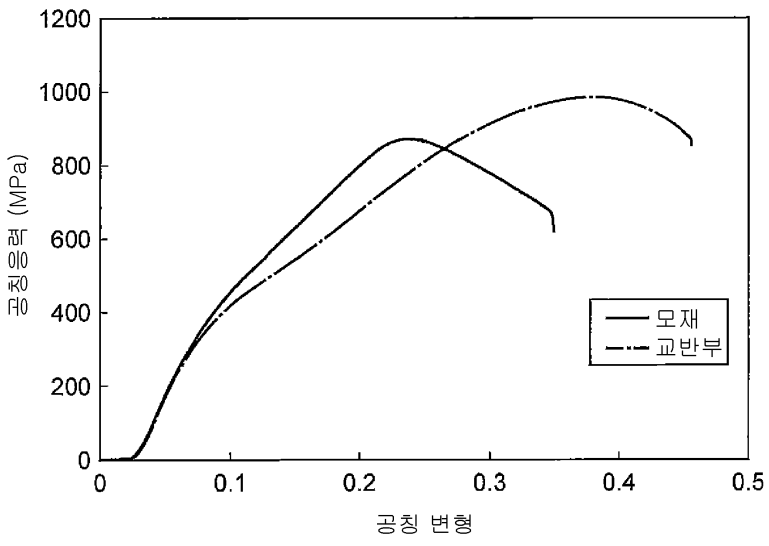
도면17



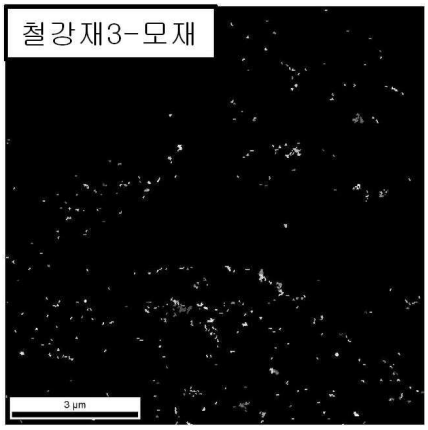
도면18



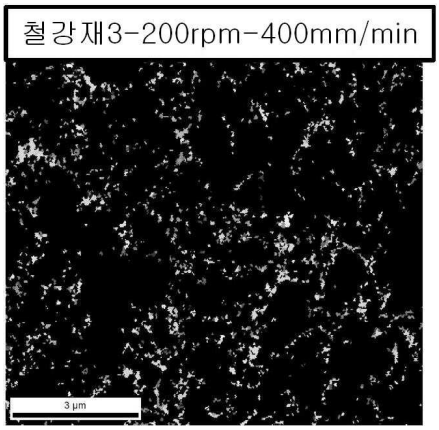
도면19



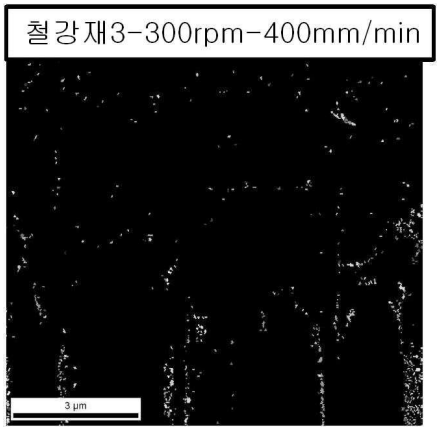
도면20



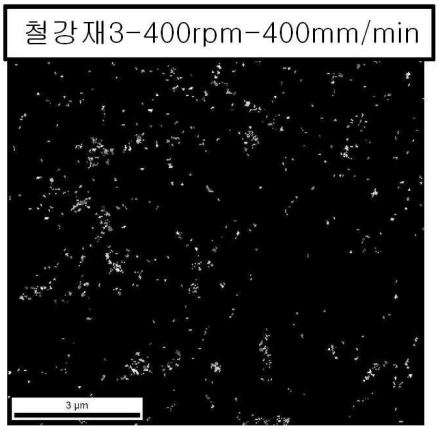
도면21



도면22



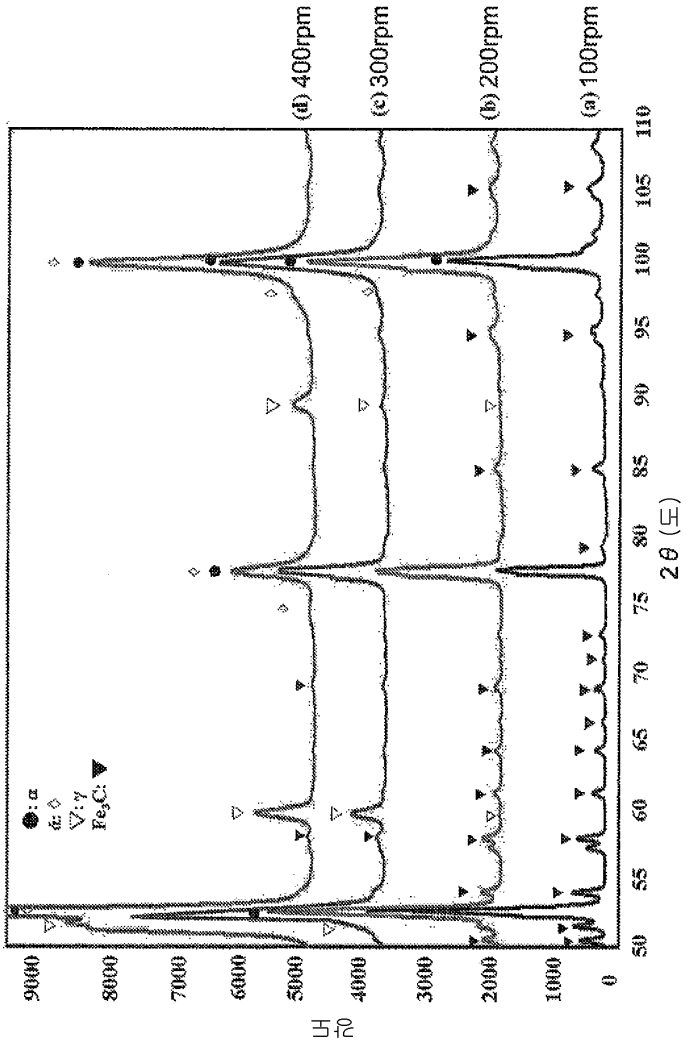
도면23



도면24

물질	화학적 조성 (질량%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
철강재4	0.95	0.19	0.42	0.017	0.003	0.147	0.01	0.01	잔부

도면25


(d) 400rpm
(c) 300rpm
(b) 200rpm
(a) 100rpm
●: α
ε: ◇
▽: γ
Fe3C: ▼
강도
2θ (도)
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110