(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0034055
(43) 공개일자 2023년03월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 1/28 (2006.01) *G01N 1/32* (2006.01)
G01N 3/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 1/28 (2013.01)
G01N 1/286 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0117181
(22) 출원일자 2021년09월02일
심사청구일자 2021년09월02일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
성효경
경남 진주시 진주역로96번길 15
김상식
경남 진주시 새평거로 30
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김종석

전체 청구항 수 : 총 17 항

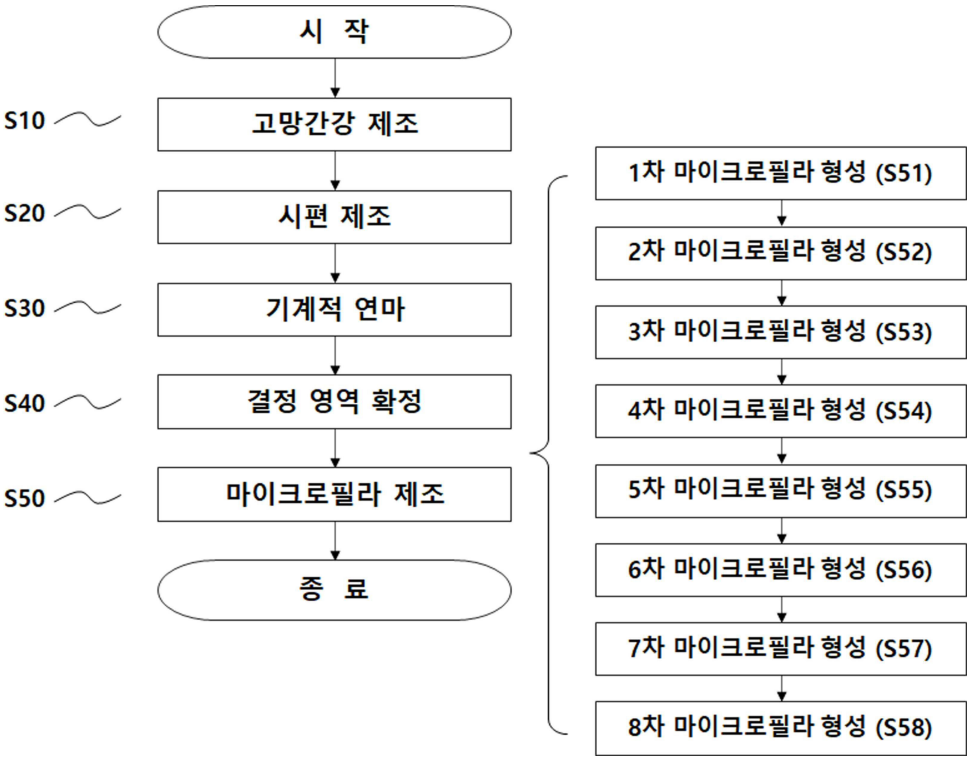
(54) 발명의 명칭 **마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법 및 이를 이용한 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편**

(57) 요 약

본 발명은 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법 및 이를 이용한 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편에 관한 것으로, 고망간강의 변형 거동을 확인하기 위해 특정 방위를 가진 결정에 마이크로필라 시편을 제조하여 미세영역 물성을 용이하게 평가할 수 있는 기술에 관한 것

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도5



이다.

본 발명에 따른 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법은, 0.6 중량% 탄소(C), 24.5 내지 25 중량% 망간(Mn), 잔부 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 고망간강을 제조하는 제1단계; 상기 제조된 고망간강을 가공하여 시편을 제조하는 제2단계; 상기 시편을 기계적으로 연마하는 제3단계; 상기 연마된 시편을 SEM을 통해 마이크로필라를 만들고자 하는 특정 방위를 가지는 결정 영역을 확정하는 제4단계; 상기 확정된 결정 영역에 대해 단결정에 FIB(Focused ion beam)를 조사하여 마이크로필라를 제조하는 제5단계;를 포함하여 제조되는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류
G01N 1/32 (2013.01)
G01N 3/08 (2013.01)
G01N 2203/0019 (2013.01)
G01N 2203/0073 (2013.01)

(72) 발명자
김정기
경남 진주시 내동로348번길 10
여태형
경남 진주시 호탄길13번길 13
이재현
서울 강동구 고덕로62길 76

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711113639
과제번호 2018R1A5A6075959
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원(R&D)
연구과제명 메카트로닉스 융합 부품 소재 연구센터
기 여 율 40/100
과제수행기관명 창원대학교
연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711127291
과제번호 2020R1C1C1006214
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명 항공용 금속 3D 프린팅 소재의 피로 수명 예측 연구
기 여 율 30/100
과제수행기관명 경상대학교
연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415173136
과제번호 20010502
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원
연구사업명 소재부품기술개발(R&D)
연구과제명 조선해양플랜트용 550Mpa급 라이저강관 제조 기술 개발
기 여 율 30/100
과제수행기관명 주식회사 하이스틸
연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

0.6 중량% 탄소(C), 24.5 내지 25 중량% 망간(Mn), 잔부 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 고망간강을 제조하는 제1단계;

상기 제조된 고망간강을 가공하여 시편을 제조하는 제2단계;

상기 시편을 기계적으로 연마하는 제3단계;

상기 연마된 시편을 SEM을 통해 마이크로필라를 만들고자 하는 특정 방위를 가지는 결정 영역을 확정하는 제4단계;

상기 확정된 결정 영역에 대해 단결정에 FIB(Focused ion beam)를 조사하여 마이크로필라를 제조하는 제5단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제3단계에서 기계적 연마는 사포로 굵은 연마(coarse polishing)를 진행 후, 현탁물(suspension)을 통해 미세 연마(fine polishing)를 진행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제5단계는 상기 확정된 결정 영역에 대해,

내부지름(L1) 9.6 내지 10.4 ㎛, 외부지름(L2) 34.6 내지 35.6 ㎛ 및 높이(H) 9.8 내지 10.2 ㎛로 1차 마이크로필라를 형성하는 제5-1단계;

내부지름(L1) 8.6 내지 9.4 ㎛, 외부지름(L2) 17.6 내지 18.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 2차 마이크로필라를 형성하는 제5-2단계;

내부지름(L1) 6.4 내지 7.4 ㎛ 및 외부지름(L2) 8.4 내지 9.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 3차 마이크로필라를 형성하는 제5-3단계;

내부지름(L1) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 외부지름(L2) 6.4 내지 7.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 4차 마이크로필라를 형성하는 제5-4단계;

내부지름(L1) 5.1 내지 5.9 ㎛ 및 외부지름(L2) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 5차 마이크로필라를 형성하는 제5-5단계;

내부지름(L1) 4.1 내지 4.9 ㎛ 및 외부지름(L2) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 6차 마이크로필라를 형성하는 제5-6단계;

내부지름(L1) 3.2 내지 4.0 ㎛ 및 외부지름(L2) 3.6 내지 4.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 7차 마이크로필라를 형성하는 제5-7단계;

내부지름(L1) 3.0 내지 3.8 ㎛ 및 외부지름(L2) 3.6 내지 4.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 8차 마이크로필라를 형성하는 제5-8단계; 를 순차적으로 FIB(Focused ion beam)를 조사하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 제5-1단계에서 1차 마이크로필라를 형성시,

상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 8 내지 12 nA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 제5-2단계에서 2차 마이크로필라를 형성시,

상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 0.8 내지 1.2 nA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 6

제 3항에 있어서,

상기 제5-3단계에서 3차 마이크로필라를 형성시,

상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 0.8 내지 1.2 nA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 7

제 3항에 있어서,

상기 제5-4단계에서 4차 마이크로필라를 형성시,

상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 480 내지 520 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 8

제 3항에 있어서,

상기 제5-5단계 및 제5-6단계에서 5차 및 6차 마이크로필라를 형성시,

상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 230 내지 270 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 9

제 3항에 있어서,

상기 제5-7단계에서 7차 및 8차 마이크로필라를 형성시,

상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 130 내지 170 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 제조되는 마이크로필라는 지름이 2 내지 4 ㎛ 인 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 제조되는 마이크로필라는 종횡비(aspect ratio)가 2 내지 4인 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 12

제 1항에 있어서,

상기 제조되는 마이크로필라는 높이가 6 내지 10 ㎛ 인 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 13

제 1항에 있어서,

상기 제조되는 마이크로필라의 테이퍼(taper) 각도가 3° 보다 작은 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법.

청구항 14

0.6 중량% 탄소(C), 24.5 내지 25 중량% 망간(Mn), 잔부 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 고망간강을 FIB(Focused ion beam)를 조사하여 제조된 마이크로필라는 지름이 2 내지 4 ㎛인 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 마이크로필라는 종횡비(aspect ratio)가 2 내지 4인 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편.

청구항 16

제 14항에 있어서,

상기 마이크로필라는 최대강도가 600 MPa인 것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편.

청구항 17

제 14항에 있어서,

상기 마이크로필라는 100 cycle 조건의 피로압축시험에서 최대 651 MPa의 응력으로 압축시험을 하였을 때, 100 cycle 이후 소성변형률(ε_p)이 1.02%것을 특징으로 하는 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법 및 이를 이용한 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편에 관한 것으로, 고망간강의 변형 거동을 확인하기 위해 특정 방위를 가진 결정에 마이크로필라 시편을 제조하여 미세영역 물성을 용이하게 평가할 수 있는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 고망간강은 함유 금속 원소 가운데 망간을 11-14% 함유하는 합금강으로, 강 중에 첨가함으로써 강 재료의 강도를 향상시키는 이점이 있다. 고망간강은 내충격성, 내마모성이 우수하다. 고망간강은 차세대 자동차용 강판으로 강도가 높고 성형성이 우수하여 많은 관심을 받고 있으며, 자동차용 구조부재로 사용되고 있다.

[0004] 자동차 산업에서는 구조물의 경량화를 만족시키기 위해 고강도강인 고망간강 (high manganese steel)이 주로 사용되며, 고망간강은 쌍정유기소성(twinning induced plasticity, TWIP) 의 특성에 의해 성형성 또한 우수하여 자동차 부품에 사용되는 최적의 재료이다.

[0005] 이러한 고망간강을 구조부재에 적용하기 위해서는 시험평가를 통해 물성을 확인하는 것이 중요하다. 결정 방위마다 다른 물성을 가지고 있는 고망간강의 전체적인 물성을 평가하기 위해서는 특정 방위에서의 물성평가가 중요하다. 따라서 본 발명은 항공 산업에서 요구되는 고망간강의 시험 평가 수단인 마이크로필라 제조방법을 제공하여 고망간강의 시험평가의 새로운 이해를 돕고자 한다.

[0006] 고망간강의 경우, 다결정 재료로서 여러 가지의 방위를 가진 결정이 존재하고 결정 방위에 따라 물성이 달라진다. Bulk 재료의 시험 평가시 특정 방위의 결정의 물성을 이해하는데 어려움이 있으며, 시험 평가를 한 후 구조부재로서 사용이 불가능하다는 단점이 있다.

[0007] 고망간강의 EBSD 분석을 통해 고망간강의 결정 방위를 확인하고, 각 결정 방위에 마이크로필라를 제작하여 변형 거동을 확인하고 데이터를 확보하여 전체적인 고망간강의 물성 평가가 가능하다. 또한, 표면 물성만 확인할 수 있는 나노인덴테이션을 마이크로필라를 통해 전체 물성을 확인할 수 있게 돕는다.

[0008] 종래의 경우, 선행기술 문헌 특허문헌 1과 같이 금속 재료의 피로 시험을 통해 피로 특성을 평가하는 방법에 대해 공개되어 있다. 그러나 다결정 내 특정 방위의 단결정에서 피로시험을 하는 마이크로 단위의 시험평가 방법의 구축이 필요하다. 따라서 본 발명은 FIB(focus ion bean) 밀링을 이용하여 고망간강에 대하여 내부의 특정 바위에서 원하는 형상의 마이크로필라를 제조할 수 있다. 또한, 소재마다 밀링의 정도가 다르기 때문에 마이크로필라 제조시 적절한 이온 빔 전압(voltage)과 전류(current)의 조절이 중요하다. 본 발명에서는 다결정 내 특정 방위의 단결정에서 물성 평가를 위해 고망간강 내부의 마이크로필라를 형성하고, 이를 형성하기 위한 구체적인 이온 빔 전압과 전류를 제공하고자 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1723442호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해서 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 다결정 내 특정 방위의 단결정에서 피로시험을 하는 마이크로 단위의 시험평가 방법에 적합한 고망간강의 마이크로필라를 제공하는데 그 목적이 있다.

[0012] 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명에 따른 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법은,

[0015] 0.6 중량% 탄소(C), 24.5 내지 25 중량% 망간(Mn), 잔부 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 고망간강을 제조하는 제1단계;

[0016] 상기 제조된 고망간강을 가공하여 시편을 제조하는 제2단계;

[0017] 상기 시편을 기계적으로 연마하는 제3단계;

[0018] 상기 연마된 시편을 SEM을 통해 마이크로필라를 만들고자 하는 특정 방위를 가지는 결정 영역을 확정하는 제4단계;

[0019] 상기 확정된 결정 영역에 대해 단결정에 FIB(Focused ion beam)를 조사하여 마이크로필라를 제조하는 제5단계;를 포함하여 제조되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0021] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 다결정 내 특정 방위의 단결정에서 피로시험을 하는 마이크로 단위의 시험평가 방법에 적합한 고망간강의 마이크로필라를 제공할 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 고망간강의 마이크로필라를 제조방법을 제공하고, 이를 이용하여 나노인덴테이션으로 시험평가하여 고망간강의 마이크로필라의 강도를 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법을 나타낸 모식도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 제조된 마이크로필라 형태의 고망간강 시편의 SEM 이미지이다.

도 3은 본 발명의 비교예에 따라 테이퍼(taper) 각도가 3° 를 초과하여 제조된 마이크로필라 형태의 고망간강 시편 이미지이다.

도 4는 본 발명의 비교예에 따라 본 발명의 기준보다 높은 이온빔전류로 제조된 마이크로필라 형태의 이미지(a)이고, 본 발명의 기준보다 낮은 높이로 제조된 마이크로필라 형태의 이미지(b)이다.

도 5는 본 발명의 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0026] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0027] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 “포함”한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.

[0028] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0029] 본 발명에 대한 해결하고자 하는 과제, 과제의 해결 수단, 발명의 효과를 포함한 구체적인 사항들은 다음에 기재할 실시 예 및 도면들에 포함되어 있다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0030] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0032] 도 1 및 도 5에 나타난 바와 같이, 본 발명인 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법은 아래 단계에 의해 수행된다.

[0033] 먼저, 제1단계(S10)는 고망간강을 제조한다. 보다 구체적으로, 상기 고망간강은 0.6 중량% 탄소(C), 24.5 내지 25 중량% 망간(Mn), 잔부 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물을 포함한다.

[0035] 다음으로, 제2단계(S20)는 시편을 제조한다. 보다 구체적으로, 상기 시편은 상기 제1단계(S10)에서 제조된 고망간강을 가공하여 제조한다.

[0036] 상기 시편은 길이를 2 내지 3 ㎜로 제조하는 것이 바람직하다. 상기 시편 길이가 2 ㎜ 보다 작게 되면 마이크로필라 제조가 매우 불편할 수 있고, 3 ㎜ 보다 시편이 크게 되면 마이크로필라를 제조함에 있어 시편을 FIB(Focused ion beam) 장비에 넣고 55° 기울였을 때 시편이 FIB 총(gun) 또는 빔 총(beam gun)에 접촉될 수 있는 위험성이 있기 때문에 상기 조건으로 제조하는 것이 바람직하다.

[0038] 다음으로, 제3단계(S30)는 상기 시편을 기계적으로 연마한다. 보다 구체적으로, 상기 기계적으로 연마는 220, 400, 800, 1000, 1200, 1500 및 2000 방 사포로 굵은 연마(coarse polishing)를 진행하고, 이후 3 ㎛ 및 1 ㎛ 다이아몬드 현탁물(diamond suspension) 및 아교질 규토 현탁물(colloidal silica suspension)을 통해 미세 연마(fine polishing)를 진행한다.

[0040] 다음으로, 제4단계(S40)는 결정 영역을 확정한다. 보다 구체적으로, 상기 제4단계(S40)는 상기 제3단계(S30)에서 연마된 시편을 EBSD(후방산란전자 회전패턴분석기, Electron Back Scatter Diffraction, 이하 EBSD)을 통해 마이크로필라를 만들고자 하는 특정 방위를 가지는 결정 영역을 확정하는 것으로, 상기 결정 영역은 상기 EBSD를 통하여 미세조직을 관찰하게 되면 각 입자(Grain)별 특정방위가 다른 색으로 표현이 되며 그것을 통해 특정 방위를 선택하여 마이크로필라를 제조한다.

[0042] 다음으로, 제5단계(S50)는 마이크로필라를 제조한다. 보다 구체적으로, 상기 마이크로필라는 상기 제4단계(S40)에서 확정된 결정 영역에 대해 단결정에 FIB(Focused ion beam)를 조사하여 제조한다.

[0043] 도 1에 나타난 바와 같이, 상기 SEM과 FIB(Focused ion beam) 사이 각도는 55° 를 유지하면서 상기

FIB(Focused ion beam)를 조사한다. 상기 사이 각도는 FIB gun에 최대한 근접시키기 위함이므로 상기 조건을 유지하는 것이 바람직하다.

[0044] 상기 제5단계(S50)는, 도 5에 나타난 바와 같이, 아래 단계에 의해 순차적으로 진행된다. 상기 마이크로필라 제작 시, 낮은 전류 값으로 밀링하면 필라 크기가 크게 감소하고 깊이가 늘어나게 되며, 마지막 단계에서 필라가 가늘어지면 전체 모양에 손상될 수 있으므로 각 단계에 따른 FIB 조건(current, voltage)이 중요하다. 한번에 높은 전류로 밀링하게 되는 경우 마이크로필라가 손상을 받을 수 있으므로 아래 단계와 같이 전류를 달리하여 순차적으로 진행하는 것이 바람직하다.

[0045] 먼저, 제5-1단계(S51) 1차 마이크로필라를 형성한다. 상기 1차 마이크로필라는 내부지름(L1) 9.6 내지 10.4 ㎛, 외부지름(L2) 34.6 내지 35.6 ㎛ 및 높이(H) 9.8 내지 10.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-1단계(S51)에서 1차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 8 내지 12 nA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다. 상기 1차 마이크로필라는 나노인덴테이션 팁의 크기가 20 μm 인 것을 고려하여 팁이 눌러졌을 때 마이크로필라 이외 다른 영역에 접촉되지 않게 하기 위해서 상기 내부지름(L1) 9.6 내지 10.4 ㎛, 외부지름(L2) 34.6 내지 35.6 ㎛ 및 높이(H) 9.8 내지 10.2 ㎛의 조건으로 제조한다.

[0046] 다음으로, 제5-2단계(S52)는 2차 마이크로필라를 제조한다. 상기 2차 마이크로필라는 내부지름(L1) 8.6 내지 9.4 ㎛, 외부지름(L2) 17.6 내지 18.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-2단계(S52)는 2차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 0.8 내지 1.2 nA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0047] 다음으로, 제5-3단계(S53)는 3차 마이크로필라를 제조한다. 상기 3차 마이크로필라는 내부지름(L1) 6.4 내지 7.4 ㎛ 및 외부지름(L2) 8.4 내지 9.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-3단계(S53)는 3차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 0.8 내지 1.2 nA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0048] 다음으로, 제5-4단계(S54)는 4차 마이크로필라를 제조한다. 상기 4차 마이크로필라는 내부지름(L1) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 외부지름(L2) 6.4 내지 7.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-4단계(S54)는 4차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 480 내지 520 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0049] 다음으로, 제5-5단계(S55)는 5차 마이크로필라를 제조한다. 상기 5차 마이크로필라는 내부지름(L1) 5.1 내지 5.9 ㎛ 및 외부지름(L2) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-5단계(S55)는 5차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 230 내지 270 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0050] 다음으로, 제5-6단계(S56)는 6차 마이크로필라를 제조한다. 상기 6차 마이크로필라는 내부지름(L1) 4.1 내지 4.9 ㎛ 및 외부지름(L2) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-6단계(S56)는 6차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 230 내지 270 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0051] 다음으로, 제5-7단계(S57)는 7차 마이크로필라를 제조한다. 상기 7차 마이크로필라는 내부지름(L1) 3.2 내지 4.0 ㎛ 및 외부지름(L2) 3.6 내지 4.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-7단계(S57)는 7차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 130 내지 170 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0052] 다음으로, 제5-8단계(S58)는 8차 마이크로필라를 제조한다. 상기 8차 마이크로필라는 내부지름(L1) 3.0 내지 3.8 ㎛ 및 외부지름(L2) 3.6 내지 4.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 제조한다. 상기 제5-8단계(S58)는 8차 마이크로필라 형성 시, 상기 FIB(Focused ion beam)는 28 내지 32 keV의 전압 및 130 내지 170 pA의 전류로 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0053] 상기 제5-1단계(S51) 내지 5-8단계(S58)를 통해 처음에는 큰 마이크로필라를 제작하고 전류(current)을 바꾸면서 추가적인 밀링(milling)을 진행하여 최종적으로 원하는 형상과 크기의 마이크로필라를 제조하는데, 이때 단계별로 FIB의 전압 및 전류를 바꾸어 마이크로필라의 크기에 따라서 손상이 되지 않고 가장 잘 밀링(milling)되는 적정값으로 상기 전압 및 전류로 설정한다.

[0054] 상기 제5단계(S50)를 순차적으로 실시함을 통해, 도 2(a)의 홀(hall)이 생성됨을 알 수 있다.

[0056] 상기 전압이 30 keV 미만이면 마이크로필라의 제조 시간이 너무 오래 걸리거나 상기 마이크로필라의 높이가 너무 낮은 문제점이 있고, 도 4(a)에 나타난 바와 같이 상기 전압이 30 keV를 초과하면 제조된 마이크로필라의 구조가 손상되는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 전류가 0.15 nA 미만이면 마이크로필라의 제조 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 있고, 상기 전류가 10 nA 초과하면 도 4(a)에 나타난 바와 같이 제조된 마이크로필라의 구조가 손상되는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0057] 도 2(b)에 나타난 바와 같이, 상기 제5단계(S50)에서 제조된 마이크로필라는 내부지름(L1)이 2 내지 4 ㎛ 인 것을 특징으로 한다. 상기 단결정에서의 물성을 확인을 용이하게 하기 위해 상기 마이크로필라는 지름이 2 내지 4 ㎛ 으로 되도록 제작하는 것으로, 평균 입자(grain)의 크기가 6 ㎛임을 고려하였을 때 단결정에서 상기 마이크로필라를 만들기 위해 상기 조건이 가장 적합하다. 평균 입자 크기는 재료에 따라 달라지는 값이며 입자의 크기에 맞춰 상기 마이크로필라의 크기를 정하는 것이 중요하다.

[0059] 또한, 상기 제5단계(S50)에서 제조된 마이크로필라는 종횡비(aspect ratio)가 2 내지 4인 것을 특징으로 한다. 상기 마이크로필라의 종횡비는 높이(H)/내부지름(L1)을 의미하는 비율로, 상기 종횡비가 4를 초과하여 제조하는 경우 상기 마이크로필라의 얇기가 너무 얇아져서 시험평가(압축시험 및 피로시험)를 할 시 힘을 견디지 못해 파괴가 발생하여 변형 거동(barreling, buckling 등)을 관찰하지 못하게 된다. 따라서 상기 조건으로 제조하는 것이 단결정에서의 변형 거동을 관찰하기에 적합하다. 도 2(b)는 최종 마이크로필라의 내부지름(L1)이 2 내지 4 ㎛ 범위 내로 들어갔으며, 높이(H)가 9.03 ㎛ 이고, 내부지름(L1)이 2.46 ㎛로, 상기 종횡비(aspect ratio)가 2 내지 4임을 확인할 수 있다.

[0061] 또한, 상기 제5단계(S50)에서 제조된 마이크로필라는 높이(H)가 6 내지 10 ㎛ 인 것을 특징으로 한다. 상기 마이크로필라의 높이(H)를 상기 조건으로 제조하여 나노인덴테이션으로 압축시험을 하기 위해 압축을 걸어줬을 때 마이크로필라에만 팁(TIP)이 가해져 시험을 할 수 있도록 한다. 상기 마이크로필라의 높이(H)가 6 ㎛ 미만으로 제조하는 경우 나노인덴테이션 피로 시험시 상기 마이크로필라 접촉이 어려워 압축이 되지 않아 잘못된 물성이 측정될 수 있고, 5 ㎛를 초과하여 제조하는 경우 상기 마이크로필라가 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다. 또한 상기 종횡비(aspect ratio)를 2 내지 4로 맞추기 위해 상기 마이크로필라의 높이(H)를 상기 조건으로 설정하는 이유도 있다.

[0062] 도 2(a)는 상기 마이크로필라를 최종적으로 형성할 때 상기 마이크로필라 외부에 형성되는 외부 구멍으로, 상기 외부 구멍의 외부지름(L2)을 확인할 수 있다. 상기 외부 구멍은 나노인덴테이션의 팁의 크기(20 ㎛)보다 충분히 커야 다른 표면에 접촉되지 않을 것이며, 깊이(D)는 충분히 깊어야 마이크로필라가 압축되어 들어가도 나노인덴테이션의 팁이 내부 표면에 접촉되지 않을 수 있다.

[0064] 또한, 상기 제5단계(S50)에서 제조된 마이크로필라는, 테이퍼(taper) 각도가 3° 보다 작은 것을 특징으로 한다. 상기 마이크로필라 제조 시 테이퍼의 각도는 작으면 작을수록 마이크로필라의 두께가 일정하기 때문에 물성 평가를 하기에 좋고, 3° 를 초과하여 제조하는 경우 변형거동(barrelling, buckling)이 발생하지 않아 물성이 더 크게 나와 정확한 물성이라고 보기 어려우므로 상기 조건으로 제조하는 것이 바람직하다.

[0066] 본 발명인 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편은 앞서 기재된 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편 제조방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 한다.

[0067] 상기 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편은 고망간강을 FIB(Focused ion beam)를 조사하여 제조된 마이크로필라를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0068] 상기 고망간강은 0.6 중량% 탄소(C), 24.5 내지 25 중량% 망간(Mn), 잔부 철(Fe) 및 기타 불가피한 불순물을 포

함하는 것을 특징으로 한다.

[0069] 상기 마이크로필라는 지름이 2 내지 4 ㎛ 인 것을 특징으로 한다. 상기 단결정에서의 물성을 확인을 용이하도록 상기 마이크로필라는 지름이 2 내지 4 ㎛ 으로 제작한다. 평균 입자(grain)의 크기가 6 μm임을 고려하였을 때 단결정에서 상기 마이크로필라를 만들기 위해 상기 조건이 가장 적합하다. 평균 입자 크기는 재료에 따라 달라지는 값이며 입자의 크기에 맞춰 상기 마이크로필라의 크기를 정하는 것이 중요하다.

[0070] 또한, 상기 마이크로필라는 종횡비(aspect ratio)가 2 내지 4인 것을 특징으로 한다. 상기 마이크로필라의 종횡비는 높이/내부지름(L1)을 의미하는 비율로, 상기 종횡비가 4를 초과하여 제조하는 경우 마이크로필라의 얇기가 너무 얇아져서 시험평가(압축시험 및 피로시험)를 할 시 힘을 견디지 못해 파괴가 발생하여 변형 거동(barreling, buckling 등)을 관찰하지 못하게 된다. 따라서 상기 조건으로 제조하는 것이 단결정에서의 변형 거동을 관찰하기에 적합하다.

[0071] 또한, 상기 마이크로필라는 높이가 6 내지 10 ㎛ 인 것을 특징으로 한다. 상기 마이크로필라의 높이를 상기 조건으로 제조하여 나노인덴테이션으로 압축시험을 하기 위해 압축을 걸어줬을 때 마이크로필라에만 팁(TIP)이 가해져 시험을 할 수 있도록 한다. 상기 마이크로필라의 높이가 6 ㎛ 미만으로 제조하는 경우 나노인덴테이션 피로 시험시 상기 마이크로필라 접촉이 어려워 압축이 되지 않아 잘못된 물성이 측정될 수 있고, 5 ㎛를 초과하여 제조하는 경우 상기 마이크로필라가 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다. 또한 상기 종횡비(aspect ratio)를 2 내지 4로 맞추기 위해 상기 마이크로필라의 높이를 상기 조건으로 설정하는 이유도 있다.

[0072] 또한, 상기 마이크로필라의 테이퍼(taper) 각도가 3° 이하인 것을 특징으로 한다. 상기 마이크로필라 제조 시 테이퍼의 각도는 작으면 작을수록 마이크로필라의 두께가 일정하기 때문에 물성평가를 하기 좋고, 3° 를 초과하여 제조하는 경우 변형거동(barrelling, buckling)이 발생하지 않아 물성이 더 크게 나와 정확한 물성이라고 보기 어려우므로 상기 조건으로 제조하는 것이 바람직하다.

[0073] 또한, 상기 마이크로필라의 최대강도는 600 MPa인 것을 특징으로 한다.

[0074] 또한, 상기 마이크로필라는 100 cycle 조건의 피로압축시험에서 내피로성이 000 인 것을 특징으로 한다. 100 cycle 조건의 피로압축시험에서는 최대 651 MPa의 응력으로 압축시험을 하였을 때, 100 cycle 이후 소성변형률(ε_p)이 약 1.02%으로 확인되었다. 여기서, σ_{max} 값은 소성변형을 하는데 있어서 최대로 든 응력이며, ε_p 값은 100 cycle 이후 변형률을 의미한다.

[0076] 아래는 상기 기재된 방법에 의해 제조된 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편을 이용하여 압축시험 및 압축피로시험을 실시한 실시예 및 실험예이다. 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 실시예를 들어 상세하게 설명 하기로 한다. 다만 하기의 실시예는 본 발명의 내용을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예는 당업계에서 평균 적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

[0078] **실시예**

[0079] 본 발명의 제조방법에 따라 수행하며, 제5단계(S50)에서 마이크로필라를 제조 시, 아래 [표 1]과 같이 FIB(Focused ion beam)의 전압(voltage)과 전류(current)를 조절하여 외부지름(Outer diamter, L2), 내부지름(Inner diameter, L1) 및 설정 깊이(depth)로 제조하였다.

표 1

[0081]

Steps	Ion Beam Voltage	Ion Beam Current	Outer diameter (μm)	Inner diameter (μm)	Depth, (μm)
1	30 keV	10 nA	35	10	10
2	30 keV	1 nA	18	9	5
3	30 keV	1 nA	9	7	5
4	30 keV	500 pA	7	6	5

5	30 keV	250 pA	6	5.5	5
6	30 keV	250 pA	6	4.5	5
7	30 keV	150 pA	4	3.6	5
8	30 keV	150 pA	4	3.4	5

[0083] **비교예 1**

[0084] 비교예 1은 본 발명의 제조방법에 따라 수행하되, 상기 제5-4단계(S54) 및 제5-5단계(S55)에서 매우 높은 전류에 의해(1 nA 및 500 pA) 마이크로필라를 형성하였다. 아래 [표 2]와 같이 FIB(Focused ion beam)의 전압(voltage)과 전류(current)를 조절하여 외부지름(Outer diamter, L2), 내부지름(Inner diameter, L1) 및 설정 깊이(depth)로 제조하였다.

표 2

[0086]

Steps	Ion Beam Voltage	Ion Beam Current	Outer diameter (μm)	Inner diameter (μm)	Depth, (μm)
1	30 keV	10 nA	35	10	10
2	30 keV	1 nA	18	9	5
3	30 keV	1 nA	9	7	5
4	30 keV	1 nA	7	6	5
5	30 keV	500 pA	6	5.5	5

[0088] **비교예 2**

[0089] 비교예 2는 본 발명의 제조방법에 따라 수행하되, 상기 제5-3단계(S53)에서 매우 낮은 전류에 의해(500pA) 마이크로필라를 형성하였다. 아래 [표 3]과 같이 FIB(Focused ion beam)의 전압(voltage)과 전류(current)를 조절하여 외부지름(Outer diamter, L2), 내부지름(Inner diameter, L1) 및 설정 깊이(depth)로 제조하였다.

표 3

[0091]

Steps	Ion Beam Voltage	Ion Beam Current	Outer diameter (μm)	Inner diameter (μm)	Depth, (μm)
1	30 keV	10 nA	35	10	10
2	30 keV	1 nA	18	9	5
3	30 keV	500 pA	9	7	5
4	30 keV	250 pA	7	6	5
5	30 keV	250 pA	6	5.5	5
6	30 keV	150 pA	6	4.5	5
7	30 keV	150 pA	4	3.6	5
8	30 keV	150 pA	4	3.4	5

[0093] **비교예 3**

[0094] 비교예 3은 본 발명의 제조방법에 따라 수행하되, 상기 제5-7단계(S57) 및 제5-8단계(S58)을 진행하지 않고 마이크로필라를 형성하였다. 아래 [표 4]와 같이 FIB(Focused ion beam)의 전압(voltage)과 전류(current)를 조절하여 외부지름(Outer diamter, L2), 내부지름(Inner diameter, L1) 및 설정 깊이(depth)로 제조하였다.

표 4

[0096]

Steps	Ion Beam Voltage	Ion Beam Current	Outer diameter (μm)	Inner diameter (μm)	Depth, (μm)
1	30 keV	10 nA	35	10	10
2	30 keV	1 nA	18	9	5
3	30 keV	500 pA	9	7	5
4	30 keV	250 pA	7	6	5
5	30 keV	250 pA	6	5.5	5
6	30 keV	150 pA	6	4.5	5

[0098] **실험예**

[0099] (1) SEM 분석

[0100] SEM 분석은 아래 조건으로 수행하였다.

[0101] Voltage : 10 KeV

[0102] probe current : 13 pA

[0103] Tilt : 54.3°

[0104] working Distance : 6 mm

[0106] 도 4(a)에 나타난 바와 같이, 비교예 1은 상기 제5-4단계(S54) 및 제5-5단계(S55)에서 매우 높은 전류에 의해(1 nA 및 500 pA) 마이크로필라를 형성하여 마이크로필라 형태가 손상을 입고 형태가 무너진 것을 확인할 수 있다.

[0107] 도 4(a)에 나타난 바와 같이, 비교예 2는 상기 제5-3단계(S53)에서 매우 낮은 전류에 의해(500pA) 마이크로필라를 형성하여 밀링이 적절히 되지 않아 필라 형상 주변에 밀링 되지 않은 부분을 확인할 수 있다.

[0108] 도 3에 나타난 바와 같이, 비교예 3 에서는 상기 제5-7단계(S57) 및 제5-8단계(S58)을 진행하지 않아 마이크로필라를 정밀하게 밀링 되지 않았으며, 약 5° 의 Taper 각이 생긴 것을 알 수 있다.

[0109] 한편, 본 발명인 실시예에 의해 제조된 마이크로필라 형태의 미세영역 물성 평가용 고망간강 합금 시편은, 도 2에 나타난 바와 같이, 상기 마이크로필라의 내부지름(L1), 외부지름(L2), 높이(H) 및 테이퍼 각도가 3° 미만으로 생성됨을 확인할 수 있다.

[0111] (2) 압축시험

[0112] 압축시험은 나노인덴테이션을 활용하여 진행되었다. 20 μm의 지름을 갖는 나노인덴테이션의 팁(tip)중 플랫 펀치(flat punch)를 이용하여 시험하였으며, 압축시험은 Acquisition rate 50.0 Hz, Max laod 500.00 mN, Loading rate와 unloading rate를 5.00 mN/min 으로 설정하여 진행하였을 때 최대강도가 600 MPa로 확인되었다.

[0114] (3) 피로시험

[0115] 피로시험은 Acquisition rate 50.0 Hz, Max load 2.95 mN, Loading rate 및 unloading rate를 3.00mN/min 으로 설정하여 진행하였다. 100 cycle 조건의 피로압축시험에서는 최대 651 MPa의 응력으로 압축시험을 하였을 때, 100 cycle 이후 소성변형률(ε_p)이 약 1.02%으로 확인되었다. 여기서, σ_{max} 값은 소성변형을 하는데 있어서 최대로 든 응력이며, ε_p 값은 100 cycle 이후 변형률을 의미한다.

[0117] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 다결정 내 특정 방위의 단결정에서 피로시험을 하는 마이크로 단위의 시험평가 방법에 적합한 고망간강의 마이크로필라를 제공할 수 있다.

[0118] 또한, 본 발명은 고망간강의 마이크로필라를 제조방법을 제공하고, 이를 이용하여 나노인덴테이션으로 시험평가하여 고망간강의 마이크로필라의 강도를 확인할 수 있다.

[0120] 이와 같이, 상술한 본 발명의 기술적 구성은 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자가 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0121] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해되어야 하고, 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타나며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0123] S10. 고망간강을 제조하는 제1단계

S20. 시편을 제조하는 제2단계

S30. 상기 시편을 기계적으로 연마하는 제3단계

S40. 결정 영역을 확정하는 제4단계

S50. 마이크로필라를 제조하는 제5단계

S51. 내부지름(L1) 9.6 내지 10.4 ㎛, 외부지름(L2) 34.6 내지 35.6 ㎛ 및 높이(H) 9.8 내지 10.2 ㎛로 1차 마이크로필라를 형성하는 제5-1단계

S52. 내부지름(L1) 8.6 내지 9.4 ㎛, 외부지름(L2) 17.6 내지 18.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 2차 마이크로필라를 형성하는 제5-2단계

S53. 내부지름(L1) 6.4 내지 7.4 ㎛ 및 외부지름(L2) 8.4 내지 9.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 3차 마이크로필라를 형성하는 제5-3단계

S54. 내부지름(L1) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 외부지름(L2) 6.4 내지 7.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 4차 마이크로필라를 형성하는 제5-4단계

S55. 내부지름(L1) 5.1 내지 5.9 ㎛ 및 외부지름(L2) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 5차 마이크로필라를 형성하는 제5-5단계

S56. 내부지름(L1) 4.1 내지 4.9 ㎛ 및 외부지름(L2) 5.6 내지 6.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 6차 마이크로필라를 형성하는 제5-6단계

S57. 내부지름(L1) 3.2 내지 4.0 ㎛ 및 외부지름(L2) 3.6 내지 4.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 7차 마이크로필라를 형성하는 제5-7단계

S58. 내부지름(L1) 3.0 내지 3.8 ㎛ 및 외부지름(L2) 3.6 내지 4.4 ㎛ 및 높이(H) 4.8 내지 5.2 ㎛로 8차 마이크로필라를 형성하는 제5-8단계

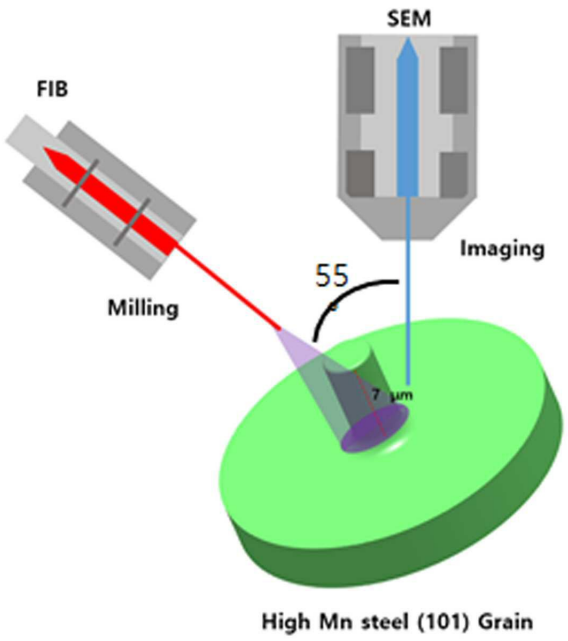
L1. 내부지름

L2. 외부지름

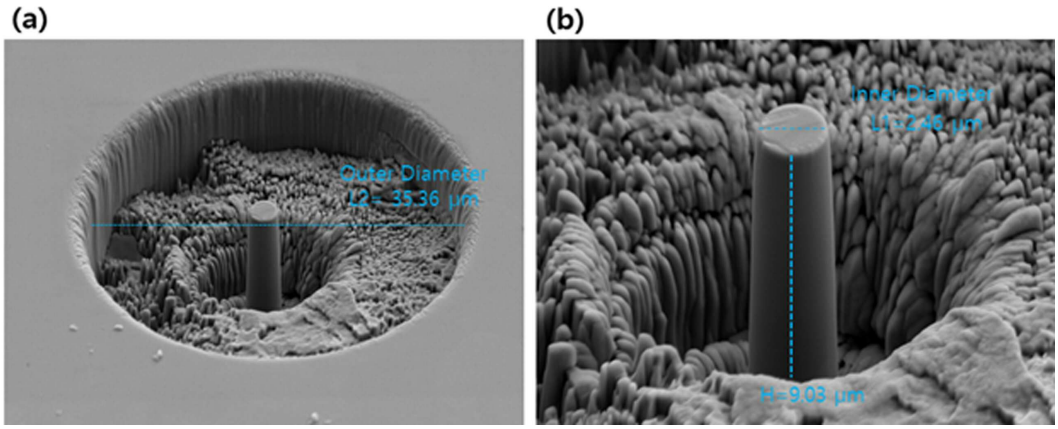
H. 높이

도면

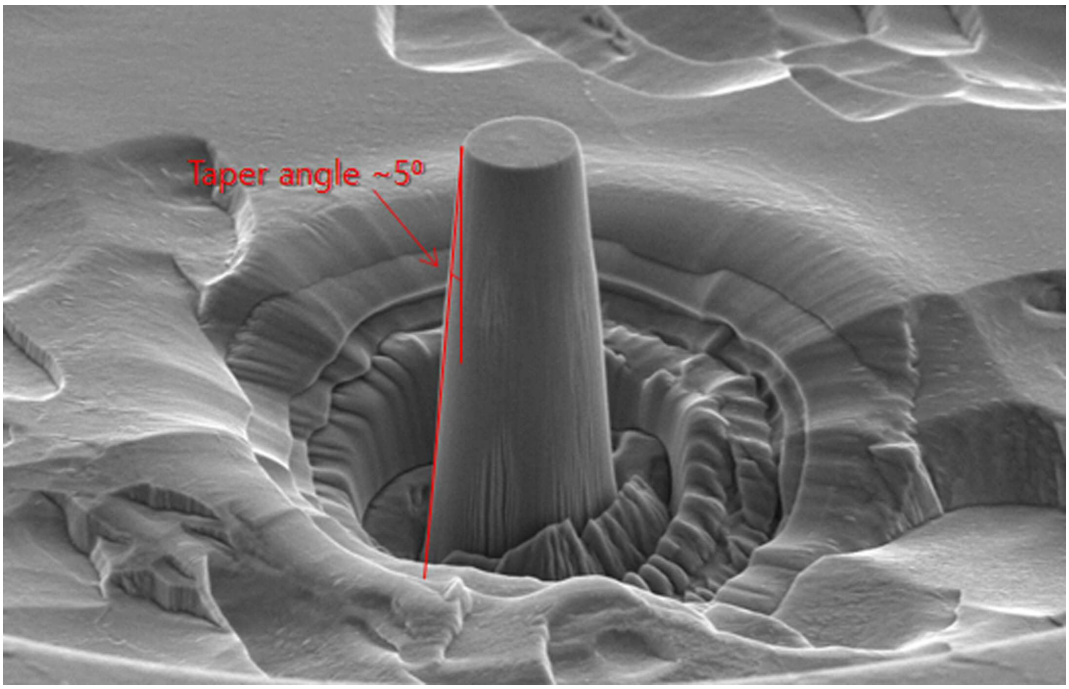
도면1


SEM
FIB
Imaging
55
Milling
7 μm
High Mn steel (101) Grain

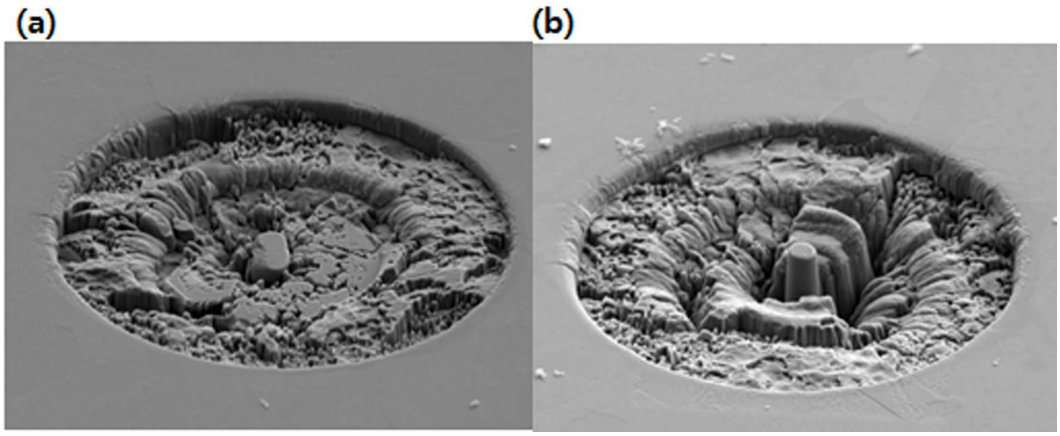
도면2


(a)
(b)
Outer Diameter
L2= 35.36 μm
Inner Diameter
L1= 2.48 μm
H=9.03 μm

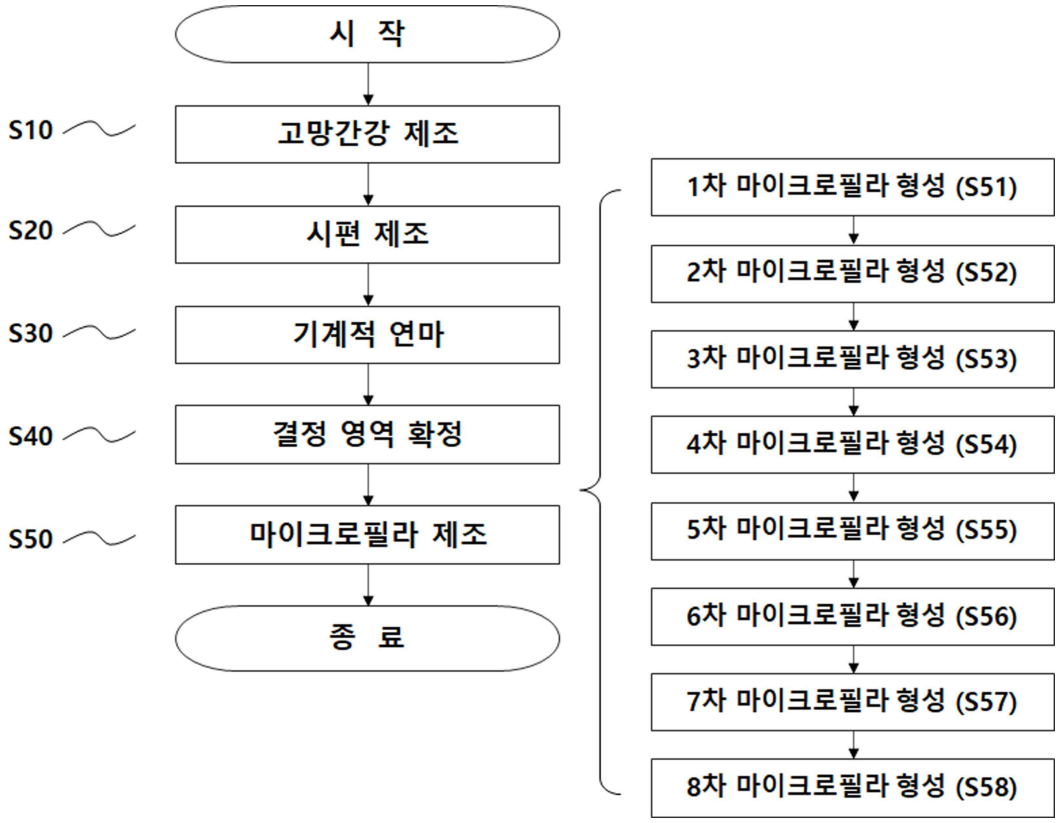
도면3



도면4



도면5


시 작
S10
고망간강 제조
S20
시편 제조
S30
기계적 연마
S40
결정 영역 확정
S50
마이크로필라 제조
종 료
1차 마이크로필라 형성 (S51)
2차 마이크로필라 형성 (S52)
3차 마이크로필라 형성 (S53)
4차 마이크로필라 형성 (S54)
5차 마이크로필라 형성 (S55)
6차 마이크로필라 형성 (S56)
7차 마이크로필라 형성 (S57)
8차 마이크로필라 형성 (S58)