



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0106016
(43) 공개일자 2017년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/58 (2006.01) C22C 38/20 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01) C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/30 (2006.01) C22C 38/38 (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01) C22C 38/42 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01) C22C 38/50 (2006.01)
C22C 38/52 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C22C 38/58 (2013.01)
C22C 38/20 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0029573

(22) 출원일자 2016년03월11일

심사청구일자 2016년03월11일

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

홍순익

대전광역시 유성구 대덕대로541번길 68, 103동
1006호(도룡동 현대아파트)

송재숙

대전광역시 중구 서문로 96, 303동 501호(문화동,
센트럴파크)

(74) 대리인

특허법인씨엔에스

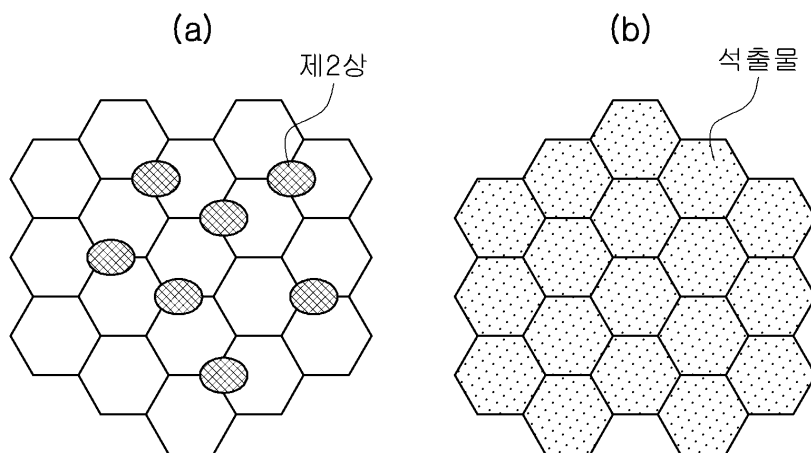
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 석출경화형 고 엔트로피 합금 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 전자기, 화학, 조선, 기계 등의 부품 소재 내지 극한 환경에서 사용되는 부품 소재 등에 사용될 수 있는 금속 합금에 관한 것으로서, 특히 고 엔트로피 합금에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C22C 38/22 (2013.01)
C22C 38/28 (2013.01)
C22C 38/30 (2013.01)
C22C 38/38 (2013.01)
C22C 38/40 (2013.01)
C22C 38/42 (2013.01)
C22C 38/44 (2013.01)
C22C 38/50 (2013.01)
C22C 38/52 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, Fe: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 4종 이상을 포함하고, 하기 1) 및 2) 중 하나 이상을 포함하는 고 엔트로피 합금이고,

상기 고 엔트로피 합금은 기지조직(matrix)에 석출물이 분포되어 있는 석출경화형 고 엔트로피 합금.

1) C: 0.01~0.9% 및 N: 0.01~0.9% 중 1종 이상

2) Ti: 0.05~3%, Zr: 0.05~3%, Mo: 0.05~3%, W: 0.05~3%, Ag: 0.05~3%, Si: 0.05~3%, Cu: 0.05~3%, Al: 0.05~3% 및 Ge: 0.05~3% 중 1종 이상

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 석출물은 하기 1) 및 2) 중 하나 이상인 석출경화형 고 엔트로피 합금.

1) Cr계 탄질화물, Mn계 탄질화물 및 (Cr,Mn)계 탄질화물 중 1종 이상

2) Ti, Zr, Mo, W, Ag, Si, Cu, Al, Ge 및 이들의 화합물 중 1종 이상

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 석출물은 직경 0.5~50nm의 크기이고, 석출물 간의 간격은 1~500nm로 분포되어 있는 석출경화형 고 엔트로피 합금.

청구항 4

중량%로, Fe: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 4종 이상을 포함하고, 하기 1) 및 2) 중 하나 이상으로 이루어지는 금속 재료를 준비하는 단계;

상기 준비된 금속 재료를 주조, 아크 용해, 분말야금법 중 어느 하나의 방법으로 용융하여 합금을 제조하는 단계;

상기 제조된 합금을 1000~1100℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계;

상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및

상기 냉각 후 500~1000℃의 온도범위에서 일정시간 유지하는 2차 열처리 후 냉각하는 단계

를 포함하는 석출경화형 고 엔트로피 합금의 제조방법.

1) C: 0.01~0.9% 및 N: 0.01~0.9% 중 1종 이상

2) Ti: 0.05~3%, Zr: 0.05~3%, Mo: 0.05~3%, W: 0.05~3%, Ag: 0.05~3%, Si: 0.05~3%, Cu: 0.05~3%, Al: 0.05~3% 및 Ge: 0.05~3% 중 1종 이상

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 균질화 열처리 600~1200℃ 온도범위에서 1~48 시간 동안 행하는 강도와 연성이 우수한 고 엔트로피 합금의 제조방법.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 2차 열처리 350~1000℃의 온도범위로 0.5~72시간 동안 유지하고 냉각하는 석출경화형 고 엔트로피 합금의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자기, 화학, 조선, 기계 등의 부품 소재 내지 극한 환경에서 사용되는 부품 소재 등에 사용될 수 있는 금속 합금에 관한 것으로서, 특히 고 엔트로피 합금에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산업 기술수준의 비약적 발전에 따라, 각종 소재에 대한 요구 특성이 단일금속으로는 해결할 수 없는 복합 기능성 요구에 부응하고자 최근에 새로운 합금 시스템으로 고 엔트로피 합금(High Entropy Alloy)으로 지칭된 새로운 종류의 물질들이 제안, 개발되고 있다.

[0003] 상기 고 엔트로피 합금이란 금속간화합물 형성을 통해 자유에너지 감소에 의한 화합물의 형성보다는 여러 원소의 혼합에 의해 배열 엔트로피(Configuration Entropy)의 증가가 커서 전체 자유에너지를 감소시켜, 다성분 합금 원소들 간의 금속간화합물이나 비정질 합금을 형성하는 것이 아니라, 여러 합금원소가 혼합된 고용체가 형성되는 합금을 의미한다.

[0004] 상기 고 엔트로피 합금은 비특허문헌 1을 통해 알려지게 되었다. 상기 비특허문헌 1에서, 비정질 합금 또는 복잡한 금속간화합물이 형성될 것으로 예상하고 제조한 다원소 합금 $\text{Fe}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Co}_{20}$ 이 예상과 달리 결정질의 FCC(Face Centered Cubic) 고용체로 형성되어 흥미를 불러 일으킨 합금이다. 상기 고 엔트로피 합금은 기존의 합금이 60~90 중량%의 주 합금원소에 다른 합금원소가 첨가되는 것에 비해, 4 내지 5 원계 이상의 합금원소가 비슷한 비율로 혼합됨에도 단상을 이루는 특이한 특성을 가지며, 이는 혼합에 의한 배열 엔트로피가 큰 합금계에서 발견된다.

[0005] 상기 고 엔트로피 합금은 5 내지 35at% 사이의 원자 농도를 갖는 4종 이상의 금속 성분을 함유하며, 첨가된 모든 합금원소가 주 원소로서 작용하는 합금 시스템으로, 합금 내에 유사한 원자 분율로 인하여 높은 혼합 엔트로피가 유발되고 이에 금속간화합물 또는 중간체 화합물 대신에 고온에서 안정한 간단한 구조의 고용체를 형성한다.

[0006] 고 엔트로피 합금과 관련된 선행기술로서 특허문헌 1과 2가 있다. 상기 특허문헌 1은 다종 금속성분으로 V, Nb, Ta, Mo, Ti 등의 각 원소를 ± 15 atomic% 이하의 편차로 포함되는 5종 이상의 금속 성분을 함유하며 첨가된 모든 원소가 주 원소로서 작용하는 합금 시스템으로 면심입방 및/또는 체심입방 구조의 단상 고용체로 구성되는

고경도(hardness) 및 고탄성(modulus)을 구현하는 고 엔트로피 합금을 개시하고 있습니다. 그러나, 위와 같은 특허문헌 1은 고가의 무거운 합금원소들이 여러 종류 첨가되고, 첨가된 합금원소들 사이의 용융점 차이로 인한 제조공정의 어려움이 있다.

[0007] 한편, 특허문헌 2는 세라믹 상(대표적으로 텅스텐 카바이드)과 다중 성분 고 엔트로피 합금 분말을 분말 야금공정을 통해 제조된 고경도를 구현하는 고 엔트로피 합금에 관한 것으로서, 면심입방 및/또는 체심입방 구조의 단상 고용체로 구성되어 우수한 기계적 특성을 구현하는 기술입니다. 그러나, 상기 특허문헌 2와 같이, 세라믹계 물질을 사용하여 합금을 제조하는 경우에는 고온의 공정이 필요하기 때문에 제조가 어렵다는 문제가 있다.

[0008]

선행기술문헌

특허문헌

[0009]

(특허문헌 0001) 미국 공개특허 US 2013/0108502 A1

(특허문헌 0002) 미국 공개특허 US 2009/0074604 A1

비특허문헌

[0010]

(비특허문헌 0001) Matreial Science and Engineering A, Volumes 375-377, July 2004, page 213-218.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011]

본 발명의 일측면은 고 엔트로피 합금을 제공하고자 하는 것으로서, 보다 상세하게는 석출물을 형성하여 우수한 강도와 연성을 확보할 수 있는 고 엔트로피 합금 및 이를 제조하는 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0012]

본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자가 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0013]

본 발명의 일태양은 중량%로, Fe: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 4종 이상을 포함하고, 하기 1) 및 2) 중 하나 이상을 포함하는 고 엔트로피 합금이고,

[0014]

상기 고 엔트로피 합금은 기지조직(matrix)에 석출물이 분포되어 있는 석출경화형 고 엔트로피 합금이다.

[0015]

1) C: 0.01~0.9% 및 N: 0.01~0.9% 중 1종 이상

[0016]

2) Ti: 0.05~3%, Zr: 0.05~3%, Mo: 0.05~3%, W: 0.05~3%, Ag: 0.05~3%, Si: 0.05~3%, Cu:0.05~3%, Al:0.05~3% 및 Ge:0.05~3% 중 1종 이상

[0017]

본 발명의 또 다른 일태양은 중량%로, Fe: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 4종 이상을 포함하고, 하기 1) 및 2) 중 하나 이상으로 이루어지는 금속 재료를 준비하는 단계;

[0018]

상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계;

- [0019] 상기 제조된 합금을 1000~1100℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계;
- [0020] 상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및
- [0021] 상기 냉각 후 500~1000℃의 온도범위에서 일정시간 유지하는 2차 열처리 후후 냉각하는 단계를 포함하는 석출경화형 고 엔트로피 합금의 제조방법이다.
- [0022] 1) C: 0.01~0.9% 및 N: 0.01~0.9% 중 1종 이상
- [0023] 2) Ti: 0.05~3%, Zr: 0.05~3%, Mo: 0.05~3%, W: 0.05~3%, Ag: 0.05~3%, Si: 0.05~3%, Cu:0.05~3%, Al:0.05~3% 및 Ge:0.05~3% 중 1종 이상

발명의 효과

- [0024] 본 발명에 의하면, 고 엔트로피 합금의 기지조직(matrix)과 나노 크기의 석출물을 형성하여, 우수한 강도와 연성을 구현할 수 있다. 이를 통해, 고 엔트로피 합금의 보다 다양한 활용이 가능한 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 발명의 고 엔트로피 합금의 미세조직을 나타낸 모식도로서, (a)는 2차 열처리 전이고, (b)는 2차 열처리 후의 미세조직을 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예 중 발명에 5의 미세조직을 나타낸 전자 현미경 사진로서, (a)는 2차 열처리 전이고, (b)는 2차 열처리 후의 미세조직을 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예 중 발명에 1의 미세조직을 관찰한 사진이다.
- 도 4는 본 발명의 제조방법 일예를 나타낸 순서도이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예 중 발명에 5의 2차 열처리 후 XRD 분석 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 발명의 발명자들은 고 엔트로피 합금의 강도와 연성 등의 기계적/물리적 특성을 향상시키기 위한 방법에 대한 연구를 행하였다. 그 결과 다종의 합금성분들이 단상의 고용체를 구성하는 것과 달리 고 엔트로피 합금에 석출물을 형성하는 경우에는 우수한 고연성과 고강도 특성을 동시에 확보할 수 있음을 인지하게 되었다. 구체적으로는 고 엔트로피 합금에 비금속 합금원소인 탄소(C), 질소(N) 등을 고용한도 이상으로 첨가하여 탄질화물을 석출시키거나, 티타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W), 은(Ag), 실리콘(Si), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 게르마늄(Ge) 등의 금속원소를 첨가시켜 석출물을 형성함으로써, 강도와 연성이 동시에 우수한 고 엔트로피 합금을 구현할 수 있을 인지하고 본 발명에 이르게 되었다.
- [0027] 이하, 본 발명의 고 엔트로피 합금에 대해 상세히 설명한다. 먼저, 본 발명의 고 엔트로피 합금의 구성에 대해 상세히 설명한다.
- [0028] 본 발명의 고 엔트로피 합금은 중량%로, Fe: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 4종 이상을 포함하고, 하기 1) 및 2) 중 하나 이상을 포함한다.
- [0029] 1) C: 0.01~0.9% 및 N: 0.01~0.9% 중 1종 이상
- [0030] 2) Ti: 0.05~3%, Zr: 0.05~3%, Mo: 0.05~3%, W: 0.05~3%, Ag: 0.05~3%, Si: 0.05~3%, Cu:0.05~3%, Al:0.05~3% 및 Ge:0.05~3% 중 1종 이상
- [0031] 상기 Fe, Cr, Ni, Mn, Co 및 Cu는 고 엔트로피 합금을 구성하는 원소로서, 4주기 전이원소 그룹이며, 원자반경의 차이 등이 작아 고용체 등을 이루기 적합한 원소이다. 상기 Mn와 Ni는 면심입방(FCC) 고용체를 촉진하는 원

소이며, Co는 조직의 미세화, Cr은 내식성을 향상시킨다. 상기 원소들의 함량이 5% 초과, 35% 이하인 이유는 가능한 한 엔트로피를 극대화시킬 수 있는 균등 조성에서 일부 엔트로피의 변화를 유도하되 고용체 형성을 위한 엔트로피 범위를 벗어나지 않게 하기 위함이다.

[0032] 한편, 상기 C 및 N은 고 엔트로피 합금 내의 Fe, Mn, Cr 그 중에서도 특히 Cr과 탄화물 또는 질화물을 형성하여, 고 엔트로피 합금 기지에 석출되어 기지를 강화시키고, 가공경화능을 향상시킨다. 상기 C와 N의 함량을 각각 0.01~0.9%로 하는 것은, 이들 원소가 0.01% 미만으로 너무 적은 경우에는 석출경화능이 너무 작고, 0.9%를 초과하는 경우에는 가공성을 악화시켜 취성 현상이 나타날 수 있다.

[0033] 상기 Ti, Zr, Mo, W, Ag, Si, Cu, Al 및 Ge는 고 엔트로피 합금의 기지를 이루는 주원소인 Fe, Cr, Ni, Mn, Co 및 Cu와 원자 반경의 차이가 크고, 원자가 등의 차이가 커서, 고 엔트로피 합금 기지에 용해도가 작아 석출경화되어 기지를 강화시킬 수 있다. 상기 Ti, Zr, Mo, W, Ag, Si, Cu, Al 및 Ge의 함량을 각각 0.05~3%로 하는 것은 0.05% 미만에서는 석출경화 효과가 너무 작은 반면, 3%를 초과하게 되면, 석출물의 비가 너무 커져서 가공성을 악화시켜 취성을 유발할 수 있기 때문이다.

[0034] 이하, 본 발명 고 엔트로피 합금이 미세조직에 대해 상세히 설명한다. 도 1은 본 발명인 고 엔트로피 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 모식도이다. 도 1(a)는 본 발명의 고 엔트로피 합금을 제조하는 과정에서 2차 열처리 전에, 단상의 고용체인 기지조직(matrix)에 기지조직에 고용되지 않은 일부 금속성분들이 분포한 형태(제2상)를 나타낸 것이다. 도 1(b)는 상기 도 1(a)에 대해 2차 열처리를 통해서 석출물이 기지조직의 전반에 걸쳐서 고르게 분포되어 있는 본 발명의 고 엔트로피 합금을 나타낸 것이다.

[0035] 상기 석출물은 Cr을 포함하는 탄화물 내지 질화물(이하, Cr계 탄질화물), Mn을 포함하는 탄화물 내지 질화물(이하, Mn계 탄질화물) 및 Cr과 Mn을 포함하는 탄화물 내지 질화물(이하, (Cr,Mn)계 탄질화물) 등이 될 수 있다. 또는 Ti, Zr, Mo, W, Ag, Si, Cu, Al, Ge 및 이들의 화합물 중 1종 이상일 수 있다. 본 발명의 고 엔트로피 합금은 상기와 같이 주된 기지조직에 위의 석출물을 석출시켜 강도와 연성이 모두 우수한 고 엔트로피 합금을 확보할 수 있다.

[0036] 상기 석출물은 기지에 석출되어 전위(dislocation)의 이동을 방해하거나 전위의 결합에 의한 전위 소멸을 방해하여 전위밀도를 높임으로써, 강도를 향상시킨다. 이들 석출물의 형태는 직경(또는 길이) 약 0.5~50nm이고, 석출상 간의 간격은 1~500nm로 분포하는 것이 바람직하다.

[0037] 이하, 본 발명의 고 엔트로피 합금의 제조방법에 대해 상세히 설명한다. 도 3에서 본 발명의 제조방법의 개략적인 순서를 나타내었다. 이에, 도 3을 참고하여 본 발명의 제조방법을 상세히 설명한다.

[0038] 본 발명의 고 엔트로피 합금을 제조하기 위해서는 먼저, 중량%로, Fe: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 4종 이상을 포함하고, 하기 1) 및 2) 중 하나 이상을 포함하는 금속 재료를 준비한다. 이후에 이를 용융, 균질화 열처리, 냉각, 2차 열처리 및 냉각을 행하여 제조한다.

[0039] 1) C: 0.01~0.9% 및 N: 0.01~0.9% 중 1종 이상

[0040] 2) Ti: 0.05~3%, Zr: 0.05~3%, Mo: 0.05~3%, W: 0.05~3%, Ag: 0.05~3%, Si: 0.05~3%, Cu: 0.05~3%, Al: 0.05~3% 및 Ge: 0.05~3% 중 1종 이상

[0041] 상기 용융과정은 제조된 금속 재료를 합금화하기 위한 것으로서, 본 발명에서는 그 방법에 대해 특별히 한정하지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에 통상 행해지는 방법에 의한다. 예를 들어, 주조, 아크 용해, 분말 야

금법 등을 통해서 상기 합금으로 제조한다.

[0042] 다음으로, 상기 제조된 합금을 균질화 열처리한다. 고 엔트로피 합금은 다양한 원소가 혼합되어 있으므로, 충분한 확산을 유도하기 위해서 균질화 열처리를 행한다. 상기 균질화 열처리는 600~1200℃의 온도범위에서 1~48시간 유지하는 것이 바람직하다.

[0043] 상기 균질화 열처리 후에는 냉각을 행한다. 상기 냉각 방식을 특별히 한정하기 않으므로, 수냉, 유냉, 공냉 등의 방식으로 행할 수 있다. 상기 냉각 과정을 통해 미세조직에서 기지조직에 고용되지 않는 일부 금속성분들이 균일하게 분포되도록 한다.

[0044] 상기 냉각 후에는 기지조직(matrix)에 석출물을 형성시켜, 단상의 고용체 기지조직에 석출물이 동시에 존재하는 미세조직을 만들기 위해서, 2차 열처리를 행한다. 상기 2차 열처리는 성분이 균일하게 분포된 합금 기지에서 고용한계를 넘어서는 원소나 열역학적으로 불안정하거나 준안정한 상태로 분포하는 원소들을 단일원소나 금속간 화합물 형태로 기지에 골고루 석출시키기 위한 공정으로서, 350~1000℃의 온도범위로 0.5~72시간 동안 유지하고, 냉각한다. 이때 냉각은 상기와 마찬가지로, 수냉, 유냉, 공냉, 노냉 등의 방식으로 행할 수 있다.

[0045] 이하, 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 하기 실시예는 본 발명의 이해를 위한 것일 뿐, 본 발명을 한정하는 것은 아니다.

[0046] (실시예)

[0047] 먼저, 하기 표 1과 같이 비교예 1 내지 3, 발명예 1 내지 8의 고 엔트로피 합금을 제조하였다.

[0048] 하기 표 1의 조성(중량%)을 갖는 금속 재료를 준비하고, 이를 진공 분위기에서 아크 용해(Arc Melting)하여 합금을 제조하였다. 이후, 1050℃에서 24시간 균질화 열처리를 수행한 후 냉각하였다.

[0049] 상기 균질화 처리 후 냉각된 합금은 430℃에서 10시간 열처리 하여 석출물을 형성시켰다.

[0050] 한편, 상기와 같이 제조된 고 엔트로피 합금에 대해서는 1mm 두께의 판재 만들어, 인장시험을 수행하고 그 기계적 물성을 평가하여 이를 표 1에 함께 병기하였다.

표 1

[0051]

구분	합금	석출물	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)
비교예 1	Co ₂₀ Cr ₂₀ Fe ₂₀ Mn ₂₀ Ni ₂₀	-	620	480	40
비교예 2	Fe ₂₅ Ni ₂₅ Co ₂₅ Cr ₂₅	-	1000	870	35
비교예 3	Fe ₂₀ Mn ₂₀ Ni ₂₀ Co ₂₀ Cr ₂₀	-	760	640	15
발명예 1	Fe ₂₀ Cr _{19.2} Ni ₂₀ Co ₂₀ Mn ₂₀ Si _{0.8}	침상 석출물(0.5~50nm)	1350	1050	29
발명예 2	Fe ₂₀ Cr ₂₀ Ni ₂₀ Mn _{19.2} Cu ₂₀ Si _{0.8}	침상 석출물(0.5~50nm)	1300	1050	25
발명예 3	Fe ₂₀ Cr ₂₀ Ni ₂₀ Co ₂₀ Mn ₁₈ Ag _{2.0}	다양한 형상(0.5~50nm)	1320	1120	20
발명예 4	Fe ₂₀ Cr ₂₀ Ni ₂₀ Mn ₁₈ Cu ₂₀ Ag _{2.0}	다양한 형상(0.5~50nm)	1390	1180	22
발명예 5	Fe ₂₀ Cr _{19.83} Ni ₂₀ Co ₂₀ Mn ₂₀ C _{0.17}	구상 석출물(0.5~50nm)	1460	970	30
발명예 6	Fe ₂₀ Cr ₂₀ Ni ₂₀ Mn _{19.65} Cu ₂₀ C _{0.35}	구상 석출물(0.5~50nm)	1490	990	28
발명예 7	Fe ₂₀ Cr _{19.83} Ni ₂₀ Co ₂₀ Mn ₂₀ N _{0.17}	구상 석출물(0.5~50nm)	1410	920	31

발명예 8	$\text{Fe}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Mn}_{19.65}\text{Cu}_{20}\text{N}_{0.35}$	구상 석출물(0.5~50nm)	1390	925	35
-------	--	------------------	------	-----	----

[0052] 표 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 조성을 만족하고, 기지조직(matrix)에 석출물을 포함하는 발명예 1 내지 8의 경우에는 비교예에 비해 우수한 강도와 연성을 균형있게 확보할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 비교예 1 내지 3에서는 특별히 석출물이 관찰되지 않았으나, 본 발명의 발명예에서는 침상, 구상 내지 다양한 형상의 석출물이 형성되고, 우수한 강도와 연성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

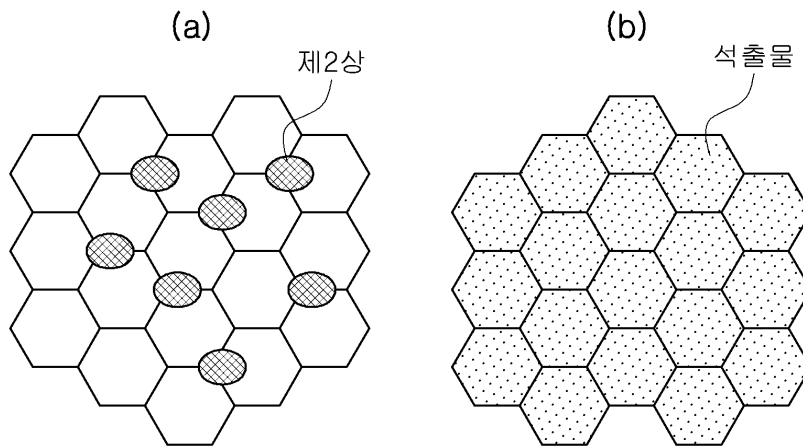
[0053] 한편, 도 2는 상기 발명예 5의 미세조직을 관찰한 사진으로서, 도 2(a)에서는 2차 열처리 전의 미세조직으로 Cr 탄화물이 형성되는 것을 확인할 수 있고, 도 (b)에서는 2차 열처리 후에 구형의 탄화물이 형성되어, 전위의 이동을 방해하여 기지를 강화시키는 것을 확인할 수 있다.

[0054] 도 3은 상기 발명예 1의 미세조직을 관찰한 사진으로서, 2차 열처리 후에 형성된 침상의 석출물이 고르게 분산되어, 기지 내에서 전위의 이동을 방해하여 기지를 강화시키는 것을 확인할 수 있다.

[0055] 한편, 도 5는 상기 발명예 5의 XRD 분석 결과를 나타낸 그래프이다. 상기 도 5를 통하면, 상기 발명예 5은 면심입방구조의 기지조직을 가지며, XRD 데이터 상에서 작은 피크가 관찰됨으로서, 석출물이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

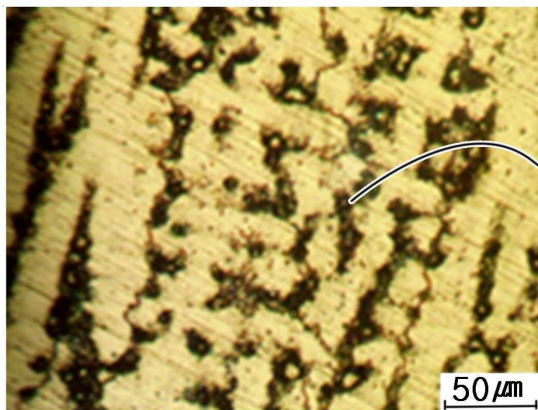
도면

도면1



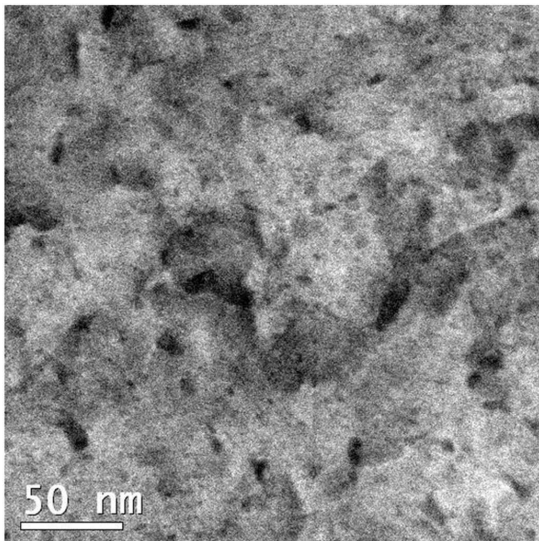
도면2

(a)

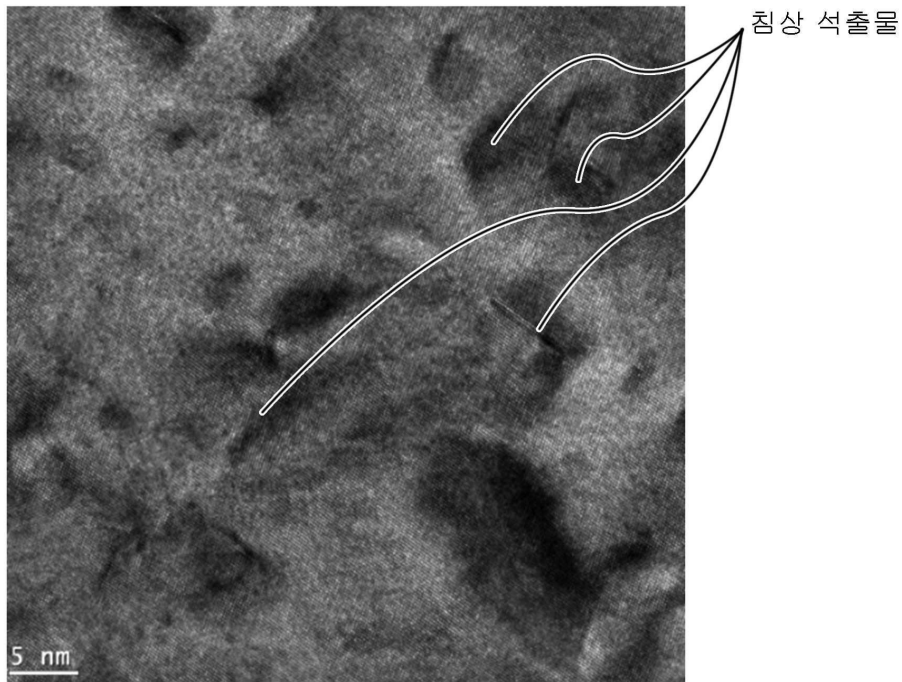


Cr 탄화물

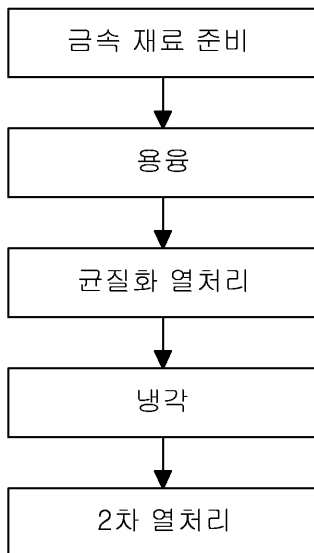
(b)



도면3



도면4



도면5

