



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0040970
(43) 공개일자 2020년04월21일

- | | |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/00 (2006.01) C21D 6/00 (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01) C22C 30/00 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
C22C 38/00 (2013.01)
C21D 6/00 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2018-0120637
(22) 출원일자 2018년10월10일
심사청구일자 2018년10월10일</p> | <p>(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)</p> <p>(72) 발명자
홍순익
대전광역시 유성구 대덕대로541번길 68 103동 1006호 (도룡동, 현대아파트)
송재숙
대전광역시 중구 계백로1716번길 87 303동 501호 (문화동, 센트럴파크3단지아파트)
이병주
대전광역시 대덕구 계족산로 136 511동 1302호 (송촌동, 선비마을5단지아파트)</p> <p>(74) 대리인
특허법인씨엔에스</p> |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 석출경화형 고엔트로피 강 및 그 제조방법

(57) 요약

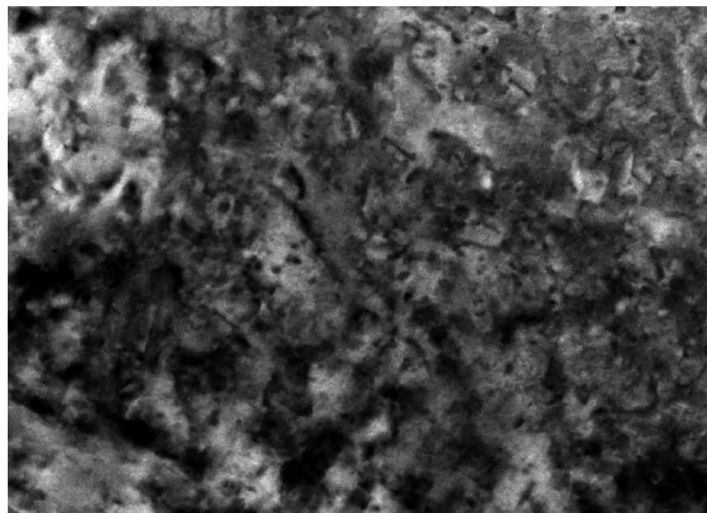
석출경화형 고엔트로피 강 및 그 제조방법이 제공된다.

본 발명의 고엔트로피 강은, 원자(at)%로, Fe: 35% 초과 80% 이하와, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하 및 Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 원소 그룹 중 선택된 4종 이상을 포함하고; 하기 1) 및 2)에 정의되는 원소 그룹 중 선택된 1종 이상을 각각 포함하며; 그리고 그 기지 조직(matrix)에 석출물이 분포되어 있다.

1) C: 0.01~0.9%, N: 0.01~0.9% 및 B: 0.01~0.9%

2) Ti: 0.05~10%, Zr: 0.05~10%, Mo: 0.05~10%, W: 0.05~10%, Nb: 0.05~10%, Si: 0.05~10%, V:0.05~10% 및 Al:0.05~10%

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

C22C 1/02 (2013.01)

C22C 30/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711064848

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 미래소재디스커버리지원(R&D)

연구과제명 고엔트로피합금의 나노구조 제어 및 복합강화에 의한 성능향상 연구

기 여 율 1/1

주관기관 충남대학교

연구기간 2018.02.01 ~ 2019.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

원자(at)%로, Fe: 35% 초과 80% 이하와, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하 및 Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 원소 그룹 중 선택된 4종 이상을 포함하고;

하기 1) 및 2)에 정의되는 원소 그룹 중 선택된 1종 이상을 각각 포함하며; 그리고

그 기지 조직(matrix)에 석출물이 분포되어 있는 석출경화형 고엔트로피 강.

1) C: 0.01~0.9%, N: 0.01~0.9% 및 B: 0.01~0.9%

2) Ti: 0.05~10%, Zr: 0.05~10%, Mo: 0.05~10%, W: 0.05~10%, Nb: 0.05~10%, Si: 0.05~10%, V:0.05~10% 및 Al:0.05~10%

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 석출물은 Cr, Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si 또는 V계 탄질화물 내지 붕화물, Mn계 탄질화물 및 (Cr,Mn)계 탄질화물 중 1종 이상인 것을 특징으로 하는 석출경화형 고엔트로피 강

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 석출물은 그 평균 직경이 0.5~50nm의 크기이고, 석출물 간의 간격은 1~500nm로 분포되어 있는 것을 특징으로 하는 석출경화형 고엔트로피 강.

청구항 4

원자(at)%로, Fe: 35% 초과 80% 이하와, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하 및 Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 원소 그룹 중 선택된 4종 이상을 포함하고; 그리고 하기 1) 및 2)에 정의되는 원소 그룹 중 선택된 1종 이상을 각각 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계;

상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계;

상기 제조된 합금을 900~1350℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계;

상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및

상기 냉각된 합금을 가공한 후, 300~900℃의 온도범위에서 0.2~72시간 유지하는 2차 열처리 후 냉각하는 단계를 포함하는 석출경화형 고엔트로피 강의 제조방법.

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

2) Ti: 0.05~10%, Zr: 0.05~10%, Mo: 0.05~10%, W: 0.05~10%, Nb: 0.05~10%, Si: 0.05~10%, V:0.05~10%, Al:0.05~10% 중 1종 이상

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 균질화 열처리는 900~1350℃ 온도범위에서 1~48 시간 동안 행하는 것을 특징으로 하는 석출경화형 고엔트로피 강의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 전자기, 화학, 조선, 기계 등의 부품 소재 내지 극한 환경 또는 고온강도가 요구되는 원자력, 발전 부품 등의 고온 부품 소재 등에 사용될 수 있는 석출경화형 고엔트로피 강 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 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.
- [0005] 상기 고엔트로피 합금이란 다종 합금원소들이 균등조성으로 구성되어 금속간화합물 형성을 통해 자유에너지 감소에 의한 화합물의 형성보다는 여러 원소의 혼합에 의해 배열 엔트로피(Configuration Entropy)의 증가가 커서 전체 자유에너지를 감소시켜, 다성분 합금원소들 간의 금속간화합물이나 비정질 합금을 형성하는 것이 아니라, 여러 합금원소가 혼합된 고용체가 형성되는 합금을 의미한다.
- [0007] 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.
- [0008] 상기 고 엔트로피 합금은 5 내지 35at% 사이의 원자 농도를 갖는 4종 이상의 금속 성분을 함유하며, 첨가된 모든 합금원소가 주 원소로 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.
- [0010] 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.
- [0012] 한편, 특허문헌 2는 세라믹 상(대표적으로 텅스텐 카바이드)과 다종 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 기술이다. 그러나, 상기 특허문헌 2와 같이, 세라믹계 물질을 사용하여 합금을 제조하는 경우에는 고온의 공정이 필요하기 때문에 제조가 어렵다는 문제가 있다.
- [0013] 특허문헌 1과 특허문헌 2와 같이, 금속이나 세라믹 합금원소들을 이용하는 고엔트로피 합금은 우수한 기계적 물성을 갖기 때문에 금속 분야 신소재로 주목을 받고 있으며, 최근에는 고온 기계적 특성과 저온 기계적 특성 등 극한환경 물질에서도 우수한 특성을 나타내고 있는 것으로 알려지면서 다양한 연구가 계속되고 있으나, 대부분의 연구가 고엔트로피 합금을 형성하기 쉬운 동일분율(Equiatomic)로 구성된 고엔트로피 합금을 제조하여 기계적 특성 및 물리적 특성을 평가하는 수준에 머물고 있기 때문에, 고엔트로피 합금을 기반으로 보다 향상된 기계적 특성을 얻기 위한 합금개발에 대한 연구가 미비한 실정이다.
- [0014] 또한 이러한 엔트로피의 증가에 의한 구조 및 기계적 특성의 변화를 기존 비철재료 및 철강재료에 적용하는 경우 새로운 특성이 유도되거나 기존 특성이 더욱 향상될 가능성이 큼에도 불구하고, 기존 합금계에 고엔트로피

개념을 적용하여 특성을 개선하는 연구 및 개발이 이루어지지 않고 있는 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0016] (특허문헌 0001) 미국 공개특허 US 2013/0108502 A1
(특허문헌 0002) 미국 공개특허 US 2009/0074604 A1

비특허문헌

- [0017] (비특허문헌 0001) Matreial Science and Engineering A, Volumes 375-377, July 2004, page 213-218.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0018] 본 발명의 일측면은 고엔트로피 합금을 기반으로 보다 향상된 기계적 특성을 얻기 위한 합금개발에 대한 방안으로 Fe를 35% 이상 함유한 고엔트로피 합금 기지에 석출물을 형성시키는 개념을 철강재료에 도입하여, 다양한 합금원소의 석출물을 기지에 형성시켜 열처리 조건에 따라 가공성 및 강도 성능이 우수한 고엔트로피 강(steel) 및 그 제조방법을 제공하고자 하는 것이다.
- [0019] 구체적으로, 석출물이 형성되지 않은 열처리 조건에서 가공율을 향상시킨 후, 가공 후 고엔트로피 기지에 석출물을 형성시켜 강도 특성을 증가시킴으로써 기계적 특성이 더욱 향상된 고엔트로피 강 및 그 제조 방법을 제공하고자 하는 것이다.
- [0021] 한편, 본 발명의 과제는 상술한 내용에 한정하지 않는다. 본 발명의 과제는 본 명세서의 내용 전반으로부터 이해될 수 있을 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 본 발명의 부가적인 과제를 이해하는데 아무런 어려움이 없을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0023] 본 발명의 일태양은,
- [0024] 원자(at)%로, Fe: 35% 초과 80% 이하와, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하 및 Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 원소 그룹 중 선택된 4종 이상을 포함하고;
- [0025] 하기 1) 및 2)에 정의되는 원소 그룹 중 선택된 1종 이상을 각각 포함하며; 그리고
- [0026] 그 기지 조직(matrix)에 석출물이 분포되어 있는 석출경화형 고엔트로피 강이다.
- [0027] 1) C: 0.01~0.9%, N: 0.01~0.9% 및 B: 0.01~0.9%
- [0028] 2) Ti: 0.05~10%, Zr: 0.05~10%, Mo: 0.05~10%, W: 0.05~10%, Nb: 0.05~10%, Si: 0.05~10%, V: 0.05~10% 및 Al: 0.05~10%
- [0030] 상기 석출물은 Cr, Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si 또는 V계 탄질화물 내지 붕화물, Mn계 탄질화물 및 (Cr,Mn)계 탄질화물 중 1종 이상일 수 있다.

- [0032] 상기 석출물은 그 평균 직경이 0.5~50nm의 크기이고, 석출물 간의 간격은 1~500nm로 분포되어 있을 수 있다.
- [0034] 본 발명의 또 다른 일태양은,
- [0035] 원자(at)%로, Fe: 35% 초과 80% 이하와, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하 및 Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 원소 그룹 중 선택된 4종 이상을 포함하고; 그리고 하기 1) 및 2)에 정의되는 원소 그룹 중 선택된 1종 이상을 각각 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계;
- [0036] 상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계;
- [0037] 상기 제조된 합금을 900~1350℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계;
- [0038] 상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및
- [0039] 상기 냉각된 합금을 가공한 후, 300~900℃의 온도범위에서 0.2~72시간 유지하는 2차 열처리 후 냉각하는 단계를 포함하는 석출경화형 고엔트로피 강의 제조방법이다.
- [0040] 1) C: 0.01~0.9%, N: 0.01~0.9%, B: 0.01~0.9%중 1종 이상
- [0041] 2) Ti: 0.05~10%, Zr: 0.05~10%, Mo: 0.05~10%, W: 0.05~10%, Nb: 0.05~10%, Si: 0.05~10%, V:0.05~10%, Al:0.05~10% 중 1종 이상
- [0043] 상기 균질화 열처리는 900~1350℃ 온도범위에서 1~48 시간 동안 행할 수 있다.

발명의 효과

- [0045] 본 발명에 의하면, 기존 고엔트로피 합금에 포함되는 Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Cu의 원소 중, Fe을 주원소로 필수적으로 포함하고 그 외 4종 이상의 합금원소를 포함하는 고엔트로피 강(steel)을 제공하며, 아울러, 고엔트로피 steel의 기지조직(matrix)에 나노 크기의 석출물을 형성함으로써 우수한 강도와 연성을 구현할 수 있다. 따라서 이를 통하여, 원자력 압력용기, 피복관, 화력 발전용 터빈 블레이드 등의 고온 소재로 응용 등 고엔트로피 steel의 보다 다양한 활용이 가능하다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0047] 도 1은 본 발명의 고엔트로피 강의 미세조직을 나타낸 모식도로서, (a)는 2차 열처리 전이고, (b)는 2차 열처리 후의 미세조직을 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 제조방법 일예를 나타낸 공정 순서도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예 중 발명에 1의 미세조직을 나타낸 전자 현미경 사진로서, 열처리 후에 구상의 석출물이 분포한 미세조직을 나타낸 것이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예 중 발명에 5의 미세조직을 관찰한 사진으로 열처리 후에 침상의 석출물이 분포한 미세조직이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0048] 이하, 본 발명을 설명한다.
- [0049] 본 발명의 발명자들은 최근 자원 한계에 따른 원자재의 가격 상승, 온실가스 관련 등 엄격해지는 환경문제 등의 문제점들을 해결하기 위하여 고강도와 고연성의 기계적 특성을 나타내는 새로운 소재 개발에 대한 연구를 행하였으며, 구체적으로 향상된 기계적 특성을 얻기 위한 합금개발에 대한 방안으로서 고엔트로피 합금의 개념을 철강재료에의 적용을 검토하였다. 이에 따라, 철강재료 기반 고엔트로피 강 기지에 다양한 합금원소의 석출물을 형성시켜 제조되는 강의 가공성 및 가공경화 성능이 제고됨을 확인하였다. 즉, 고엔트로피 합금에 비금속 합금 원소인 탄소(C), 질소(N), 붕소(B) 등을 고용한도 이상으로 첨가하여 탄질화물 또는 붕화물을 석출시키거나,

Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si, V, Al 등의 금속원소를 첨가시켜 석출물을 형성함으로써, 강도와 연성이 동시에 우수한 고엔트로피 강을 제조할 수 있음을 확인하고 본 발명을 제시하는 것이다.

[0050] 즉, 본 발명의 고엔트로피 강은 기존 고엔트로피 합금과는 달리 Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Cu의 합금원소 중 Fe를 필수적으로 포함하고, 그외 4종 이상의 원소를 포함하되, Fe의 함량이 첨가된 다른 구성원소 함량보다 높은 것을 특징으로 한다. 또한 본 발명의 고엔트로피 강에 C, N, B 그룹과 Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si, V, Al 그룹에서 각기 하나 이상의 원소를 더 포함하여, 기지에 석출상을 형성함으로써 석출강화 특성뿐만 아니라 가공경화 및 고용강화 특성을 개선함을 특징으로 한다.

[0052] 먼저, 본 발명의 고엔트로피 강의 조성성분 및 함량 제한사유를 상세히 설명한다.

[0053] 본 발명의 고엔트로피 강은, 원자(at)%로, Fe: 35% 초과 80% 이하와, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Cr: 5% 초과 35% 이하 및 Cu: 5% 초과 35% 이하로 이루어진 원소 그룹 중 선택된 4종 이상을 포함하고; 하기 1) 및 2)에 정의되는 원소 그룹 중 선택된 1종 이상을 각각 포함하며; 그리고 그 기지 조직(matrix)에 석출물이 분포되어 있다.

[0054] 1) C: 0.01~0.9%, N: 0.01~0.9% 및 B: 0.01~0.9%

[0055] 2) Ti: 0.05~10%, Zr: 0.05~10%, Mo: 0.05~10%, W: 0.05~10%, Nb: 0.05~10%, Si: 0.05~10%, V: 0.05~10% 및 Al: 0.05~10%

[0057] 본 발명에서 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 원소이며, Co는 조직의 미세화, Cr은 내식성을 향상시킨다. 상기 원소 중 Fe 함량이 35% 초과, 80% 이하인 이유는 가능한 한 엔트로피를 극대화시키되, 기지가 강(Steel)의 특성을 갖도록 Fe의 성분이 다른 구성원소보다 높게 하기 위함이다. Ni, Cu 함량이 5% 초과, 35% 이하인 이유는 엔트로피를 극대화시키되, 기지가 FCC의 특성을 갖도록 하기 위함이며, Mn 함량이 5% 초과, 35% 이하인 이유는 엔트로피를 극대화시키되, 기지의 적층결합에너지를 낮추고 FCC의 특성을 갖도록 하기 위함이며, Co 함량이 5% 초과, 35% 이하인 이유는 엔트로피를 극대화시키되, 조직의 미세화 및 적층결합에너지를 제어하기 위함이며, Cr 함량이 5% 초과, 35% 이하인 이유는 엔트로피를 극대화시키되, 내식성을 최적화하기 위함이다.

[0059] 한편, 상기 C, N 및 B는 고엔트로피 강 내의 Fe, Mn, Cr 그 중에서도 특히 Cr과 탄화물 또는 질화물을 형성하여, 고엔트로피 강 기지에 석출되어 기지를 강화시키고, 가공경화능을 향상시킨다. 상기 C, N 및 B의 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.

[0061] 또한 상기 Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si, V 및 Al는 고엔트로피 강 기지를 이루는 주원소인 Fe, Cr, Ni, Mn, Co 및 Cu와 원자 반경의 차이가 크고, 원자가 등의 차이가 커서, 고엔트로피 강 기지에 용해도가 작아 석출물 또는 탄/질화물 등이 석출되어 기지를 강화시킬 수 있다. 상기 Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si, V 및 Al의 함량을 각각 0.05~10%로 하는 것은 0.05% 미만에서는 석출경화 효과가 너무 작은 반면, 10%를 초과하게 되면, 석출물의 비가 너무 커져서 가공성을 악화시켜 취성을 유발할 수 있기 때문이다.

[0063] 이하, 본 발명 고엔트로피 강 미세조직에 대해 상세히 설명한다.

[0064] 도 1은 본 발명인 고 엔트로피 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 모식도로서, (a)는 본 발명의 고 엔트로피 합금을 제조하는 과정에서 2차 열처리 전에, 단상의 고용체인 기지조직(matrix)에 고용되지 않은 일부 금속성분들이 분포한 형태(제2상)를 나타내며, (b)는 2차 열처리를 통해서 석출물이 기지조직의 전반에 걸쳐서 고르게 분포되어 있는 것을 나타낸다.

[0065] 본 발명에서 상기 석출물은 Cr, Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si 또는 V계 탄질화물 내지 붕화물, Mn계 탄질화물 및

(Cr,Mn)계 탄질화물 중 1종 이상일 수 있다. 구체적으로, 상기 석출물은 Cr, Ti, Zr, Mo, W, Nb, Si 또, V을 포함하는 탄화물, 질화물 내지 붕화물, Mn을 포함하는 탄화물 내지 질화물(이하, Mn계 탄질화물) 및 Cr과 Mn을 포함하는 탄화물 내지 질화물(이하, (Cr,Mn)계 탄질화물) 등이 될 수 있다. 본 발명의 고엔트로피 강은 상기과 같이 주 기지조직에 위의 석출물을 석출시켜 강도와 연성이 우수한 고엔트로피 강을 얻을 수 있다.

[0066] 한편 본 발명에서 상기 석출물은 기지에 석출되어 전위(dislocation)의 이동을 방해하거나 전위의 결합에 의한 전위 소멸을 방해하여 전위밀도를 높임으로써, 강도를 향상시킨다. 상기 석출물은 그 평균 직경이 0.5~50nm의 크기이고, 석출물 간의 간격은 1~500nm로 분포되어 있는 것이 바람직하다.

[0068] 다음으로, 본 발명의 고엔트로피 강의 제조방법을 상세히 설명한다.

[0069] 본 발명의 고엔트로피 강의 제조방법은, 상기과 같은 조성성분을 갖는 금속 재료를 준비하는 단계; 상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계; 상기 제조된 합금을 900~1350℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계; 상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및 상기 냉각된 합금을 가공한 후, 300~900℃의 온도범위에서 0.2~72시간 유지하는 2차 열처리 후 냉각하는 단계를 포함한다.

[0071] 도 2는 본 발명의 제조방법 일예를 나타낸 공정 순서도이다.

[0072] 도 2는 나타난 바와 같이, 상기 조성 성분을 갖는 금속 재료를 마련한 후, 이를 용융한다.

[0073] 본 발명에서 상기 용융과정은 제조된 금속 재료를 합금화하기 위한 것으로서, 그 방법에 대해 특별히 한정하지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에 통상으로 행해지는 일반적인 방법을 이용할 수 있다. 예를 들어, 주조, 아크 용해, 분말 야금법, 용사주조법, 용사코팅법, 분사코팅법, 3D-printing 법 등을 통해서 상기 합금으로 제조할 수 있다.

[0075] 이어, 본 발명에서는 상기 용융하여 제조된 합금을 균질화 열처리한다. 고 엔트로피 합금은 다양한 원소가 혼합되어 있으므로, 충분한 확산을 유도하기 위해서 균질화 열처리를 행한다. 상기 균질화 열처리는 900~1350℃의 온도범위에서 1~48시간 유지하는 것이 바람직하다.

[0077] 그리고 본 발명에서는 상기 균질화 열처리 후에는 냉각을 행한다. 상기 냉각 방식을 특별히 한정하지 않으므로, 수냉, 유냉, 공냉 등의 방식으로 행할 수 있다. 상기 냉각 과정을 통해 미세조직에서 기지조직에 고용되지 않는 일부 금속성분들이 균일하게 분포되도록 할 수 있다.

[0079] 후속하여, 본 발명에서는 상기 냉각된 합금을 가공한다. 본 발명에서는 이러한 가공방법으로 단조, 압출, 압연, 인발 등의 방법을 이용할 수 있다. 이러한 가공으로 냉각된 합금 소재 내부에 다양한 변형 결함들이 도입될 수 있다.

[0080] 이어, 본 발명에서는 상기 냉각된 단상의 고용체 기지조직에 석출물이 동시에 존재하는 미세조직을 만들기 위해서 2차 열처리를 실시한다.

[0081] 이러한 2차 열처리는 성분이 균일하게 분포된 합금 기지에서 고용한계를 넘어서는 원소나 열역학적으로 불안정하거나 준안정한 상태로 분포하는 원소들을 단일원소나 금속간 화합물 형태로 기지에 균일하게 석출시키기 위한 공정이다.

[0082] 이때, 본 발명에서는 300~900℃의 온도범위에서 0.2~72시간 유지하는 2차 열처리를 행함이 바람직하다.

[0083] 이후, 상기 2차 열처리된 합금을 냉각하며, 이때의 냉각은 상기과 마찬가지로, 수냉, 유냉, 공냉, 노냉 등의 통상의 냉각 방식을 이용할 수 있다.

[0085] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 상세히 설명한다.

[0086] (실시예)

[0087] 하기 표 1의 조성(at%)을 갖는 금속 재료를 준비하고, 이를 진공 분위기에서 아크 용해(Arc Melting)하여 고엔트로피 합금을 각각 제조하였다. 이후, 제조된 합금을 1250℃에서 24시간 균질화 열처리를 수행한 후 냉각하였다. 그리고 상기 균질화 처리 후 냉각된 합금은 압연 가공 공정을 거친 후, 450℃에서 3시간 열처리하여 석출물을 형성시켰다.

[0088] 이후, 상기와 같이 제조된 각각의 고엔트로피 강(비교예 1-3, 발명예 1-12)에 대하여 1mm 두께의 판재 만들어, 인장시험을 수행하고 그 기계적 물성을 평가하여 이를 하기 표 1에 함께 나타내었다.

표 1

[0089]

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 ₆₀ Cr _{19.5} Co ₁₀ Mn ₁₀ C _{0.5}	구상 석출물(0.5~50nm)	875	728	24
발명예 2	Fe ₆₀ Cr _{19.5} Co ₁₀ Mn ₁₀ N _{0.5}	구상 석출물 (0.5~50nm)	900	712	18
발명예 3	Fe ₆₀ Cr _{19.5} Co ₁₀ Mn ₁₀ B _{0.5}	침상 형상(0.5~50nm)	915	765	17
발명예 4	Fe ₆₀ Cr ₁₅ Ni ₁₀ Mn ₁₀ Ti _{4.5} C _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	1065	915	25
발명예 5	Fe ₆₀ Co ₁₅ Ni ₁₀ Mn ₁₀ W _{4.5} C _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	1095	952	26
발명예 6	Fe ₆₀ Cr ₁₅ Ni ₁₀ Mn ₁₀ Mo _{4.5} C _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	1080	926	24
발명예 7	Fe ₆₀ Ni ₁₅ Co ₁₀ Mn ₁₀ V _{4.5} C _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	1073	930	23
발명예 8	Fe ₆₀ Cr ₁₅ Co ₁₀ Mn ₁₀ Nb _{4.5} C _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	1091	934	25
발명예 9	Fe ₆₀ Cr ₁₅ Co ₁₀ Ni ₁₀ Zr _{4.5} C _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	1058	923	24
발명예 10	Fe ₆₀ Ni ₁₅ Co ₁₀ Mn ₁₀ Cu _{4.5} N _{0.5}	구상 석출물(0.5~50nm)	983	840	21
발명예 11	Fe ₆₀ Cr ₁₅ Co ₁₀ Mn ₁₀ Al _{4.5} N _{0.5}	구상 석출물(0.5~50nm)	1020	874	25
발명예 12	Fe ₆₀ Mn ₁₅ Co ₁₀ Cr ₁₀ Si _{4.5} B _{0.5}	침상 석출물(0.5~50nm)	994	848	22

[0091] 표 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 조성을 만족하고, 기지조직(matrix)에 석출물을 포함하는 발명예 1-12의 경우에는 비교예 1-3 대비 우수한 강도와 연성을 균형있게 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 특히, 비교예 1-3에서는 특별한 석출물이 관찰되지 않으나, 본 발명의 발명예들에서는 침상, 구상 형상의 석출물이 형성되고, 우수한 강도와 연성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다.

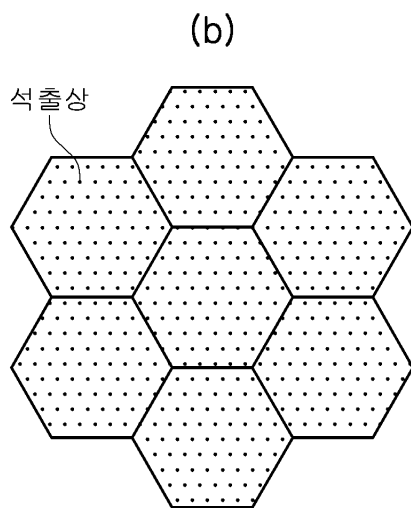
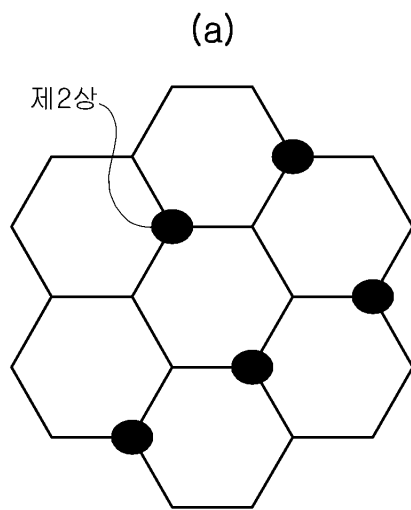
[0093] 한편, 도 3은 본 발명예 1의 미세조직을 관찰한 사진으로서, 도 3에서는 2차 열처리 후, 구형의 탄화물이 형성되어 전위의 이동을 방해함으로써 기지를 강화시키는 것을 확인할 수 있다.

[0094] 도 4는 본 발명예 5의 미세조직을 관찰한 사진으로서, 2차 열처리 후, 형성된 침상의 석출물이 고르게 분산되어 기지 내에서 전위의 이동을 방해함으로써 기지를 강화시키는 것을 확인할 수 있다.

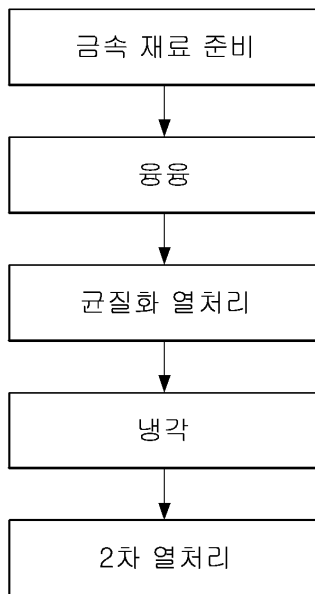
[0096] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 관하여 설명하였으나 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 따라서 본 발명의 권리 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 청구범위뿐만 아니라, 이와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

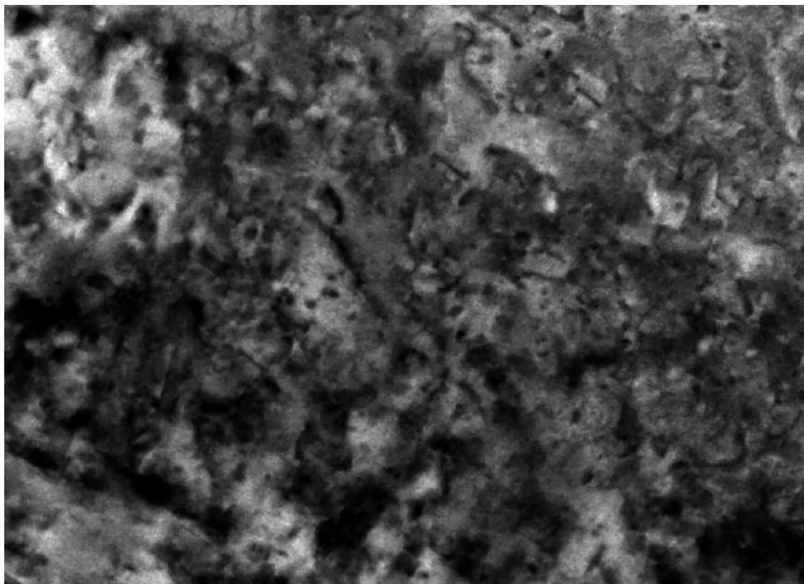
도면1



도면2



도면3



도면4

