



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년02월20일
(11) 등록번호 10-1950236
(24) 등록일자 2019년02월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 30/02 (2006.01) C22F 1/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 30/02 (2013.01)
C22F 1/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0115713
(22) 출원일자 2017년09월11일
심사청구일자 2017년09월11일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020170124441 A

(73) 특허권자
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
홍순익
대전광역시 유성구 대덕대로541번길 68 (도룡동,
대덕연구원현대아파트) 103동 1006호
송재숙
대전광역시 중구 서문로 96 (문화동, 센트럴파크
2단지아파트) 303동 501호
(74) 대리인
특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 조현정

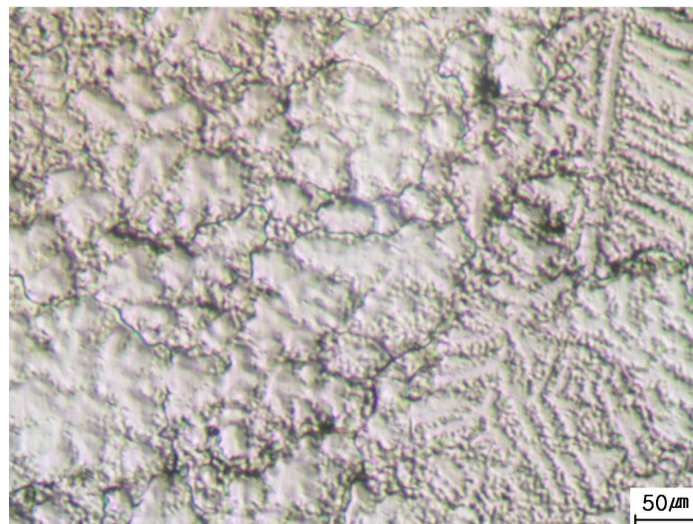
(54) 발명의 명칭 구리 합금계 고엔트로피 합금 및 그 제조방법

(57) 요약

구리 합금계 고엔트로피 합금 및 그 제조방법이 제공된다.

본 발명은, 원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하와, 여기에, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하 및 Si: 5% 초과 35% 이하,로 이루어진 그룹중 선택된 3종 이상의 원소를 추가로 포함하며, 그 기지조직(matrix)이 단상이거나 기지조직에 제2상이 분포되어 있는 복합상을 갖는 구리 합금계 고 엔트로피 합금에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711048414

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 미래소재디스커버리지원

연구과제명 고엔트로피합금의 나노구조 제어 및 복합강화에 의한 성능향상 연구

기 여 율 1/1

주관기관 충남대학교

연구기간 2017.02.01 ~ 2018.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하 및 Mn: 5% 초과 35% 이하를 포함하며,

그 기지조직(matrix)이 단상이거나 기지조직에 제2상이 분포되어 있는 복합상을 갖는 구리 합금계 고 엔트로피 합금.

청구항 2

제 1항에 있어서, Ag, Al, Ga, Fe, V 및 Cr으로 이루어진 그룹 중 선택된 1 종 이상의 원소를 5% 초과 35% 이하로 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 제2상은 제2의 고용체, 단상의 덴드라이트, 편석, 상분리 영역, 결정립 및 석출상 중 하나 이상인 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금.

청구항 4

원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하 및 Mn: 5% 초과 35% 이하를 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계;

상기 준비된 금속 재료를 주조 또는 분말야금법으로 합금을 제조하는 단계;

상기 제조된 합금을 균질화 열처리하는 단계;

상기 균질화 열처리된 합금을 1차 가공한 후 냉각하는 단계;

상기 냉각된 합금을 200~600℃에서 중간 열처리하는 단계; 및

상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 그 기지조직 내부에 단상 또는 제2상이 균일하게 분포시키는 단계;를 포함하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서, Ag, Al, Ga, Fe, V 및 Cr으로 이루어진 그룹 중 선택된 1 종 이상의 원소를 5% 초과 35% 이하의 범위로 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법.

청구항 6

제 4항에 있어서, 상기 균질화 열처리는 600~1000℃의 온도범위에서 1~48시간 동안 유지하는 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법.

청구항 7

제 4항에 있어서, 상기 1차 및 2차 가공은 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing), 상온 가공

중 하나 이상인 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법.

청구항 8

제 4항에 있어서, 상기 1차 가공 또는 2차 가공은 상기 합금을 판재, 봉재 및 선재 중 어느 하나로 형태로 가공하는 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법.

청구항 9

제 4항에 있어서, 상기 금속 재료는 Si: 5% 초과 35% 이하를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법.

청구항 10

제 1항에 있어서, Si: 5% 초과 35% 이하를 추가로 포함하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자기, 화학, 조선, 기계 등의 부품 소재 내지 극한 환경에서 사용되는 부품 및 구조 소재 등에 사용될 수 있는 구리계 고 엔트로피 합금 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에 들어, 여러 가지 합금성분을 유사한 물분율로 첨가하여 모든 성분이 주원소로 작용하는 고 엔트로피 합금(High entropy alloy)으로 지칭된 새로운 종류의 물질들이 제안, 개발되고 있다. 현재 개발되고 있는 고 엔트로피 합금의 양상은 Fe, Ni, Co, Cr 및 Mn으로 이루어진 군에서 적어도 4개 이상의 원소를 포함하는 단상의 다원계 고엔트로피 합금에 관한 것들이 널리 알려져 있다.

[0003] 일반적으로 고 엔트로피 합금은 고가의 무거운 합금원소들을 이용하는 유형과 비금속으로 탄화물이나 질화물 등의 세라믹원소를 이용하는 유형으로 구분된다.

[0004] 고가의 무거운 합금원소들로 구성된 특허문헌 1에서는 다중 금속성분 VNbTaMoTi 등을 5 내지 35 at% 사이의 원자 농도로 함유한 5종 이상의 금속성분을 제시하고 있으며, 여기에서 첨가된 모든 원소가 주 원소로서 작용하는 합금 시스템으로 면심입방 및/또는 체심입방 구조의 단상 고용체로 구성되는 고경도 및 고탄성의 고 엔트로피 합금을 제시하고 있다.

[0005] 또한 특허문헌 2에서는 W, V, Mo, Ti, Cr, Nb, Re, Hf 및 Ta 합금원소들의 분말을 이용하여 단상의 다원계 고엔트로피 합금을 제조하는 방법을 제시하고 있다. 이와 같이 고 엔트로피 합금은 유형에 따라 제조방법이 다를 수 있으며, 구조방법으로는 크게 금속계 고 엔트로피 합금의 구조와 비금속계 고 엔트로피합금의 구조로 구분할 수 있다. 전자는 구조, 아크 용해, 급속 응고, 기계적 합금화, 분말 야금법 등이 사용되며, 후자는 분말 야금, 스퍼터링 등의 방식으로 제조되고 있다. 그러나 이러한 방식은 모두 고가의 무거운 합금원소들이 여러 종류 첨가되고, 또한 첨가되는 합금원소들간 용융점 차이로 인한 구조의 어려움에도 불구하고 기존의 다른 합금에 비해 강도 특성이 그다지 높은 편은 아니다

[0006] 최근에는 고용체 단상을 이용하는 고 엔트로피 합금의 제조에서 탈피하여 단상과 제2상이 혼합된 고 엔트로피 합금에 관심이 고조되고 있으며, 고용강화, 석출 강화, 복합재료 등의 강화기구를 이용한 연구들이 광범위하게 연구되고 있다

[0007] 그런데 이러한 대부분의 고 엔트로피 합금들은 Fe, Mn, Ni, Co 또는 고용점 금속원소(V, Nb, Ta, Mo, Cr)들을 이용하는 합금 시스템들이나, 최근에는 Cu 금속원소를 주원소로 이용하는 고 엔트로피 합금에 관한 연구들이 진행되고 있다. 예컨대 비특허문헌 1에서는 Cu-Mn-Ni계 합금에 고용도가 높은 Al, Zn 또는 Sn을 첨가하여 면심입방 및/또는 체심입방 구조의 단상 고용체 또는 제2상으로 구성되는 고경도 및 고탄성의 고 엔트로피 합금을 제시하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 미국 특허공개 US 2013/0108502호 공보
(특허문헌 0002) 대한민국 특허공개 KR10-2017-0027520호 공보

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) (비 특허문헌 1) Journal of Alloys and Compounds 650 (2015) 949-961

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 Cu와, Al, Ni, Mn, Si, Ga, Ge, Fe, V, Ag 및 Cr으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 3종 이상의 원소를 포함하는 그 기지조직이 단상이거나 제2상을 포함하는 구리 합금계 고엔트로피 합금 및 이의 제조방법을 제공함을 그 목적으로 한다.

[0011] 또한 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들에 한정되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은,

[0013] 원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하와, 여기에, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하 및 Si: 5% 초과 35% 이하,로 이루어진 그룹중 선택된 3종 이상의 원소를 추가로 포함하며,

[0014] 그 기지조직(matrix)이 단상이거나 기지조직에 제2상이 분포되어 있는 복합상을 갖는 구리 합금계 고 엔트로피 합금에 관한 것이다.

[0015] 본 발명에서는 Ag, Al, Ga, Fe, V 및 Cr으로 이루어진 그룹 중 선택된 1 종 이상의 원소를 5% 초과 35% 이하로 추가로 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명에서 상기 제2상은 제2의 고용체, 단상의 덴드라이트, 편석, 상분리 영역, 결정립 및 석출상 중 하나 이상일 수 있다.

[0017] 또한 본 발명은,

[0018] 원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하와, 여기에, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이

하 및 Si: 5% 초과 35% 이하,로 이루어진 그룹중 선택된 3종 이상의 원소를 추가로 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계;

[0019] 상기 준비된 금속 재료를 주조 또는 분말야금법으로 합금을 제조하는 단계;

[0020] 상기 제조된 합금을 균질화 열처리하는 단계;

[0021] 상기 균질화 열처리된 합금을 1차 가공한 후 냉각하는 단계;

[0022] 상기 냉각된 합금을 200~600℃에서 중간 열처리하는 단계; 및

[0023] 상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 그 기지조직 내부에 단상 또는 제2상이 균일하게 분포시키는 단계;를 포함하는 구리 합금계 고 엔트로피 합금의 제조 방법에 관한 것이다.

[0024] 본 발명에서는 Ag, Al, Ga, Fe, V 및 Cr으로 이루어진 그룹 중 선택된 1 종 이상의 원소를 5% 초과 35% 이하로 추가로 포함할 수 있다.

[0025] 상기 균질화 열처리는 600~1000℃의 온도범위에서 1~48시간 동안 유지하는 것이 바람직하다.

[0026] 상기 1차 및 2차 가공은 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing), 상온 가공 중 하나 이상일 수 있다.

[0027] 상기 1차 가공 또는 2차 가공은 상기 합금을 판재, 봉재 및 선재 중 어느 하나로 형태로 가공하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0028] 상술한 바와 같은 구성의 본 발명에 의하면, Cu 금속원소를 주 원소로 이용하는 고 엔트로피 합금의 기지 조직(matrix) 내부에 단상 또는 제2상을 균일하게 분포시키며, 가공을 통하여 단상 또는 제2상의 모양, 크기 및 분포를 제어함으로써 우수한 강도와 연성을 구현할 수 있다. 그러므로 고 엔트로피 합금의 보다 다양한 활용이 가능한 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 Cu, Ge, Ni, Mn 합금원소로 이루어진 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피합금의 미세구조이다.

도 2(a)는 본 발명의 일 실시예에서 주조 후 미세조직을 관찰한 전자현미경 사진이며, 도 2(b-e)는 각각 Ge, Mn, Ni 및 Cu 합금원소의 mapping 이미지를 나타내는 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하, 본 발명을 설명한다.

[0031] 본 발명의 발명자들은 고 엔트로피 합금의 강도와 연성 등의 기계적/물리적 특성을 향상시키기 위한 방법에 대한 다양한 연구를 수행하였다. 그 결과, 다종의 합금 성분들이 단상의 면심 입방 내지 체심 입방의 고용체를 형성하는 것보다, 다종의 합금 성분들 중 일부 조성이 분리되거나 다른 연성 상을 형성하는 경우, 또는 편석되거나 상 분리가 일어나는 경우에 연성이 증가하며, 가공 후에는 강도가 증가하는 것을 인지하게 되었다. 또한 합금 제조 시에 분말야금 또는 급속응고(급냉)를 통하여 기지 내에 존재하는 제2상을 미세화시키고, 아울러, 가공 공정을 통해 기지 내에 제2상이 미세하고 균일하게 분포되는 경우에 강도와 연성이 우수한 고 엔트로피 합금이 형성되는 것을 확인하고, 본 발명을 제안하는 것이다

- [0032] 즉, 본 발명의 구리 합금계 고 엔트로피 합금은, 원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하와, 여기에, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하 및 Si: 5% 초과 35% 이하,로 이루어진 그룹중 선택된 3종 이상의 원소를 추가로 포함하며, 그 기지조직(matrix)이 단상이거나 기지조직에 제2상이 분포되어 있는 복합상을 포함한다.
- [0033] 먼저, 본 발명의 고 엔트로피 합금의 조성 성분 등에 대해 상세히 설명한다.
- [0034] 본 발명에서 Cu, Ge, Ni, Mn, Si은 고 엔트로피 합금을 구성하는 기본 원소로서, 4주기 천이원소 그룹이며, 원자반경의 차이 등이 작아 고용체 등을 이루기 적합한 원소들이다.
- [0035] 상기 Mn와 Ni는 면심입방(FCC) 고용체를 촉진하는 원소이며, Si은 입방구조를 가지며, Ni은 Cu 와 고용체를 이루어 기계적 특성을 향상시킨다.
- [0036] 본 발명에서는 상기 Cu, Ge, Ni, Mn 및 Si 원소들의 함량을 각각 원자%로, 5% 초과, 35% 이하로 제한하는 것은 가능한 한 엔트로피를 극대화시킬 수 있는 균등 조성에서 일부 엔트로피의 변화를 유도하되 고용체 형성을 위한 엔트로피 범위를 벗어나지 않게 하기 위함이다.
- [0037] 본 발명의 고 엔트로피 합금은 또한, Ag, Al, Ga, Fe, V 및 Cr 중 1종 이상의 합금 원소들을 원자%로, 5% 초과, 35% 이하 범위로 추가로 포함할 수 있으며, 이들 원소는 기지 내에 제2상을 형성시키고 균일하게 분포하여 기지를 강화시키고 전위 이동을 방해하여 고 엔트로피 합금의 기계적 특성을 향상시킨다.
- [0038] 이에 따라, 본 발명은 비철 금속 성분들로 구성되는 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피 합금을 제공하는 것으로, 상기 고엔트로피 합금은, 구성 원소들 간에 높은 혼합 엔트로피 효과로 인하여 단상 또는 2상 분리 미세구조를 형성하여 기존 고 엔트로피 합금에 비하여 향상된 강도 특성을 나타낼 수 있다.
- [0039] 일실시예에 있어서, 상기 단상 또는 2상 분리 다원계 고엔트로피 합금은, 4개 이상의 원소; 5개 이상의 원소; 또는 6개 이상의 원소를 포함하는 합금일 수 있다. 상기 원소는 다원계 고 엔트로피 합금을 형성할 수 있는 원소라면 제한 없이 사용될 수 있으며, 예를 들어, Cu, Al, Ni, Mn, Co, Si, Ga, Ge, Fe, V, Ag 및 Cr으로 이루어진 군에서 선택될 수 있다. 예를 들어, 단상 또는 2상 분리 고 엔트로피 합금은, CuAlNiSi, CuMnNiGe, CuNiSiGe, CuAlSiGe 또는 CuAlMnGe 중 어느 하나인 4원계 합금; CuAlMnNiSi, CuAlMnNiGe, CuAlMnNiCo, CuAgMnNiCo 또는 CuAlMnNiGe 중 어느 하나인 5원계 합금; 또는 CuAlMnNiSiCr, CuAlMnNiSiFe, CuAlMnNiSiV, CuAlMnNiGeCr, CuAlMnNiGeFe 또는 CuAgMnNiGeV 중 어느 하나인 6원계 합금일 수 있다.
- [0040] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피 합금에서 각 합금원소의 조성비는 단상 또는 2상 분리를 형성하기 위해 구성되는 합금원소의 수, 종류 등에 따라 선택될 수 있으며, 예를 들어, 5 내지 35 at%; 10 내지 35 at% 일 수 있다.
- [0041] 즉, 본 발명의 일 실시예에 있어서, 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피 합금에서 각 원소는, 일례로서, Cu 5 at% 내지 35 at%, Ge 5 at% 내지 35 at%, Ni 5 at% 내지 35 at%, Mn 5 at% 내지 35 at%, Si 5 at% 내지 35 at%의 5원계 합금일 수 있고, 이에 한정되는 것은 아니며, 바람직하게는, Cu 20 at%, Ge 20 at%, Ni 20 at%, Mn 20 at%, Si 20 at%의 5원계 합금일 수 있다. 이는 본 발명의 다른 양상인 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피 합금의 제조방법에 있어서, 각각의 합금 원소를 이용하여 합금을 제조하고 이를 통하여 단상 또는 2상 분리를 이루는 조성비를 확인하는 과정을 거쳐 확인된 것들이다.
- [0042] 또한 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피 합금의 엔트로피는 합금에 구성되는 합금원소의 종류 등에 따라서 변경될 수 있으나, 상기 합금은 대략 10 ~ 14J/mol의 엔트로피를 나타낼 수 있다. 예를 들어, 4원계 합금은, 10 ~ 12 J/mol, 5원계 합금은, 12 ~ 14 J/mol일 수 있다.
- [0043] 그리고 상기 단상 또는 2상 분리 다원계 고 엔트로피 합금의 경도는, 380 내지 532Hv, 강도는 528 내지 694MPa 일 수 있다.

- [0044] 다음으로, 본 발명의 고 엔트로피 합금의 제조방법을 설명한다.
- [0045] 본 발명의 고 엔트로피 합금 제조방법은, 상술한 조성을 갖는 금속 재료를 준비하는 단계; 상기 준비된 금속 재료를 주조 또는 분말야금법으로 합금을 제조하는 단계; 상기 제조된 합금을 균질화 열처리하는 단계; 상기 균질화 열처리된 합금을 1차 가공한 후 냉각하는 단계; 상기 냉각된 합금을 200~600℃에서 중간 열처리하는 단계; 및 상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 그 기지조직 내부에 단상 또는 제2상이 균일하게 분포시키는 단계;를 포함한다.
- [0046] 먼저, 본 발명에서는 원자%로, Cu: 5% 초과 35% 이하와, 여기에, Ge: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하 및 Si: 5% 초과 35% 이하,로 이루어진 그룹중 선택된 3종 이상의 원소를 추가로 포함하는 금속재료를 마련한다.
- [0047] 본 발명에서는 Ag, Al, Ga, Fe, V 및 Cr으로 이루어진 그룹 중 선택된 1 종 이상의 원소를 5% 초과 35% 이하 범위로 추가로 포함할 수도 있다.
- [0048] 이어, 본 발명에서는 상기 준비된 금속 재료를 용융(주조) 또는 분말야금법을 이용하여 합금을 제조한다.
- [0049] 본 발명에서 상기 용융(주조)과정 등은 제조된 금속 재료의 합금화를 위한 것으로서, 본 발명에서는 그 방법에 대해 특별히 한정하지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에 통상 행하여지는 방법에 의한다. 예를 들어, 주조, 아크 용해, 분말 야금법 등을 통해서 진공분위기에서 고 엔트로피 합금을 제조하는 것이 가능하다. 한편 상기 제조된 합금은 이어, 냉각되는데, 이때 본 발명에서는 구체적인 냉각 형태에 제한되지 않으며, 서냉, 공냉 또는 급속 응고(급냉)을 이용할 수 있다.
- [0050] 이어, 본 발명에서는 상기 제조된 합금을 균질화 열처리한다. 상기 균질화 열처리는 확산을 유도하기 위한 공정으로서, 600~1000℃의 온도범위에서 1~48시간 동안 유지하는 것이 바람직하다.
- [0051] 상기 균질화 열처리 후에는 냉각을 행한다. 상기 냉각 방식을 특별히 한정하지 않으며, 공냉이나 노냉의 방식으로 행할 수 있다. 상기 냉각 과정을 통해 주 기지에 덴드라이트 구조와, 다중성분과 부분 고용 또는 고용 관계를 나타내는 금속성분을 포함하는 다중성분 고 엔트로피 합금에 일부 조성이 분리되거나 다른 조성의 연성을 갖는 상(phase), 편석부위 또는 상분리 구역을 기지에 균일하게 분포될 수 있다.
- [0052]
- [0053] 그리고 본 발명에서는 상기 균질화 열처리된 합금을 1차 가공한 후 상온으로 냉각한다. 본 발명에서 상기 1차 가공 방법은 특별히 한정하는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 행해지는 통상의 가공 방법이면 적용될 수 있다. 예를 들면, 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing), 상온 가공 중 하나 이상일 수 있다.
- [0054] 이어, 본 발명에서는 상기 냉각된 합금을 기지에 2상을 분포시켜 단상의 고용체 기지 조직에 제 2상이 동시에 존재하는 미세조직을 만들기 위하여 중간 열처리를 행한다. 이러한 중간 열처리는 성분이 균일하게 분포된 합금 기지에서 고용한계를 넘어서는 원소나 열역학적으로 불안정하거나 준안정한 상태로 분포하는 원소들을 단일 원소나 금속간 화합물 형태로 기지에 골고루 분포시키기 위한 공정으로서, 200~600℃의 온도범위로 0.5~72시간 동안 유지하고, 냉각한다. 이때, 냉각은 수냉, 유냉, 공냉, 노냉 등의 방식으로 행할 수 있다
- [0055] 마지막으로, 본 발명에서는 상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 그 기지조직이 단상이거나 그 기지조직 내부에 제2상이 균일하게 분포된 복합조직을 형성한다.
- [0056] 본 발명에서 상기 2차 가공 방법은 특별히 한정하는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 행해지는 통상의 가공 방법이면 적용될 수 있다. 예를 들면, 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing), 상

온 가공 중 하나 이상일 수 있다. 이러한 열간 가공(hot working), 압연법, 압출법, 상온가공법 등 다양한 가공 공정법을 통하여 주 기지에 단상 또는 2상을 미세화시키고 복합조직화 하며, 부분 고용 또는 2상 금속성분을 균일하게 기지에 분포시켜 높은 경도, 강도 및 연성 등의 기계적/물리적 성질을 보유하게 된다.

[0057]

[0058] 이때, 본 발명에서 상기 1차 가공과 2차 가공 중 어느 하나 이상은 상기 합금을 판재, 봉재 및 선재 중 어느 하나로 형태로 가공하는 것일 수 있다.

[0059] 상술한 바와 같은 1-2차 가공 공정 및 중간 열처리 공정을 통하여, 본 발명의 고 엔트로피 합금은 강도와 연성이 동시에 향상되는 기술적 효과를 가질 수 있다.

[0060] (실시예)

[0061] 하기 표 1과 같이 비교예 1 내지 4, 발명에 1 내지 6의 고엔트로피 합금을 제조하였다.

[0062] 구체적으로, 하기 표 1의 조성을 갖는 금속 재료를 준비하고, 이를 진공 분위기에서 아크 용해(Arc Melting)하여 합금을 제조하였다. 이후 900℃에서 24시간 균질화 열처리를 수행한 후 냉각하였다.

[0063] 한편, 이렇게 제조된 고 엔트로피 합금을 냉각한 후, 발명에 1-6의 합금은 75%의 가공량으로 1차 열간 압연 가공, 이어, 300℃에서 2시간 동안 중간 열처리, 그리고 95% 누적 가공량으로 2차 냉간 압연 가공하여 단상 또는 2상 혼합구조 또는 복합조직으로 이루어진 1mm 두께의 판재를 제조하였다. 즉, 하기 표 1과 같이, 구리(Cu), 게르마늄(Ge), 니켈(Ni), 망간(Mn), 실리콘(Si) 등의 다종 성분들로 이루어진 Cu-Ni-Mn-Si, Cu-Ni-Mn-Ge-Si, Cu-Ni-Mn-Al-Ge, Cu-Ni-Mn-Ge-Ga계 단상 또는 2상 분리 고 엔트로피 합금이나, 상기 고엔트로피 합금에 Cr, Co, Fe, V, Ag 중 한 가지 이상의 원소를 첨가한 단상 또는 2상 분리 고 엔트로피 합금을 상기 가공 공정을 통하여 기지에 분포시켰다.

[0064] 상기와 같이 제조된 고 엔트로피 합금의 판재에 대해서, 인장시험을 수행하고 그 기계적 물성을 평가하여 이를 표 1에 함께 나타내었다.

표 1

[0065]

	합금	미세조직	경도 (Hv)	강도 (Mpa)	연신율 (%)
비교예 1	Cu ₂₅ Mn ₂₅ Ni ₂₅ Al ₂₅	단상+2상	377	515	40
비교예 2	Cu ₂₅ Mn ₂₅ Ni ₂₅ Sn ₂₅	단상+2상	507	620	20
비교예 3	Cu ₂₅ Mn ₂₅ Ni ₂₅ Zn ₂₅	단상	128	215	60
비교예 4	[CuMnNi] ₇₀ Al ₁₀ Sn ₂₀	단상+2상	372	-	-
발명예 1	Cu ₂₅ Ni ₂₅ Mn ₂₅ Ge ₂₅	단상	380	528	42
발명예 2	Cu ₂₀ Ni ₂₀ Mn ₂₀ Ge ₂₀ Ag ₂₀	단상+2상	514	653	21
발명예 3	[CuNiMn] ₇₀ [GeSi] ₃₀	단상+2상	527	689	16
발명예 4	Cu ₂₀ Ni ₂₀ Mn ₂₀ Ge ₂₀ Si ₂₀	단상+2상	486	592	32
발명예 5	Cu ₂₀ Ni ₂₀ Mn ₂₀ Ge ₂₀ Cr ₂₀	단상+2상	532	694	15
발명예 6	Cu ₂₀ Ni ₂₀ Mn ₂₀ Ge ₂₀ Co ₂₀	단상+2상	490	560	17

[0066] 상기 표 1에 나타난 바와 같이, 단상 또는 2상 분리 및 복합조직으로 이루어진 Cu₂₅Ni₂₅Mn₂₅Ge₂₅, Cu₂₀Ni₂₀Mn₂₀Ge₂₀Ag₂₀, [CuNiMn]₇₀[GeSi]₃₀, Cu₂₀Ni₂₀Mn₂₀Ge₂₀Si₂₀, Cu₂₀Ni₂₀Mn₂₀Ge₂₀Cr₂₀, Cu₂₀Ni₂₀Mn₂₀Ge₂₀Co₂₀계 다원계 고 엔트로피합금(발명예 1-6)은 비교예 1-4 대비 경도, 강도 및 연성 등의 기계적 특성이 우수함을 알 수 있다.

[0067] 한편, 도 1은 발명예 1를 관찰한 사진으로서, 주조 후 단상과 2상 혼합의 텐드라이트 구조를 나타내는 것을 확

인할 수 있다.

표 2

	Cu(at.%)	Mn(at.%)	Ni(at.%)	Ge(at.%)
기지	29.85	24.06	22.89	23.20

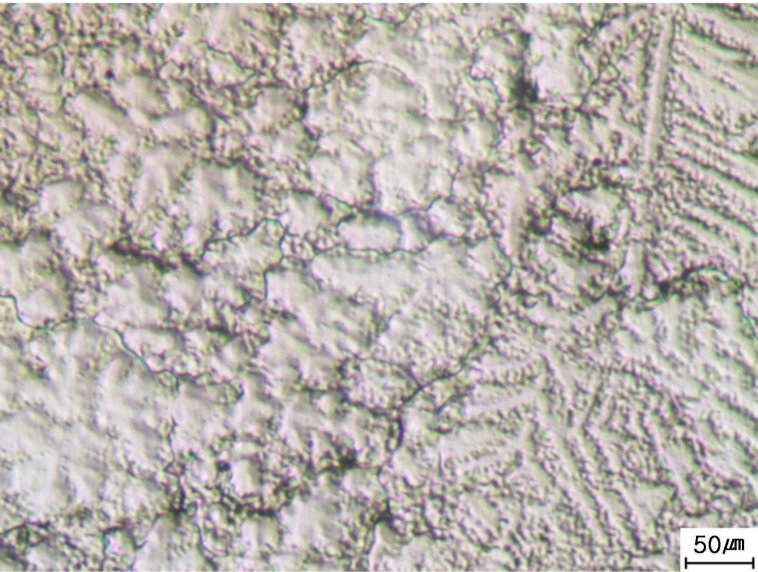
상기 표 2는 본 발명에 1에서 측정한 EDS 분석값을 요약해 나타낸 것이다. 표 2에 나타난 바와 같이, 기지에 합금 원소들이 균일하게 분포하고 있으며, 기지는 단상과 2상 혼합조직으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

한편 도 2(a)는 본 발명에 1에서 주조 후 미세조직을 관찰한 전자현미경 사진이며, 도 2(b-e)는 각각 Ge, Mn, Ni 및 Cu 합금원소의 mapping 이미지를 나타내는 사진이다.

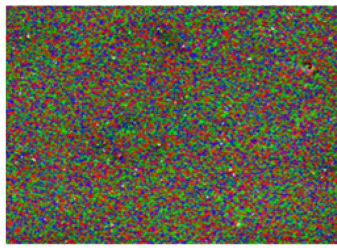
이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 관하여 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 따라서 본 발명의 권리 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 청구범위뿐만 아니라, 이와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

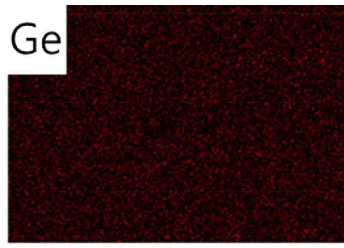
도면1



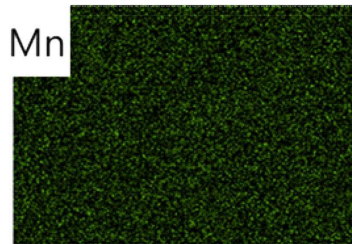
도면2



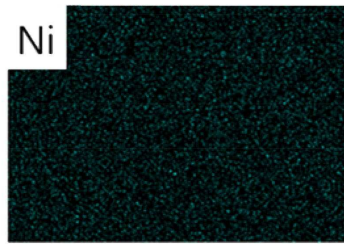
(a)



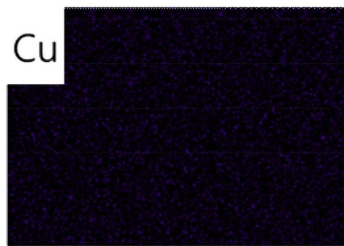
(b)



(c)



(d)



(e)