



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월04일
(11) 등록번호 10-2462801
(24) 등록일자 2022년10월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 30/02 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
C22C 9/00 (2006.01) C22F 1/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 30/02 (2013.01)
C22C 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0158735
(22) 출원일자 2020년11월24일
심사청구일자 2020년11월24일
(65) 공개번호 10-2022-0072081
(43) 공개일자 2022년06월02일
(56) 선행기술조사문헌
KR101744102 B1*
KR101910938 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
홍순익
대전광역시 유성구 대덕대로541번길 68, 103동 1006호 (도룡동, 대덕연구원현대아파트)
송재숙
대전광역시 중구 계백로1716번길 87, 303동 501호 (문화동, 센트럴파크3단지아파트)
노현배
대전광역시 서구 동서대로 1030번길 57-9
(74) 대리인
특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 김동국

(54) 발명의 명칭 **고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 및 그 제조방법**

(57) 요약

고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 및 그 제조방법이 제공된다.

본 발명의 구리계 고엔트로피 합금은, 원자%로, Cu: 35% 초과 85% 이하 Cr: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, 그리고 Ag: 3% 초과 35% 이하 중 Cu를 포함하여 3종 이상, 잔여 불가피한 불순물을 포함하고, 구리 기지(Matrix)에 고엔트로피 합금 상(Phase)이 필라멘트 또는 리본 형태로 분포되어 있는 복합조직을 가진다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류
C22C 9/00 (2013.01)
C22F 1/08 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711092070
과제번호	2016M3D1A1023532
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래소재디스커버리사업
연구과제명	고엔트로피합금의 나노구조 제어 및 복합강화에 의한 성능향상 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	충남대학교
연구기간	2019.02.01 ~ 2022.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

원자%로, Cu: 55% 이상 85% 이하; 그리고 Cr: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하 및 Ni: 5% 초과 35% 이하 중 3종 이상; 잔여 불가피한 불순물을 포함하고,

구리 기지 조직(matrix)에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 또는 리본 형태로 균일하게 분포되어 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은, Ag: 3% 초과 35% 이하를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은 판재, 봉재, 또는 선재 제품인 것을 특징으로 하는 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금.

청구항 4

원자%로, Cu: 55% 이상 85% 이하; 그리고 Cr: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하 및 Ni: 5% 초과 35% 이하 중 3종 이상; 잔여 불가피한 불순물을 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계;

상기 준비된 금속 재료를 용융(주조) 또는 분말야금법으로 합금을 제조하는 단계;

상기 제조된 합금을 1차 가공한 후 냉각하는 단계;

상기 냉각된 합금을 200~600℃에서 중간 열처리하는 단계; 및

상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 그 구리 기지(Matrix)에 고엔트로피 합금 상(Phase)이 필라멘트 또는 리본 형태로 분포되어 있는 복합조직을 형성하는 단계를 포함하는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 제조 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 금속 재료는, Ag: 3% 초과 35% 이하를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 제조방법.

청구항 6

제 4항에 있어서, 상기 1차 및 2차 가공은 가공(working), 압연(rolling), 압출(drawing), 상온 가공 중 하나 이상인 것을 특징으로 하는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 제조방법.

청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 1차 가공과 2차 가공 중 어느 하나 이상은 상기 합금을 판재, 봉재 및 선재 중 어느 하나로 형태로 가공하는 것인 것을 특징으로 하는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자산업, 자동차산업, 중화학 공업 등의 부품 소재 내지 극한 환경에서 사용되는 부품 및 구조 소재 등에 사용될 수 있는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 제조에 관한 것으로서, 특히, 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 in-situ 복합재료 판재, 봉재 및 선재를 제공할 수 있는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로, 고강도 구리계 합금은 급속한 산업발달과 더불어 질적 양적인 면에서 발전을 이루어 전자산업, 자동차산업, 중화학 공업등 산업발전의 토대를 제공하여 왔다. 사용분야의 특징을 보면, 재질과 제품형태가 다양하고, 생산규모도 대량생산에서 소량생산까지 매우 다양할 뿐만 아니라, 응용분야가 전 산업에 걸쳐 광범위하다. 특히 첨단산업제품의 경우에는 어느 소재보다도 높은 응용비중을 나타내고 있다.

[0005] 최근 일반적인 합금인 철강 또는 비철금속 합금 등과 다르게 합금을 구성하는 주 원소 없이 다섯 가지 이상의 구성 원소를 비슷한 비율로 합금화하여 얻어지는 다원소 합금으로서, 합금 내의 혼합 엔트로피가 높아 금속간화합물 또는 중간상이 형성되지 않고, 면심입방격자(face-centered cubic, FCC) 또는 체심입방격자(body-centered cubic, BCC)와 같은 단상(single phase) 조직을 갖는 고엔트로피 합금이 개발되었다.

[0006] 상기 고 엔트로피 합금은 5 내지 35 at.% 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 따라, 금속간 화합물 또는 중간체 화합물 대신에 고온에서 안정한 간단한 구조의 고용체를 형성한다.

[0007] 최근에는 고용체 단상을 이용하는 고엔트로피 합금의 제조에서 탈피하여 균등조성에서 비균등 조성을 갖는 고엔트로피 합금으로 많은 연구가 수행되고 있다. 특히, 단상과 제2상이 혼합된 고엔트로피 합금에 관심이 고조되고 있으며, 고용강화, 석출 강화, 복합재료 등의 강화기구를 이용한 연구들이 광범위하게 연구되고 있다.

[0008] 필라멘트 강화 고엔트로피 합금과 관련된 선행 기술로서 특허문헌 1이 있다. 상기 특허문헌 1은 다종 금속성분으로 Cr: 5% 초과 42% 이하, Mn: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하, Ni: 5% 초과 35% 이하, 그리고 Cu: 3% 초과 35% 이하 및 Ag: 3% 초과 35% 이하 중 1종 이상, 잔여 불가피한 불순물을 포함하고, 그 기지 조직(matrix)에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 또는 리본 형태로 분포되어 있는 복합 조직을 만들어 기계적 특성을 구현하는 기술이다. 그러나 상기 특허문헌 1은 균등조성을 이용하는 제조기술에 한정하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 10-1910938호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 단상의 구리(Cu) 기지에 Cr, Co, Fe, Ni 등의 합금원소로 이루어진 고엔트로피 합금 상이 분리 형성되는 구리계 합금에 있어서, 열처리 및 냉각 공정을 통하여 구리 기지에 고엔트로피 합금 상을 분포시키고, 냉

각 후 가공 공정을 통하여 구리 기지에 고엔트로피 합금 상 필라멘트 구조를 형성시키고 균일하게 분포시켜 우수한 강도와 연성을 갖는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 및 그 제조방법을 제공함에 그 목적이 있다.

[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

[0013] 본 발명의 일측면은,

[0014] 원자%로, Cu: 35% 초과 85% 이하; 그리고 Cr: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하 및 Ni: 5% 초과 35% 이하 중 3종 이상; 잔여 불가피한 불순물을 포함하고,

[0015] 구리 기지 조직(matrix)에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 또는 리본 형태로 균일하게 분포되어 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금에 관한 것이다.

[0017] 상기 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은 Ag: 3% 초과 35% 이하 를 추가로 포함할 수 있다.

[0019] 상기 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은 판재, 봉재, 또는 선재 제품일 수가 있다.

[0021] 또한 본 발명의 다른 측면은,

[0022] 상기 조성성분을 갖는 금속 재료를 준비하는 단계;

[0023] 상기 준비된 금속 재료를 용융(주조) 또는 분말야금법으로 합금을 제조하는 단계;

[0024] 상기 제조된 합금을 균질화 열처리하는 단계;

[0025] 상기 균질화 열처리된 합금을 1차 가공한 후 냉각하는 단계;

[0026] 상기 냉각된 합금을 200~600℃에서 중간 열처리하는 단계; 및

[0027] 상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공하여 그 구리기지 조직 내부에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 또는 리본 형태로 분포시켜 복합조직을 형성하는 단계;를 포함하는 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 제조 방법에 관한 것이다.

[0029] 상기 균질화 열처리는 800~1050℃의 온도범위에서 1~48시간 동안 유지하는 것이 바람직하다.

[0031] 상기 1차 및 2차 가공은 열간 가공(hot working), 압연(rolling), 압출(drawing), 상온 가공 중 하나 이상인 것이 바람직하다.

[0033] 상기 1차 가공과 2차 가공 중 어느 하나 이상은 상기 합금을 판재, 봉재 및 선재 중 어느 하나로 형태로 가공하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0035] 상술한 바와 같은 구성의 본 발명에 의하면, 구리(Cu)기지 내에 고엔트로피 합금(Cr 또는 Co-rich상) 상이 가공에 의해 형성되는 미세한 필라멘트 내지 리본 형태로 균일하게 분포시킬수 있다. 즉, 가공 공정을 통하여 고엔트로피 합금 상의 모양, 크기 및 분포를 제어함으로써 우수한 강도와 연성을 구현할 수 있으므로 보다 다양한 활용이 가능한 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 본 발명의 고 엔트로피 합금의 미세조직을 나타낸 모식도로서, (a)는 가공 전이고, (b)는 가공 후의 미세조직을 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명의 제조방법 일예를 나타낸 공정 순서도이다.

도 3은 발명에 2의 미세조직을 관찰한 사진이다.

도 4는 발명에 4의 XRD 분석 그래프이다.

도 5는 발명에 1-4의 Stress-Strain Curve를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0038] 이하, 본 발명을 설명한다.
- [0039] 본 발명의 발명자들은 고엔트로피 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 고엔트로피 합금 상을 미세화시키고, 아울러, 가공공정을 통해 미세한 필라멘트 구조가 분포되는 경우에 강도와 연성이 우수한 고엔트로피 합금이 형성되는 것을 확인하고, 본 발명을 제안하는 것이다.
- [0041] 먼저, 본 발명의 복합조직을 갖는 고엔트로피 합금 상(Phase) 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은, 원자%로, Cu: 35% 초과 85% 이하; 그리고 Cr: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하 및 Ni: 5% 초과 35% 이하 중 3종 이상 포함하며, 잔부 불가피한 불순물을 포함하고, 구리(Cu) 기지 조직 내에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 또는 리본 형태로 분포되어 있다.
- [0043] 이하, 본 발명의 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금 조성에 대해 상세히 설명한다.
- [0044] 본 발명에서 Cu, Cr, Co, Fe, Ni 또는 Ag는 구리지기 내에 고엔트로피 합금 상을 구성하는 기본 원소로서, 4주기 전이원소 그룹이며, 원자반경의 차이 등이 작아 고용체 등을 이루기 적합한 원소들이다.
- [0045] 상기 구리(Cu)와 니켈(Ni)은 면심입방(FCC) 고용체를 촉진하는 원소이며, Cr은 체심입방(BCC) 구조를 가지며, Cu 또는 Ag 첨가시 고엔트로피 합금 상이 분리되며, 가공 공정 시 상기 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 형태로 변화하여 기계적 특성을 향상시킨다.
- [0046] 본 발명에서는 상기 Cr, Co, Fe 및 Ni 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.
- [0048] 한편, 상기 구리(Cu)는 기지에서 고엔트로피 합금 상의 분리를 유도하는 원소이며, 이를 통해 연성을 증가시키는 역할을 하고, 가공 후에는 상기 고엔트로피 합금 상이 길게 연신되어 필라멘트를 형성하여 강도를 강화하는 역할을 한다. 즉, 주 기지(Matrix)를 이루는 Cu는 FCC 구조이고 분리되는 고엔트로피 합금 상은 또 다른 FCC 구조로서, 가공 공정 중에 고엔트로피 합금 상은 미세한 필라멘트를 형성하며 구리 기지를 강화시킨다.
- [0049] 본 발명에서 상기 Cu 함량을 35% 초과, 85% 이하로 제한하는 이유는 분리된 상(phase)의 분율에 따라 강도 및 연성의 변화를 피하여 합금원소 첨가효과의 의한 연성 및 강도 증가 변화를 유도하기 위함이다.
- [0051] 한편 본 발명의 고엔트로피 합금은 Ag의 함량을 3% 초과 35% 이하로 추가로 포함함이 바람직하다. 이처럼 Ag를 첨가하는 이유는, Ag는 Cu와 마찬가지로 FCC 구조이고, Cr, Fe, Co 및 Ni과 완전한 고용체를 형성하지 않고 기지를 강화시키는 원소이기 때문이다. 이를 통해 연성을 증가시키는 역할을 하고, 가공 후에는 Ag-rich 상(phase)이 길게 연신 되어 필라멘트를 형성함으로써 강도를 강화하는 역할을 할 수 있기 때문이다.
- [0053] 한편, 도 1은 본 발명인 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 미세조직을 개략적으로 나타낸 모식도로서, 도 1을 참고하여 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0054] 본 발명의 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 미세조직은 도 1(a)에 나타난 바와 같이, 단상 고용체인 구리 기지 조직(matrix) 내부에 고엔트로피 합금 상이 분포되어 있는 것이 바람직하다. 한편, 본 발명의 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은 가공이 진행된 후에는, 도 1(b)와 같이 고엔트로피 합금 상이 연신되어 형성된 필라멘트 구조가 구리 기지에 분포하는 것이 바람직하다.
- [0055] 그리고 상기 고엔트로피 합금 상은 상기 기지조직에 고용되는 것이 아니라, 다른 성분을 가진 상의 고용체(제2의 고용체), 단상의 덴드라이트(dendrite), 편석, 상분리 영역, 결정립 등 다양한 형태나 조직을 모두 지칭할 수 있다. 즉, 상기 기지조직과 다른 조직을 의미한다. 상기 고엔트로피 합금 상이 분포되어 있는 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은 우수한 강도와 연성을 확보할 수 있다.

- [0056] 상기 고엔트로피 합금 상은 구리 기지에 완전 고용되지 않는 상이며, 이들 상은 주조 후에는 기지보다 연성이 높은 상이므로, 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 연성을 증가시키는 효과가 있다.
- [0057] 한편 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금에 대해 압연, 압출 등에 의한 가공 공정 후, 이어, 중간 열처리한 후 판재, 봉재, 또는 선재로 가공하는 경우 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 또는 리본형태로 발전하여 구리(Cu) 기지를 강화시킬 수 있다. 즉, 상기 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금은 판재, 봉재, 또는 선재 제품일 수가 있다.
- [0058] 상기 고엔트로피 합금 상은 가공 후에는 연신 되어 두께 0.05~2 μ m와 길이 10~1000 μ m로 길게 늘어난 고엔트로피 합금 상 필라멘트로 존재하여 구리 기지 조직을 강화시킬 수 있다.
- [0060] 다음으로, 본 발명의 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 제조방법을 상세히 설명한다.
- [0061] 본 발명의 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 제조 방법은 원자%로, Cu: 35% 초과 85% 이하; 그리고 Cr: 5% 초과 35% 이하, Co: 5% 초과 35% 이하, Fe: 5% 초과 35% 이하 및 Ni: 5% 초과 35% 이하 중 3종 이상; 잔여 불가피한 불순물을 포함하는 금속 재료를 준비하는 단계; 상기 준비된 금속 재료를 용융(주조) 또는 분말 야금법으로 합금을 제조하는 단계; 상기 제조된 합금을 1차 가공한 후 냉각하는 단계; 상기 냉각된 합금을 200~600 $^{\circ}$ C에서 중간 열처리하는 단계; 및 상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 그 구리 기지조직 내에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 형태로 분포되어 복합조직을 형성하는 단계;를 포함한다.
- [0062] 도 2는 본 발명의 제조공정의 개략적인 순서를 나타내는 공정 순서도이다.
- [0063] 도 2에 나타난 바와 같이, 먼저, 상술한 바와 같은 조성성분을 갖는 금속 재료를 준비한다.
- [0064] 이어, 본 발명에서는 상기 준비된 금속 재료를 재료를 용융(주조) 또는 분말야금법을 이용하여 합금을 제조한다.
- [0065] 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 상기 합금을 제조한다. 한편 상기 제조된 합금은 이어, 냉각되는데, 이때 본 발명에서는 구체적인 냉각 형태에 제한되지 않으며, 서냉, 공냉 또는 급속 응고(급냉)을 이용할 수 있다.
- [0066] 다만 상기 용융(주조)된 합금을 냉각함에 있어서는 급속응고(급냉) 방식을 이용함이 바람직한데, 이는 급냉에 의해 기지 내에 존재하는 고엔트로피 합금 상을 미세화시켜 기계적 특성을 증진시킬 수 있기 때문이다.
- [0069] 그리고 본 발명에서는 상기 주조된 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. 상기 1차 가공에 의해서, 도 1(b)와 같이, 구리 기지에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 구조로 변할 수 있다.
- [0071] 이어, 본 발명에서는 상기 냉각된 합금을 200~600 $^{\circ}$ C에서 중간 열처리한다. 이러한 중간 열처리공정에서 전술한 1차 가공에 의해 구리 기지 내에 형성된 고엔트로피 합금(Cr 또는 Co-rich) 상 필라멘트들이 회복에 의해 일부 구형화 될 수 있으며, 이렇게 구형화된 고엔트로피 합금 상 필라멘트들은 후속하는 2차 가공 공정을 통하여 길고 얇게 연신 될 수 있다.
- [0072] 따라서 구리 기지에 균일하게 분포하여 기지를 강화시키고 필라멘트 내지 리본 형태로 형성된 고엔트로피 합금 상과 함께 구리계 고엔트로피 합금의 강도와 연성이 동시에 향상되는 기술적 효과를 가질 수 있도록 하여 준다.
- [0074] 마지막으로, 본 발명에서는 상기 중간 열처리된 합금을 2차 가공함으로써 구리기지(Matrix)에 고엔트로피 합금 상이 미세한 필라멘트 또는 리본 형태로 분포되어 있는 복합조직을 형성한다.
- [0075] 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), 상온 가공 중 하나 이상일 수 있다. 상기 2차 가공에 의해서, 도 1(b)와 같이 구리 기지에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 구조로 길고 얇게 연신 된다.

[0076] 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.

[0078] 상술한 바와 같은 1-2차 가공 공정 및 중간 열처리 공정을 통하여, 본 발명의 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금의 강도와 연성이 동시에 향상되는 기술적 효과를 가질 수 있다.

[0080] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 상세히 설명한다.

[0081] (실시예 1)

[0082] 하기 표 1과 같은 조성(원자%)을 갖는 금속 재료를 준비하고, 이를 진공 분위기에서 아크 용해(Arc Melting) 후 공냉하여 발명에 1 내지 5와 같은 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금을 제조하였다.

[0083] 한편, 이렇게 제조된 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 구리계 고엔트로피 합금을 냉각한 후, 이들에 대하여 75%의 가공량으로 1차 상온 압연 가공, 이어, 400℃에서 1시간 동안 중간 열처리, 그리고 98% 누적 가공량으로 2차 냉간 압연 가공하여 1mm 두께의 판재를 각각 제조하였다.

[0084] 상기와 같이 제조된 고엔트로피 합금 상 필라멘트 강화 고엔트로피 합금의 판재에 대해서, 인장시험을 수행하고 그 기계적 물성을 평가하여 이를 하기 표 1에 함께 나타내었다.

표 1

구분	합금	형태	미세조직	결정구조	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)
발명에 1	Cu ₆₅ (FeNiCrCo) ₃₅	판재	구리기지+고엔트로피 합금 필라멘트	FCC1+FCC2	787	727	15.8
발명에 2	Cu ₆₅ (FeNiCo) ₃₅	판재	구리기지+고엔트로피 합금 필라멘트	FCC1+FCC2	730	699	13.5
발명에 3	Cu ₆₅ (FeNiCr) ₃₅	판재	구리기지+고엔트로피 합금 필라멘트	FCC1+FCC2	751	705	13.0
발명에 4	Cu ₆₅ (NiCrCo) ₃₅	판재	구리기지+고엔트로피 합금 필라멘트	FCC1+FCC2	814	740	9.7
발명에 5	Cu ₆₀ (NiCrCoAg) ₄₀	판재	구리기지+Ag상+고엔트로피 합금 필라멘트	FCC1+FCC2	850	765	11.4

[0087] 상기 표 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 조성을 만족하고, 구리기지(matrix)에 고엔트로피 합금 상 필라멘트를 포함하는 발명에 1-5의 경우에는 인장강도 751-850MPa, 항복강도 699-765MPa 및 연신율 9.7-5.8%를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0088] 한편, 도 3은 발명에 2를 관찰한 사진으로서, 가공 후에는 상기 구리계 고엔트로피 합금에서 구리 기지(Matrix)에 고엔트로피 합금 상이 필라멘트 구조를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0089] 또한 도 4는 발명에 1-4의 Stress-Strain Curve을 나타낸 그래프이다.

표 2

		Cr (at.%)	Co (at.%)	Fe (at.%)	Ni (at.%)	Cu (at.%)
발명에 1	기지(Matrix)	1.44	2.42	2.86	5.7	87.58
	고엔트로피 합금 상	20.47	23.23	20.86	17.70	17.74
발명에 2	기지(Matrix)		3.17	3.22	5.27	88.34
	고엔트로피 합금 상		18.05	28.67	19.30	33.98
발명에 3	기지(Matrix)	1.87		2.89	5.04	90.20
	고엔트로피 합금 상	28.59		36.31	19.95	15.15
발명에 4	기지(Matrix)	9.81	8.52		8.36	73.31
	고엔트로피 합금 상	35.18	30.32		22.38	12.12

[0092] 상기 표 2는 발명에 1-4에서 고엔트로피 합금 상과 기지에서 측정된 EDS 분석값을 요약해 나타낸 것이다. 상기 표 2에 나타난 바와 같이 고엔트로피 합금 상은 주로 Co, Cr, Ni, Fe, Cu 합금원소로 구성되어 있으며, 기지에

는 Cu 합금원소가 주로 분포해 있음을 알 수 있다.

[0093] 또한 Ni 합금원소는 고엔트로피 합금 상에서 주로 분석되나 구리(Cu) 기지에도 다른 합금원소(Co, Cr, Fe) 보다 높은 함량을 나타내었다. 그리고 기지에는 주로 Cu가 분포하며, 다른 합금원소(Co, Cr, Fe, Ni) 등은 구리(Cu)에 비하여 낮은 함량을 나타낸다.

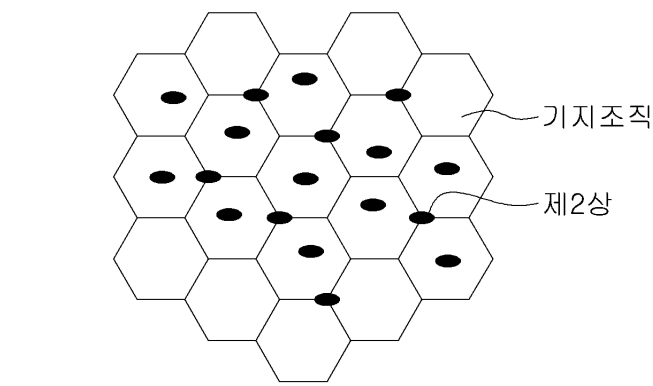
[0094] Ni 합금원소는 다른 합금원소와 달리 Cu의 고용도가 커서 고엔트로피 합금 상에 Cu가 상당량 분포하는 결과를 초래한다. 한편 고엔트로피 합금 상을 구성하는 Cr, Co, Fe는 구리(Cu)와의 고용도가 작아서 두 상으로 분리되는 것이다.

[0096] 한편 도 5는 발명에 4의 XRD 분석 결과를 나타낸 그래프이다. 도 5에 나타난 바와 같이, 회절 피크는 각각 구리(FCC1)와 고엔트로피 합금(FCC2) 상의 존재를 나타내주고 있다.

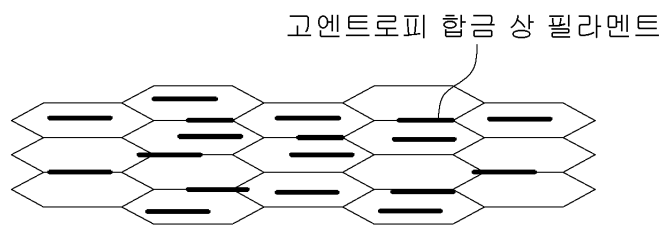
[0098] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 관하여 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 따라서 본 발명의 권리 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 청구범위뿐만 아니라, 이와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

도면1

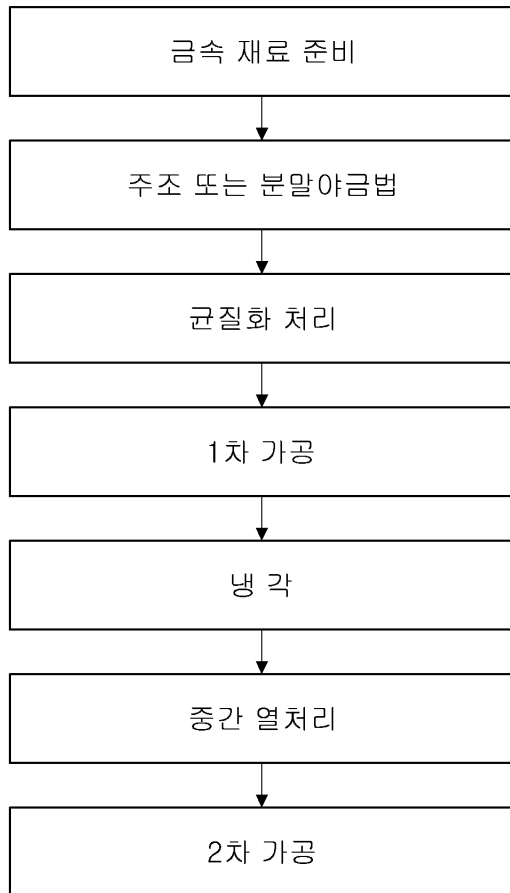


(a)

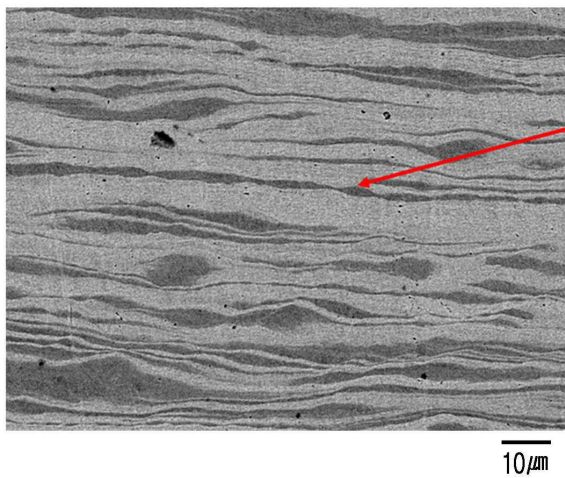


(b)

도면2

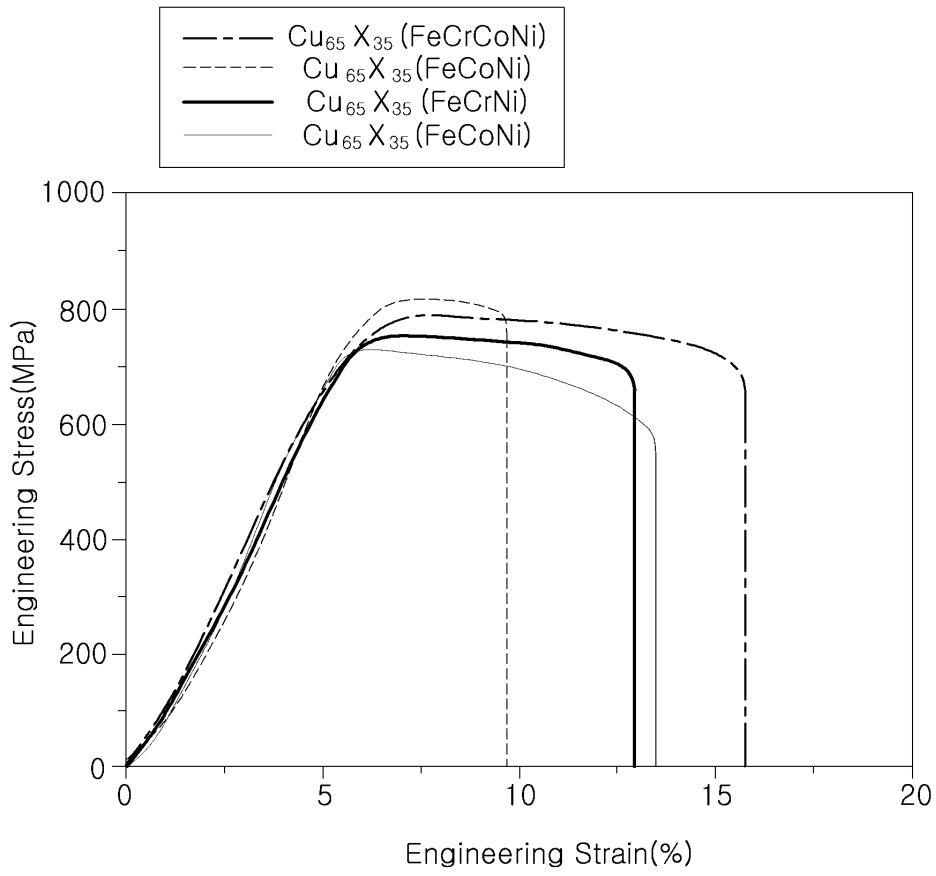


도면3



고엔트로피 합금 상 필라멘트

도면4



도면5

