

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2021-0095752
(43) 공개일자 2021년08월03일(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 9/04 (2006.01) C22F 1/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 9/04 (2013.01)
C22F 1/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0008989
(22) 출원일자 2020년01월23일
심사청구일자 2020년01월23일(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
홍순익
대전광역시 유성구 대덕대로541번길 68 103동
1006호 (도룡동, 현대아파트)
송재숙
대전광역시 중구 계백로1716번길 87 303동 501호
(문화동, 센트럴파크3단지아파트)
(74) 대리인
특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 4 항

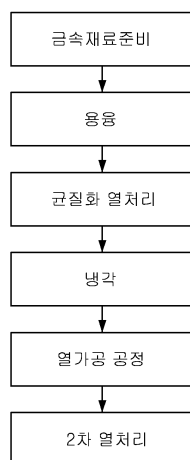
(54) 발명의 명칭 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금 및 그 제조방법

(57) 요약

쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금 및 그 제조방법이 제공된다.

본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은, 중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하 Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물을 포함한다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019R1A2C2088384
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	통합 TWIP 모델 개발 및 모델에 기반한 TWIP 비철합금/신철강재 설계, 제조 및 특성 최적화
기 여 율	1/1
과제수행기관명	충남대학교
연구기간	2019.09.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하 Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물을 포함하는 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은, 탄성계수보정 적층결함에너지(γ/G)($\times 10^{11}$, cm)가 8.9 이하이고, 조성 보완 atomic size misfit 지수(= 원자크기 차이 $\times$ 합금%)가 0.04 이상으로 쌍정 및 슬립 동시 작동 소성특성을 나타내는 것을 특징으로 하는 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금.

청구항 3

중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하 Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물을 포함하는 금속재료를 준비하는 단계;

상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계;

상기 제조된 합금을 850~1050℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계;

상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및

상기 냉각된 합금을 350~850℃의 온도범위에서 2차 열처리하는 단계;를 포함하는 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 제조방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 균질화 처리 후 냉각된 합금은 단조, 압출, 압연, 인발 중 선택된 하나의 방법을 이용하여 가공하는 단계를 추가로 포함하는 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 제조방법

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 쌍정유기 소성특성을 나타내는 구리계 합금에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 원자크기 인자, 합금원소 제어를 통한 적층결함에너지를 조절함으로써 전위 기반 변형뿐만 아니라 쌍정유기 소성증진(TWIP) 특성을 나타내는 변형기구를 이용하여 가공 경화 속도를 증가시켜 강도와 연성을 동시에 증가시킴으로써 기계적 특성이 더욱 향상된 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 강도와 연성을 동시에 증가시키는 연구는 오랫동안 다양하게 시도되고 있으며, 현재에도 꾸준히 연구되고 있다. 구조용 금속 및 합금을 설계하는데 있어 강도와 연성은 재료의 선택 및 설계에 있어 중요한 문제이며, 많은 구조용 합금의 산업적 적용 및 응용을 제한하였다.
- [0004] 강도와 연성을 증가시키는 방법으로 전위 사이의 상호 작용으로 인한 쌍정 유도 소성 (TWIP) 강화법은 종래의 강도-연성 관계를 뛰어넘는 고성능 강의 개발을 가능하게 했다. 또한 변형-쌍정과 전위의 시너지 효과는 구조용 금속 및 합금의 조성, 가공 및 미세 구조 특성에 대한 새로운 설계 전략을 가능하게 한다. TWIP 강에서 강도와 연성의 동시 향상은 변형-쌍정과 전위 사이의 상호 작용과 연관된 높은 가공 경화 속도에 기인한다
- [0005] TWIP 구리계 합금의 선행 기술로는 비특허문헌 1과 2가 있다. 비특허문헌 1에 따르면 TWIP 강의 개념에 따라 “TWIP 구리 합금”이라 불리는 Cu-Al 2원계 합금에서 강도와 소성이 동시에 증가한다고 알려지게 되었다. 비특허문헌 1에 따르면 TWIP 구리 합금에서 변형-쌍정과 전위 사이의 상호 작용이 TWIP 강에서와 같이 강도와 소성의 개선을 유도하는 것으로 밝혀졌다.
- [0006] 최근 비특허문헌 2을 통하여 TWIP 구리 2원계 합금에서 적층결함과 부분 전위의 결합이 용질 원자에 의해 영향을 받는다는 개념에 기초하여 전위 운동에 대한 적층결함에너지(SFE), 용질 원자 등에 의해 부과되는 마찰응력(Friction stress) 및 합금 원소간의 상호작용에 따른 거동으로 TWIP 거동을 예측하는 모델을 제시하였다.
- [0007] 상기 비특허문헌 1과 비특허문헌 2와 같이, 고용체를 갖는 2원계 TWIP 구리계 합금은 우수한 기계적 물성을 갖기 때문에 새로운 기술로 주목을 받고 있으며, 최근에는 다양한 연구가 계속되고 있다 그러나 대부분의 연구가 2원계 합금을 평가하는 수준에 머물고 있기 때문에, 다원계 쌍정유기 소성증진(Twip) 구리계 합금을 기반으로 보다 향상된 기계적 특성을 얻기 위한 합금개발에 대한 연구가 미비한 실정이다.
- [0008] 또한 적층 결함에너지, 원자 크기 인자 및 합금원소 첨가량 등에 의한 구조 및 기계적 특성의 변화를 기존 비철 재료 및 철강 재료에 적용하는 경우 새로운 특성이 유도되거나 기존 특성이 더욱 향상될 가능성이 큼에도 불구하고, 기존 합금계에 원자크기 인자 및 합금원소 첨가량 개념을 적용하여 특성을 개선하는 연구 및 발명이 이루어지지 않고 있는 상황이다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0009] (비특허문헌 0001) Microscopic mechanisms contributing to the synchronous improvement of strength and plasticity (SISP) for TWIP copper alloys, Sci. Rep. 5 (2015) 9550 (7pp).
- (비특허문헌 0002)) Criteria for predicting twin-induced plasticity in solid solution copper alloys, Materials Science & Engineering A 711 (2018) 492-497.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명의 일측면은, 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 적층결함에너지, 용질 원자에 의한 마찰 응력, 원자 크기인자 및 합금 원소간 상호 작용 개념을 비철 재료에 도입하여 다양한 합금원소의 종류와 함량을 적층결함에너지가 감소하는 방향으로 설계함으로써 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금을 제공함에 그 목적이 있다.
- [0011] 즉, 원자 크기인자, 합금원소 제어를 통한 적층결함에너지를 조절함으로써 전위 기반 변형 뿐만 아니라 쌍정유기 소성증진(TWIP) 특성을 나타내는 변형 기구를 이용하여 가공경화 속도를 증가시켜 강도와 연성을 동시에 증가시킴으로써 기계적 특성이 더욱 향상된 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금 및 그 제조방법을 제공함에 그 목적이 있다.
- [0013] 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

- [0015] 본 발명의 일실시예에서, 중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하 Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물을 포함하는 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금을 제공한다.
- [0017] 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은, 탄성계수보정 적층결합에너지($\gamma/G)(\times 10^{11}, \text{cm})$ 가 8.9 이하이고, 조성 보완 atomic size misfit 지수(= 원자크기 차이 $\times$ 합금%)가 0.04이상이어서 쌍정 및 슬립 동시 작동 소성특성을 나타낼 수 있다.
- [0019] 또한 본 발명의 다른 실시예에서,
- [0020] 중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하 Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물을 포함하는 금속재료를 준비하는 단계;
- [0021] 상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계;
- [0022] 상기 제조된 합금을 850~1050℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계;
- [0023] 상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및
- [0024] 상기 냉각된 합금을 350~850℃의 온도범위에서 2차 열처리하는 단계;를 포함하는 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 제조방법을 제공한다,
- [0026] 상기 균질화 처리 후 냉각된 합금은 단조, 압출, 압연, 인발 중 선택된 하나의 방법을 이용하여 가공하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 의하면, 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 구리(Cu)와 고용도가 큰 합금원소인 Al, Zn, Ni, Mn, Sn, Si, Ga, Ge 등의 합금원소를 이용한다. 이러한 합금 조성의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 Cu와 고용도가 크고, 원자크기 차이가 큰 원소를 첨가시켜 원자크기차이 $\times$ 합금조성% 값을 증가시키면 합금원소들이 전위와 반응하여 전위이동 억제 또는 부분 쌍정전위의 확장을 유도하여 변형-쌍정을 유발시키키는 원리를 비철재료에 적용시켜 구리계 합금의 강도와 가공성을 증가시킬 수 있다.
- [0029] 본 발명의 원리를 적용하면 기존 기술과는 달리 적층결합에너지가 낮은 소재는 물론 적층결합에너지가 높은 경우에도 쌍정 유기 소성변형 및 가공경화 거동을 유도하여, 기존 구리계 합금에 비하여 높은 기계적 특성 및 경제성이 향상된 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금을 구현할 수 있다.
- [0030] 또한, 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 기계적 특성이 크게 향상되어, 다양한 분야에서 구조 소재로 광범위하게 응용될 수 있을 뿐만 아니라, 원자크기 차이 $\times$ 합금조성% 값을 증가시키면 합금 원소들이 전위와 반응하여 전위 이동 억제 또는 부분 쌍정전위의 확장을 유도하여 변형쌍정을 유발시키키므로 적층결합에너지가 낮은 소재는 물론 적층결합에너지가 높은 경우에도 쌍정 유기 소성변형 및 가공경화 거동을 나타내며 기존의 구리계 합금의 보다 다양한 활용이 가능한 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0032] 도 1은 부분 전위 사이의 힘의 균형을 도식한 개념도를 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 적층결함에너지와 합금조성의 영향에 의한 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금 설계 개념도를 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 제조방법 일예를 나타낸 공정 순서도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예 중 발명에 1의 미세조직을 관찰한 사진이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예 중 발명에 2의 미세조직을 관찰한 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 이하, 본 발명을 설명한다.
- [0034] 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 소재개발에 대한 연구를 행하였다. 그 결과, 쌍정유기 소성증진(TWIP) 합금의 개념을 비철재료에 도입하여, 다양한 합금원소의 종류와 함량을 적층결함에너지가 감소하는 방향으로 설계함으로써 가공성 및 가공경화 성능이 우수한 구리계 합금을 제공할 수 있음을 확인하였다. 구체적으로, 변형-쌍정에 의한 twin boundary가 전위의 이동을 방해하여 가공경화 속도를 증가시켜 우수한 강도와 연성을 구현할 수 있음을 확인하고 본 발명을 제시하는 것이다.
- [0035] 즉, 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 첨가된 합금원소들이 강도 또는 가공성 증진을 위하여 전위에 편석 되어 완전 전위 또는 쌍정 부분전위의 이동을 방해/억제하여 변형-쌍정을 유도하며, 이에 따라, 적층결함에너지(Stacking Fault Energy:SFE)가 낮은 경우는 물론 첨가원소의 atomic size misfit가 큰 경우에도 변형-쌍정이 활성화 되어 가공경화 및 쌍정 유기 소성변형 거동이 일어날 수 있다.
- [0036] 또한 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 기존 구리계 합금과는 달리 원자크기 차이×합금조성% 값을 증가시키면 합금원소들이 전위와 반응하여 전위 이동 억제 또는 부분 쌍정전위의 확장을 유도하여 변형-쌍정을 유발시키므로 적층결함에너지가 낮은 소재는 물론 적층결함에너지가 높은 경우에도 쌍정 유기 소성변형 및 가공경화 거동을 나타낼 수 있다.
- [0038] 이하, 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금에 대해 상세히 설명한다.
- [0039] 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은, 중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하, Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물을 포함한다.
- [0041] 상기 Cu, Zn, Ni, Mn, Ga 및 Ge는 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금을 구성하는 기본 원소로서, 4주기 천이 원소 그룹이며, 원자반경의 차이 등이 작아 고용체 등을 이루기 적합한 원소들이다.
- [0042] Al, Mn 및 Ni은 면심입방(FCC) 고용체를 촉진하는 원소이며, Al, Ni은 Cu 와 고용체를 이루어 기계적 특성을 향상시킨다.
- [0043] 한편, 상기 Al, Zn, Ni, Mn, Sn, Si, Ga 및 Ge은 치환형 원소로 전위에 편석되어 전위이동 및 부분전위와 결합을 방해하여 변형-쌍정을 유도하여 twin boundary가 전위의 이동을 방해하여 가공경화 속도를 증가시킨다.
- [0044] 본 발명에서는 상기 Al, Zn, Ni, Mn, Ga 및 Ge 원소들의 함량을 각각 중량%로, 3% 초과 30% 이하로 제한하는 것이 바람직하다. 만일 그 함량이 3% 이하에서는 전위와의 segregation 및 반응 효과가 너무 작은 반면, 30%를 초과하는 경우에는 격자뒤틀림이 심하고 고용한도를 벗어나 기지를 취화시키며, 전위와의 반응 효율성이 감소하기 때문이다.
- [0046] 상술한 바와 같은 조성성분을 갖는 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 쌍정 유기 소성변형과 가

공경화 기구는 아래와 같이 예측될 수 있다.

[0047] 먼저, 적층결합과 부분 전위의 결합이 용질 원자에 의해 영향을 받는다는 개념에 기초하여 부분 전위 사이의 힘의 균형을 개략적으로 도 1에 나타내었으며, 적층 결합(SF)에 의해 분리된 두 개의 부분 전위가 결합하는 데 필요한 총 힘(F_T)은 아래의 관계식 1로 설명될 수 있다.

[0048] [관계식 1]

$$F_T/G = \gamma/G - F_R/G - 2F_f/G$$

[0050] 여기에서, F_f :마찰응력, F_R :반발력, γ :적층결합에너지, G :전단 계수

[0051] 고용체 합금에서 부분 전위에 용질원자가 존재하면, 도 1에 나타낸 바와 같이, 적층결합에너지가 높으며, 적층결합에너지가 부분 전위를 끌어 당기므로 부분 전위 사이의 거리가 줄어들게 되며, 반대로 부분 전위들이 서로 접근함에 따라, 부분 전위들 사이의 반발력은 실질적으로 증가하여 용질원자(F_f)에 의해 부과되는 마찰력이 증가한다. 따라서 부분 전위들이 결합하기 위해서는 추가적인 힘이 필요하며, 이는 아래의 관계식 2로 설명될 수 있다.

[0052] [관계식 2]

$$W_R = F_T/G + F_R/G = \gamma/G - 2F_f/G$$

[0054] 여기서, W_R 은 길이의 치수를 가지며 부분 폭에 반비례하기 때문에 "Reciprocal width"로 정의하며, $W_R (= \gamma/G - 2F_f/G)$ 은 부분 전위 간 적층결합에너지의 영향과 부분 전위에서 분리된 용질 원자가 변형 모드 전환에 미치는 마찰 응력을 나타낸다.

[0055] 본 발명자들은 상기 관계식 2로부터 적층결합에너지 감소에 따른 슬립 모드 변화 뿐만 아니라 원자 크기 불일치 인자, 합금성분 및 전단 계수의 영향을 고려한 TWIP 발생을 예측할 수 있는 모델을 개발하였으며, 이는 아래의 관계식 3으로 설명될 수 있다.

[0056] [관계식 3]

$$W_R = \frac{\gamma}{G} - \frac{2F_f}{G} = \frac{\gamma}{G} - \frac{2(1+\nu)b_e |\Omega|}{\pi(1-\nu)} C$$

[0058] 여기에서, γ :적층결합에너지, G :전단계수, Ω :원자크기 불일치 인자, a :격자상수, ν :Poisson's 비, C :합금원소(용질원자)를 나타낸다.

[0059] 관계식 3으로부터 적층결합에너지(γ/G)와 마찰 응력($2F_f/G$), 원자크기 불일치 인자, 합금원소량의 관계로부터 Wavy 슬립 또는 Planar 슬립 변형 모드를 예측할 수 있으며, 부분 전위 사이의 마찰력을 증가시킴으로써 적층결합에너지가 높은 재료에서도 Planar 슬립을 예측할 수 있다. 또한 고용체 구리 합금에 적용시키는 경우 원자크기 불일치 인자 및 첨가되는 합금원소 양을 고려하여 TWIP 거동을 예측할 수 있는 것이다.

[0061] 도 2는 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 적층결합에너지와 합금조성의 영향에 의한 변형-쌍정유기 합금설계 개념도를 나타낸 것이다.

[0062] 도 2에 나타난 바와 같이, 높은 적층결합에너지 영역에서는 Wavy 슬립을 나타내며, 원자크기 차이×합금조성% 값이 증가함에 따라 합금원소들이 전위와 반응하여 전위이동 억제 또는 부분 쌍정전위의 확장을 유도하여 변형-쌍정을 유발시키므로 적층결합에너지가 낮은 소재는 물론 적층결합에너지가 높은 경우에도 Wavy 슬립 영역에서 Planar 슬립 영역 및 TWIP 영역으로 변화하게 된다. 이와 같이 적층결합에너지가 낮아진 구리계 합금은 변형-쌍정을 유발시켜 전위의 이동을 방해하여 가공경화 속도를 증가시켜, 기존의 구리계 합금에 비하여 우수한 강도와 연성을 나타낼 수 있는 것이다.

[0064] 다음으로, 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 제조방법에 대해 상세히 설명한다.

- [0065] 본 발명의 상기 합금 조성성분을 갖는 금속재료를 준비하는 단계; 상기 준비된 금속 재료를 용융하여 합금을 제조하는 단계; 상기 제조된 합금을 850~1050℃의 온도범위에 균질화 열처리하는 단계; 상기 균질화 열처리 후 냉각하는 단계; 및 상기 냉각된 합금을 350~850℃의 온도범위에서 2차 열처리하는 단계;를 포함한다.
- [0067] 도 3은 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금의 제조방법 일예를 나타낸 공정 순서도이다.
- [0068] 도 3에 나타난 바와 같이, 본 발명에서는 먼저, 중량%로, Al: 3% 초과 20% 이하, Zn: 3% 초과 30% 이하 Ni: 3% 초과 30% 이하, Mn: 3% 초과 20% 이하, Sn: 1% 초과 10% 이하, Si: 1% 초과 10% 이하, Ga: 3% 초과 20% 이하, Ge: 3% 초과 20% 이하로 이루어진 그룹에서 선택된 2 종 이상, 잔부 Cu 및 불가피한 불순물로 이루어지도록 금속 재료를 준비한다.
- [0069] 이어, 상기 금속재료를 용융시킨다. 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 야금법, 용사주조법, 용사코팅법, 분사코팅법, 3D-printing 법 등을 통해서 상기 금속재료를 합금으로 제조한다.
- [0071] 그리고 본 발명에서는 상기 제조된 합금을 균질화 열처리한다. 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금에는 다양한 원소가 혼합되어 있으므로, 충분한 확산을 유도하기 위해서 균질화 열처리를 행한다. 상기 균질화 열처리는 850~1050℃의 온도범위에서 1~48시간 유지하는 것이 바람직하다. 만일 균질화열처리 온도가 850℃ 미만이면 합금원소들이 합금기지내에 균일하게 고용되는데 많은 시간이 필요하며, 1050℃를 초과하면 일부 합금원소들이 부분 용융을 일으키는 문제를 야기시킬 수 있다.
- [0073] 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 한다.
- [0074] 이어, 본 발명에서는 상기 냉각된 합금을 가공하는 단계;를 추가로 포함할 수 있다. 즉, 본 발명에서는 상기 균질화 처리 후 냉각된 합금을 단조, 압출, 압연, 인발 등 중 하나의 방법을 이용하여 가공할 수 있다.
- [0076] 후속하여, 본 발명에서는, 상기 가공 후, 단상의 고용체 기지조직에 쌍정, 상변태에 의한 다양한 형상의 상변태 석출물이 동시에 존재하는 미세조직을 만들기 위해 2차 열처리를 행한다. 상기 2차 열처리는 쌍정, 상변태에 의한 다양한 형상의 상변태 석출물들을 기지에 골고루 석출시키기 위한 공정으로서, 350~850℃의 온도범위로 0.5~72시간 동안 유지하고, 냉각한다. 이때 냉각은 상기와 마찬가지로, 수냉, 유냉, 공냉, 노냉 등의 방식으로 행할 수 있다.
- [0078] 이하, 본 실시예를 통하여 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0079] (실시예)
- [0080] 먼저, 하기 표 1과 같이 비교예 1 내지 2, 발명에 1 내지 12의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금을 제조하였다.
- [0081] 구체적으로, 하기 표 1의 조성(wt%)을 갖는 금속 재료를 준비하고, 이를 진공 분위기에서 아크 용해(Arc Melting)하여 합금을 각각 제조하였다. 이후, 1050℃에서 24시간 균질화 열처리를 수행한 후 냉각하였다.
- [0082] 이후, 냉각된 각각의 합금을 압연 가공한 후, 쌍정, 상변태에 의한 다양한 형상의 상변태 석출물들을 기지에 골고루 석출시키기 위하여 850℃에서 1시간 동안 열처리하여 최종 합금 제품을 제조하였다.
- [0084] 한편, 상기와 같이 제조된 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금에 대해서는 1mm 두께의 판재 만들어, 인장시험을 수행하여 그 기계적 물성을 평가하고 원자크기차이×합금조성% 값, 탄성계수 교정값을 표 1에 함께 병기하였

다.

표 1

구분	합금	탄성계수교정 적층결합에너지 ($\gamma/G)(\times 10^{11}, \text{cm})$	원자크기차이 $\times$ 합금%	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)
비교예 1	$\text{Cu}_{84}\text{Al}_{16}$	2.01	0.0626.	360	90	82
비교예 2	$\text{Cu}_{80}\text{Mn}_{20}$	8.94	0.103.	365	125	57
발명예 1	$\text{Cu}_{80}\text{Al}_{15}\text{Zn}_5$	2.51	0.078	425	127	61
발명예 2	$\text{Cu}_{80}\text{Zn}_{15}\text{Ni}_5$	4.39	0.046	410	130	59
발명예 3	$\text{Cu}_{80}\text{Mn}_{15}\text{Zn}_5$	4.95	0.057	405	130	62
발명예 4	$\text{Cu}_{80}\text{Al}_{15}\text{Mn}_5$	2.70	0.084	390	105	75
발명예 5	$\text{Cu}_{75}\text{Al}_{15}\text{Ni}_5\text{Zn}_5$	3.29	0.102	430	132	63
발명예 6	$\text{Cu}_{75}\text{Mn}_{15}\text{Zn}_5\text{Ge}_5$	4.95	0.057	395	120	59
발명예 7	$\text{Cu}_{70}\text{Al}_{10}\text{Mn}_{10}\text{Ni}_5\text{Ga}_5$	4.42	0.138	455	134	64
발명예 8	$\text{Cu}_{70}\text{Zn}_{15}\text{Ni}_5\text{Mn}_5\text{Ge}_5$	6.72	0.070	404	124	60
발명예 9	$\text{Cu}_{70}\text{Al}_{10}\text{Zn}_{10}\text{Ni}_5\text{Ge}_5$	5.79	0.181	460	137	62
발명예 10	$\text{Cu}_{70}\text{Mn}_{15}\text{Ni}_5\text{Al}_5\text{Zn}_5$	8.90	0.104	465	139	64
발명예 11	$\text{Cu}_{80}\text{Sn}_{10}\text{Zn}_5\text{Ge}_5$	6.85	0.194	448	135	63
발명예 12	$\text{Cu}_{80}\text{Si}_{10}\text{Mn}_5\text{Al}_5$	7.24	0.064	413	128	58

상기 표 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 조성을 만족하고, 고용체 기지조직에 변형시 다양한 형상의 쌍정 및 전위들이 동시에 존재하는 발명예 1 내지 12의 경우, 비교예 1-2 대비 우수한 강도와 연성을 균형있게 확보할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

특히, 비교예 1-2와 비교하여, 본 발명의 발명예 1-12에서 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 고용체 기지조직에 변형 시 기지 내에 변형-쌍정을 유발시켜 전위의 이동을 방해하고 이에 의해 가공경화 속도를 증가시켜 우수한 강도와 연성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 즉, 상기 표 1과 같이, 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은 탄성계수보정 적층결합에너지($\gamma/G)(\times 10^{11}, \text{cm})$ 가 8.9이하, 조성 보완 atomic size misfit 지수(= 원자크기 차이 $\times$ 합금%) 0.04 이상으로서 쌍정 및 슬립 동시 작동 소성특성을 가짐을 알 수 있다.

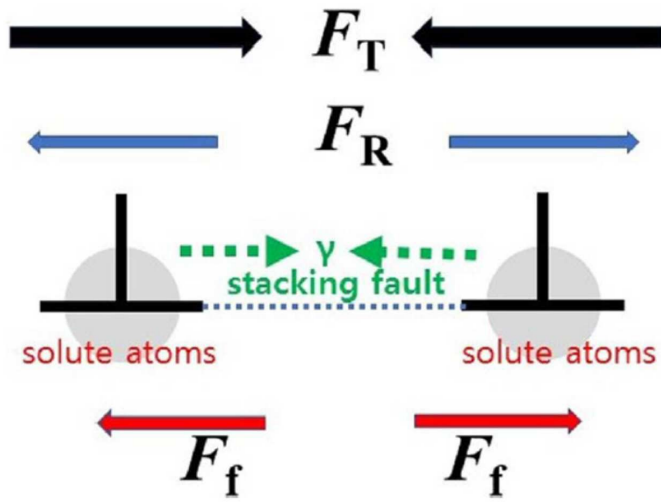
상기와 같이, 본 발명의 쌍정유기 소성증진(TWIP) 구리계 합금은, 합금원소들이 전위와 반응하여 전위이동 억제 또는 부분쌍정전위의 확장을 유도하여 변형쌍정을 유발시키므로 적층결합에너지가 낮은 소재는 물론 적층결합에너지가 높은 경우에도 쌍정 유기 소성변형 및 가공경화 거동을 나타내며, 이에 따라 소성 유기 가공경화를 통한 높은 기계적 특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

한편, 도 4는 본 발명의 실시예 중 발명예 1의 미세조직을 관찰한 사진이고, 도 5는 본 발명의 실시예 중 발명예 2의 미세조직을 관찰한 사진이다. 도 4-5에 나타난 바와 같이, 발명예 1-2의 합금 기지내에 쌍정이 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

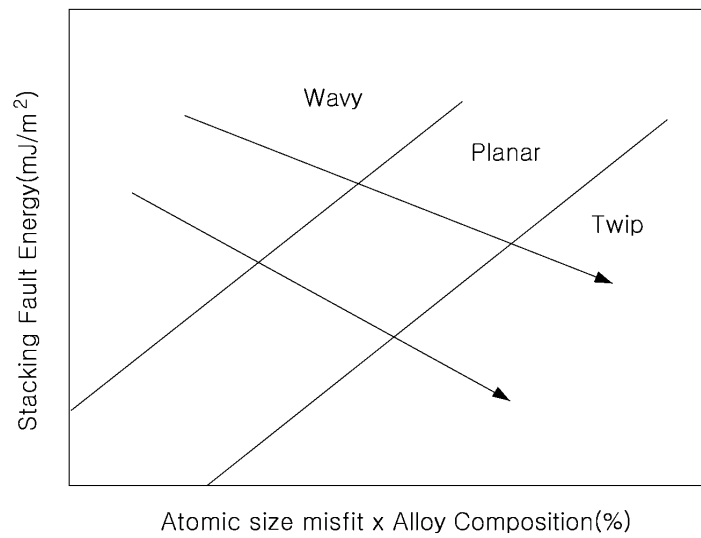
본 발명은 상기 구현 예 및 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 구현 예 및 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해 해야만 한다.

도면

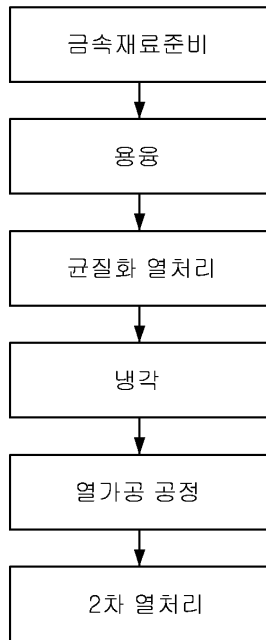
도면1



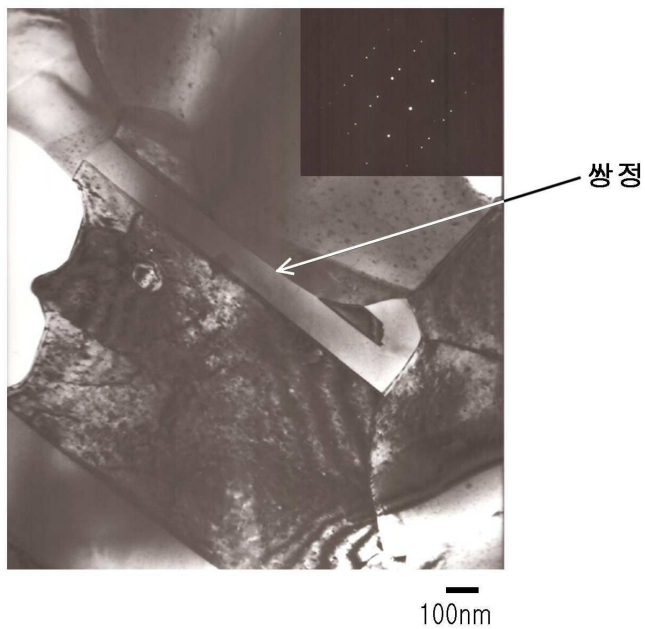
도면2



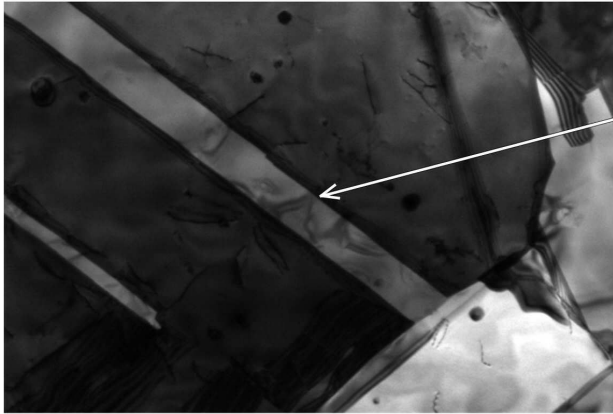
도면3



도면4



도면5



쌍정