(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0115848
(43) 공개일자 2018년10월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*C22C 21/10* (2006.01) *C22C 1/02* (2006.01)
*C22F 1/053* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*C22C 21/10* (2013.01)
*C22C 1/026* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0048119
(22) 출원일자 2017년04월13일
심사청구일자 2017년04월13일

(71) 출원인
**한국기계연구원**
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
**한승전**
경상남도 창원시 성산구 외리로34번길 13 106동 202호 (성주동,한림푸르지오아파트)
**김광호**
부산광역시 해운대구 센텀중앙로 145 106동 1002호 (재송동,더샵센텀파크1차아파트)
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**특허법인이지**

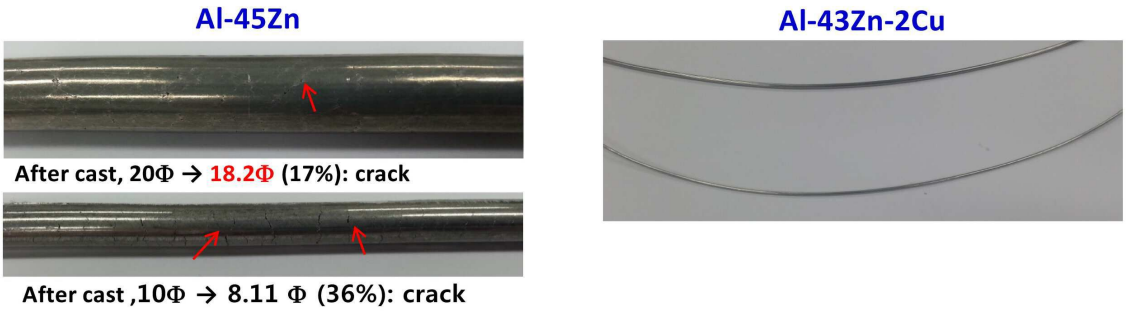
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금 및 이의 제조방법**

## (57) 요 약

본 발명은, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, 주조상태에서 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금 및 이의 제조방법에 관한 것이다. 상기한 본 발명에 의하면, 알루미늄 합금의 주조성이 개선되고, 강도 및 연신율이 동시에 향상될 수 있다.

*대 표 도* - 도2




**냉간성형공정에서의 단면적 감소율에 따른 성형성 비교**

| 단면적감소율 | 10% | 20% | 35% | 50% | 75% |
|---|---|---|---|---|---|
| Al-45Zn | O | O | X | X | X |
| Al-45Zn-2Cu | O | O | O | O | O |

(52) CPC특허분류
*C22F 1/053* (2013.01)
(72) 발명자
**최은애**
경상남도 김해시 율하3로 76 805동 202호 (율하동,중앙하이츠아파트)
**안지혁**
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 6308호 (상남동,재료연구소)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2016921616
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 글로벌프론티어연구개발사업
연구과제명 동합금기지내 제2상간 인터페이스제어에 의한 상반특성 동시향상기술 (2/3)
기 여 율 1/1
주관기관 한국기계연구원 부설재료연구소
연구기간 2016.07.01 ~ 2017.04.30

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

합금 전체 중량에 대해서,

18 중량부 내지 50 중량부의 아연;

0.05 내지 5 중량부의 구리; 및

잔부의 알루미늄을 포함하고,

주조상태에서 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

주조상태에서 인장강도가 310 내지 450Mpa인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

주조상태에서 연신율이 4 내지 10%인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

### 청구항 4

합금 전체 중량에 대해서,

18 중량부 내지 50 중량부의 아연;

0.05 내지 5 중량부의 구리; 및

잔부의 알루미늄을 포함하고,

X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ는 36.3 내지 36.9인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

### 청구항 5

합금 전체 중량에 대해서,

18 중량부 내지 50 중량부의 아연;

0.05 내지 5 중량부의 구리; 및

잔부의 알루미늄을 포함하고,

X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(1000)면의 2Θ는 38.7 내지 38.9인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

### 청구항 6

합금 전체 중량에 대해서,

18 중량부 내지 50 중량부의 아연;

0.05 내지 5 중량부의 구리; 및

잔부의 알루미늄을 포함하고,

전도도가 37% IACS (International Annealed Copper Standard) 이상인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

**청구항 7**

합금 전체 중량에 대해서,

18 중량부 내지 50 중량부의 아연;

0.05 내지 5 중량부의 구리; 및

잔부의 알루미늄을 포함하고,

Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10 내지 100nm인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

**청구항 8**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

합금 전체 중량에 대해서,

0 중량부 초과 1 중량부 미만의 마그네슘 및 0 중량부 초과 0.5 중량부 미만의 규소 중 적어도 하나를 더 포함하는, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

**청구항 9**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 기재된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 열처리한 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금으로,

인장강도가 330 내지 600Mpa인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 연신율이 4 내지 12%인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

**청구항 11**

제9항에 있어서,

상기 열처리 온도는 150 내지 500℃인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금.

**청구항 12**

합금 전체 중량에 대해서,

18 중량부 내지 50 중량부의 아연;

0.05 내지 5 중량부의 구리; 및

잔부의 알루미늄을 포함하는 합금 용탕을 제조하는 제1단계; 및

제1단계에서 제조된 합금 용탕을 금형 또는 사형에 주입하여 주조하는 제2단계를 포함하는, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

제1단계는 650 내지 750℃에서 수행되고, 합금이 완전 용융된 후 탈가스 작업을 수행하는, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 14**

제12항에 있어서,

주조상태에서 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%

인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 15**

제12항에 있어서,

알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ는 36.3 내지 36.9인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 16**

제12항에 있어서,

알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(1000)면의 2Θ는 38.7 내지 38.9인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 17**

제12항에 있어서,

알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10 내지 100nm인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 18**

제12항에 있어서,

상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 150 내지 500℃의 온도에서 열처리하여 고용체를 형성하는 제3단계를 더 포함하는, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 19**

제18항에 있어서,

상기 열처리는 30분 이상 가열하여 수행하는, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법.

**청구항 20**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 기재된 합금으로부터 제조되는 주조품.

**청구항 21**

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 기재된 합금으로부터 제조되는 가공 알루미늄 합금 제품.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 주조성이 개선되고, 강도 및 연신율이 동시에 향상된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 주조합금, 열처리 합금, 가공용 합금 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0003] 주조법은 대량생산이 가능한 이점 등으로 여러 분야에서 사용되고 있으나, 특히 자동차부품에서 많이 사용되고 있으며, 그 외 전기기기, 광학기기, 차량, 방적기, 건축, 계측기 등의 부품 제작 등에 많이 사용되고 있다.

[0005] 일반적으로 주조용 알루미늄 합금으로는 주조성이 우수한 Al-Si계 합금 및 Al-Mg계 합금 등이 사용되어 왔으나, 인장강도가 낮다. 따라서, 상대적으로 높은 인장강도를 갖는 알루미늄 합금은 압출, 압연, 단조 등의 소성가공

용 알루미늄 합금이 이용되고 있다. 이러한 소성가공용 알루미늄 합금은 소성가공성은 우수하지만, 주조시 크랙이 발생하는 주조성이 열악한 문제점이 있다.

[0007] 한편, 알루미늄 합금은 경량 합금으로 내부식성 및 열전도성이 우수하여 구조재로 사용되고 있다. 알루미늄은 기계적 성질이 낮으므로, 아연, 구리, 실리콘, 마그네슘, 니켈, 코발트, 지르코늄, 세륨 등과 같은 금속 중 1 또는 2 이상을 포함하는 알루미늄 합금으로 다양한 산업 분야, 특히 자동차, 선박, 항공기 등의 내/외장재와 같은 구조재로 널리 이용되고 있다. 알루미늄-아연 합금은 알루미늄 경도를 향상시키기 위해 이용되고 있는 알루미늄 합금으로, 보통 합금 전체 중량에 대해 10 내지 14중량%의 아연을 포함한다.

[0009] 자동차, 선박, 항공기 등의 구조재로 이용되기 위해서는, 인장강도, 연신율, 충격흡수에너지 등이 중요한 기계적 특성으로 고려된다. 일반적으로 인장강도와 연신율은 어느 하나의 특성이 향상되면 다른 하나의 특성이 감쇄되는 트래이드-오프(trade-off) 관계가 있기 때문에, 인장강도와 연신율을 동시에 향상시키기 어려운 문제가 있다(도 1).

[0010] 본 발명의 배경기술로는 대한민국 특허 제10-1387647호에 초고강도 알루미늄 주조합금 및 이의 제조방법에 대해 기재되어 있다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0012] 본 발명의 목적은, 크랙 발생 등이 최소화되어 주조성이 개선된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명의 다른 목적은, 강도 및 연신율이 동시에 향상된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 주조합금 및 열처리 합금을 제공하는 것이다.

[0014] 본 발명의 또 다른 목적은, 주조성이 개선되고, 강도 및 연신율이 동시에 향상된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 주조합금, 열처리 합금 및 가공용 합금을 효율적으로 제조할 수 있는 제조방법을 제공하는 것이다.

[0015] 본 발명의 다른 목적 및 이점은 하기의 발명의 상세한 설명, 청구범위 및 도면에 의해 더욱 명확하게 된다.

### *과제의 해결 수단*

[0017] 본 발명의 일 측면에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, 주조상태에서 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금이 제공된다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 주조상태에서 인장강도가 310 내지 450Mpa일 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 주조상태에서 연신율이 4 내지 10%일 수 있다.

[0023] 본 발명의 다른 측면에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ는 36.3 내지 36.9인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금이 제공된다.

[0025] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5

중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(1000)면의 2Θ는 38.7 내지 38.9인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금이 제공된다.

[0027] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, 전도도가 37% IACS (International Annealed Copper Standard) 이상인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금이 제공된다.

[0029] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10 내지 100nm인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금이 제공된다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 0 중량부 초과 1 중량부 미만의 마그네슘 및 0 중량부 초과 0.5 중량부 미만의 규소 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0033] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 열처리한 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금으로, 인장강도가 330 내지 600Mpa인, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금이 제공된다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 연신율이 4 내지 12%일 수 있다.

[0037] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 열처리 온도는 150 내지 500℃일 수 있다.

[0039] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하는 합금 용탕을 제조하는 제1단계; 및 제1단계에서 제조된 합금 용탕을 금형 또는 사형에 주입하여 주조하는 제2단계를 포함하는, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 제조방법이 제공된다.

[0041] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 제1단계는 650 내지 750℃에서 수행되고, 합금이 완전 용융된 후 탈가스 작업을 수행할 수 있다.

[0043] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 주조상태에서 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금의 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%일 수 있다.

[0045] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ는 36.3 내지 36.9일 수 있다.

[0047] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(1000)면의 2Θ는 38.7 내지 38.9일 수 있다.

[0049] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10 내지 100nm일 수 있다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 150 내지 500℃의 온도에서 열처리하여 고용체를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0053] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 열처리는 30분 이상 가열하여 수행할 수 있다.

[0055] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 상기 합금으로부터 제조되는 주조품이 제공된다.

[0057] 본 발명의 또 다른 측면에 의하면, 상기 합금으로부터 제조되는 가공 알루미늄 합금 제품이 제공된다.

## *발명의 효과*

[0059] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 크랙 발생 등이 최소화되어 주조성이 개선된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 제공할 수 있다.

[0060] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 강도 및 연신율이 동시에 향상된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 주조합금 및 열처리 합금을 제공할 수 있다.

[0061] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 주조성이 개선되고, 강도 및 연신율이 동시에 향상된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 주조합금, 열처리 합금 및 가공용 합금을 효율적으로 제조할 수 있다.

[0062] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 성형성이 개선되고, 강도, 연신율 및 전도도가 동시에 향상된 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 효율적으로 제조할 수 있다.

## *도면의 간단한 설명*

[0064] 도 1은 종래의 가공용 알루미늄 합금 및 주조용 알루미늄 합금의 강도와 연성의 트래이드 오프(trade-off) 관계를 나타내는 그래프이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 성형성이 우수함을 보여주는 사진이다.

도 3은 본 발명의 실시예들에 의한 알루미늄-아연-구리 합금이 종래 합금에 비해 인장강도 및 연신율이 동시에 향상된 것을 나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 아연 상의 크기 감소 및 입자간 간격 감소로 인한 주조합금의 기계적 특성 향상을 나타내는 사진이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가시 구리가 아연 입자 내부에 고용되는 것을 나타내는 사진이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 아연 상과 알루미늄 상과의 계면 에너지 변화를 계산하기 위한 Al/Zn-Cu 합금의 계면을 개략적으로 보여주는 도면이다.

도 7a는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 아연 상의 계면에너지 변화를 나타낸 그래프이다.

도 7b는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 아연의 격자상수 변화를 나타낸 그래프이다.

도 8은 구리 첨가에 의한 아연(0002)면의 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Zn(0002)면의 피크 각도(2Θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Zn(1000)면의 피크 각도(2Θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Al(111)면의 피크 각도(2Θ) 및 격자상수의 변화

를 나타내는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Al(200)의 피크 각도(2θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 13a는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 합금의 열처리 후 냉각시 아연 상의 크기 변화를 나타내는 사진이다.

도 13b는 도 13a에 표시된 측정부위의 아연 상의 크기를 나타내는 그래프이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄-아연-구리 합금을 제조하는 방법을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄-아연-구리 합금을 제조하는 공정 및 공정별 합금의 특성을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 16은 본 발명의 실시예들에 따른 알루미늄-아연-구리 합금의 진변형률(true stain)에 따른 전도도 변화를 나타낸 그래프이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0065] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0066] 본 출원에서, '포함하다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0067] 본 출원에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서 전체에서, "상에"라 함은 대상 부분의 위 또는 아래에 위치함을 의미하는 것이며, 반드시 중력 방향을 기준으로 상 측에 위치하는 것을 의미하는 것이 아니다.

[0068] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

[0069] 제1, 제2 등의 용어는 본 발명에서 다양한 구성요소들을 구별하기 위하여 사용되는 것으로써, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 숫자상으로 한정되지 않는다.

[0071] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부도면을 참조하여 상세히 설명하기로 하며, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0073] 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄으로 구성되고, 주조상태에서 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%이다.

[0075] 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 상기와 같은 조성량으로 종래 주조합금에 비해 현저한 개선된 성형성을 갖게 된다. 즉, 본 발명에 의한 주조합금은 냉간가공 시에 단면적이 75% 감소하여도 크랙 등이 발생하지 않는다(도 2).

[0077] 또한, 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 주조 상태에서 인장강도 및 연신율을 동시에 향상시킬 수 있다(도 3).

[0079] 본 발명에 있어서, 아연(Zn)은 알루미늄에 합금원소로 첨가되어 인장강도 및 경도를 효과적으로 증가시킬 수 있는 원소이다. 본 발명에 의한 주조용 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금에서는 아연이 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부로 첨가된다. 이에 한정되는 것은 아니나, 아연의 함량이 18 중량부 미만이면 인장강도 증가효과가 미미하고, 아연의 함량이 50 중량부 초과이면 주조성이 저하되고 열간 취성의 원인이 될 수 있다.

[0081] 이에 한정되는 것은 아니나, 아연의 함량은 20 중량부 내지 50 중량부, 20 중량부 내지 45 중량부, 20 중량부 내지 40 중량부, 30 중량부 내지 50 중량부, 30 중량부 내지 45 중량부, 또는 30 중량부 내지 40 중량부일 수 있다. 이에 한정되는 것은 아니나, 아연의 함량이 합금 전체 중량에 대해서 30 중량부 내지 45 중량부가 적합할 수 있다. 이 경우, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 주조상태에서 인장강도가 350 내지 450Mpa이면서, 연신율이 4 내지 10%일 수 있다(도 3).

[0083] 본 발명에 있어서, 구리(Cu)는 알루미늄에 합금원소로 첨가되어 강도 상승에 장 큰 기여를 하는 합금원소이다. 알루미늄-아연 합금에 구리의 첨가는 열처리 후 냉각 시 아연 입자의 크기를 감소시켜 입자간 간격을 현저히 감소시킨다(도 4 및 도 5).

[0085] 본 발명에 의해 첨가된 구리는 아연에 고용되어 Zn 석출상/Al 기지상의 계면에너지를 낮춘다(도 6). 석출상과 기지상의 계면에너지가 감소하면 석출물의 평균 크기가 감소한다. 따라서, 구리의 첨가에 의해 석출상인 아연의 평균 크기가 감소한다. 이에 따라 아연 입자간의 간격이 크게 감소하고 주조합금의 강도가 증가하게 된다.

[0087] 도 6을 참조하면, Al 상과 Zn 상이 에너지가 적은 면인 최조밀면끼리 접합하게 된다. Zn(0002)과 Al(100)면이 접합하게 되고, 결정학적으로 Al-Zn 결합이 최고 많은 면이다. 구리의 함량을 6wt%까지 증가시킬 때, Al(111)과 Zn(0001) 사이의 계면에너지($E_{inter}$)은 하기 식 1에 의해 정의될 수 있다.

*수학식 1*

[0089] $$E_{inter} = \frac{E_{Al/zn(cu)} - (E_{Al} + E_{zn(cu)})}{A} \quad (1)$$

[0090] $E_{Al/Zn(Cu)}$, $E_{Al}$ 및 $E_{Zn(Cu)}$는 각각 Al/Zn(Cu) 계면 구조, 벌크 Al 및 벌크 Zn(Cu)의 전체 에너지이고, A는 Al/Zn(Cu) 계면의 전체 면적이다.

[0091] (참고문헌: Equation: Perdew-Burke-Ernzerhof approximation (PBE) )[1] for the exchange-correlation potential as implanted in the Vienna Ab-initio Simulation Package code (VASP).[2,3] [1] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, Phys. Rev. Lett. 77, 3865 (1996) [2] G. Kresse and J. Hafner, Phys. Rev. B 47, 558 (1993) [3] G. Kresse and J. Furthmuller, Phys. Rev. B 54, 11169 (1996))

[0093] 본 발명에 의한 주조용 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금에서는 구리는 합금 전체 중량에 대해서, 0.05 중량부 내지 5 중량부로 첨가된다. 이에 한정되는 것은 아니나, 구리의 함량이 0.05 중량부 미만이면 인장강도 증가효과가 미미하고, 구리의 함량이 5 중량부 초과이면 주조성이 저하되고 열간 취성의 원인이 될 수 있다.

[0095] 이에 한정되는 것은 아니나, 구리의 함량은 0.05 중량부 내지 5 중량부, 0.05 중량부 내지 4 중량부, 0.05 중량부 내지 3 중량부, 0.05 중량부 내지 2 중량부, 0.1 중량부 내지 5 중량부, 0.1 중량부 내지 4 중량부, 0.1 중량부 내지 3 중량부, 0.1 중량부 내지 2 중량부, 0.5 중량부 내지 5 중량부, 0.5 중량부 내지 4 중량부, 0.5 중량부 내지 3 중량부, 0.5 중량부 내지 2 중량부, 1 중량부 내지 5 중량부, 1 중량부 내지 4 중량부, 1 중량부 내지 3 중량부, 1 중량부 내지 2 중량부, 2 중량부 내지 5 중량부, 2 중량부 내지 4 중량부, 2 중량부 내지 3 중량부, 3 중량부 내지 5 중량부, 또는 3 중량부 내지 4 중량부일 수 있다.

[0097] 이에 한정되는 것은 아니나, 구리의 함량이 합금 전체 중량에 대해서 1 내지 4 중량부가 적합할 수 있다. 이 경우, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 주조상태에서 인장강도가 310 내지 450Mpa이면서, 연신율이 4 내지 10%일 수 있다.

[0099] 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ가 36.3 내지 36.9이다.

[0101] 상술한 바와 같이, 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 구리가 첨가되어 Zn 석출상/Al 기지상의 계면에너지가 현저히 감소한다. 따라서 알루미늄-아연 합금에 구리를 첨가하면 일정 범위 내에서 Zn(0002)/Al(100) 면의 계면에너지를 급격히 감소시킨다(도 7a). 또한, 알루미늄-아연 합금에 구리의 첨가는 Zn(0002)면의 격자상수를 현저히 감소시키는 반면, Zn(1000)면의 격자상수는 구리 고용량이 증가할수록 완만하게 증가한다(도 7b). 따라서, 본 발명에 의해 알루미늄-아연 합금에 구리의 첨가로 인한 Zn(0002)/Al(100) 면의 계면에너지의 급격한 감소는 Zn(0002)면의 격자상수의 현저한 감소가 직접적인 원인이다.

[0103] 상기와 같은 격자상수는 X-ray 회절 상에서 최고의 피크의 각도와 일치한다. 따라서, 알루미늄-아연 합금에 구리를 첨가하면 Zn(0002)면의 격자상수가 현저히 감소하고, X-ray 측정 시 Zn(0002)면의 2Θ를 증가시킨다(도 8).

[0105] 이에 따라 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ가 증가되어 36.3 내지 36.9이다(도 9).

[0107] 상술한 바와 같이, 격자상수는 X-ray 회절 상에서 최고의 피크의 각도와 일치한다. 또한, 알루미늄-아연 합금에 구리를 첨가하면 Zn(1000)면의 격자상수는 증가하고, X-ray 측정 시 Zn(1000)면의 2Θ를 감소시킨다.

[0109] 이에 따라 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(1000)면의 2Θ가 감소하여 38.7 내지 38.9이다(도 10).

[0111] 한편, 알루미늄 기지에는 구리가 고용되지 않기 때문에, Al 피크의 위치는 Cu 첨가에 직접적인 영향을 받지 않는다(도 11 및 도 12).

[0113] 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10 내지 100nm일 수 있다. 상술한 바와 같이, 본 발명에 의해 알루미늄-아연 합금에 구리를 첨가하면, 석출상인 아연의 평균 크기가 감소한다(도 13a 및 도 13b). 이에 따라 아연 입자간의 간격이 크게 감소하고 주조합금의 강도가 증가하게 된다. 이에 한정되는 것은 아니나, Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10nm 미만이

거나 100nm 초과인 경우, 구리 첨가에 의한 합금의 강도 증가가 미미할 수 있다.

[0115] 본 발명의 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하고, 전도도가 37% IACS (International Annealed Copper Standard) 이상일 수 있다. 본 발명에 의한 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 인장강도 및 연신율뿐만 아니라 전도도도 향상된다(도 16).

[0117] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 합금 전체 중량에 대해서, 0 중량부 초과 1 중량부 미만의 마그네슘 및 0 중량부 초과 0.5 중량부 미만의 규소 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0119] 본 발명에 있어서, 마그네슘(Mg)은 알루미늄에 합금원소로 첨가되어 인장강도 및 경도를 효과적으로 증가시킬 수 있는 원소이다. 본 발명에 의한 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금에서는 마그네슘이 합금 전체 중량에 대해서, 0 중량부 초과 1 중량부 미만으로 첨가되는데, 마그네슘의 함량이 1 중량부 이상이면 결정립계 부식과 응력 부식 등이 발생하며, 내식성 저하 및 연신율의 급격한 저하의 원인이 될 수 있다.

[0121] 이에 한정되는 것은 아니나, 마그네슘의 함량은 0.1 중량부 내지 0.9 중량부, 0.1 중량부 내지 0.7 중량부, 0.1 중량부 내지 0.5 중량부, 0.1 중량부 내지 0.3 중량부, 0.2 중량부 내지 0.9 중량부, 0.2 중량부 내지 0.7 중량부, 0.2 중량부 내지 0.5 중량부, 또는 0.2 중량부 내지 0.3 중량부일 수 있다. 이에 한정되는 것은 아니나, 마그네슘의 함량은 합금 전체 중량에 대해서 0.1 중량부 내지 0.3 중량부가 적합할 수 있다. 이 경우, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 주조상태에서 인장강도가 380 내지 450Mpa이면서, 연신율이 4 내지 10%일 수 있다.

[0123] 본 발명에 있어서, 규소(Si)는 알루미늄에 합금원소로 첨가되어 주조성 개선 및 기계적 성질의 개선에 기여할 수 있는 원소이다. 본 발명에 의한 주조용 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금에서는 규소가 합금 전체 중량에 대해서, 0 중량부 초과 0.5 중량부 미만으로 첨가되는데, 규소의 함량이 0.5 중량부 초과이면 강도의 증진 없이 연신율의 급격히 저하시키는 원인이 될 수 있다.

[0125] 이에 한정되는 것은 아니나, 규소의 함량은 0.05 중량부 내지 0.4 중량부, 0.05 중량부 내지 0.3 중량부, 0.05 중량부 내지 0.2 중량부, 0.05 중량부 내지 0.1 중량부, 0.1 중량부 내지 0.4 중량부, 0.1 중량부 내지 0.3 중량부, 또는 0.1 중량부 내지 0.2 중량부일 수 있다. 이에 한정되는 것은 아니나, 규소의 함량이 합금 전체 중량에 대해서 0.05 중량부 내지 0.2 중량부가 적합하다. 이 경우, 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 주조상태에서 인장강도가 380 내지 450Mpa이면서, 연신율이 4 내지 10%일 수 있다.

[0127] 본 발명의 열처리 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은, 상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 열처리한 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금으로, 인장강도가 330 내지 600Mpa이다. 열처리에 의해 합금의 인장강도를 현저하게 증가시킬 수 있다.

[0129] 또한, 본 발명의 열처리 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 연신율이 4 내지 12%일 수 있다. 열처리에 의해 합금의 인장강도와 연신율을 동시에 현저하게 증가시킬 수 있다.

[0131] 본 발명에 있어서, 상기 열처리 온도는 150 내지 500℃일 수 있다. 이에 한정되는 것은 아니나, 상기 열처리 온도가 150℃ 미만인 경우, 연신율을 향상시킬 수도 있으나 인장강도가 저하될 수 있고, 500℃ 초과인 경우, 인장강도를 향상시킬 수 있으나 연신율이 저하될 수 있다.

[0133] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄-아연-구리 합금을 제조하는 방법을 개략적으로 나타낸 순서도이다. 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄-아연-구리 합금을 제조하는 공정 및 공정별 합금의 특성을 개략적으로 나타낸 도면이다.

[0135] 도 14 및 도 15를 참조하면, 먼저 제1단계(S100) 주조용 합금 재료를 준비하여 합금 용탕을 제조한다.

[0136] 보다 구체적으로 살펴보면, 합금 전체 중량에 대해서, 18 중량부 내지 50 중량부의 아연; 0.05 내지 5 중량부의 구리; 및 잔부의 알루미늄을 포함하는 합금 용탕을 제조한다.

[0137] 이때, 제1단계(S100)는 650 내지 750℃에서 수행되고, 합금이 완전 용융된 후 탈가스 작업을 수행할 수 있다.

[0139] 다음 제2단계(S200)는 제조된 합금 용탕을 금형 또는 사형에 주입하여 주조한다. 상기와 같이 주조된 합금은 상술한 바와 같이, 다음과 같은 특징이 있다.

[0140] 주조상태에서 인장강도가 230 내지 450Mpa이고, 연신율이 2.75 내지 10%일 수 있다. 또한, X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(0002)면의 2Θ는 36.3 내지 36.9일 수 있다. X-ray 회절 상에서 격자상수의 Zn(1000)면의 2Θ는 38.7 내지 38.9일 수 있다. Al 기지 내의 Zn 상의 직경 및 길이 중 적어도 하나가 10 내지 100㎚일 수 있다.

[0142] 따라서, 본 발명에 의하면, 상기 합금으로부터 제조되는 주조품이 제공된다. 또한, 상기 합금으로부터 제조되는 가공 알루미늄 합금 제품이 제공된다.

[0144] 한편, 상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금을 150 내지 500℃의 온도에서 열처리하여 고용체를 형성하는 단계(S300)를 더 포함할 수 있다.

[0145] 상기 고용체는 상기 알루미늄-합금-구리를 열처리하여 형성할 수 있다. 상기 열처리는 균질화 처리 및/또는 용체화 처리일 수 있다. 상기 고용체의 생성으로 인해, 상기 알루미늄-아연-구리 합금은 상기 고용체가 포함된 상태가 된다.

[0146] 상기 고용체를 생성하는 단계의 온도범위는 150 내지 500℃일 수 있다. 상기 온도 범위는 알루미늄-아연-구리 합금의 액상이 생기지 않고, 고용체를 형성할 수 있는 최고고용한계 온도를 고려하여 정해질 수 있다. 알루미늄-아연-구리 합금의 경우, 500℃ 초과 범위의 온도에서는 단상을 형성하지 않고 다상을 형성하기 때문에 불연속 석출물이 생성되지 않는다. 상기 고용체를 생성하는 단계는 30분 이상 가열하여 수행할 수 있다. 이에 한정되는 것은 아니나, 상기 열처리는 450℃에서 120분간 수행하는 것이 고용체 형성에 적합하다.

[0148] 다음, 상기 고용체를 포함하는 알루미늄-아연-구리 합금을 이용하여 불연속 석출물을 강제로 생성한다(S400).

[0149] 상기 석출물을 강제로 생성하는 단계는 합금 내부에 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물을 생성시키는 공정으로, 상기 고용체를 포함하는 알루미늄-합금을 시효처리하여, 단위면적당 5% 이상의 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성하게 된다. 상기 시효처리는 120 내지 200℃의 온도 범위에서 상기 고용체를 형성하는 단계보다 낮은 온도에서 수행할 수 있다. 예를 들어, 상기 시효 처리는 160℃에서 수행될 수 있다. 상기 시효처리는 5분 내지 400분 동안 수행할 수 있다. 일례로 상기 합금 재료가 석출촉진 금속을 포함하는 경우에는, 상기 고용체를 생성한 후 수냉(water quenching) 또는 공냉(air quenching)을 실시하고 적어도 2시간 이상 시효처리함으로써 불연속 석출물을 강제로 생성시킬 수 있다.

[0150] 상기와 같이 시효처리 전의 수냉 또는 공냉은, 온도하강 속도를 매우 빠르게 급냉시킴으로써 추후에 배향형 석출물을 형성할 수 있다. 온도하강 속도를 느리게 하여 서서히 냉각시키는 경우, 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성하더라도 이 석출물들이 배향되지 않을 수 있다.

[0152] 상기와 같이 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물을 강제로 형성한 후, 상기 석출물을 포함하는 알루미늄-아연 합

금을 소성 가공하여 배향성 석출물을 형성한다 (S500).

[0153] 배향성 석출물을 형성하는 배향단계는 강제로 형성된 불연속 석출물을 인위적으로 배향시키는 공정으로, 압연, 인발 및/또는 압출을 통해서 수행될 수 있다.

[0154] 단면적 감소율인 인발율(drawing ratio)은 적어도 50% 이상일 수 있다. 인발율이 증가할수록 배향성 석출물 그 자체의 두께와 배향성 석출물 사이의 거리가 감소할 수 있고, 인장강도 특성이 향상될 수 있다.

[0156] 상기 배향단계는 액체 질소 분위기에서 수행될 수 있다. 액체 질소 분위기에서 배향되는 경우, 배향단계에서 발생하는 열을 최소화하여 불연속 석출물의 정렬을 원활히 하여 인장강도가 높아질 수 있다.

[0158] 상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금은 하기에 기재된 1) 내지 4) 중 하나 이상의 특징을 가질 수 있다:

[0159] 1) 상기 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금 단위 면적당 5% 이상으로 강제로 생성된 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물 포함함;

[0160] 2) 상기 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물의 평균 종횡비는 20 이상임;

[0161] 3) 상기 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물의 평균 길이는 1.4 이상임;

[0162] 4) 상기 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물의 평균 간격은 105nm 이하임; 및

[0163] 4) 상기 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물의 평균 두께는 55nm 이하임.

[0165] 상기에서 설명한 바에 따르면, 본 발명의 알루미늄-아연-구리 합금은 제조공정 중에 강제로 불연속 석출물 또는 라멜라 석출물을 형성하고 이를 이용하여 형성된 배향형 석출물을 포함함으로써, 인장강도, 연신율 및 전도도를 동시에 향상된 물리적 특성이 우수한 금속 재료로서 제공될 수 있다.

[0167] 따라서, 본 발명의 알루미늄-아연-구리 합금은 주조만으로 인장강도 및 연신율을 동시에 개선하고, 가공시 강도 및 연신율을 더욱 개선할 수 있어, 주조재 및 가공재 제조에 유용하게 활용될 수 있다.

[0169] **실시예**

[0170] 이하에서는 본 발명의 구체적인 제조예 및 비교예, 이들의 특성 평가 결과를 통해서 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0172] **실시예 1 ~ 46 및 비교예 1 ~ 10**

[0173] 표 1에 본 발명의 알루미늄-아연 합금의 실시예 및 비교예의 함량을 나타내었다.

[0174] 표 1의 함량의 알루미늄-아연-구리 합금을 전기로 용해 및 고주파 유도 용해로 주조하였다. 모든 합금은 99.9% 순도의 원소재를 사용하여 주조하였다. 전기로를 이용하여 각 시편 당 5kg씩 용융시켰으며, 700℃의 온도를 유지하였다. 완전 용융 후 Ar 가스로 10분 동안 탈가스 작업을 수행하였고, 그 후 10분간 용융상태를 유지한 후 금속 주형 또는 사형에 주입하였다. 주입 후 5분 뒤 잉곳을 몰드에서 꺼내었다. 주조시 생성된 불순물을 제거하기 위해 450℃ 120분 동안 균질화 처리를 실시하였다. 이어서, 압하율 20% 마다 400℃에서 15분 마다 어닐링을 수행하여 총 냉간 가공 면적 감소율 75%로 단조(swaging)를 수행하였다. 1시간이 경과한 후 스웨이징된 결과물에 450℃에서 2시간 동안 용체화 처리한 후 수냉처리 하였다. 그런 다음 160℃에서 360분 동안 불연속 석출물 생성을 위한 석출처리를 하였다.

표 1

| (wt%) | Al | Zn | Cu | Mg | Si | 주형 | 열처리온도 (℃) | 강도(MPa) | 연신율(%) | 계면에너지 (J/㎡) Zn(0002)/Al(100) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 비교예 1 | Bal. | 45 | - | | | 금형 | As cast | 286 | 4 | 0.139 |
| 비교예 2 | Bal. | 45 | - | | | 금형 | 400 | 312 | 1.36 | |
| 비교예 3 | Bal. | 20 | - | | | 금형 | As cast | 290 | 3.8 | |
| 비교예 4 | Bal. | 20 | - | | | 금형 | 400 | 199 | 16.3 | |
| 비교예 5 | Bal. | 25 | - | | | 금형 | As cast | 227 | 10.3 | |
| 비교예 6 | Bal. | 25 | - | | | 금형 | 400 | 350 | 0.8 | |
| 비교예 7 | Bal. | 35 | - | | | 금형 | As cast | 290 | 2.3 | |
| 비교예 8 | Bal. | 35 | - | | | 금형 | 400 | 310 | 0.32 | |
| **실시예 1** | **Bal.** | **44.31** | **0.69** | | | | | | | **0.084** |
| **실시예 2** | **Bal.** | **43.63** | **1.37** | | | | | | | **0.085** |
| **실시예 3** | **Bal.** | **42.94** | **2.06** | | | | | | | **0.084** |
| **실시예 4** | **Bal.** | **42.26** | **2.74** | | | | | | | **0.082** |
| **실시예 5** | **Bal.** | **41.57** | **3.43** | | | | | | | **0.087** |
| **실시예 6** | **Bal.** | **40.89** | **4.11** | | | | | | | **0.095** |
| **실시예 7** | **Bal.** | **40.2** | **4.80** | | | | | | | **0.109** |
| **실시예 8** | **Bal.** | **39.52** | **5.48** | | | | | | | **0.126** |
| **실시예 9** | **Bal.** | **18** | **2** | | | **금형** | **As cast** | **337** | **4.1** | |
| **실시예 10** | **Bal.** | **23** | **2** | | | **금형** | **As cast** | **310** | **6.1** | |
| **실시예 11** | **Bal.** | **23** | **2** | | | **금형** | **400** | **330** | **4.5** | |
| **실시예 12** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **금형** | **As cast** | **359** | **4.6** | |
| **실시예 13** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **금형** | **160** | **325** | **22** | |
| **실시예 14** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **금형** | **330** | **366** | **7.9** | |
| **실시예 15** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **금형** | **490** | **436** | **11.1** | |
| **실시예 16** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **사형** | **As cast** | **365** | **8.0** | |
| **실시예 17** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **사형** | **160** | **307** | **13.4** | |
| **실시예 18** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **사형** | **330** | **410** | **8.8** | |
| **실시예 19** | **Bal.** | **33** | **2** | | | **사형** | **490** | **430** | **9.7** | |
| **실시예 20** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **금형** | **As cast** | **373** | **6.4** | |
| **실시예 21** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **금형** | **160** | **319** | **9.0** | |
| **실시예 22** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **금형** | **350** | **414** | **6.3** | |
| **실시예 23** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **금형** | **430** | **441** | **8.2** | |
| **실시예 24** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **사형** | **As cast** | **350** | **6.6** | |
| **실시예 25** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **사형** | **160** | **309** | **10.2** | |
| **실시예 26** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **사형** | **350** | **416** | **6.7** | |
| **실시예 27** | **Bal.** | **39** | **2** | | | **사형** | **430** | **436** | **6.5** | |
| **실시예 28** | **Bal.** | **44.5** | **0.5** | | | **금형** | **As cast** | **322** | **7.8** | |
| **실시예 29** | **Bal.** | **44.5** | **0.5** | | | **금형** | **400** | **451** | **3.2** | |
| **실시예 30** | **Bal.** | **44** | **1** | | | **금형** | **As cast** | **315** | **3.1** | |
| **실시예 31** | **Bal.** | **44** | **1** | | | **금형** | **160** | **320** | **20.5** | |
| **실시예 32** | **Bal.** | **44** | **1** | | | **금형** | **400** | **437** | **6.2** | |
| **실시예 33** | **Bal.** | **43** | **2** | | | **금형** | **As cast** | **338** | **3.9** | |
| **실시예 34** | **Bal.** | **43** | **2** | | | **금형** | **160** | **315** | **24** | |
| **실시예 35** | **Bal.** | **43** | **2** | | | **금형** | **160** | **320** | **25** | |
| **실시예 36** | **Bal.** | **43** | **2** | | | **금형** | **370** | **508** | **4.8** | |
| **실시예 37** | **Bal.** | **43** | **2** | | | **금형** | **400** | **600** | **4.5** | |
| **실시예 38** | **Bal.** | **42** | **3** | | | **금형** | **As cast** | **401** | **6.7** | |
| **실시예 39** | **Bal.** | **42** | **3** | | | **금형** | **160** | **300** | **6.5** | |
| **실시예 40** | **Bal.** | **42** | **3** | | | **금형** | **400** | **554** | **4.8** | |
| **실시예 41** | **Bal.** | **33** | **2** | **0.2** | **0.1** | **금형** | **As cast** | **391** | **6.74** | |
| **실시예 42** | **Bal.** | **33** | **2** | **0.2** | **0.1** | **금형** | **160** | **300** | **10** | |
| **실시예 43** | **Bal.** | **33** | **2** | **0.2** | **0.1** | **금형** | **400** | **469** | **1.27** | |
| **실시예 44** | **Bal.** | **33** | **2** | **0.5** | **0.3** | **금형** | **As cast** | **341** | **2.59** | |
| **실시예 45** | **Bal.** | **33** | **2** | **0.5** | **0.3** | **금형** | **160** | **285** | **4** | |
| **실시예 46** | **Bal.** | **33** | **2** | **0.5** | **0.3** | **금형** | **400** | **437** | **1.33** | |
| **비교예 9** | **Bal.** | **33** | **2** | **1** | **0.5** | **금형** | **As cast** | **300** | **0.8** | |
| **비교예 10** | **Bal.** | **33** | **2** | **1** | **0.5** | **금형** | **400** | **245** | **0.4** | |

[0176]

[0178] **주조 후 냉간가공성 평가**

[0179] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 성형성이 우수함을 보여주는 사진이다. 도 2에 나타난 바와 같이, 구리를 포함하는 않은 알루미늄-아연 합금의 경우 주조 후 냉간가공시 단면적감소율 17%부터 크랙이 발생하나, 본 발명의 알루미늄-아연-구리 합금은 단면적감소율이 75%인 경우에도 크랙이 발생하지 않아 성형성이 우수한 것으로 나타났다.

[0181] **주조상태의 기계적 특성 평가**

[0182] 도 3은 본 발명의 실시예들에 의한 알루미늄-아연-구리 합금이 종래 합금에 비해 인장강도 및 연신율이 동시에 향상된 것을 나타내는 그래프이다.

[0183] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 아연 상의 크기 감소 및 입자간 간격 감소로 인한 합금의 기계적 특성 향상

을 나타내는 사진이다. Al-Zn 합금에 Cu 첨가하면 열처리 후 냉각 시, 아연 입자의 크기의 감소로 입자간 간격이 크게 감소하여 합금 기지내에 입자에 의한 강도가 향상되는 것을 보여준다.

[0184] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가시 구리가 아연 입자 내부에 고용되는 것을 나타내는 사진이다. 구리는 아연 입자 내부에 고용되어 아연 석출상/ 알루미늄 기지상의 계면에너지를 감소시키는 것을 보여준다.

[0186] **Cu 첨가에 따른 Zn 상의 계면에너지 및 격자상수 평가**

[0187] 표 2 및 도 7a는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 아연 상의 계면에너지 변화를 나타낸 것이다. DFT (Density Functional Theory)에 의한 Zn의 격자상수를 계산 ($0^{\circ}K$)하면, Al-Zn합금에 Cu 첨가는 Zn상과 Al 상의 계면에너지를 크게 감소시키는 것을 보여준다. Cu 첨가에 의해 Zn(0002)/Al(100)면의 계면에너지가 급격히 감소된다.

*표 2*

[0189]

| (wt%) | Al | Zn | Cu | 계면에너지 ($J/m^2$) Zn(0002)/Al(100) |
|---|---|---|---|---|
| 비교예 1 | Bal. | 45 | - | 0.139 |
| **실시예 1** | **Bal.** | **44.31** | **0.69** | **0.084** |
| **실시예 2** | **Bal.** | **43.63** | **1.37** | **0.085** |
| **실시예 3** | **Bal.** | **42.94** | **2.06** | **0.084** |
| **실시예 4** | **Bal.** | **42.26** | **2.74** | **0.082** |
| **실시예 5** | **Bal.** | **41.57** | **3.43** | **0.087** |
| **실시예 6** | **Bal.** | **40.89** | **4.11** | **0.095** |
| **실시예 7** | **Bal.** | **40.2** | **4.80** | **0.109** |
| **실시예 8** | **Bal.** | **39.52** | **5.48** | **0.126** |

[0191] 도 7b는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 아연의 격자상수 변화를 나타낸 그래프이다. Al-Zn 합금에 Cu 첨가는 Zn(0002)면의 격자상수를 감소시키고 일정 범위에서 Zn상 내의 Cu 고용량 증가가 Zn(0002)면의 격자상수를 감소시키는 것을 보여준다. Zn(1000)면의 격자상수는 Cu 고용량이 증가할 수록 증가한다. Zn(0002)면/Al(111)면의 계면에너지 감소에는 Z(0002)면의 격자상수 감소가 직접적인 원인임을 보여준다.

[0193] 도 8은 구리 첨가에 의한 아연(0002)면의 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다. Al-Zn 합금에 Cu 첨가는 Zn(0002)면의 격자상수를 감소 즉 X-ray 측정시 Zn(0002)의 2Θ를 증가시키는 것을 보여준다.

[0195] **합금의 X-ray 분석**

[0196] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Zn(0002)면의 피크 각도(2Θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다. 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Zn(1000)면의 피크 각도(2Θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다.

[0197] 본 발명의 실시예에 의한 합금을 X-ray 분석하였을 경우, Zn(0002) 면의 2Θ는 감소하여 $36.3^{\circ}$ 이상 $36.9^{\circ}$ 이하 범위이고, Zn(1000) 면의 2Θ는 증가하여 $38.7^{\circ}$ 이상 $38.9^{\circ}$ 범위임을 알 수 있다.

[0199] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Al(111)면의 피크 각도(2Θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다. 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따라 합금의 구리 함량에 따른 Al(200)의 피크 각도(2

θ) 및 격자상수의 변화를 나타내는 그래프이다. Al 기지에는 Cu가 고용되지 않기 때문에 Al 피크의 위치는 Cu 첨가에 의해 직접적인 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

[0201] **합금의 미세조직 분석**

[0202] 도 13a는 본 발명의 일 실시예에 따른 구리 첨가에 의한 합금의 열처리 후 냉각시 아연 상의 크기 변화를 나타내는 TEM 사진이다. 도 13b는 도 13a에 표시된 측정부위의 아연 상의 크기를 나타내는 그래프이다.

[0203] Al 기지내 Zn 상의 크기는 10nm에서 100nm 범위로 구리 첨가에 의해 아연 상기 크기가 현저하게 감소함을 확인할 수 있다.

[0205] **인발가공 후 전기전도도 평가**

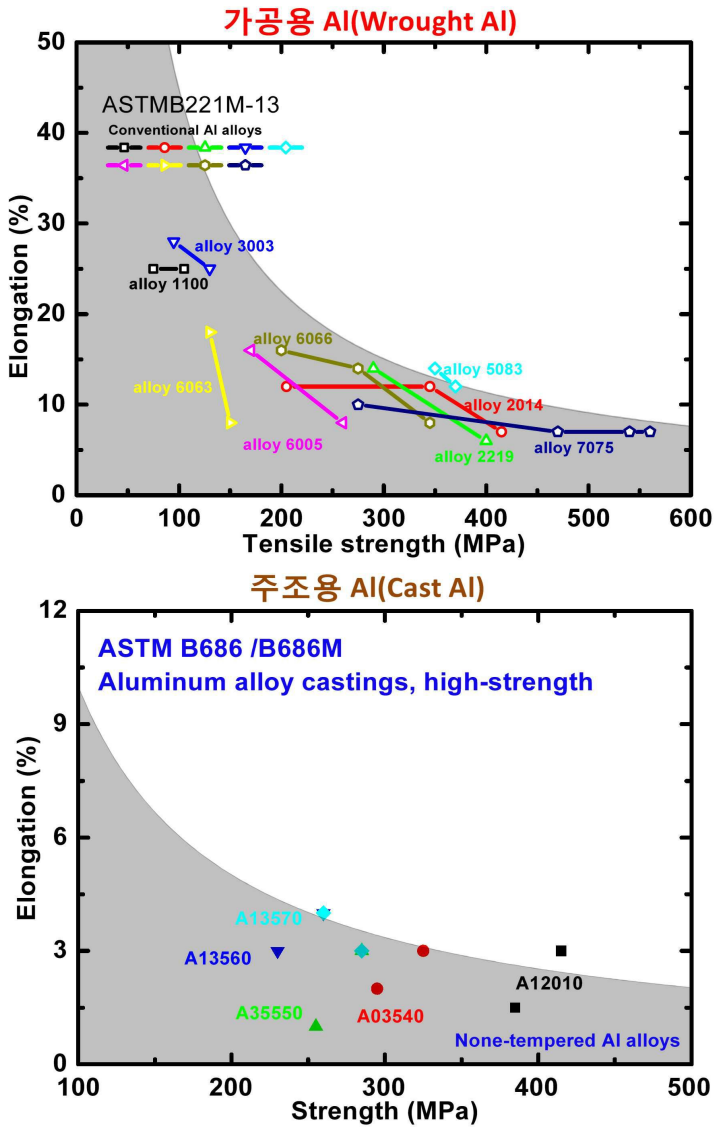
[0206] 도 16은 본 발명의 실시예들에 의한 알루미늄-아연-구리 합금의 진변형률(true stain)에 따른 전도도 변화를 나타낸 그래프이다.

[0207] 본 발명의 실시예 13 및 실시예 33에 의한 합금을 열처리한 후 인발가공 시 전도도를 측정한 결과, 전도도가 37% IACS (International Annealed Copper Standard) 이상임을 알 수 있다. 특히 실시예 13에 의한 합금의 전도도는 53% IACS까지도 증가하는 것을 알 수 있다.

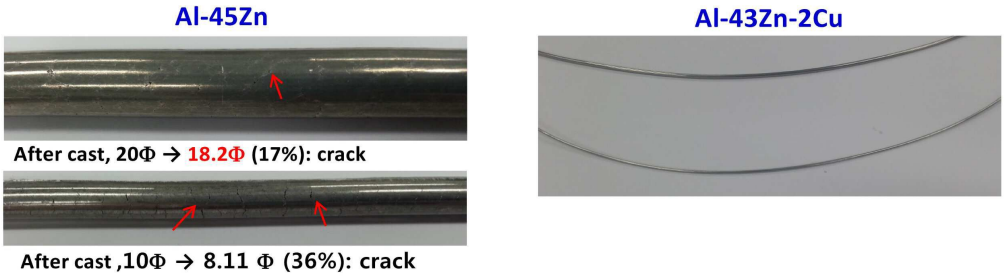
[0209] 이상, 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면, 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리 범위 내에 포함된다고 할 것이다.

도면

도면1



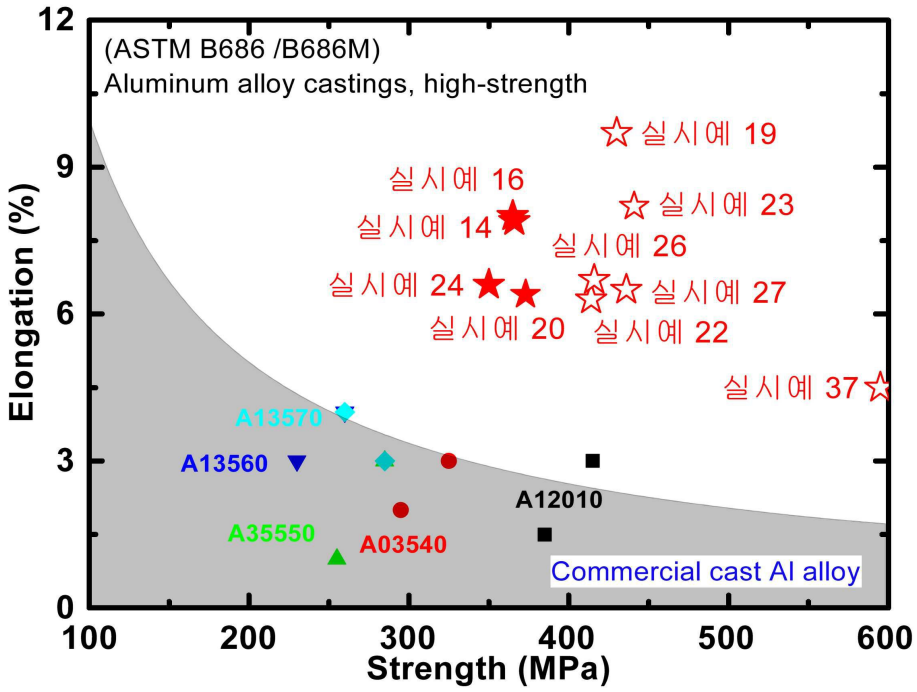

도면2



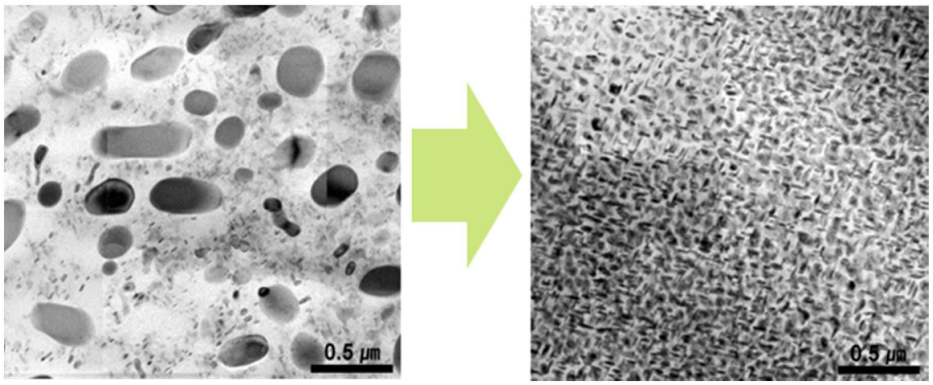

냉간성형공정에서의 단면적 감소율에 따른 성형성 비교

| 단면적감소율 | 10% | 20% | 35% | 50% | 75% |
|---|---|---|---|---|---|
| Al-45Zn | O | O | X | X | X |
| Al-45Zn-2Cu | O | O | O | O | O |

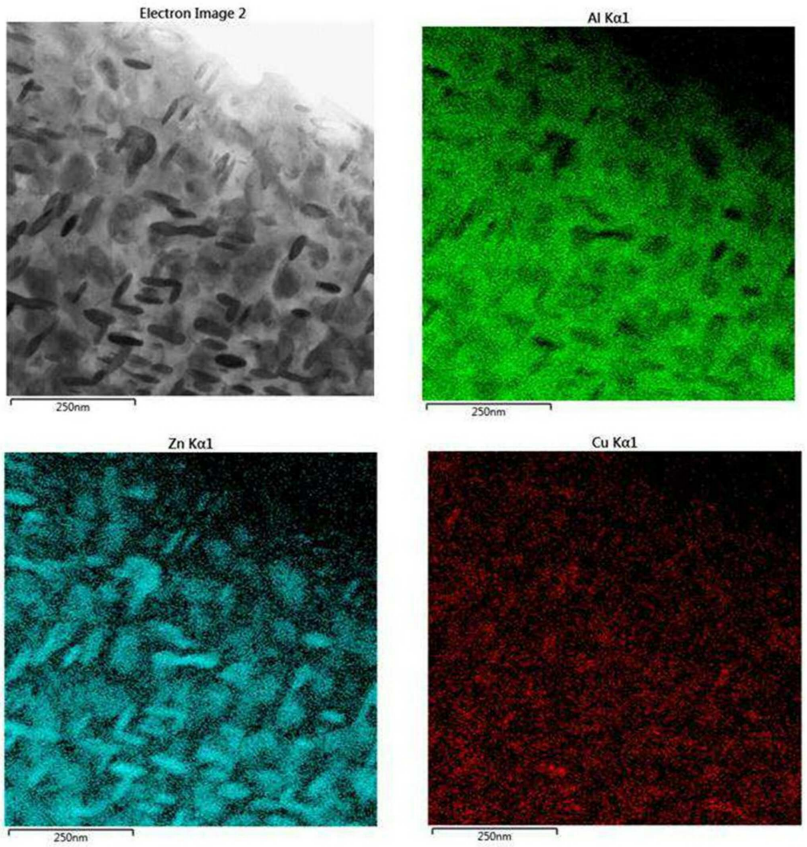
도면3


(ASTM B686 /B686M)
Aluminum alloy castings, high-strength
실시예 19
실시예 16
실시예 23
실시예 14
실시예 26
실시예 24
실시예 27
실시예 20
실시예 22
실시예 37
A13570
A13560
A12010
A35550
A03540
Commercial cast Al alloy
Elongation (%)
Strength (MPa)
0
3
6
9
12
100
200
300
400
500
600

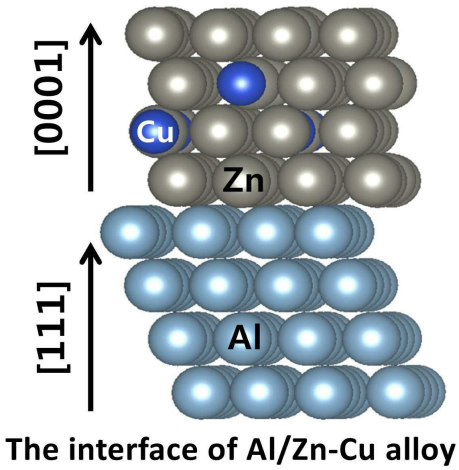
도면4


0.5 μm
0.5 μm

도면5

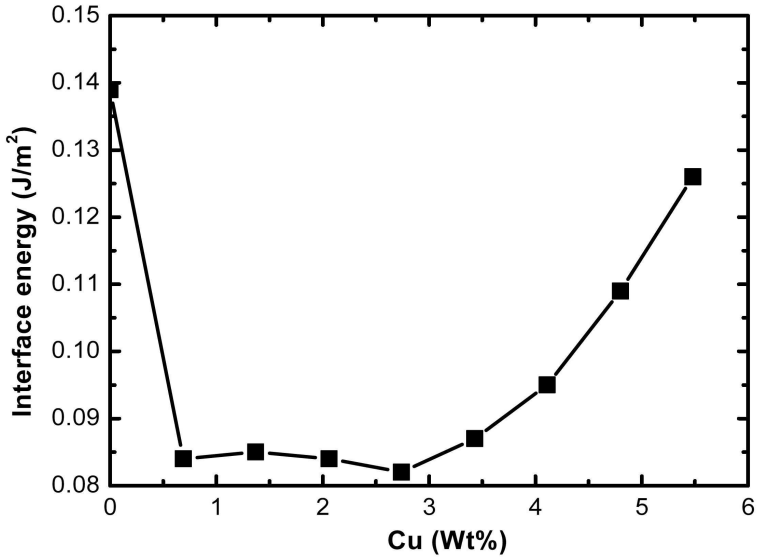



도면6

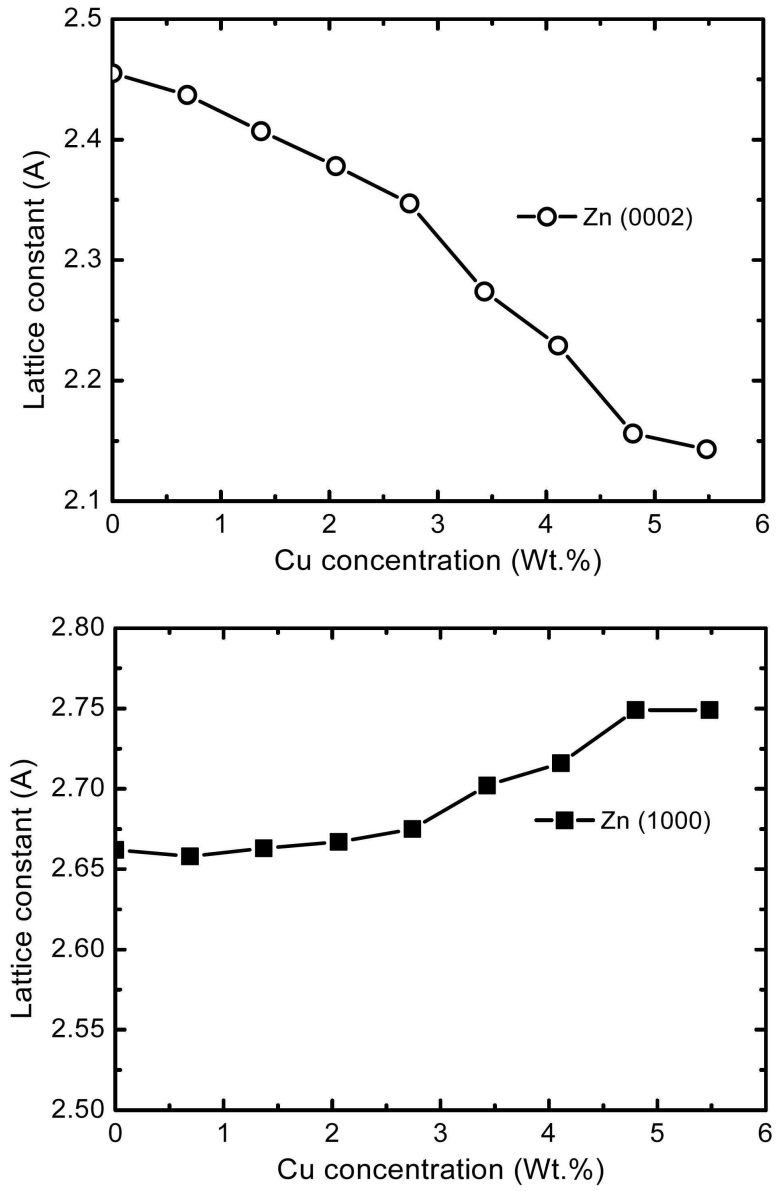



The interface of Al/Zn-Cu alloy

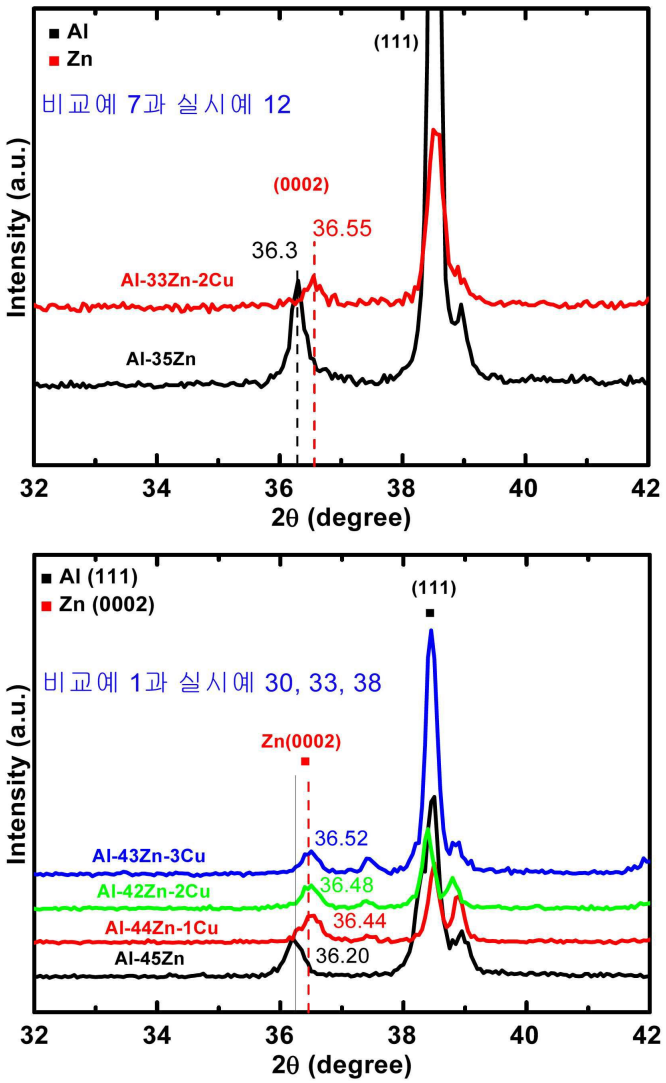
도면7a


0.15
0.14
0.13
0.12
0.11
0.10
0.09
0.08
Interface energy (J/m$^2$)
0
1
2
3
4
5
6
Cu (Wt%)

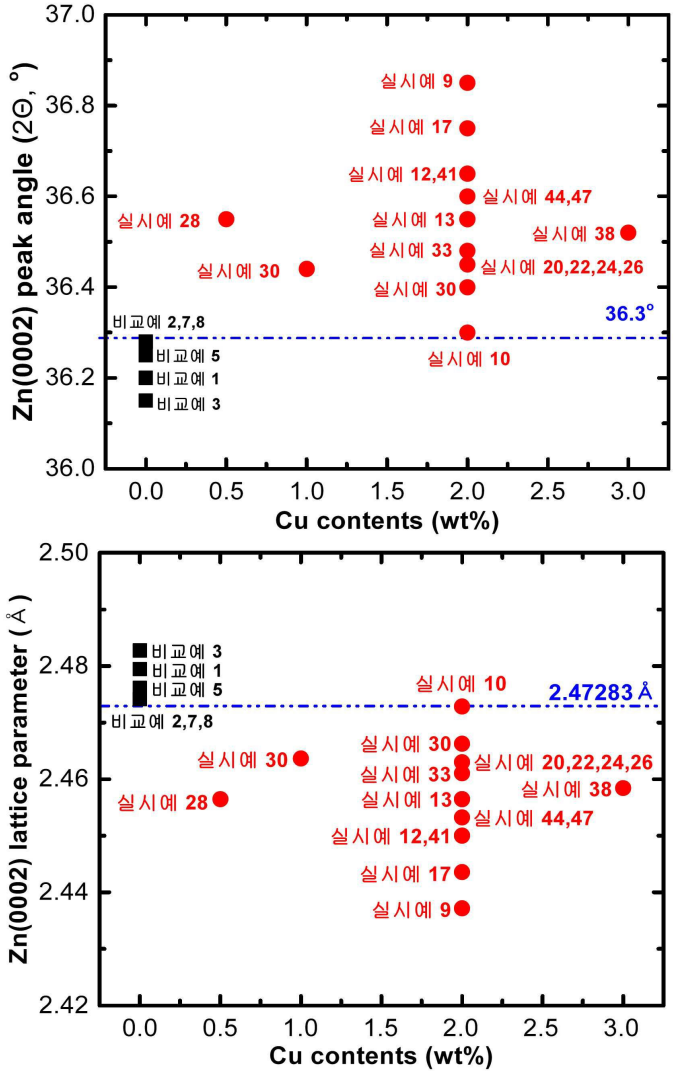
도면7b


Lattice constant (A)
Cu concentration (Wt.%)
Zn (0002)
Lattice constant (A)
Cu concentration (Wt.%)
Zn (1000)

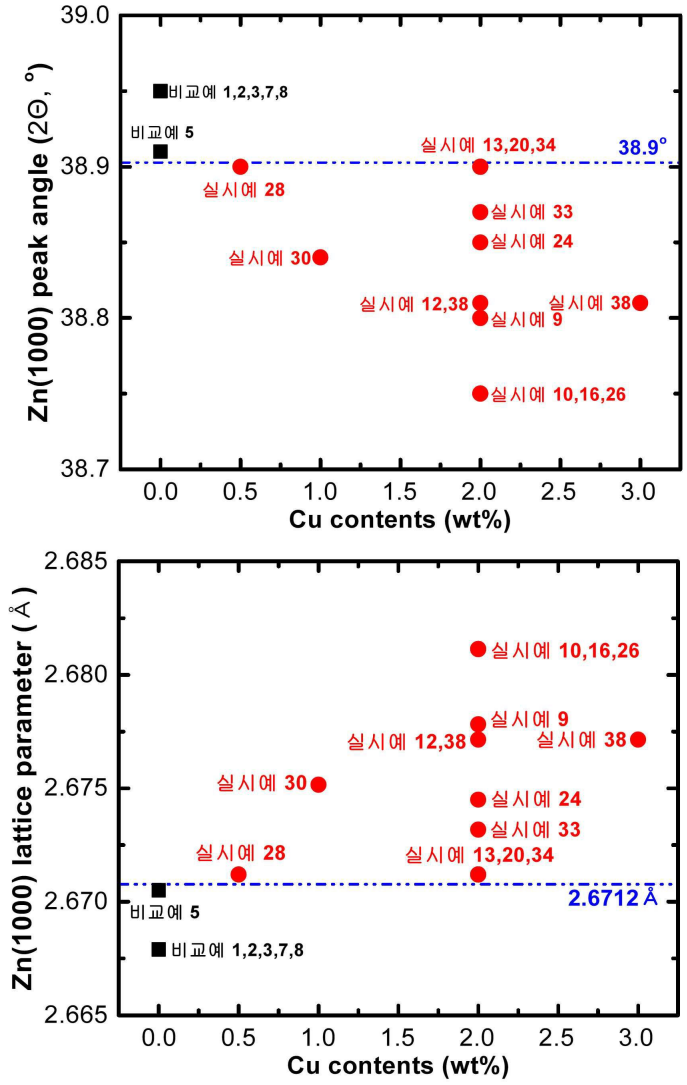
도면8


Al
Zn
(111)
비교예 7과 실시예 12
(0002)
36.55
36.3
Al-33Zn-2Cu
Al-35Zn
Intensity (a.u.)
32
34
36
38
40
42
2θ (degree)
Al (111)
Zn (0002)
(111)
비교예 1과 실시예 30, 33, 38
Zn(0002)
36.52
Al-43Zn-3Cu
36.48
Al-42Zn-2Cu
36.44
Al-44Zn-1Cu
36.20
Al-45Zn
Intensity (a.u.)
32
34
36
38
40
42
2θ (degree)

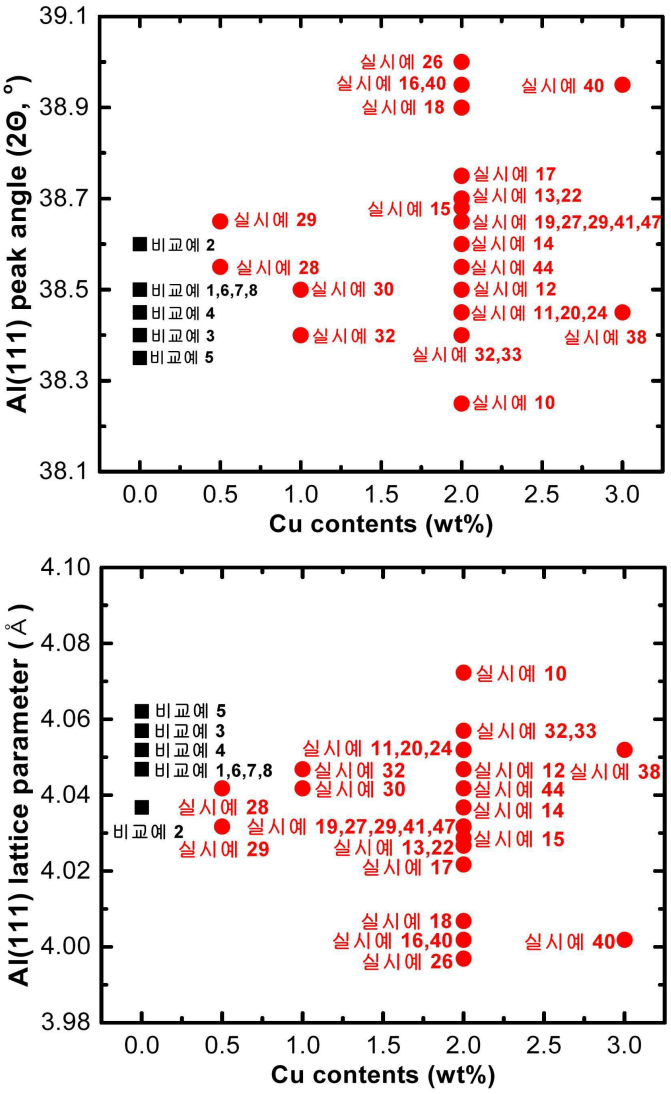
도면9


Zn(0002) peak angle (2Θ, °)
Cu contents (wt%)
실시예 9
실시예 17
실시예 12,41
실시예 44,47
실시예 28
실시예 13
실시예 38
실시예 33
실시예 30
실시예 20,22,24,26
실시예 30
36.3°
비교예 2,7,8
실시예 10
비교예 5
비교예 1
비교예 3
Zn(0002) lattice parameter (Å)
Cu contents (wt%)
비교예 3
비교예 1
비교예 5
실시예 10
2.47283 Å
비교예 2,7,8
실시예 30
실시예 30
실시예 20,22,24,26
실시예 33
실시예 38
실시예 28
실시예 13
실시예 44,47
실시예 12,41
실시예 17
실시예 9

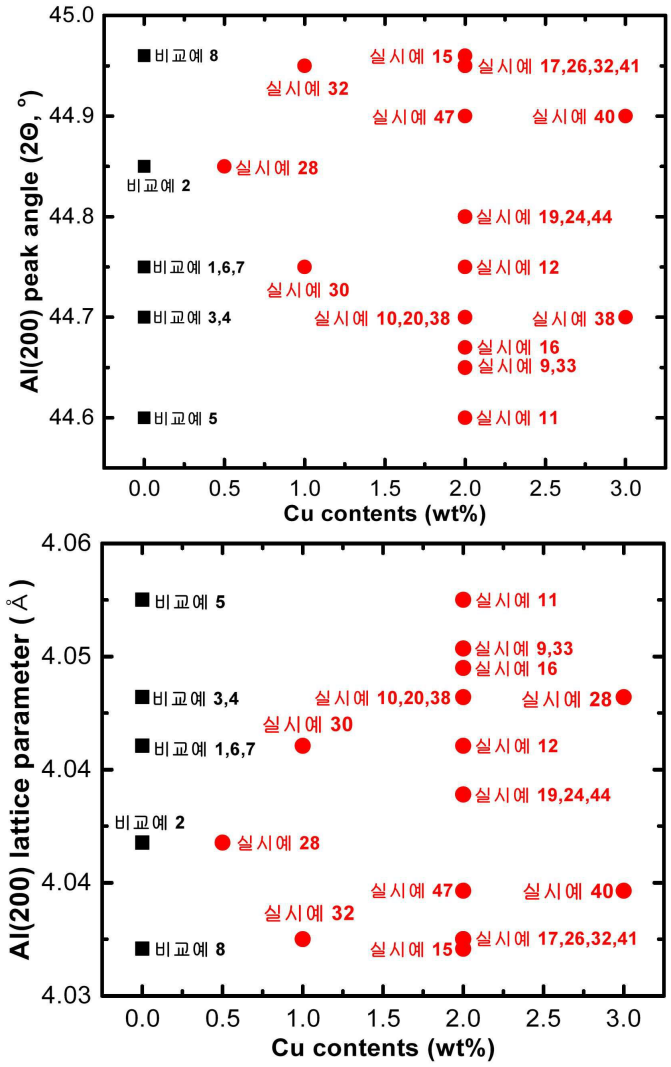
도면10


39.0
38.9
38.8
38.7
Zn(1000) peak angle (2Θ, °)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Cu contents (wt%)
비교예 1,2,3,7,8
비교예 5
실시예 13,20,34
38.9°
실시예 28
실시예 33
실시예 24
실시예 30
실시예 12,38
실시예 38
실시예 9
실시예 10,16,26
2.685
2.680
2.675
2.670
2.665
Zn(1000) lattice parameter (Å)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Cu contents (wt%)
실시예 10,16,26
실시예 9
실시예 12,38
실시예 38
실시예 30
실시예 24
실시예 33
실시예 28
실시예 13,20,34
2.6712 Å
비교예 5
비교예 1,2,3,7,8

도면11

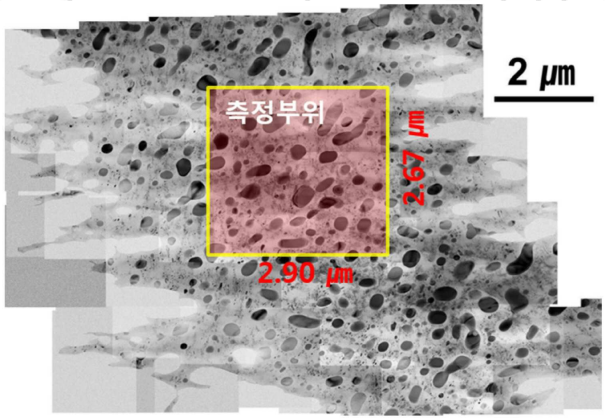

Al(111) peak angle (2Θ, °)
Cu contents (wt%)
실시예 26
실시예 16,40
실시예 18
실시예 40
실시예 17
실시예 13,22
실시예 15
실시예 29
실시예 19,27,29,41,47
비교예 2
실시예 14
실시예 28
실시예 44
비교예 1,6,7,8
실시예 30
실시예 12
비교예 4
실시예 11,20,24
비교예 3
실시예 32
실시예 38
비교예 5
실시예 32,33
실시예 10
Al(111) lattice parameter (Å)
Cu contents (wt%)
실시예 10
비교예 5
실시예 32,33
비교예 3
실시예 11,20,24
비교예 4
실시예 38
비교예 1,6,7,8
실시예 32
실시예 12
실시예 30
실시예 44
실시예 28
실시예 14
비교예 2
실시예 19,27,29,41,47
실시예 15
실시예 29
실시예 13,22
실시예 17
실시예 18
실시예 16,40
실시예 40
실시예 26

도면12

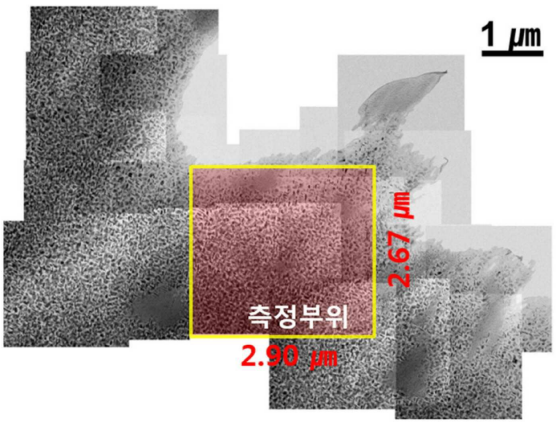

45.0
44.9
44.8
44.7
44.6
Al(200) peak angle (2Θ, °)
■비교예 8
실시예 15
실시예 17,26,32,41
실시예 32
실시예 47
실시예 40
■비교예 2
실시예 28
실시예 19,24,44
■비교예 1,6,7
실시예 12
실시예 30
■비교예 3,4
실시예 10,20,38
실시예 38
실시예 16
실시예 9,33
■비교예 5
실시예 11
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Cu contents (wt%)
4.06
4.05
4.04
4.04
4.03
Al(200) lattice parameter (Å)
■비교예 5
실시예 11
실시예 9,33
실시예 16
■비교예 3,4
실시예 10,20,38
실시예 28
실시예 30
■비교예 1,6,7
실시예 12
실시예 19,24,44
비교예 2
실시예 28
실시예 47
실시예 40
실시예 32
■비교예 8
실시예 15
실시예 17,26,32,41
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Cu contents (wt%)

도면13a

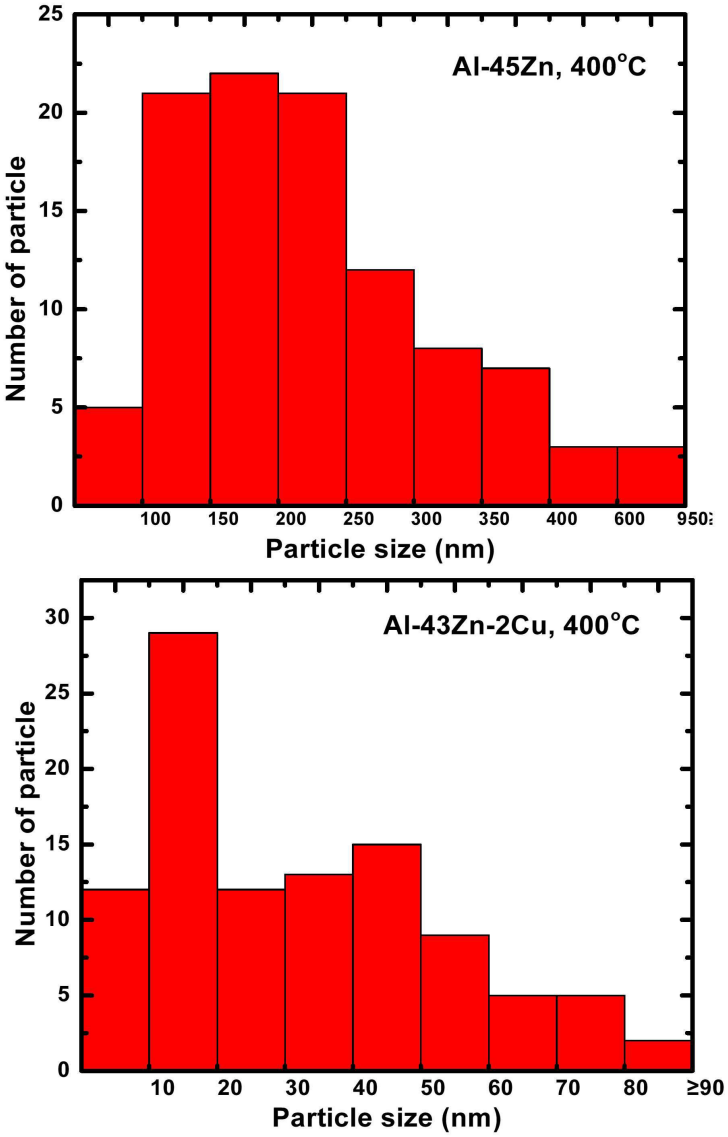
비교예 2: Al-45Zn 의 400°C 열처리후 냉각



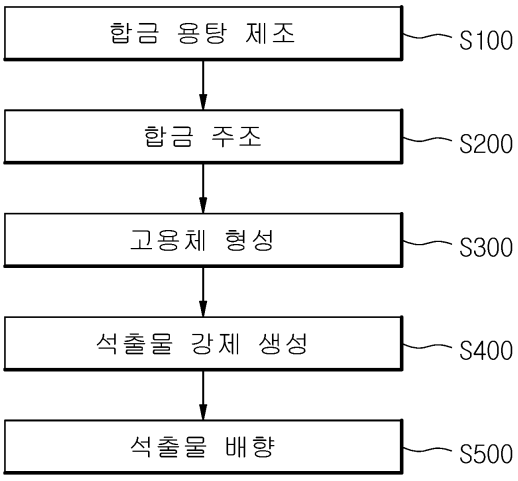

실시예 37: Al-43Zn-2Cu 의 400°C 열처리후 냉각



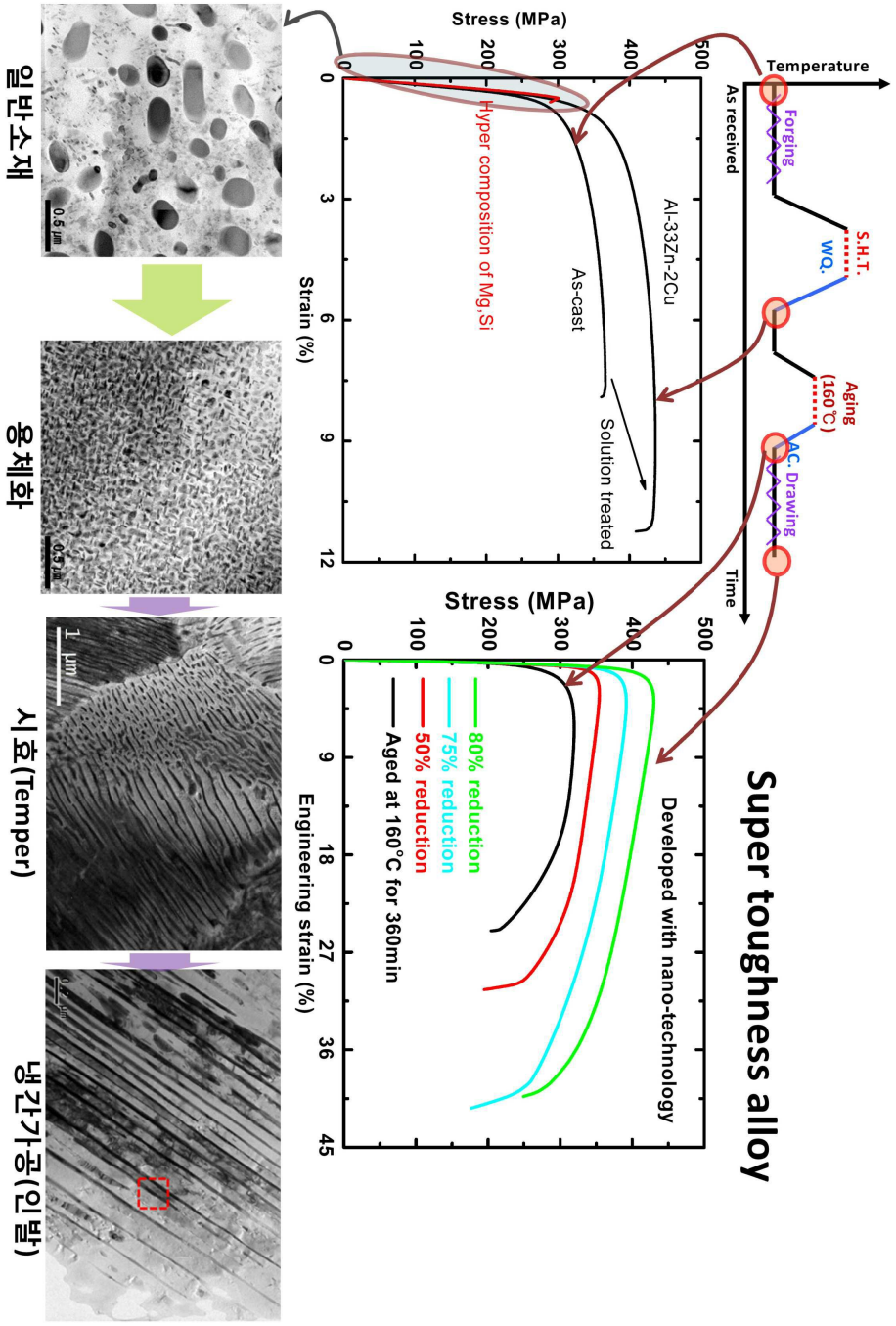
도면13b


Al-45Zn, 400°C
Number of particle
Particle size (nm)
Al-43Zn-2Cu, 400°C
Number of particle
Particle size (nm)

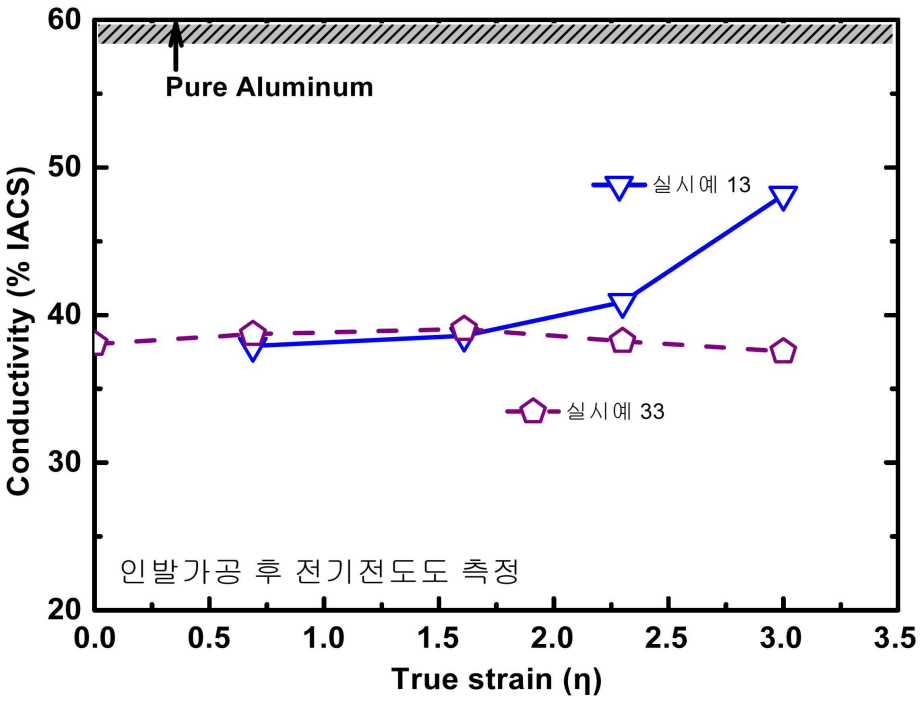
도면14


합금 용탕 제조
S100
합금 주조
S200
고용체 형성
S300
석출물 강제 생성
S400
석출물 배향
S500

도면15


일반소재
용체화
시효(Temper)
냉간가공(인발)
Super toughness alloy
Temperature
Time
As received
Forging
S.H.T.
WQ.
Aging
(160℃)
AC. Drawing
Stress (MPa)
Strain (%)
Hyper composition of Mg,Si
Al-33Zn-2Cu
As-cast
Solution treated
Stress (MPa)
Engineering strain (%)
80% reduction
75% reduction
50% reduction
Aged at 160°C for 360min
Developed with nano-technology

도면16


Pure Aluminum
실시예 13
실시예 33
인발가공 후 전기전도도 측정
Conductivity (% IACS)
True strain (η)
60
50
40
30
20
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5