



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0078565  
(43) 공개일자 2018년07월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C22C 21/00 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)  
C22C 21/02 (2006.01) C22C 32/00 (2006.01)  
C22F 1/04 (2006.01) C22F 1/043 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
C22C 21/00 (2013.01)  
C22C 1/026 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0183446

(22) 출원일자 2016년12월30일

심사청구일자 2016년12월30일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자  
배동현

서울특별시 중구 소월로2길 30, 남산트라펠리스동 701호(남대문로5가, 남산트라펠리스)

전제현

서울특별시 서대문구 성산로18길 49, 108호

(74) 대리인  
김권석

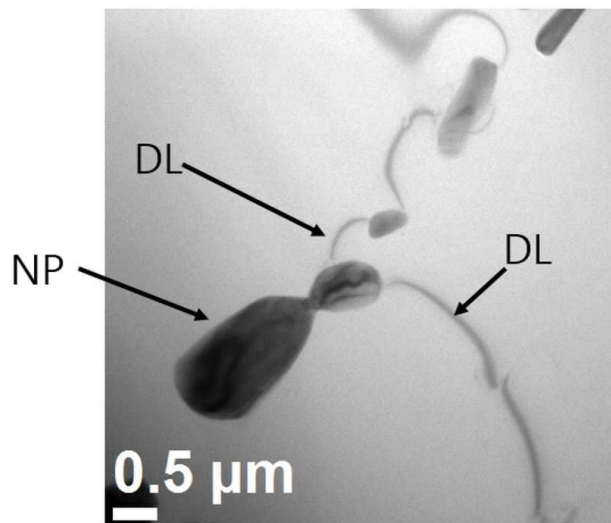
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 고강도 알루미늄 합금 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 고강도를 갖는 알루미늄 합금 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금은, 알루미늄계 기지; 및 상기 알루미늄계 기지 내에 분산된 석출 화합물을 포함하며, 상기 석출 화합물은, 알루미늄-1종 이상의 천이 금속-1종 이상의 비금속 원소의 화합물 또는 상기 구성 원소들을 포함하여 형성되는 화합물을 포함한다

대표도 - 도2b



(52) CPC특허분류

*C22C 21/02* (2013.01)

*C22C 32/001* (2013.01)

*C22C 32/0047* (2013.01)

*C22F 1/04* (2013.01)

*C22F 1/043* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

알루미늄계 기지; 및

상기 알루미늄계 기지 내에 분산된 석출 화합물을 포함하며,

상기 석출 화합물은, 알루미늄, 1 종 이상의 천이 금속 원소, 및 1 종 이상의 비금속 원소를 포함하는 화합물 또는 상기 구성 원소들을 포함하여 형성되는 화합물을 포함하는 알루미늄 합금.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 석출 화합물의 평균 크기는 10 nm 내지 1  $\mu\text{m}$ 의 범위 내인 알루미늄 합금.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 천이 금속 원소는, 크롬(Cr), 철(Fe), 및 망간(Mn) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 알루미늄 합금.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 비금속 원소는, 상기 알루미늄 합금 내에 과포화되고, 산소, 질소, 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함하는 알루미늄 합금.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 석출 화합물은 열처리에 의해 생성된 것인 알루미늄 합금.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄계 기지는, 알루미늄 합금이며,

상기 알루미늄 합금의 합금 원소는 실리콘(Si), 아연(Zn), 마그네슘(Mg), 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 알루미늄 합금.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄 합금은 소성에 의해 가공 경화된 알루미늄 합금.

#### 청구항 8

알루미늄 및 제 1 천이 금속을 포함하는 알루미늄 합금의 용탕을 제공하는 단계;

상기 용탕 내에, 상기 제 1 천이 금속과 비금속 원소간 제 1 반응 화합물, 상기 제 1 천이 금속과 다른 종류의 제 2 천이 금속과 상기 비금속 원소간 제 2 반응 화합물, 비천이 금속 원소와 상기 비금속 원소간 제 3 반응 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함하는 비금속 원소 함유 전구체를 첨가하는 단계;

상기 용탕 내에서 상기 비금속 원소 함유 전구체를 분해시켜 상기 용탕 내에 상기 비금속 원소를 과포화시키는

단계;

상기 용탕을 고화시켜 주조재를 형성하는 단계; 및

상기 고화된 주조재를 열처리하여, 알루미늄계 기지 내에 분산된 알루미늄, 천이 금속 원소 및 비금속 원소 사이의 석출 화합물을 형성하는 단계를 포함하는 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 천이 금속 원소는, 크롬(Cr), 철(Fe) 및 망간(Mn) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 비금속 원소는, 산소, 질소, 및 탄소 중 적어도 어느 하나인 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 제 3 반응 화합물의 상기 비천이 금속 원소는 알루미늄(Al), 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 및 텅스텐(W) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 비금속 원소 함유 전구체는, 5 nm 내지 50 nm 범위 내의 평균 직경을 갖는 분말 형태로 상기 용탕 내에 첨가되는 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 비금속 원소 함유 전구체는 상기 용탕 전체 중량 대비 0.01 중량% 내지 5.0 중량%의 범위 내로 첨가되는 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 14

제 8 항에 있어서,

상기 고화된 주조재를 열처리하기 이전에, 상기 고화된 주조재를 소성 가공하여 가공 경화시키는 단계를 더 포함하는 알루미늄 합금의 제조 방법.

#### 청구항 15

제 8 항에 있어서,

상기 열처리는 120 °C 내지 600 °C의 범위 내에서 수행되는 알루미늄 합금의 제조 방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 알루미늄 합금에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 고강도 알루미늄 합금 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 일반적으로, 알루미늄 또는 이의 합금은 알루미늄의 가볍고 내구성이 큰 특성을 이용해 다양한 형상으로 제작이

가능하여, 산업적인 응용 범위가 매우 넓은 재료이다. 알루미늄 그 자체는 강도가 낮아 쉽게 변형되지만, 알루미늄 합금은 첨가 원소에 의해 강도가 향상되어 자동차 또는 항공기 산업 분야에 적용 가능한 정도로 고강도 및 고신뢰성을 갖는다. 최근 상기 알루미늄 합금은 그 우수한 기계적 강도와 낮은 비중으로, 자동차 및 항공기 분야는 물론 건축, 화학, 로봇 및 전자 제품과 같은 다양한 분야로도 이의 응용이 확대되고 있다.

[0003] 일반적으로 순수 알루미늄 자체의 강도는 낮기 때문에, 알루미늄에 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 구리(Cu), 망간(Mn), 또는 아연(Zn)과 같은 첨가 원소를 합금화하여, 알루미늄 기지 내에 해당 첨가 원소의 고용 강화, 또는 화합물 또는 제 2 상의 석출 강화에 의해 강도 향상을 도모한다. 상기 알루미늄 합금은, 열처리에 의한 경화 여부에 따라, 비열처리 합금과 열처리 합금으로 구분할 수 있다. 상기 비열처리 합금은, 전술한 것과 같이, 실리콘, 마그네슘 또는 망간과 같은 원소에 의한 제 2 상 또는 화합물에 의한 강화에 의해 그 강도가 개선된다. 상기 비열처리 합금에는, 대표적으로, Al-Si 합금, Al-Mg 합금, 그리고, Al-Mn 합금이 있다.

[0004] 상기 열처리 합금은, 합금 원소의 종류에 따라 그 강도가 결정될 수 있다. 예를 들면, 구리(Cu) 또는 아연(Zn)이 첨가된 알루미늄 합금은 온도가 올라갈수록 첨가 원소의 고용도가 높아지고, 시효(Aging)처리에 의해서 석출물의 형성에 의한 경화를 도모할 수 있다. 상기 열처리 합금에는, Al-Cu 합금, Al-Zn 합금 및 Al-Mg-Si 합금이 있다. 그러나, 상기 열처리 합금의 경우, 그 구조성이나 취성을 고려해야 하므로, 첨가하는 합금의 원소에 제약이 따른다. 알루미늄에 이중 금속 원소를 추가하여 금속간 화합물인 석출물의 형성으로 강화되는 알루미늄 합금은 종래의 열처리 합금 대비 추가적인 강도 향상을 기대할 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 알루미늄 합금에서 새로운 반응 화합물을 열처리를 통하여 형성하여 알루미늄 합금의 효율적인 강화 메커니즘을 제공함으로써, 알루미늄 합금의 강도를 향상시킬 수 있는 알루미늄 합금을 제공하는 것이다.

[0006] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는, 상기 이점을 갖는 알루미늄 합금을 용이하게 제조할 수 있는 알루미늄 합금의 제조 방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금은, 알루미늄계 기지; 및 상기 알루미늄계 기지 내에 분산된 석출 화합물을 포함한다. 상기 석출 화합물은, 알루미늄, 1 종 이상의 천이 금속 원소, 및 1 종 이상의 비금속 원소를 포함하는 화합물 또는 상기 구성 원소들을 포함하여 형성되는 화합물을 포함할 수 있다.

[0009] 일 실시예에서, 상기 석출 화합물의 평균 크기는 10 nm 내지 1  $\mu$ m의 범위 내일 수 있다. 상기 천이 금속 원소는, 크롬(Cr), 철(Fe), 및 망간(Mn) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 비금속 원소는, 상기 알루미늄 합금 내에 과포화되고, 산소, 질소, 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 석출 화합물은 열처리에 의해 생성될 수 있다.

[0011] 또한, 상기 알루미늄계 기지는, 알루미늄 합금이며, 상기 알루미늄 합금의 합금 원소는 실리콘(Si), 아연(Zn), 마그네슘(Mg), 및 구리(Cu) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 상기 알루미늄 합금은 소성에 의해 가공 경화될 수 있다.

[0012] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금의 제조 방법은, 알루미늄 및 제 1 천이 금속을 포함하는 알루미늄 합금의 용탕을 제공하는 단계; 상기 용탕 내에, 상기 제 1 천이 금속과 비금속 원소간 제 1 반응 화합물, 상기 제 1 천이 금속과 다른 종류의 제 2 천이 금속과 상기 비금속 원소간 제 2 반응 화합물, 비천이 금속 원소와 상기 비금속 원소간 제 3 반응 화합물 중 적어도 어느 하나를 포함하는 비금속 원소 함유 전구체를 첨가하는 단계; 상기 용탕 내에서 상기 비금속 원소 함유 전구체를 분해시켜 상기 용탕 내에 상기 비금속 원소를 과포화시키는 단계; 상기 용탕을 고화시켜 주조재를 형성하는 단계; 및 상기 고화된 주조재를 열처리하여, 알루미늄계 기지 내에 분산된 알루미늄, 천이 금속 원소 및 비금속 원소 사이의 석출 화합물을 형성하는 단계를 포함한다.

[0013] 또한, 상기 제 1 층이 금속 원소는, 크롬(Cr), 철(Fe) 및 망간(Mn) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 비금속 원소는, 산소, 질소, 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 제 3 반응 화합물의 상기 비철이 금속 원소는 알루미늄(Al), 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 및 텅스텐(W) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 5 nm 내지 50 nm 범위 내의 평균 직경을 갖는 분말 형태로 상기 용탕 내에 첨가될 수 있다.

[0015] 상기 비금속 원소 함유 전구체는 상기 용탕 전체 중량 대비 0.01 중량% 내지 5.0 중량%의 범위 내로 첨가될 수 있다. 또한, 상기 고화된 주조재를 열처리하기 이전에, 상기 고화된 주조재를 소성 가공하여 가공 경화시키는 단계가 더 수행될 수 있다. 상기 열처리는 120 °C 내지 600 °C의 범위 내에서 수행될 수 있다.

### 발명의 효과

[0016] 본 발명의 실시예에 따르면, 알루미늄계 기지에 알루미늄-철이금속-비금속 원소로 구성된 화합물 또는 이 구성 원소들이 포함되어 형성된 화합물을 열처리에 의하여 석출시키되, 상기 석출물이 알루미늄 기지 내에 균일하게 형성되고, 상기 석출 화합물이 전위와 강하게 상호작용함으로써, 알루미늄 합금의 강도가 현저하게 향상된 알루미늄 합금이 제공될 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 이점을 갖는 알루미늄 합금을 신뢰성 있게 제조할 수 있는 알루미늄 합금의 제조 방법이 제공될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금의 제조 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리에 의해 알루미늄계 기지 내의 석출 화합물을 나타내는 투과전자현미경 이미지들이며, 도 2c는 에너지 분산 X선 분석(energy dispersive X-ray spectroscopy; EDS)에 의해 분석된 상기 석출 화합물의 성분을 도시하는 그래프이다.

도 3은 비교 실시예에 따른 비금속 원소가 과포화된 알루미늄 합금 주조재의 열처리 전의 단면 미세 구조를 도시하는 주사전자 현미경 이미지이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금과 비교예에 따른 알루미늄 합금의 인장 강도의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.

도 5a는 및 도 5b는 각각 본 발명의 일 실시예에 따른 석출 화합물의 다양한 조성에 따른 알루미늄 합금들의 인장 강도와 강도 증가 정도를 나타내는 그래프들이다.

도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 석출 화합물을 포함하는 알루미늄 합금과 비교예에 따른 알루미늄 합금의 인장 강도의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.

도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 석출 화합물을 포함하는 알루미늄 합금과 비교예에 따른 알루미늄 합금의 인장 강도의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0021] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

[0022] 또한, 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이며, 도면상에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.

[0023] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 단수 형태는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형

태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 경우 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 하나 이상의 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.

- [0024] 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금은, 알루미늄 합금 기지내에 석출 화합물이 분산된 조직을 갖는다. 상기 석출 화합물은, 알루미늄, 천이금속 원소 및 비금속 원소 및 이 구성원소들이 포함되어 형성할 수 있는 화합물을 의미한다. 상기 알루미늄 기지는 순수 알루미늄 또는 종래의 알루미늄 합금으로 형성된 기지를 지칭한다. 상기 알루미늄 합금은, 후술하는 주조 공정을 이용하여 제조될 수 있다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금의 제조 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에서, 알루미늄 합금의 용탕이 제공될 수 있다(S10). 상기 용탕은, 알루미늄 합금을 전기 용해로를 이용하여 가열함으로써 제공될 수 있다. 상기 용탕의 가열 온도는 650 °C 내지 850 °C의 범위 내일 수 있다. 상기 용탕의 가열 온도는 예시적이며, 용탕 내 알루미늄 합금 및/또는 상기 알루미늄 합금 내 불순물의 조성에 따라 적절한 온도가 결정될 수 있는 것이어서, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0027] 상기 알루미늄 합금은 알루미늄에 고용 가능한 여하의 합금 원소를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 상기 합금 원소는 천이 금속을 포함할 수 있다. 예를 들면, 상기 천이 금속은, 스칸듐(Sc), 이트륨(Y), 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu), 은(Ag), 아연(Zn) 또는 이들 중 적어도 2 이상을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 상기 천이 금속은, 바람직하게는, 주기율표 상 4 주기의 6족 내지 8족 원소인, 크롬(Cr), 철(Fe), 및 망간(Mn) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 상기 합금 원소는, 전술한 상기 천이 금속과 함께, 실리콘(Si), 마그네슘(Mg), 텅스텐(W), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr), 베릴륨(Be)과 같은 비천이 금속 원소를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 알루미늄 합금은, 상기 천이 금속을 함유하는 기성 합금일 수 있다. 예를 들면, 상기 기성 합금으로서, Fe가 0.2~0.3 중량비로 포함된 A356 합금 또는 Fe가 0.5~0.7 중량비로 포함된 A6061 합금이 있다.
- [0028] 본 명세서에서는, 전술한 천이 금속들 중 용탕 형태로 제공되는 출발 물질로서 알루미늄 합금 내에 실제로 포함된 종류의 천이 금속을 제 1 천이 금속이라 하며, 상기 알루미늄 합금 내에 포함되지 않은 천이 금속이면서 상기 제 1 천이 금속과 다른 종류의 천이 금속을 제 2 천이 금속이라 지칭하기도 한다. 예를 들면, 출발 물질인 상기 알루미늄 용탕 내에 합금 원소로서 천이 금속인 크롬(Cr), 철(Fe) 및 망간(Mn)이 함유되어 있다면, 본 명세서에서 상기 알루미늄 용탕 자체에 미리 함유된 상기 크롬(Cr), 철(Fe) 및 망간(Mn)은 제 1 천이 금속들이라고 지칭될 수 있다. 일 실시예에서, 제 1 천이 금속들을 미리 포함하는 알루미늄 용탕 내에, 제 1 천이 금속들 중 적어도 어느 하나와 비금속 원소의 화합물의 분말을 상기 알루미늄 용탕 내에 첨가하여, 이로부터 주조재를 형성한 후, 열처리를 통해 알루미늄계 기지 내에 상기 제 1 천이 금속들 중 적어도 어느 하나를 포함하는 3원 석출 화합물을 형성할 수 있다. 다른 실시예에서는, 상기 알루미늄 용탕 내에 상기 제 1 천이 금속이 미리 포함되어 있으므로, 비천이 금속과 비금속 원소의 화합물의 분말을 상기 알루미늄 용탕 내에 첨가하고, 주조재를 형성한 후, 열처리를 통해 알루미늄계 기지 내에 알루미늄, 제 1 천이 금속과 비금속 원소를 포함하는 3원 석출 화합물을 형성할 수 있다.
- [0029] 다른 실시예로서, 상기 알루미늄 용탕 내에 크롬(Cr) 및 철(Fe)만이 함유되고 망간(Mn)이 존재하지 않는 경우라면, 상기 제 1 천이 금속은 크롬(Cr)과 철(Fe)이고, 상기 알루미늄 용탕에 함유되지 않은 망간(Mn)은 제 2 천이 금속이라 지칭될 수 있다. 제 2 천이 금속은 후술하는 것과 같이, 상기 알루미늄 용탕 내에 상기 제 2 천이 금속과 비금속 원소의 화합물의 분말을 첨가하고 주조재를 형성한 후, 열처리를 통해 알루미늄계 기지 내에 상기 제 1 천이 금속 및 제 2 천이 금속 중 적어도 어느 하나를 포함하는 3원 석출 화합물을 형성할 수 있다.
- [0030] 또 다른 실시예에서, 상기 알루미늄 용탕 내에는 어떠한 천이 금속도 존재하지 않는 경우로서, 이때 상기 제 2 천이 금속과 비금속 원소의 화합물의 분말을 상기 알루미늄 용탕 내에 첨가하고, 주조재를 형성한 후, 열처리를 통해 알루미늄 기지 내에 상기 제 2 천이 금속을 포함하는 3원 석출 화합물을 형성할 수도 있다.
- [0031] 상기 알루미늄 용탕 내에, 산소(O), 질소(N) 및 탄소(C) 중 적어도 어느 하나를 포함하는 비금속 원소 함유 전구체가 첨가되어 혼합될 수 있다(S20). 이후, 상기 첨가된 비금속 원소 함유 전구체는, 상기 용탕 내에서 분해되어, 상기 용탕 내에 상기 비금속 원소가 과포화될 수 있다(S30). 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 상기 제 1 천이 금속과 상기 비금속 원소 사이의 화합물인 제 1 반응 화합물, 상기 제 1 천이 금속과 다른 종류의 천이 금속인 상기 제 2 천이 금속과 상기 비금속 원소 사이의 화합물인 제 2 반응 화합물일 수 있다. 또 다른 실시예에서는, 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 비천이 금속 원소와 상기 비금속 원소 사이의 화합물인 제 3 반응

화합물일 수도 있다.

- [0032] 일 실시예에서, 상기 알루미늄 용탕 내에 알루미늄 합금 원소로서 제 1 천이 금속인 아연(Zn)이 존재하는 경우, 상기 제 1 반응 화합물은, 예를 들면, 제 2 천이 금속인, 예를 들면, 크롬을 포함하는 산화물( $\text{CrO}_2$ )일 수 있으며, 상기 제 1 반응 화합물을 포함하는 비금속 함유 전구체가 상기 알루미늄 용탕 내에 첨가될 수 있다. 또 다른 예로서, 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 비천이 금속 원소인 예를 들면 실리콘을 함유하는 실리콘 산화물( $\text{SiO}_2$ )과 같은 제 3 반응 화합물을 포함할 수도 있다. 알루미늄 용탕 내에 이미 제 1 천이 금속이 존재하는 경우에는, 상기 비금속 원소 함유 전구체로서 상기 제 3 반응 화합물을 사용하여, 주조화된 알루미늄계 기지 내에 알루미늄, 제 1 천이 금속 및 비금속 원소의 3원 석출 화합물을 형성할 수도 있다.
- [0033] 또한, 상기 용탕 내에 합금 원소로서 아연, 타이타늄, 구리, 및 철과 같은 천이 금속이 포함되지 않은 경우, 상기 비금속 함유 전구체는 제 2 천이 금속과 비금속 원소의 화합물인 제 2 반응 화합물로서, 아연 산화물( $\text{ZnO}$ ), 타이타늄 산화물( $\text{TiO}_2$ ), 구리 산화물( $\text{CuO}_2$ ), 철 산화물( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 구리 질화물( $\text{CuN}$ ), 철 질화물( $\text{FeN}$ ), 아연 질화물( $\text{ZnN}$ ), 타이타늄 질화물( $\text{TiN}$ ), 마그네슘 질화물( $\text{MgN}$ ) 또는 이의 혼합물을 포함하는 비금속 함유 전구체가 상기 알루미늄 용탕 내에 첨가될 수 있다. 이들은, 예시적일 뿐, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0034] 또 다른 실시예에서, 상기 비금속 원소 함유 전구체는 천이 금속이 아닌 비천이 금속 원소와 비금속 원소 사이의 제 3 반응 화합물일 수 있다. 예를 들면, 상기 제 3 반응 화합물은, 비천이 금속 원소인, 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 실리콘(Si), 또는 텅스텐(W)과 상기 비금속 원소 사이의 반응 화합물인, 알루미늄 산화물( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), 알루미늄 질화물( $\text{AlN}$ ), 마그네슘 산화물( $\text{MgO}_2$ ), 실리콘 산화물( $\text{SiO}_2$ ), 실리콘 탄화물( $\text{SiC}$ ), 실리콘 질화물( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), 텅스텐 산화물( $\text{WO}$ ), 텅스텐 산화물( $\text{WN}$ ) 또는 이의 혼합물일 수 있으며, 이는 예시적일 뿐, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 상기 비금속 원소 함유 전구체인, 상기 제 1 내지 제 3 반응 화합물은, 단독으로 또는 적어도 2 종 이상이 서로 혼합되어 상기 용탕 내에 첨가될 수도 있다.
- [0035] 일 실시예에서, 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 비표면적이 크고 쉽게 고온 분해가 가능하도록 분말 형태로 제공될 수 있다. 예를 들면, 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 5 nm 내지 50 nm 범위 내의 평균 직경을 가질 수 있다. 50 nm 이상의 경우에는, 비금속 원소 함유 전구체의 분해가 어려워 후술하는 석출 화합물의 형성이 어려울 수 있다. 전술한 제 1 반응 화합물과 제 2 반응 화합물은 단독으로 또는 서로 혼합되어 용탕 내에 첨가될 수도 있다.
- [0036] 일 실시예에서, 상기 비금속 원소 함유 전구체는, 용탕 전체 중량 대비 0.01 중량% 내지 5.0 중량%의 범위 내로 혼합될 수 있다. 상기 비금속 원소 함유 전구체의 혼합량이 0.01 중량% 미만에서는, 알루미늄 합금의 용탕 내에서 비금속 원소가 과포화되기 어려우며, 반대로 5.0 중량%를 초과하는 경우에는, 알루미늄 기지 전체에 걸쳐 3 개 성분인 알루미늄-천이 금속-비금속 원소 사이의 균일한 조성을 갖는 석출 화합물의 형성이 어려워지고, 오히려 과량의 비금속 원소 함유 전구체가 용탕 내에 존재하는 경우, 천이 금속과 비금속 원소 사이의 반응 화합물 또는 알루미늄과 비금속 원소 사이의 반응 화합물과 같은 제 2 상의 생성이 촉진될 수 있다. 상기 비금속 원소는, 상기 비금속 원소 함유 전구체의 조성 범위 내에서, 상온 기준에서 알루미늄계 기지의 알루미늄 대비 과포화가 가능하도록 고용 한계치를 넘어 혼합될 수 있다.
- [0037] 상기 비금속 원소가 균일하게 혼합되어 과포화된 상기 용탕이 고화되어 주조체를 형성한다(S40). 상기 용탕의 고화는, 상기 용탕을 냉각시킴으로써 달성될 수 있다.
- [0038] 이후, 고화된 주조체를 열처리하여, 상기 알루미늄-천이 금속 원소-비금속 원소 사이의 3 원 반응 화합물을 석출시켜, 상기 알루미늄계 기지 내에 균일하게 분산된 석출 화합물을 형성한다(S50). 상기 3 원 반응 화합물의 천이 금속 원소는 적어도 1 종 이상의 천이 금속 원소를 포함할 수 있다. 예를 들면, 알루미늄-아연-산소간 3 원 반응 화합물이거나, 상기 아연 이외에 또는 상기 아연을 대체하여 다른 천이 금속인 철, 크롬, 스카듐, 망간 또는 2 종 이상의 금속 원소가 함유될 수도 있다. 이들 화합물은 예시적이며, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 상기 3 원 반응 화합물의 비금속 원소도 적어도 1 종 이상의 비금속 원소를 포함할 수 있다. 예를 들면, 알루미늄-아연-산소간 3원 반응 화합물이거나, 비금속 원소인 상기 산소 이외에 또는 상기 산소를 대체하여 다른 비금속 원소인 질소, 탄소 또는 이들 모두를 포함할 수도 있다.
- [0039] 상기 석출 화합물은, 후술하는 도 4의 설명으로부터 알 수 있듯이 나노 크기의 결정립이며, 10 nm 내지 1  $\mu\text{m}$ 의 평균 크기를 가질 수 있다. 상기 석출 화합물의 크기가 10 nm 미만인 경우 알루미늄 합금 내에 형성되는 전위와 강한 상호 작용을 하지 못하여 강도 향상에 기여하지 못하며, 1  $\mu\text{m}$ 를 초과하는 경우에는 오히려, 취성을 가

지므로 강도 향상에 기여하지 못한다.

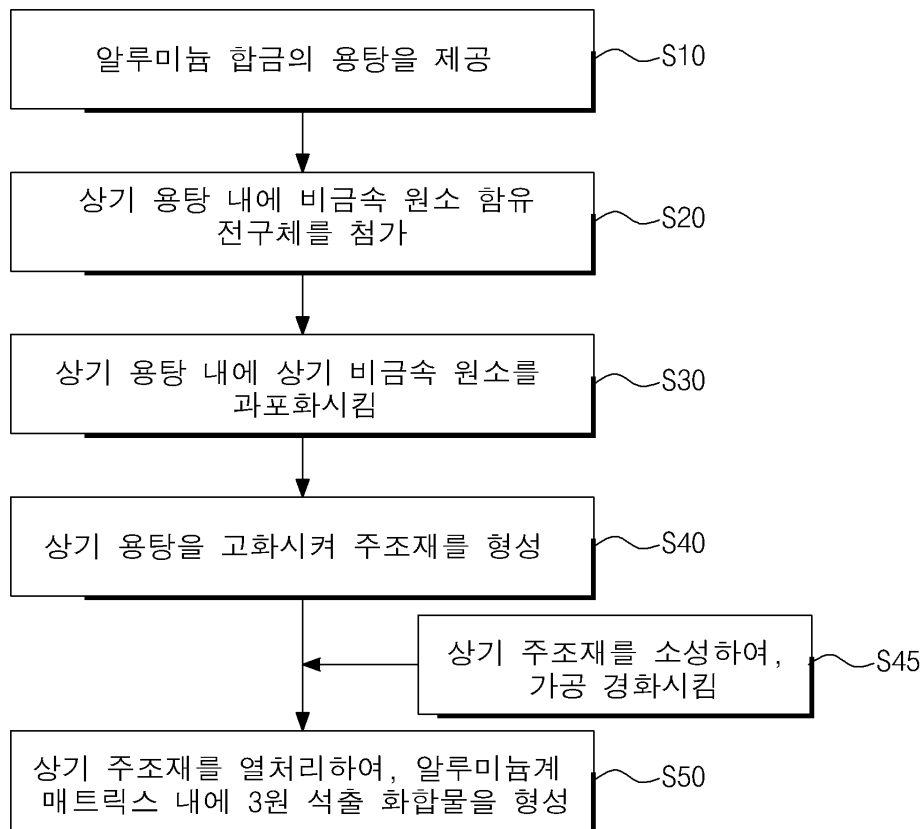
- [0040] 상기 3원 반응 화합물인 석출 화합물은, 후술하는 것과 같이 고화를 위한 냉각 과정에서 형성되기 보다는 열처리를 통해서 상기 알루미늄계 기지 내에서 안정적으로 형성된다. 그 결과, 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 석출 화합물은, 비열처리 합금에 비하여 편석이나 응집 현상 없이 알루미늄계 기지 내에서 균일하게 형성될 수 있다.
- [0041] 상기 열처리는, 120 ℃ 내지 600 ℃의 범위 내에서 수행될 수 있다. 상기 120 ℃ 미만에서는 반응 화합물의 석출이 일어나지 않을 수 있으며, 600 ℃ 를 초과하는 경우에는 알루미늄계 기지가 용융되고, 석출 화합물 생성된다 하더라도 이들이 서로 응집되어 균일하게 분산된 알루미늄 합금 조직을 얻을 수 없다.
- [0042] 일 실시예에서, 상기 열처리는 단일 또는 적어도 2 이상의 가열 단계들을 포함할 수 있다. 예를 들면, 고화된 결과물을 540 ℃ 에서 12 시간, 그리고, 160 ℃에서 8 시간 동안 열처리를 수행할 수 있다. 상기 온도 범위와 시간은 예시적이며, 상기 석출 화합물의 응집과 편석이 일어나지 않는 조건에서 적절히 선택될 수 있다.
- [0043] 일 실시예에서, 상기 열처리하기 이전에 주조재를 소성 가공하여 가공 경화시키는 단계가 더 수행될 수도 있다 (S45). 상기 소성 가공은, 압연, 압출, 인발, 또는 단조와 같은 소성 변형을 통해 수행될 수 있다. 상기 소성 가공은, 열간 공정 또는 냉간 공정일 수 있으며, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, 상기 소성 가공은 용체화 처리 후 냉간 가공 없이 인공 시효 처리될 수도 있다. 상기 소성 가공을 통하여 전술한 석출 화합물이 상기 알루미늄계 기지 내에서 추가 형성되거나, 상기 석출 화합물이 변형에 의해 생성된 전위와 강한 상호 작용을 함으로써 알루미늄 합금의 강도가 더욱 향상될 수 있다.
- [0044] 하기의 실시예들은 특정 실험예에 관한 것이지만, 이는 본 발명을 한정하기 위함이 아니라, 예시를 위한 대표적 실시예이며, 천이 금속들이 공통적으로 갖는 전기적, 화학적 및 물리적 특성으로부터 실험예 이외의 실시예들에서도 본 발명에 포함된다.
- [0046] 실험예
- [0047] 알루미늄 합금과 제 1 천이 금속으로서 철과 비천이 금속인 실리콘을 포함하는 알루미늄 합금(예, A356 합금)을 전기 가열로를 이용하여 용해시켜 용탕을 형성한다. 이후, 비금속 원소 함유 전구체로서, 평균 크기가 5 nm 내지 50 nm의 범위 내인 30 nm인 아연 산화물 입자들 또는 분말을 상기 용탕 내에 첨가하여 분해시켰다. 상기 아연 산화물 입자들은, 상기 용탕의 전체 중량% 대비 0.01 중량% 내지 5.0 중량%의 범위 내인 약 1 중량% 또는 1.5 중량% 만큼 투입 및 교반하였다. 상기 알루미늄 합금의 용탕 내에 비금속 원소를 과포화시키고, 이를 그대로 고화시켜, 비금속 원소인 산소가 과포화된 알루미늄 합금의 주조재를 형성하였다. 이후, 상기 주조재에 대해 표준 T6 열처리를 수행하였다.
- [0048] 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 열처리에 의해 알루미늄계 기지 내의 석출 화합물을 나타내는 투과전자현미경 이미지들이며, 도 2c는 에너지 분산 X선 분석(energy dispersive X-ray spectroscopy; EDS)에 의해 분석된 상기 석출 화합물의 성분을 도시하는 그래프이다. 도 3은 비교 실시예에 따른 비금속 원소가 과포화된 알루미늄 합금 주조재의 열처리 전의 단면 미세 구조를 도시하는 주사전자 현미경 이미지이다.
- [0049] 도 2a 및 도 2b에 도시된 알루미늄 합금은, 본 발명의 실시예에 따라 약 1.5 wt.% 만큼 ZnO 전구체가 첨가되어 형성된 알루미늄 합금 주조재에 대하여, 540 ℃에서 12 시간, 160 ℃에서 8 시간 T6 열처리를 한 후의 석출 화합물이 형성된 알루미늄 합금이다. 상기 석출 화합물을 포함하는 알루미늄 합금의 변형 거동을 관찰하기 위하여, 상기 알루미늄 합금을 약 15 % 정도로 인장 변형시킨 후에 투과전자현미경으로 관찰하였다. 본 발명의 실시예에 따른 석출 화합물(NP)이 전위(DL)와 강한 상호 작용을 하는 것을 확인할 수 있다.
- [0050] 도 2c를 참조하면, 상기 석출 화합물은, 알루미늄-철-산소의 3 종류의 원소로 이루어진 것을 알 수 있다. 이때, 실리콘은 용탕 내에 존재하는 알루미늄 합금으로부터 유래하는 성분이며, 상기 석출 화합물의 조성과는 무관하다. 상기 석출 화합물은 종래의 알루미늄 합금에서 석출되지 않는 알루미늄-천이금속-비금속 원소간 새로운 반응 화합물로서, 알루미늄 기지와 매우 우호적인 계면을 형성하며 알루미늄 기지내 전위와 강한 상호 작용을 하여 강도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.
- [0051] 도 3을 참조하면, 밝은 침상 구조는 알루미늄 합금 내 실리콘 상이며, 어두운 영역은 알루미늄계 기지이다. 상기 알루미늄 주조재에 대하여 열처리 단계가 수행되지 않았기 때문에, 알루미늄계 기지 내에 관찰 가능한 정도

의 크기를 갖는 본 발명의 실시예에 따른 석출 화합물은 관찰되지 않는다.

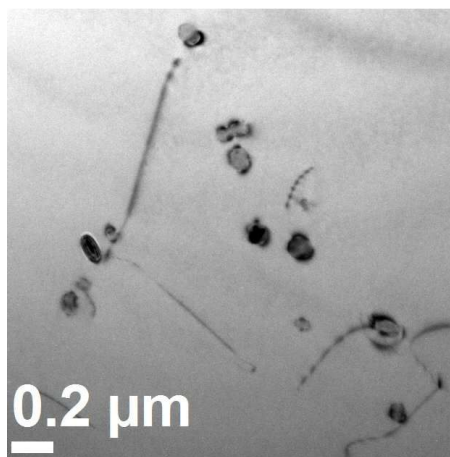
- [0053] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금과 비교예에 따른 알루미늄 합금의 인장 강도의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0054] 도 4를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금은, A356 합금의 용탕에 ZnO의 전구체 분말을 첨가하여 주조재를 형성하고, 이를 열처리하여 제조된 것이다. 비교예의 알루미늄 합금은 상기 알루미늄 용탕에 전구체 분말을 첨가하지 않고 주조재를 형성하고 동일 조건으로 열처리하여 제조된 것이다. 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금(실선 곡선)은 비교예에 따른 알루미늄 합금(점선 곡선)에 비하여 약 35 % 이상으로 인장 강도가 향상됨을 알 수 있다.
- [0056] 도 5a 및 도 5b는 각각 본 발명의 일 실시예에 따른 석출 화합물의 다양한 조성에 따른 알루미늄 합금들의 인장 강도와 강도 증가 정도를 나타내는 그래프들이다.
- [0057] 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 7 wt.%의 실리콘과 0.3 wt.%의 마그네슘을 포함하는 알루미늄 기지 내에 천이 금속인 망간(곡선 b), 타이타늄(곡선 c), 철(곡선 d) 및 크롬(곡선 e)을 각각 함유하는 석출 화합물이 형성된 다양한 알루미늄 합금에서, 천이 금속이 포함되지 않은 비교예에 따른 알루미늄 합금(곡선 a)에 비하여, 모두 강도 향상이 얻어짐을 확인할 수 있다. 특히, 크롬 또는 철 함유 석출 화합물을 갖는 알루미늄 합금에서 강도 향상을 얻을 수 있으며, 망간 함유 석출 화합물을 갖는 알루미늄 합금에서도 인장 강도 향상을 얻을 수 있다.
- [0059] 도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 석출 화합물을 포함하는 알루미늄 합금과 비교예에 따른 알루미늄 합금의 인장 강도의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0060] 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금은, Al-Si(7 wt.%) $-$ Mg(0.3 wt.%) $-$ Fe(0.3 wt.%) $-$ Sr(0.1 wt.%)의 알루미늄 합금 용탕에 1.0 wt.%의 ZnO의 전구체 분말을 첨가하여 석출 화합물을 함유하는 알루미늄 합금이다. 이와 달리, 비교예에 따른 알루미늄 합금은 상기 알루미늄 합금 용탕에 비금속 원소 함유 전구체인 ZnO를 첨가하지 않고 주조재를 형성하고, 이를 열처리하여 얻어진 알루미늄 합금으로서, 상기 석출 화합물이 결여된 알루미늄 합금이다. 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금(실선 곡선)이 비교예에 따른 알루미늄 합금(점선 곡선)에 비해 약 22%의 항복 강도 향상을 나타내는 것이 확인되었다.
- [0062] 도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 석출 화합물을 포함하는 알루미늄 합금(실선 곡선)과 비교예에 따른 알루미늄 합금의 인장 강도의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0063] 도 7을 참조하면, 실선으로 표시된 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금은, Al-Si(2 wt.%) $-$ Mg(1.0 wt.%) $-$ Mn(0.3 wt.%)의 알루미늄 용탕에 약 2.0 wt.%의 ZnO의 전구체 분말을 첨가하여 주조재를 형성하고 90 % 압연에 의한 소성 단계를 통하여 재결정화한 후, 열처리하여 제조된 알루미늄 합금이다. 비교예에 따른 알루미늄 합금은 상기 알루미늄 용탕에 상기 전구체 분말을 첨가하지 않고, 주조재를 형성하고 상기 소성 단계를 수행한 후 열처리하여 제조된 알루미늄 합금이다. 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금이 비교예에 따른 알루미늄 합금에 비해 약 13 %의 항복 강도 향상을 나타낸다.
- [0064] 전술한 것과 같이 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄-천이 금속-비금속 원소 사이의 석출 화합물을 포함하는 알루미늄 합금은 주조 공정과 열처리 공정을 이용하여 제조될 수 있다. 전술한 실험예에는 예시적일 뿐, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들면, 비금속 원소인 상기 산소와 유사한 정도의 안정된 3 성분계 반응 화합물을 형성할 수 있는 비금속 원소인 질소 및 탄소의 경우에도 알루미늄계 기지 내에서 균일하게 석출 화합물을 형성하여 알루미늄 합금의 강도를 향상시킬 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0065] 이상에서 설명한 본 발명이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

## 도면

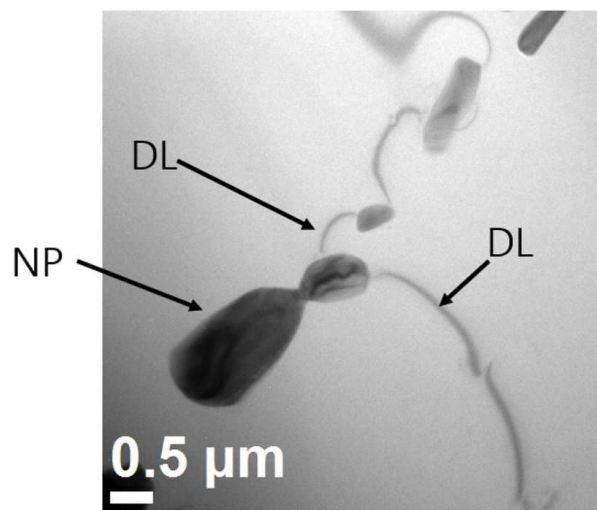
### 도면1



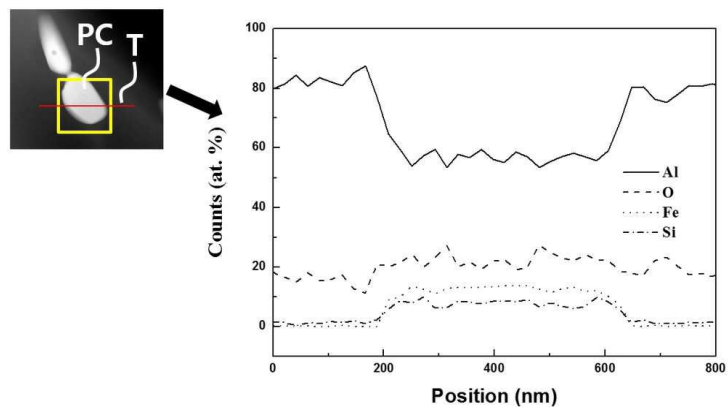
### 도면2a



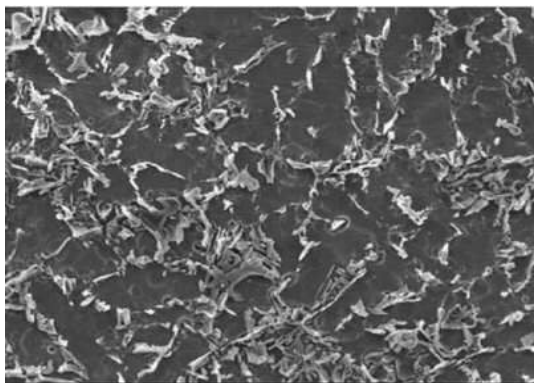
도면2b



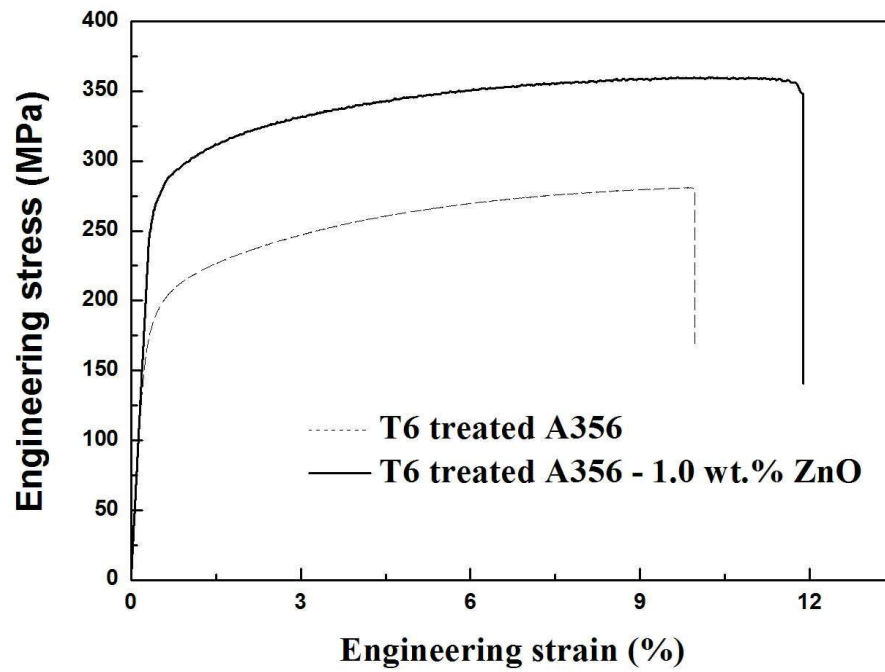
도면2c



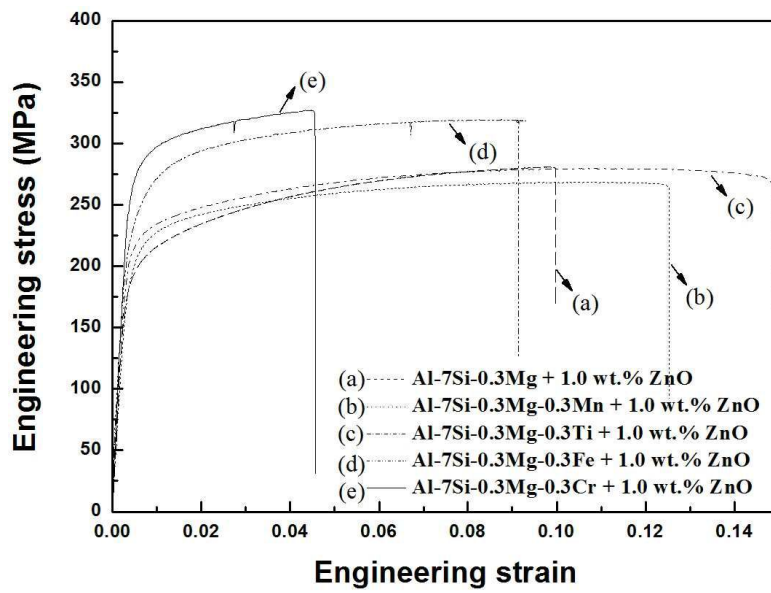
도면3



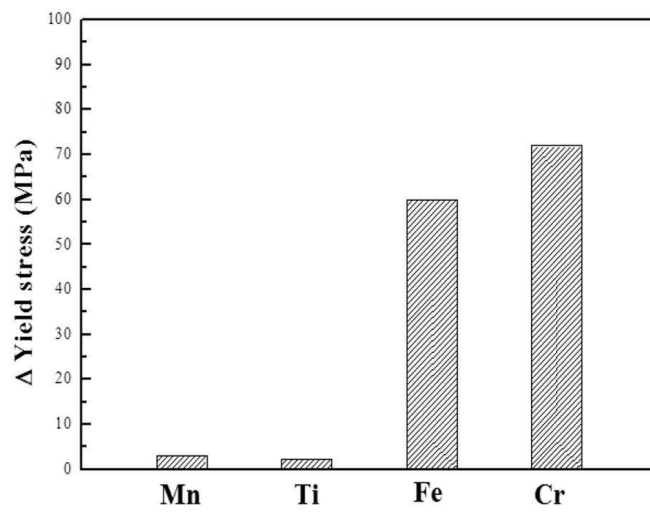
도면4



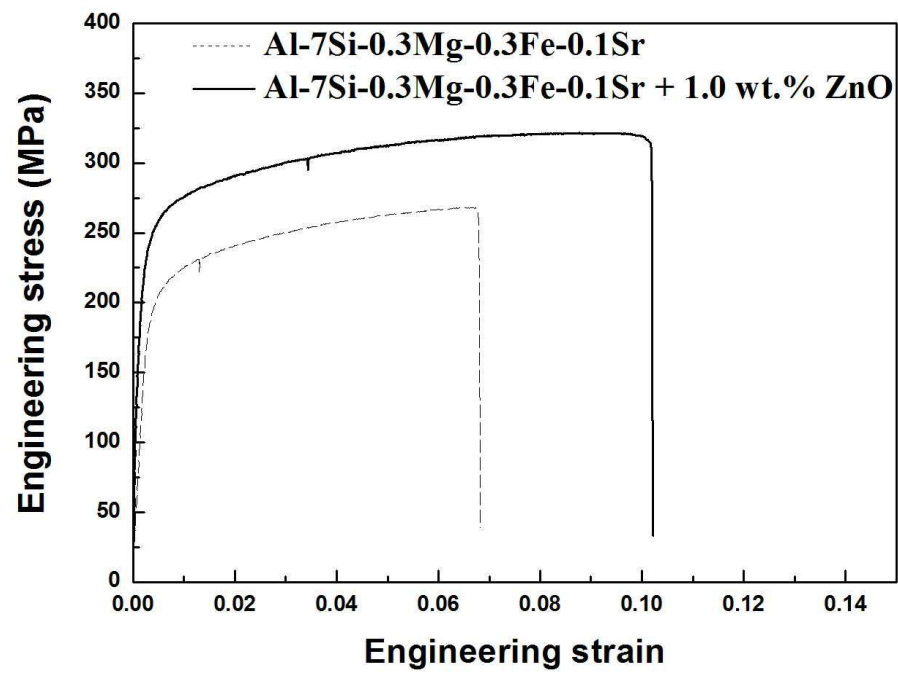
도면5a



도면5b



도면6



도면7

