



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년05월24일  
 (11) 등록번호 10-1739222  
 (24) 등록일자 2017년05월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 C22C 21/12 (2006.01) C22C 13/02 (2006.01)  
 C22C 14/00 (2006.01) C22C 21/14 (2006.01)  
 C22C 38/02 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)  
 C22C 38/12 (2006.01) C22C 38/14 (2006.01)  
 C22C 38/16 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
 C22C 21/12 (2013.01)  
 C22C 13/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0028635  
 (22) 출원일자 2016년03월10일  
 심사청구일자 2016년03월10일

(56) 선행기술조사문헌  
 US20130340896 A1\*  
 KR1019897000171 A  
 WO2016003627 A2  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**세종대학교산학협력단**  
 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자  
**김기범**  
 서울특별시 강남구 압구정로 401 53동 1102호 (압구정동, 한양아파트)

**김희진**  
 경기도 의정부시 신촌로 18-7 SK뷰아파트 204동 1501호  
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인  
**특허법인이상**

전체 청구항 수 : 총 9 항

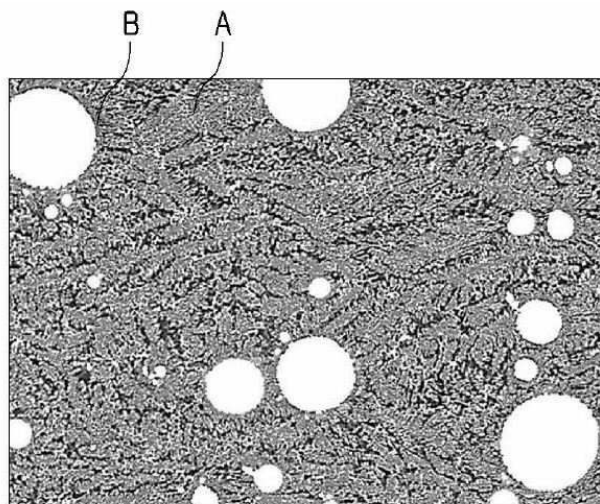
심사관 : 윤여분

(54) 발명의 명칭 **자가치유력을 갖는 복합 합금**

**(57) 요약**

자가치유력을 갖는 복합 합금을 제공한다. 상기 복합 합금은 공정 조직(eutectic structure)을 갖는 매트릭스를 구비한다. 상기 매트릭스 내에 고형 침전물들(solid precipitates)이 배치된다. 상기 고형 침전물들은 상기 매트릭스를 이루는 합금에 대해 섞임성이 없고(immiscible), 공정 조직을 가지며 상기 매트릭스에 비해 녹는점이 낮은 합금이며, 구형의 형상을 가진다.

**대표도** - 도1



(52) CPC특허분류

*C22C 14/00* (2013.01)

*C22C 21/14* (2013.01)

*C22C 38/02* (2013.01)

*C22C 38/06* (2013.01)

*C22C 38/12* (2013.01)

*C22C 38/14* (2013.01)

*C22C 38/16* (2013.01)

(72) 발명자

**홍성환**

대전광역시 중구 천근로69번길 114 1310호 (문화동, 계룡아파트)

**김정태**

경기도 김포시 김포한강11로 275 롯데캐슬 310동 1903호

**정해준**

서울특별시 노원구 동일로245가길 41 208동 1501호 (상계동, 은빛2단지아파트)

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

공정 조직(eutectic structure)을 갖는 매트릭스;

상기 매트릭스 내에 배치되고, 상기 매트릭스를 이루는 합금에 대해 섞임성이 없고(immiscible), 공정 조직을 가지며 상기 매트릭스에 비해 녹는점이 낮은 합금인 구형의 고형 침전물들(solid precipitates)을 구비하고, 상기 고형 침전물들은 상기 매트릭스를 이루는 합금과 상기 고형 침전물들을 이루는 합금의 전체 원자 수에 대해 0.5 내지 10의 at.%로 함유된 복합 합금.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 매트릭스는 Al계 합금, Fe계 합금, 또는 Ti계 합금인 복합 합금.

**청구항 4**

제3항에 있어서,

상기 매트릭스는  $Al_{(1-x)}Cu_x$ ( $x$ 는 13 내지 32, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Al-Cu 합금,  $Al_{(1-x)}Si_x$ ( $x$ 는 2 내지 49, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Al-Si 합금, 또는  $Al_{81}Si_6Cu_{13}$ (원자% 기준)의 조성을 갖는 Al-Si-Cu 합금인 복합 합금.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 고형 침전물들은  $Sn_{(1-y)}Pb_y$ ( $y$ 는 1.3 내지 71.9, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Pb 합금,  $Sn_{(1-y)}Bi_y$ ( $y$ 는 13 내지 99, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Bi 합금,  $Sn_{(1-y)}In_y$ ( $y$ 는 27 내지 56, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-In 합금,  $Pb_{(1-y)}Bi_y$ ( $y$ 는 40.5 내지 99.5, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Pb-Bi 합금, 또는  $Bi_{(1-y)}In_y$ ( $y$ 는 68 내지 88, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Bi-In 합금인 복합 합금.

**청구항 6**

제3항에 있어서,

상기 매트릭스는  $Fe_{64.5}Al_{26}Nb_{9.5}$ (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Al-Nb 합금,  $Fe_{75}Si_{15}Ti_{10}$ (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Si-Ti 합금,  $Fe_{71}Si_{15}Ti_{10}Cu_4$ (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Si-Ti-Cu 합금, 또는  $Fe_{71}Si_{15}Ti_{10}Al_4$ (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Si-Ti-Al 합금인 복합 합금.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 고형 침전물들은  $Sn_{(1-y)}Pb_y$ ( $y$ 는 1.3 내지 71.9, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Pb 합금,  $Sn_{(1-y)}Bi_y$ ( $y$ 는 13 내지 99, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Bi 합금,  $Sn_{(1-y)}In_y$ ( $y$ 는 27 내지 56, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-In 합금,  $Pb_{(1-y)}Bi_y$ ( $y$ 는 40.5 내지 99.5, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Pb-Bi 합금, 또는  $Bi_{(1-y)}In_y$ ( $y$ 는 68 내지 88,

원자% 기준)의 조성을 갖는 Bi-In 합금인 복합 합금.

**청구항 8**

제3항에 있어서,

상기 매트릭스는  $Ti_{(1-x)}Fe_x$ (x는 22 내지 47.5, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Ti-Fe 합금인 복합 합금.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

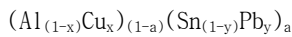
상기 고형 침전물들은  $Mg_{(1-y)}Y_y$ (y는 3.75 내지 15, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Mg-Y 합금인 복합 합금.

**청구항 10**

제1항에 있어서,

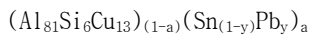
상기 복합 합금은 하기 화학식 1A 또는 화학식 1B의 조성을 갖는 복합 합금.

[화학식 1A]



상기 화학식 1A에서, x는 13 내지 32이고, y는 1.3 내지 71.9이고, a는 0.5 내지 10이고,

[화학식 1B]



상기 화학식 1B에서, y는 1.3 내지 71.9이고, a는 0.5 내지 10인 복합 합금.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 합금에 관한 것으로, 구체적으로는 자가치유력을 갖는 합금에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 알루미늄은 인류가 지금까지 가장 많이 사용하고 있는 경량성 소재로서, 알루미늄계 합금은 열 전도성, 반사성, 내식성, 가공성 등이 뛰어나 항공기, 방산부품, 자동차 등 광범위한 수요가 있다. 그러나, 알루미늄계 합금은 철계 합금이나 타이타늄계 합금들과 비교하여 현저히 낮은 항복강도를 갖는 등 기계적 강도가 낮아 있어 구조용 재료로서의 한계를 나타내고 있다.

[0003] 이러한 알루미늄계 합금의 기계적 강도를 향상시키기 위해 KR공개 1992-0004595호는 균열 인성, 내식성 및 피로 크랙 성장에 대한 저항성을 갖는 알루미늄 합금을 개시한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 그러나, 이러한 알루미늄계 합금과 같은 기계적 강도가 낮은 합금에 대해 스스로 균열을 치료할 수 있는 기술은 개발되어 있지 않은 상황이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 기계적 강도가 낮은 합금이라고 하더라도 형성된 균열을 스스로 치유하여 기계적 강도를 유지하는 합금을 제공함에 있다.

[0006] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0007] 상기 과제를 이루기 위하여 본 발명의 일 측면은 복합 합금을 제공한다. 상기 복합 합금은 공정 조직(eutectic structure)을 갖는 매트릭스를 구비한다. 상기 매트릭스 내에 고형 침전물들(solid precipitates)이 배치된다. 상기 고형 침전물들은 상기 매트릭스를 이루는 합금에 대해 섞임성이 없고(immiscible), 공정 조직을 가지며 상기 매트릭스에 비해 녹는점이 낮은 합금이며, 구형의 형상을 가진다.
- [0008] 상기 고형 침전물들은 상기 매트릭스를 이루는 합금과 상기 고형 침전물들을 이루는 합금의 전체 원자 수에 대해 0.5 내지 10의 at.%로 함유될 수 있다.
- [0009] 상기 매트릭스는 Al계 합금, Fe계 합금, 또는 Ti계 합금일 수 있다.
- [0010] 상기 매트릭스는  $Al_{(1-x)}Cu_x$  (x는 13 내지 32, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Al-Cu 합금,  $Al_{(1-x)}Si_x$  (x는 2 내지 49, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Al-Si 합금, 또는  $Al_{81}Si_6Cu_{13}$  (원자% 기준)의 조성을 갖는 Al-Si-Cu 합금일 수 있다. 이 때, 상기 고형 침전물들은  $Sn_{(1-y)}Pb_y$  (y는 1.3 내지 71.9, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Pb 합금,  $Sn_{(1-y)}Bi_y$  (y는 13 내지 99, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Bi 합금,  $Sn_{(1-y)}In_y$  (y는 27 내지 56, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-In 합금,  $Pb_{(1-y)}Bi_y$  (y는 40.5 내지 99.5, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Pb-Bi 합금, 또는  $Bi_{(1-y)}In_y$  (y는 68 내지 88, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Bi-In 합금일 수 있다.
- [0011] 상기 매트릭스는  $Fe_{64.5}Al_{26}Nb_{9.5}$  (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Al-Nb 합금,  $Fe_{75}Si_{15}Ti_{10}$  (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Si-Ti 합금,  $Fe_{71}Si_{15}Ti_{10}Cu_4$  (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Si-Ti-Cu 합금, 또는  $Fe_{71}Si_{15}Ti_{10}Al_4$  (원자% 기준)의 조성을 갖는 Fe-Si-Ti-Al 합금일 수 있다. 이 때, 상기 고형 침전물들은  $Sn_{(1-y)}Pb_y$  (y는 1.3 내지 71.9, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Pb 합금,  $Sn_{(1-y)}Bi_y$  (y는 13 내지 99, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-Bi 합금,  $Sn_{(1-y)}In_y$  (y는 27 내지 56, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Sn-In 합금,  $Pb_{(1-y)}Bi_y$  (y는 40.5 내지 99.5, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Pb-Bi 합금, 또는  $Bi_{(1-y)}In_y$  (y는 68 내지 88, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Bi-In 합금일 수 있다.
- [0012] 상기 매트릭스는  $Ti_{(1-x)}Fe_x$  (x는 22 내지 47.5, 원자% 기준)의 조성을 갖는 Ti-Fe 합금일 수 있다. 이 때, 상기 고형 침전물들은  $Mg_{(1-y)}Y_y$  (y는 3.75 내지 15, 원자% 기준)의 조성을 가질 수 있다.
- [0013] 상기 복합 합금은 하기 화학식 1A 또는 화학식 1B의 조성을 가질 수 있다.
- [0014] [화학식 1A]
- [0015]  $(Al_{(1-x)}Cu_x)_{(1-a)}(Sn_{(1-y)}Pb_y)_a$
- [0016] 상기 화학식 1A에서, x는 13 내지 32이고, y는 1.3 내지 71.9이고, a는 0.5 내지 10일 수 있다.
- [0017] [화학식 1B]
- [0018]  $(Al_{81}Si_6Cu_{13})_{(1-a)}(Sn_{(1-y)}Pb_y)_a$
- [0019] 상기 화학식 1B에서, y는 1.3 내지 71.9이고, a는 0.5 내지 10일 수 있다.

**발명의 효과**

[0020] 본 발명의 실시예들에 따른 합금은 매트릭스와 고형 침전물 섬들이 서로 다른 용점을 나타내고, 고형 침전물 섬들의 용점이 매트릭스의 용점에 비해 낮다. 이러한 합금 내에 균열이 생기는 경우, 상기 고형 침전물 섬들의 용점보다 높은 온도로 상기 합금을 가열하면 상기 고형 침전물 섬들만 선택적으로 용융시킬 수 있고 용융액은 균열 내로 흘러들어간 후 냉각에 의해 응고되면서 균열을 자가 치유할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 합금의 미세조직을 나타낸 모식도이다.  
 도 2는 제조예 1, 제조예 2, 및 비교예 1에 따른 합금의 X선 회절 패턴들(X-Ray Diffraction patterns)을 나타낸 그래프이다.  
 도 3a는 제조예들 1 내지 6, 및 비교예 1에 따른 합금의 주사전자현미경(SEM) 사진들이고, 도 3b는 제조예 3의

고형 침전물 섬들(B)를 확대 촬영한 투사전자현미경(TEM) 사진이다.

도 4는 제조예 1에 따른 합금의 시차주사열량분석 곡선을 나타낸 그래프이다.

도 5는 제조예들 7 내지 13, 및 비교예 2에 따른 합금의 X선 회절 패턴들(X-Ray Diffraction patterns)을 나타낸 그래프이다.

도 6은 제조예들 7 내지 13, 및 비교예 2에 따른 합금의 주사전자현미경(SEM) 사진들이다.

도 7는 제조예 8-11, 및 비교예 2에 따른 합금의 시차주사열량분석 곡선을 나타낸 그래프이다.

도 8 내지 도 10은 각각 제조예 9, 10, 및 11에 따른 합금들의 자가 치유 특성을 살펴본 SEM 사진들이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0022] 이하, 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 도면들에 있어서, 층이 다른 층 또는 기판 "상"에 있다고 언급되어지는 경우에 그것은 다른 층 또는 기판 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 층이 개재될 수도 있다. 본 실시예들에서 "제 1", "제2", 또는 "제3"는 구성요소들에 어떠한 한정을 가하려는 것은 아니며, 다만 구성요소들을 구별하기 위한 용어로서 이해되어야 할 것이다.
- [0023] 본 명세서에서 공정 조직은 서로 다른 조성을 갖는 상들이 교호 적층된 라멜라 혹은 수지상 구조를 나타내는 것을 의미할 수 있고, 공정 조직을 갖는 합금은 그 일부에 공정 조직을 갖는 아공정 합금(hypoeutectic alloy) 또는 과공정 합금(hypereutectic alloy)이거나, 혹은 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정합금(eutectic alloy)일 수 있다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 복합 합금의 미세조직을 나타낸 모식도이다.
- [0025] 도 1을 참조하면, 복합 합금은 공정 조직을 갖는 매트릭스(A)와 상기 매트릭스(A) 내에 고형 침전물들(B)이 배치된 미세조직을 나타낼 수 있다. 상기 고형 침전물들(B)은 상기 매트릭스(A)를 이루는 합금에 대해 섞임성이 없는(immiscible) 합금으로서, 공정 조직을 가지며 상기 매트릭스(A)에 비해 녹는점이 낮은 합금일 수 있다. 또한, 상기 고형 침전물들(B)은 구형의 형상을 가질 수 있다. 이러한 고형 침전물들(B)은 상기 매트릭스(A)를 이루는 합금과 액상 분리에 의해 형성될 수 있다. 상기 고형 침전물들(B)을 이루는 합금은 상기 매트릭스(A)를 이루는 합금과 상기 고형 침전물들(B)을 이루는 합금의 전체 원자 수에 대해 0.5 내지 10의 at.%로 함유될 수 있다.
- [0026] 이러한 복합 합금은 하기 화학식 1로 나타낼 수 있다.
- [0027] [화학식 1]
- [0028]  $A_{(1-a)}B_a$
- [0029] 상기 화학식 1에서, A는 상기 매트릭스를 이루는 합금이고, B는 상기 고형 침전물들 이루는 합금이며, a는 0.5 내지 10일 수 있다.
- [0030] 상기 매트릭스를 이루는 합금(A)은 공정 조직을 갖는 Al계 합금, Fe계 합금, 또는 Ti계 합금일 수 있다. 구체적으로, 상기 매트릭스는 Al계 공정 합금, Fe계 공정 합금, 또는 Ti계 공정 합금일 수 있다.
- [0031] 상기 Al계 합금은 Al-Cu 합금, Al-Si 합금, 또는 Al-Si-Cu 합금일 수 있고, 상기 Al계 공정 합금은 Al-Cu 공정 합금, Al-Si 공정 합금, 또는 Al-Si-Cu 공정 합금일 수 있다. Al-Cu합금은  $Al_{(1-x)}Cu_x$ (x는 13 내지 32, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Al_{83}Cu_{17}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Al-Cu 합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 821.2K일 수 있다. Al-Si합금은  $Al_{(1-x)}Si_x$ (x는 2 내지 49, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Al_{87.8}Si_{12.2}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Al-Si합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 850K일 수 있다. Al-Si-Cu 합금은  $Al_{81}Si_6Cu_{13}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Al-Si-Cu합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 800K일 수 있다.



- [0032] 상기 Fe계 합금은 Fe-Al-Nb 합금, Fe-Si-Ti 합금, Fe-Si-Ti-Cu 합금, 또는 Fe-Si-Ti-Al 합금일 수 있고, 상기 Fe계 공정 합금은 Fe-Al-Nb 공정 합금, Fe-Si-Ti 공정 합금, Fe-Si-Ti-Cu 공정 합금, 또는 Fe-Si-Ti-Al 공정 합금일 수 있다. Fe-Al-Nb 합금은  $Fe_{64.5}Al_{26}Nb_{9.5}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때, Fe-Si-Ti 합금은  $Fe_{75}Si_{15}Ti_{10}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때, Fe-Si-Ti-Cu 합금은  $Fe_{71}Si_{15}Ti_{10}Cu_4$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때, 그리고 Fe-Si-Ti-Al 합금은  $Fe_{71}Si_{15}Ti_{10}Al_4$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Fe-Al-Nb 합금과 Fe-Si-Ti 합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 각각 약 1523K와 약 1478K일 수 있다.
- [0033] 상기 Ti계 합금은 Ti-Fe 합금일 수 있고, 상기 Ti계 공정 합금은 Ti-Fe 공정 합금일 수 있다. Ti-Fe 합금은  $Ti_{(1-x)}Fe_x$ (x는 22 내지 47.5, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Ti_{71}Fe_{29}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Ti-Fe합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 1358K일 수 있다.
- [0034] 상기 매트릭스를 이루는 합금(A)이 Al계 합금일 때, 상기 고형 침전물들을 이루는 합금(B)은 공정 조직을 갖는 Sn-Pb 합금, Sn-Bi 합금, Sn-In 합금, Pb-Bi 합금, 또는 Bi-In 합금일 수 있고, 나아가 Sn-Pb 공정 합금, Sn-Bi 공정 합금, Sn-In 공정 합금, Pb-Bi 공정 합금, 또는 Bi-In 공정 합금일 수 있다. Sn-Pb 합금은  $Sn_{(1-y)}Pb_y$ (y는 1.3 내지 71.9, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Sn_{73.9}Pb_{26.1}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Sn-Pb합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 456K일 수 있다. Sn-Bi 합금은  $Sn_{(1-y)}Bi_y$ (y는 13 내지 99, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Sn_{57}Bi_{43}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Sn-Bi합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 412K일 수 있다. Sn-In 합금은  $Sn_{(1-y)}In_y$ (y는 27 내지 56, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Sn_{48.3}In_{51.7}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Sn-In합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 393K일 수 있다. Pb-Bi 합금은  $Pb_{(1-y)}Bi_y$ (y는 40.5 내지 99.5, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Pb_{45}Bi_{55}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Pb-Bi합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 398.5K일 수 있다. Bi-In 합금은  $Bi_{(1-y)}In_y$ (y는 68 내지 88, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Bi_{21.5}In_{78.5}$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Bi-In합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 345.7K일 수 있다.
- [0035] 상기 매트릭스를 이루는 합금(A)이 Fe계 합금일 때, 상기 고형 침전물들을 이루는 합금(B)은 Sn-Pb 합금, Sn-Bi 합금, Sn-In 합금, Pb-Bi 합금, 또는 Bi-In 합금일 수 있고, 나아가 Sn-Pb 공정 합금, Sn-Bi 공정 합금, Sn-In 공정 합금, Pb-Bi 공정 합금, 또는 Bi-In 공정 합금일 수 있다. Sn-Pb 합금, Sn-Bi 합금, Sn-In 합금, Pb-Bi 합금, 또는 Bi-In 합금의 조성은 위에서 설명한 바와 같을 수 있다.
- [0036] 상기 매트릭스를 이루는 합금(A)이 Ti계 합금일 때, 상기 고형 침전물들을 이루는 합금(B)은 Mg-Y 합금일 수 있다. Mg-Y 합금은  $Mg_{(1-y)}Y_y$ (x는 3.75 내지 15, 원자% 기준)의 조성을 가질 때 공정 조직을 나타낼 수 있고,  $Mg_{91}Y_9$ (원자% 기준)의 조성을 가질 때 전체가 공정 조직으로 이루어진 공정 합금일 수 있다. 이 때, Mg-Y합금의 공정 온도 또는 용융 온도는 약 839K일 수 있다.
- [0037] 상기 매트릭스(A)와 상기 매트릭스(A) 내에 구형의 고형 침전물들(B)이 공정 조직, 나아가 공정 합금들일 때, 복합 합금의 기계적 강도는 향상될 수 있다. 나아가, 상기 고형 침전물들(B)은 상기 매트릭스(A)에 비해 녹는 점이 낮은 합금이어서, 복합 합금 내에 균열이 생기는 경우, 상기 고형 침전물들(B)의 용점보다 높은 온도로 상기 복합 합금을 가열하면 상기 고형 침전물들(B)만 선택적으로 용융시킬 수 있고 용융액은 균열 내로 흘러들어간 후 냉각에 의해 응고되면서 균열을 자가 치유할 수 있다.
- [0038] 이러한 복합 합금은 99.9% 이상의 순도를 갖는 원소들을 정량한 후, 고순도 아르곤 가스분위기하에서 아크 용해법, 유도 가열법 및 흡입주조법을 사용하여 형성할 수 있다.
- [0039] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실험예(example)를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의

이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0040] **합금 제조예들 (제조예들 1 내지 13, 및 비교예들 1 내지 2)**

[0041] 합금에 함유되는 원소들의 조성을 하기 표 1에 나타난 바와 같이 다르게 하여 아르곤(99.99 %)가스 분위기에서 보론 나이트라이드로 코팅한 그래파이트 도가니에 넣고 유도 용해했다. 이 때, 합금에 함유되는 원소들은 99.9 % 이상의 고순도 원소를 사용했다. 그 후 용해된 합금을 지름 3 mm, 높이 50 mm의 구리 몰드에 부어 수냉한 봉상형 합금 시편들을 제조하였다.

표 1

[0042]

	합금 조성	1-a	a
제조예 1	$(Al_{83}Cu_{17})_{(1-a)}(Sn_{57}Bi_{43})_a$	99.5	0.5
제조예 2		99	1
제조예 3		97	3
제조예 4		95	5
제조예 5		90	10
제조예 6		85	15
제조예 7	$(Al_{81}Cu_{13}Si_6)_{(1-a)}(Sn_{57}Bi_{43})_a$	99.9	0.1
제조예 8		99.5	0.5
제조예 9		99	1
제조예 10		97	3
제조예 11		95	5
제조예 12		90	10
제조예 13		85	15
비교예 1	$Al_{83}Cu_{17}$	-	
비교예 2	$Al_{81}Cu_{13}Si_6$	-	

[0043] 도 2는 제조예 1, 제조예 2, 및 비교예 1에 따른 합금의 X선 회절 패턴들(X-Ray Diffraction patterns)을 나타낸 그래프이고, 도 3a는 제조예들 1 내지 6, 및 비교예 1에 따른 합금의 주사전자현미경(SEM) 사진들이고, 도 3b는 제조예 3의 고품 침전물 섬들(B)를 확대 촬영한 투사전자현미경(TEM) 사진이다.

[0044] 도 2, 도 3a, 및 도 3b를 참조하면, 제조예 1 내지 6에서는 다수의 구형의 고품 침전물 섬들(B)이 매트릭스 내에 분포된다. 매트릭스는  $\alpha$ -Al 상과  $Al_2Cu$  상이 교호적층된 라멜라 또는 수지상(dendrite)의 공정 구조를 나타내며, 특히 도 3b를 참조하면 고품 침전물 섬들(B)는 Sn 상과 Bi 상이 교호적층된 라멜라 또는 수지상의 공정 구조를 나타냄을 알 수 있다. 한편,  $Al_{83}Cu_{17}$ 의 조성을 갖는 비교예 1에서는  $\alpha$ -Al 상과  $Al_2Cu$  상이 교호적층된 라멜라 또는 수지상(dendrite)의 공정 구조만이 나타남을 알 수 있다.

[0045] 이러한 결과로부터, Sn과 Bi는 Al 또는 Cu와 혼합되지 않고 액상 상태에서 분리되어 공정 조직을 갖는 고품 침전물 섬들의 형태로 Al-Cu 매트릭스 내에 응고되어졌음을 알 수 있다.

[0046] 도 4는 제조예 1에 따른 합금의 시차주사열량분석 곡선을 나타낸 그래프이다.

[0047] 도 4를 참조하면, 제조예 1에 따른 합금은 Al-Cu 합금의 공정 온도(eutectic temperature)인 821.2K와 Sn-Bi 합금의 공정 온도인 412K에서 피크를 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이, 제조예에 따른 합금은 매트릭스와 고품 침전물 섬들이 서로 다른 용점을 나타내고, 고품 침전물 섬들의 용점이 매트릭스의 용점에 비해 낮음을 알 수 있다. 이러한 합금 내에 균열이 생기는 경우, 상기 고품 침전물 섬들의 용점보다 높은 온도로 상기 합금을 가열하면 상기 고품 침전물 섬들만 선택적으로 용융시킬 수 있고 용융액은 균열 내로 흘러들어간 후 냉각에 의해 응고되면서 균열을 자가 치유할 수 있다.

[0048] 도 5는 제조예들 7 내지 13, 및 비교예 2에 따른 합금의 X선 회절 패턴들(X-Ray Diffraction patterns)을 나타낸 그래프이고, 도 6은 제조예들 7 내지 13, 및 비교예 2에 따른 합금의 주사전자현미경(SEM) 사진들이다.

[0049] 도 5 및 도 6을 참조하면, 제조예 8 내지 13에서는 다수의 구형의 고품 침전물 섬들(B)이 매트릭스 내에 분포된다. 매트릭스는  $\alpha$ -Al 상과  $Al_2Cu$  상이 교호적층되거나  $\alpha$ -Al 상,  $Al_2Cu$  상, 및 Si상이 교호적층된 라멜라 또는 수지상(dendrite)의 공정 구조를 나타내며, 고품 침전물 섬들(B)는 Sn 상과 Bi 상이 교호적층된 라멜라 또는

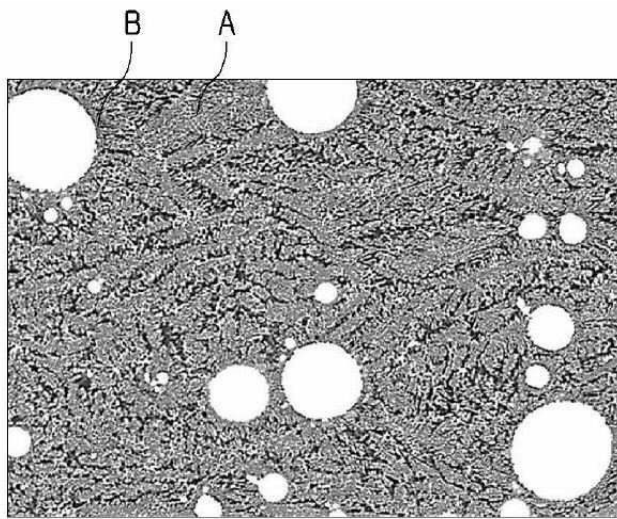


수지상의 공정 구조를 나타냄을 알 수 있다. 한편,  $Al_{81}Cu_{13}Si_6$ 의 조성을 갖는 비교예 1 또는  $(Al_{81}Cu_{13}Si_6)_{99.9}(Sn_{57}Bi_{43})_{0.1}$ 의 조성을 갖는 제조예 7에서는  $\alpha$ -Al 상과  $Al_2Cu$  상이 교호적층되거나  $\alpha$ -Al 상,  $Al_2Cu$  상, 및 Si상이 교호적층된 라멜라 또는 수지상(dendrite)의 공정 구조만이 나타남을 알 수 있는데, 제조예 7의 경우 Sn-Bi 합금의 함량이 너무 낮아 생긴 결과일 수 있다.

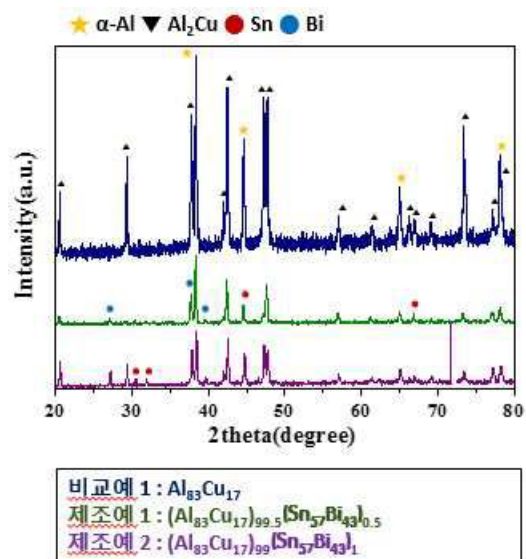
- [0050] 이러한 결과로부터, Sn과 Bi는 Al, Cu, 또는 Si와 혼합되지 않고 액상 상태에서 분리되어 공정 조직을 갖는 고형 침전물 섬들의 형태로 Al-Cu-Si 매트릭스 내에 응고되어졌음을 알 수 있다.
- [0051] 도 7는 제조예 8-11, 및 비교예 2에 따른 합금의 시차주사열량분석 곡선을 나타낸 그래프이다.
- [0052] 도 7을 참조하면, 제조예 8-11에 따른 합금은 Al-Cu-Si 합금의 공정 온도(eutectic temperature)인 800K와 Sn-Bi 합금의 공정 온도 근처인 410-415K에서 발열피크를 나타내는 반면, 비교예 2에 따른 합금은 800K 근처에서 하나의 발열피크를 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이, 제조예 8-11에 따른 합금은 매트릭스와 고형 침전물 섬들이 서로 다른 용점을 나타내고, 고형 침전물 섬들의 용점이 매트릭스의 용점에 비해 낮음을 알 수 있다. 이러한 합금 내에 균열이 생기는 경우, 상기 고형 침전물 섬들의 용점보다 높은 온도로 상기 합금을 가열하면 상기 고형 침전물 섬들만 선택적으로 용융시킬 수 있고 용융액은 균열 내로 흘러들어간 후 냉각에 의해 응고되면서 균열을 자가 치유할 수 있다.
- [0053] 한편, Sn-Bi 합금의 함량이 1at.% 이상인 제조예들 9-11, 나아가 Sn-Bi 합금의 함량이 3at.% 이상인 제조예들 10-11에서 Sn-Bi 합금의 공정 온도 근처인 410-415K에서의 발열피크가 보다 명확하게 나타남을 알 수 있다.
- [0054] 도 8 내지 도 10은 각각 제조예 9, 10, 및 11에 따른 합금들의 자가 치유 특성을 살펴본 SEM 사진들이다. 구체적으로, 각 합금들의 표면 상에 나노 사이즈의 짙은 자국(g) 또는 크랙들(C)을 유발한 직후 SEM 사진을 촬영하고, 그 후 이 합금들을 250℃(523.15K)에서 25분간 열처리하고 SEM 사진을 촬영하였다.
- [0055] 도 8을 참조하면, 제조예 9에 따른 합금은 열처리 후 짙은 자국(g)의 깊이가 낮아진 것을 알 수 있다.
- [0056] 도 9를 참조하면, 제조예 10에 따른 합금은 열처리 후 짙은 자국(g)과 크랙들(C)이 거의 완전히 메워진 것(C')을 알 수 있다.
- [0057] 도 10을 참조하면, 제조예 11에 따른 합금은 열처리 후 짙은 자국(g)이 거의 완전히 메워진 것(C')을 알 수 있다.
- [0058] 이러한 결과로부터, 250℃(523.15K)에서의 열처리 과정 동안 이보다 낮은 용점(410-415K)을 갖는 Sn-Bi 공정 합금 상들인 고형 침전물 섬들이 녹아 짙은 자국(g)과 크랙들(C) 내로 흘러들어 이들을 메운 것을 알 수 있다.
- [0059] 이상, 본 발명을 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 사상 및 범위 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러가지 변형 및 변경이 가능하다.

도면

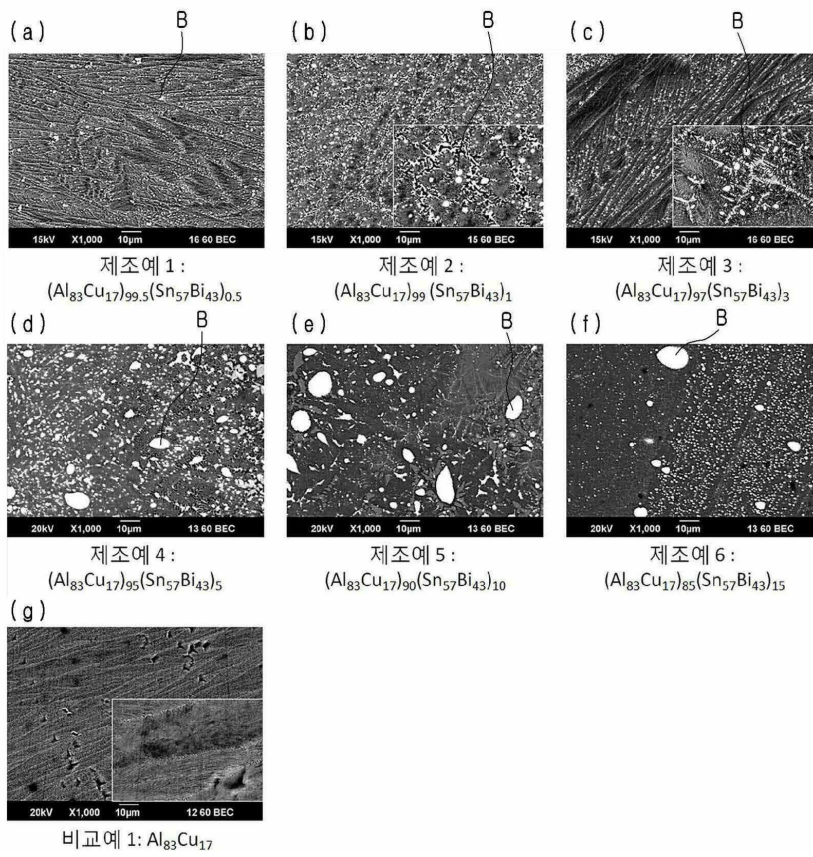
도면1



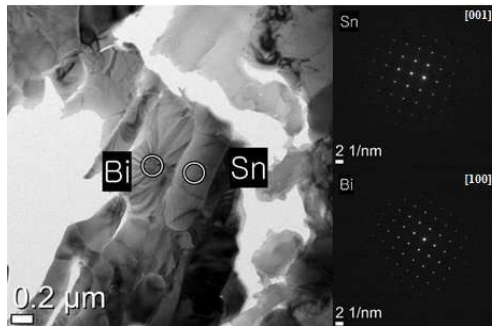
도면2



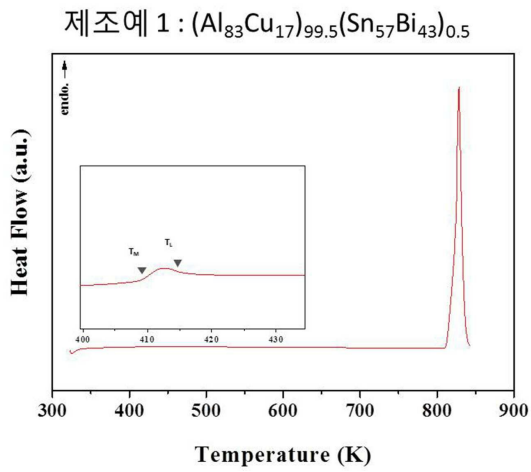
도면3a



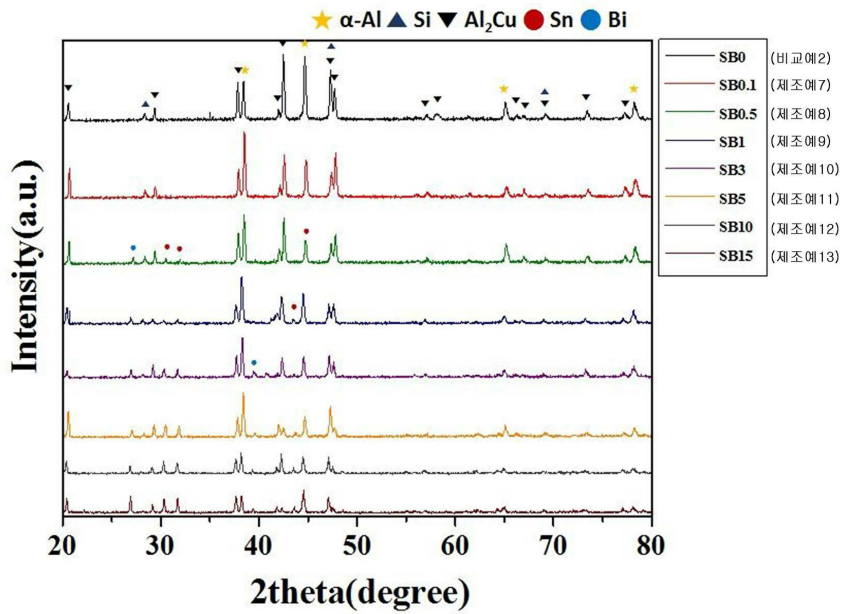
도면3b



도면4

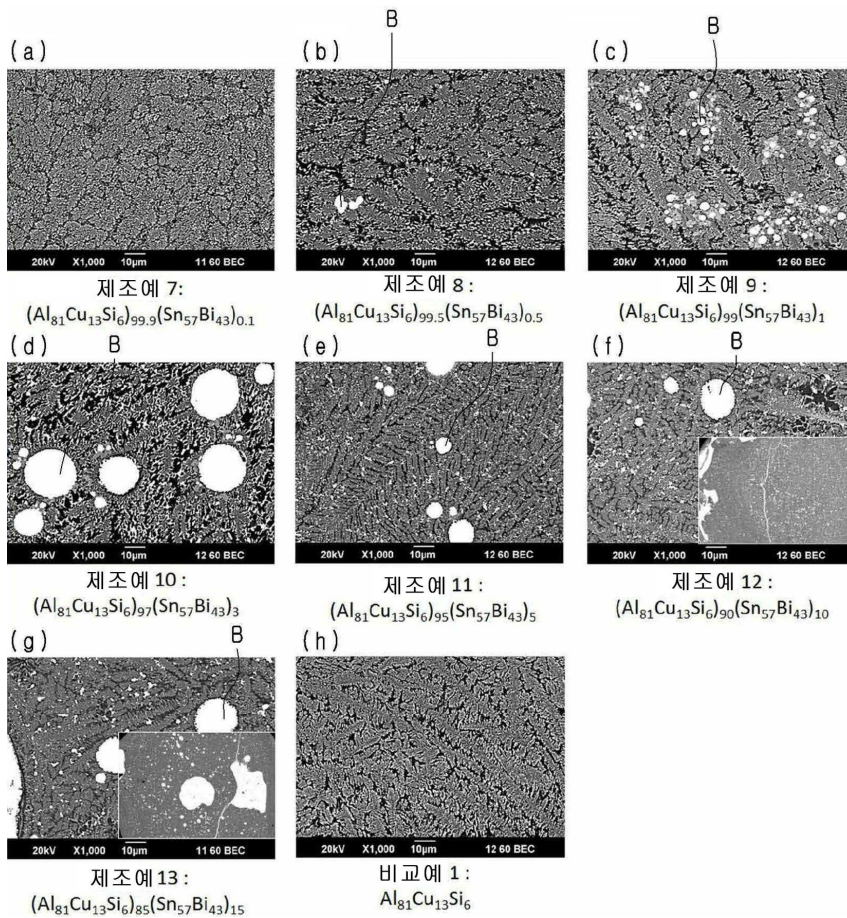


도면5

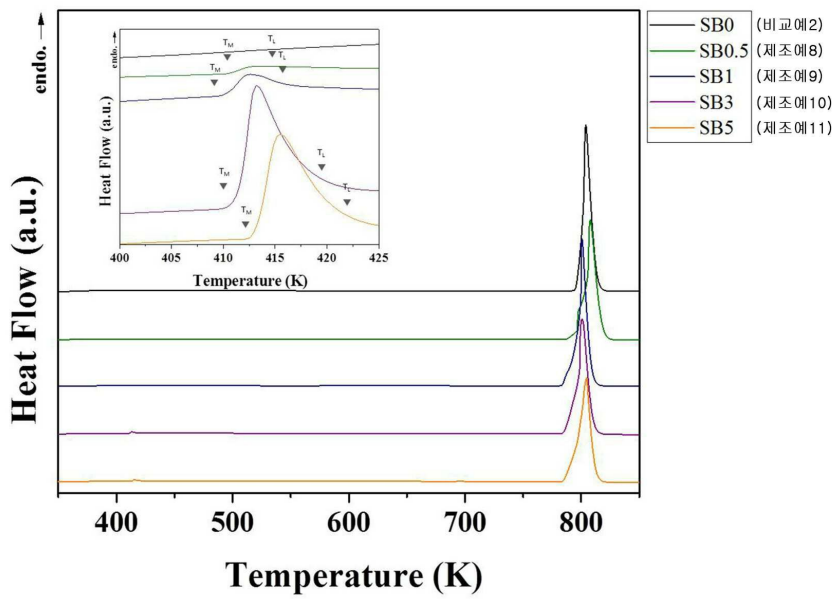




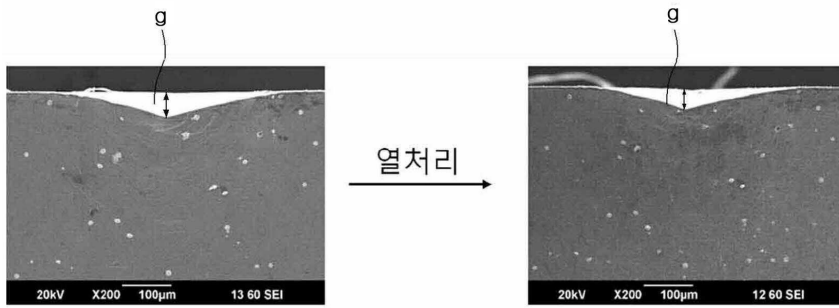
도면6



도면7

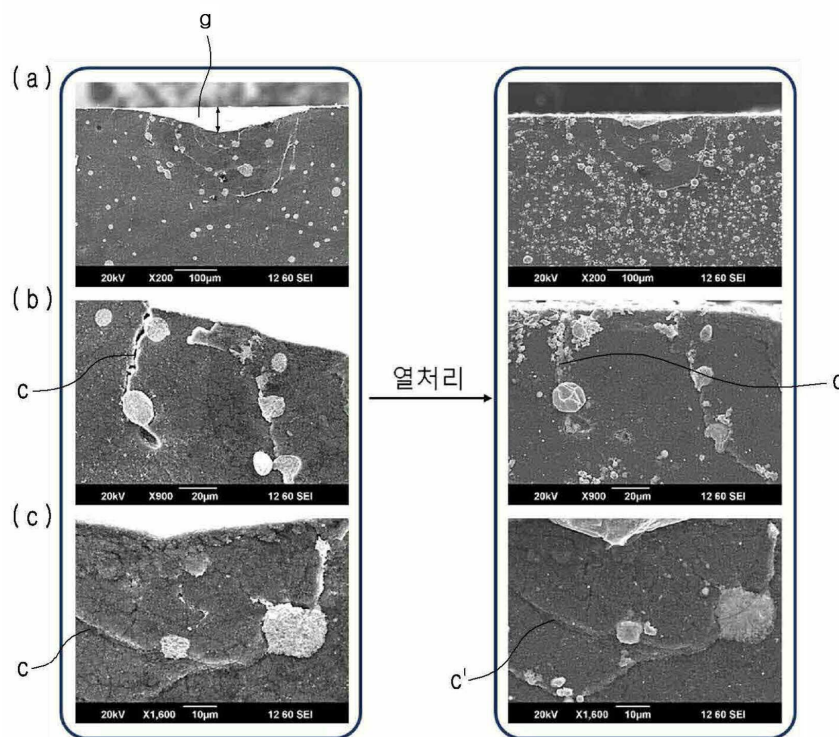


도면8



제조예 9 :  $(Al_{81}Cu_{13}Si_6)_{99}(Sn_{57}Bi_{43})_1$

도면9



제조예 10 :  $(Al_{81}Cu_{13}Si_6)_{97}(Sn_{57}Bi_{43})_3$

도면10



제조예 11 :  $(Al_{81}Cu_{13}Si_6)_{95}(Sn_{57}Bi_{43})_5$