



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년05월26일
(11) 등록번호 10-1037136
(24) 등록일자 2011년05월19일

(51) Int. Cl.
C22C 1/02 (2006.01) C21C 7/00 (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0075766
(22) 출원일자 2008년08월01일
심사청구일자 2008년08월01일
(65) 공개번호 10-2010-0013994
(43) 공개일자 2010년02월10일
(56) 선행기술조사문헌
KR100712139 B1
JP2003171199 A

(73) 특허권자
한국기초과학지원연구원
대전광역시 유성구 어은동 52번지
(72) 발명자
정혜진
대전광역시 유성구 신성동 126-20 202호
(74) 대리인
공인복

전체 청구항 수 : 총 5 항

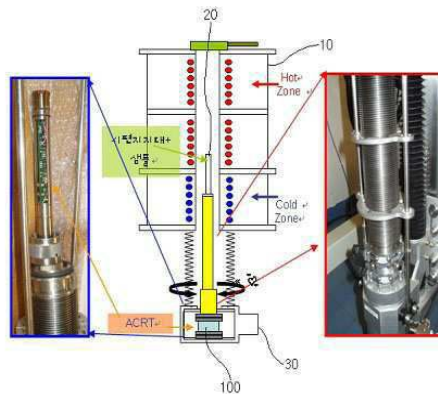
심사관 : 오준철

(54) 비접중제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법

(57) 요약

본 발명은 비접중제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법에 관한 것으로, 고온지대(Hot zone)와 냉각지대(Cold zone)가 공존하며 고상화가 이루어지는 브리지만 로(Bridgman furnace)와 브리지만 로 안쪽에 위치하며 알루미늄 합금 재료를 고정시키는 시편지지대와 및 브리지만 로 아래에 위치하고 상기 시편지지대의 하부에 장착되어 전기모터로 회전 움직임이 가능하도록 구비된 ACRT 적용부를 포함하여 이루어지고, 비접중제 알루미늄 합금 재료를 시편지지대에 고정된 후 브리지만 로 내에서 고상화할 때 외부로부터 강제로 회전력을 동반시키는 ACRT 기술 중에서 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 이용함으로써, 종래 알루미늄 합금의 CET(Columnar to Equiaxed Transition; 주상정에서 등축정으로의 천이)을 실행시키기 위해 사용되었던 고가의 접중제 합금을 대신하여 사용자가 원하고자 하는 CET나 결정립 미세화를 실현하고 결과적으로 재료의 원가 절감 효과를 얻을 수 있는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

용융상태의 비접종제 알루미늄 합금 재료의 고상화에 있어서,

고온지대와 냉각지대가 공존하며 상기 알루미늄 합금의 고상화가 이루어지는 브리지만 로;

상기 고온지대에 열원을 공급하는 히터;

상기 브리지만 로 내부에 위치하며, Al-7.0wt%Si인 알루미늄 합금 재료를 고정시켜 상하로 이동할 수 있는 시편 지지대;

상기 브리지만 로 아래쪽에 위치하고 상기 시편지지대의 하부에 장착되며 전기모터를 통해 회전 움직임이 가능하도록 구비된 ACRT 적용부;를 포함하여 이루어지고, 상기 시편지지대에 비접종제 알루미늄 합금 재료를 고정한 후 상기 브리지만 로 내에서 고상화시킬 때 외부로부터 강제로 회전력을 동반시키는 ACRT 법 중에서 시간(s)에 대한 분당 회전수(rpm)의 상관 관계가 각각의 스텝 시간(t_1 , t_2 , t_3 , t_4)에 대해 사다리꼴을 이루는 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 이용하여 원하고자 하는 주상정에서 등축정으로의 천이(CET) 및 결정립 미세화를 얻는 것을 특징으로 하는 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 알루미늄 합금의 결정립 미세화(Grain refinement)를 위한 고상화 조건은 ACRT 이전은 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$ 이며, ACRT 이후는 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$, 회전속도(Ω)가 20 r.p.m (trapezoide)인 것을 특징으로 하는 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 알루미늄 합금의 CET 유도를 위한 고상화 조건은 ACRT 이전은 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$ 이며, ACRT 이후는 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 300 $\mu\text{m/s}$, 회전속도(Ω)가 20 r.p.m (trapezoide)인 것을 특징으로 하는 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법.

청구항 7

제 1항, 제 5항, 제 6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 알루미늄 합금의 고상화 조건에서 ACRT 이후 액상은 평균 ± 5 K/cm의 온도 구배를 가지고 변화하는 것을 특징으로 하는 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 사용자가 원하는 용도에 맞는 주상정 조직이나 등축정 조직을 개별적으로 얻기 위해 고상화 속도(V_p), 액체내의 온도 구배(G_L), 회전 속도(speed), 회전 방식(mode)를 포함하는 ACRT 변수(factor)를 조절하는 것을 특징으로 하는 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 비접종제 알루미늄 합금의 고상화에 관한 것으로, 구체적으로는 알루미늄 합금의 고상화시 외부로부터 강제로 회전력을 동반시키는 ACRT(Accelerated Crucible Rotation Technique, 이하 'ACRT'라함) 법에서 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 이용하여 원하고자 하는 주상정에서 등축정으로의 천이(Columnar to Equiaxed Transition, 이하 'CET' 라함) 및 결정립 미세화를 얻는 것을 특징으로 하는 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 일반적으로 합금의 고상화시 미세구조는 크게 주상정 또는 등축정의 두 가지 형태로서 출현된다.
- [0003] 주상정(columnar dendrite)은 수지상정 표면으로부터 연속해서 내부를 향하여 성장하는 경우에 최종적으로 기둥과 같은 가늘고 긴 결정이 잘 정렬하게 되는 것을 말한다. 주상정의 경우 특이화 된 한쪽 방향으로의 성장의 결과이므로 무엇보다도 재료내의 이방성을 단점으로 생각할 수 있다. 이런 주상정은 잉곳의 내부로 성장하며 기계적 섬유화로 인한 이방성, 길이 방향으로의 강도 증가, 소성 변형에 따른 전위이동, 생성 및 집적이 결정립 내부에서 일어나 전위밀도의 증가도 나타난다. 이런 주상정의 재료경화는 열처리를 통하여 감소시킬 수 있다.
- [0004] 등축정(equiaxed dendrite)은 수지상정이 흩어져서 액체 중에 떠다니고, 이것이 각자 성장해 가는 경우는 완성된 후에 보면, 짧은 형태의 결정이 각각의 방향을 향하여 있는데 이를 등축정이라고 한다. 이런 등축정의 장점에는 최종 재료의 색과 형태의 지속성 유지 향상, 잉곳의 크랙 감소, 재료 균질성 향상, 재료 내 기공 감소, 기계적 가공 특성 향상, 열처리 반응 효과의 향상 등이 있다.
- [0005] 도 1은 알루미늄 합금의 고상화시 일반적으로 관찰되는 주상정과 등축정의 미세구조 및 CET 를 도시한다.
- [0006] 그림에서 보는 바와 같이, 주상정의 경우는 결정립들의 성장방향이 한 방향으로만 선택되어 발달하는 성질이 있으며 이에 따른 고온 크리프(creep) 특성이 강해 터빈 블레이드(turbin blade)와 같은 재료의 기반이 된다. 그와 반해, 등축정의 경우는 일단 결정립의 크기가 주상정의 경우에 비해 훨씬 작고 성장 방향 역시 등방적이므로 균일한 재료의 성질이 요구되는 주조품에 주로 쓰인다.
- [0007] 등축정의 활용처로는 주로 구조자재나 자동차, 항공기, 광학기계, 전기기계, 화학공업 등의 부품 재료로 광범위하게 사용되고 있다. 특히, 알루미늄 등축정의 경우는 자동차의 부품인 알루미늄 휠과 실린더, 피스톤, 브레이크 부분, 트랜스미션 부분과 오토바이의 엔진, 브라켓트 부분과 유압펌프 부품, 비행기의 부품 등 폭넓은 분야에서 그 필요성과 활용성이 증가되고 있으며, 연비 절감이나 경량화, 부품의 수명연장에 큰 장점을 보이고 있다.
- [0008] 일반적으로 주조작업에서 입자크기의 조절은 최상의 품질과 생산성, 그리고 원자절감을 위한 중요한 요소(factor)이다. 용해된 알루미늄 입자 미세화제(접종제)의 적절한 첨가는 주조합금에 균일하고 미세한 입자구조

를 만들어 내는데 중요한 이바지를 하며 원주 결정체(주상정)의 형성을 예방한다. 이와 함께 주조속도 및 공급 특성이 증가되는 부수적인 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

- [0009] 이처럼 기획하는 산업적 용도에 따른 각각의 제품은 근본적으로 해당 합금의 미세구조에 의해서 결정되므로, 이와 관련하여 합금의 고상화시 주상정에서의 등축정으로서의 천이(CET)에 관한 연구가 주의 깊게 고찰되어야 한다.
- [0010] 실제로 알루미늄(Al)합금의 CET을 실행시키기 위해서는 현재까지 접종제가 이용되어 왔다. 접종제를 사용하는 경우는 고상화시 불균일 핵생성의 확률을 크게 높일 수 있으므로 미세한 결정들이 비접종제를 쓰는 경우보다는 현실적으로 쉽게 얻어지게 된다. 하지만 이러한 접종제 합금은 가격이 상당히 높은 편이다.
- [0011] 따라서 종래 사용된 고가의 접종제 합금을 대체하여 가격이 저렴한 비접종제 Al 합금을 이용하여서도 고상화시 해당 사용자가 원하고자 하는 CET나 결정립 미세화의 실현이 요청된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0012] 따라서 본 발명에서 이루고자하는 기술적 과제는 기존에 사용되었던 고가인 접종제 합금 재료를 대체하여 가격이 저렴한 비접종제 알루미늄 합금 재료를 사용하여 고상화시 외부로부터 강제로 회전력을 동반시키는 ACRT 법에서 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 이용하여 원하고자 하는 주상정에서 등축정으로서의 천이(CET) 및 결정립 미세화를 얻기 위함에 있다.

과제 해결수단

- [0013] 상기의 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명은 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법에 관한 것으로,
- [0014] 용융상태의 비접종제 알루미늄 합금 재료의 고상화에 있어서, 고온지대와 냉각지대가 공존하며 상기 알루미늄 합금의 고상화가 이루어지는 브리지만 로(10); 상기 고온지대에 열원을 공급하는 히터; 상기 브리지만 로(10) 내부에 위치하며 알루미늄 합금 재료를 고정시켜 상하로 이동할 수 있는 시편지지대(20); 및 상기 브리지만 로(10) 아래쪽에 위치하고 상기 시편지지대(20)의 하부에 장착되며 전기모터(100)를 통해 회전 움직임이 가능하도록 구비된 ACRT 적용부(30)를 포함하여 이루어지고, 상기 시편지지대(20)에 비접종제 알루미늄 합금 재료를 고정된 후 상기 브리지만 로(10) 내에서 고상화시킬 때 외부로부터 강제로 회전력을 동반시키는 ACRT 법에서 트라페조이드 모드를 이용하여 원하고자 하는 주상정에서 등축정으로서의 천이(CET) 및 결정립 미세화를 얻는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 본 발명은 또한 상기 알루미늄 합금의 고상화를 위해서 사용된 재료는 비접종제 Al-7.0wt%Si 합금인 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한 상기 비접종제 알루미늄 모합금에 첨가 사용된 접종제는 Al-5.0wt%Ti-1.0wt%B인 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한 상기 비접종제 알루미늄 모합금에 첨가 사용된 접종제는 알루미늄 모합금에 대해 0.5wt% 비율을 함유하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한 상기 알루미늄 합금의 결정립 미세화(Grain refinement)를 위한 고상화 조건은 ACRT 이전은 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$ 이며, ACRT 이후는 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$, 회전속도(Ω)가 20 r.p.m (trapezoide)인 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한 상기 알루미늄 합금의 CET 유도를 위한 고상화 조건은 ACRT 이전은 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$ 이며, ACRT 이후는 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 300 $\mu\text{m/s}$, 회전속도(Ω)가 20 r.p.m (trapezoide)인 것을 특징으로 한다.
- [0020] 또한 상기 알루미늄 합금의 고상화 조건에서 ACRT 이후 액상은 평균 ± 5 K/cm의 온도 구배를 가지고 변화하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 또한 상기 ACRT 법 중에서 트라페조이드(Trapezoid) 모드는 시간(s)에 대한 분당 회전수(rpm)의 상관 관계가 각

각의 스텝 시간(t_1, t_2, t_3, t_4)에 대해 사다리꼴을 이루는 것을 특징으로 한다.

[0022] 또한 상기 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 사용자가 원하는 용도에 맞는 주상정 조직이나 등축정 조직을 개별적으로 얻기 위해 고상화 속도(V_p), 액체내의 온도 구배(G_L), 회전 속도(speed), 회전 방식(mode)를 포함하는 ACRT 변수(factor)를 효과적으로 조절하는 것을 특징으로 한다.

효과

[0023] 이하 본 발명에 의한 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법의 효과를 살펴보면, 본 발명은 산업상 주로 구조부품의 재료로 사용되는 알루미늄(Al) 합금에 있어서 기존의 접종제 합금에 비하여 가격이 저렴한 비접종제 알루미늄 합금 재료를 사용하여 해당 합금의 고상화시 ACRT기술을 적용시킴으로써, 해당 사용자가 원하는 용도에 맞는 CET나 결정립 미세화(Grain refinement) 등을 실현하고, 결과적으로 재료의 원가 절감 효과를 얻을 수 있도록 한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 본 발명에 의한 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT를 적용한 CET 유도 방법의 실시예를 예시도면을 참고하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0025] 도 2는 본 발명의 의한 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 브리지만 로(Bridgman furnace) 하단부에 ACRT 법을 적용한 것을 구체적으로 도시한다.

[0026] 본 발명은 가격이 비교적 저렴한 비접종제 Al합금을 이용하여서도 고상화시 ACRT테크닉 적용과 함께 우리가 원하고자 하는 CET 나 결정립 미세화 등을 실현시키고자 한다.

[0027] 이를 위해서 본 발명은 이미 존재하고 있는 ACRT라는 기술을 고상화하는 중에 사용하고자 하는 개념으로, 응고 시 외부 회전함에 의해 재료내의 자연대류가 어떻게 미세구조에 영향을 주는가를 보기 위한 발상으로 브리지만 로(Bridgman furnace) 내부에 ACRT(Accelerated Crucible Rotation Technique) 기구가 기계적으로 적용될 수 있도록 특별히 제작되었다. 즉, 브리지만 로(Bridgman furnace) 아래에 전기모터로 회전 움직임이 가능한 시스템을 시편 지지대 하부에 장착하는 것이다.

[0028] 본 발명에 의한 고상화 ACRT를 위해서 사용된 알루미늄 합금은 비접종제 Al-7.0wt%Si 이며, 이 때 접종제는 Al-5.0wt%Ti-1.0wt%B 가 사용된다.

[0029] 도 2에서 보는 바와 같이, 본 발명은 고온지대(Hot zone)와 냉각지대(Cold zone)가 공존하며 상기 알루미늄 합금의 고상화가 이루어지는 브리지만 로(10)와 상기 브리지만 로(10) 내부에 위치하며 알루미늄 합금 재료를 고정시켜 상하로 이동할 수 있는 시편지지대(20)와 및 상기 브리지만 로 아래쪽에 위치하고 상기 시편지지대(20)의 하부에 장착되며 전기모터(100)를 통해 회전 움직임이 가능하도록 구비된 ACRT 적용부(30)를 포함하여 이루어지고, 상기 시편지지대(20)에 비접종제 알루미늄 합금 재료를 고정된 후 상기 브리지만 로(10) 내에서 고상화시킬 때 외부로부터 강제로 회전력을 동반시키는 ACRT 법에서 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 이용하여 원하고자 하는 주상정에서 등축정으로의 천이(CET) 및 결정립 미세화를 얻는 것을 특징으로 한다.

[0030] 도 3은 본 발명에 있어 고상화시 적용된 ACRT 중 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 그래프로 도시한다.

[0031] 본 발명에 따르면 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT법의 적용과 함께 자연대류에 따른 과냉도의 증가/미세구조 변화가 강제적으로 시편 내에 적용된다. 즉 비접종제 Al합금을 이용하여 원하고자 하는 결정립들을 얻기 위해서 ACRT 적용처럼 시편을 회전시킬 경우, 본 발명의 효과를 내기 위한 알맞은 실험 조건들을 찾고자 한다.

[0032] 여기서 시편 내의 회전 스피드(Speed)와 회전 모드(mode), 특히 회전 모드의 경우에는 각각의 스텝들(t_1, t_2, t_3, t_4)의 시간이 아주 중요한 요소(factor)이다. 이와 함께 고상화시 액체내의 온도 구배(Thermal Gradient, GL)와 고상화 속도(Pulling rate, V_p)들도 효율적으로 고려해 주어야 한다.

- [0033] 본 발명에 따른 알루미늄 합금의 고상화시 알맞은 실험조건들에서 결정립 미세화(Grain refinement)를 위한 고상화 조건은 ACRT 이전은 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$ 이며, ACRT 이후는 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$, 회전속도(Ω)가 20 r.p.m (trapezoide)이며, 상기 실험조건들에서 CET 유도를 위한 고상화 조건은 ACRT 이전은 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 2 $\mu\text{m/s}$ 이며, ACRT 이후는 온도구배(G)가 15 K/cm, 고상화속도(V)가 300 $\mu\text{m/s}$, 회전속도(Ω)가 20 r.p.m (trapezoide)인 것이 특징이다.
- [0034] 도 3에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 의한 혁신적인 CET를 얻기 위해 고상화시 ACRT 중에서 트라페조이드(Trapezoid) 모드는 시간(s)에 대한 분당 회전수(rpm)의 상관 관계가 각각의 스텝 시간(t_1, t_2, t_3, t_4)에 대해 사다리꼴을 이루는 것을 특징으로 한다.
- [0035] 본 발명에 의한 알루미늄 합금의 고상화시 시간축과 온도 변화의 상관 관계를 보면, 일반적으로 고상화시 시간에 따라서 온도는 물론 감소한다.
- [0036] 다만 고상화시 회전이 동반되는 경우 교반에 따른 온도의 변동(fluctuation)이 일어나게 되어 국부적인 영역에서의 온도 구배는 일반적인 고상화시와 같이 일정하지 않게 변화가 있게 되며, 액상은 평균 05 K/cm의 온도 구배를 가지고 변화한다. 이런 온도 구배의 동요는 본 발명의 효과인 결정립 미세화의 좋은 요인으로 작용한다.
- [0037] 도 4a는 본 발명에 있어 비접중제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 전과 후의 종단(Longitudinal section) 미세구조를 도시한다.
- [0038] 도 4a에서 보는 바와 같이, 본 발명에 의한 Al합금의 고상화시 ACRT법, 특별히 트라페조이드(Trapezoid) 방식을 이용한 결과, 즉 ACRT 적용시의 고상화 진행이 완료된 후 보여주는 종단면(Longitudinal section) 미세구조로서 ACRT 라고 명시되어 있는 화살표 아래는 ACRT 적용 전의 경우이며, 화살표 위는 ACRT 적용 이후의 미세구조의 변화이다. 보이는 바와 같이 ACRT 적용 후 결정립(grain)들이 미세해짐을 확인할 수 있다.
- [0039] 도 4b와 도 4c는 본 발명에 있어 비접중제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 적용 전과 후의 횡단(Cross section) 미세구조를 도시한다.
- [0040] 도면에서 알 수 있는 바와 같이, 해당 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 적용 후가 적용 전에 비하여 시편의 횡단면(Cross section)에서도, 특히 가장자리 부분에서 ACRT 영향하의 미세화 결정립(Grain refinement)이 확인된다.
- [0041] 도 5a는 본 발명에 있어 ACRT 적용시 관찰되는 주상정과 등축정 결정립들의 종단면(Longitudinal section) 미세구조를 도시한다.
- [0042] 도면에서 보는 바와 같이 비접중제 알루미늄 합금에 대해 ACRT 적용시의 고상화 진행이 완료된 후 보여주는 종단면의 미세구조로서, ACRT 라고 명시되어 있는 화살표 아래는 ACRT 적용 전의 경우이며, 화살표 위는 ACRT 적용 이후의 미세구조의 변화이다. 즉, ACRT 적용 전에는 단순히 성장방향이 특정한 한 방향으로의 주상정 결정립들이 ACRT 적용 이후에는 다결정립 등축정으로 천이(Columnar to Equiaxed Transition; CET)가 명확히 보여진다.
- [0043] 도 5b는 본 발명에 있어 ACRT 적용 전에 관찰되는 주상정 결정립의 횡단(Cross section) 미세구조를 도시하며, 도 5c는 본 발명에 있어 ACRT 적용 후 관찰되는 등축정 결정립의 횡단면(Cross section) 미세구조를 도시한다.
- [0044] 도면에서 보는 바와 같이, 해당 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 적용 전에는 결정립들의 크기가 비교적 크고 그 성장방향이 한 방향인 주상정의 횡단면(Cross section) 미세구조가 보여지나, ACRT 적용 후에는 결정립의 크기가 작고 조밀하며 성장 방향 역시 등방적인 균일한 등축정의 횡단 미세구조(혹은 주상정에서 등축정으로의 천이)가 명확히 확인됨을 알 수 있다.
- [0045] 이상, 본 발명의 원리를 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 그와 같

이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용으로 한정되는 것이 아니다. 오히려, 첨부된 청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

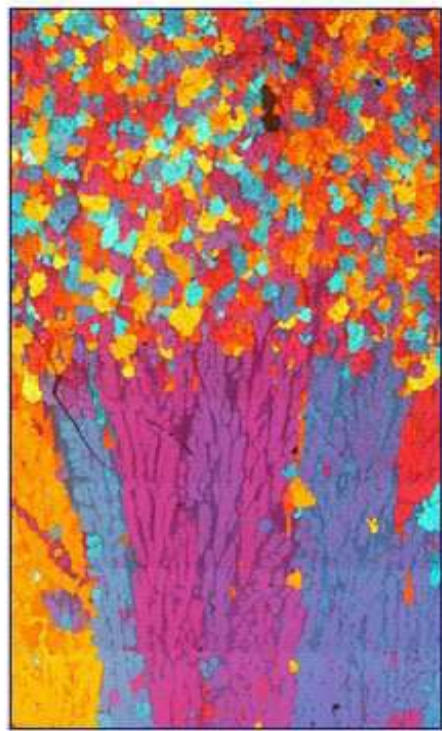
- [0046] 도 1은 알루미늄 합금의 고상화시 일반적으로 관찰되는 주상정과 등축정의 미세구조 및 CET 를 도시한다.
- [0047] 도 2는 본 발명의 의한 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 브리지만 로(Bridgman furnace) 하단부에 ACRT 법을 적용한 것을 구체적으로 도시한다.
- [0048] 도 3은 본 발명에 있어 고상화시 적용된 ACRT 중 트라페조이드(Trapezoid) 모드를 그래프로 도시한다.
- [0049] 도 4a는 본 발명에 있어 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 전과 후의 종단(Longitudinal section) 미세구조를 도시한다.
- [0050] 도 4b는 본 발명에 있어 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 적용 전의
- [0051] 횡단(Cross section) 미세구조를 도시한다.
- [0052] 도 4c는 본 발명에 있어 비접종제 알루미늄 합금의 고상화시 ACRT 적용 후의
- [0053] 횡단(Cross section) 미세구조를 도시한다.
- [0054] 도 5a는 본 발명에 있어 ACRT 적용시 관찰되는 주상정과 등축정 결정립들의 종단(Longitudinal section) 미세구조를 도시한다.
- [0055] 도 5b는 본 발명에 있어 ACRT 적용 전 관찰되는 주상정 결정립의 횡단(Cross section) 미세구조를 도시한다.
- [0056] 도 5c는 본 발명에 있어 ACRT 적용 후 관찰되는 등축정 결정립의 횡단(Cross section) 미세구조를 도시한다.
- [0057] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>
- [0058] 10. 브리지만 로
- [0059] 20. 시편지지대
- [0060] 30. ACRT 적용부
- [0061] 100. 전기모터

도면

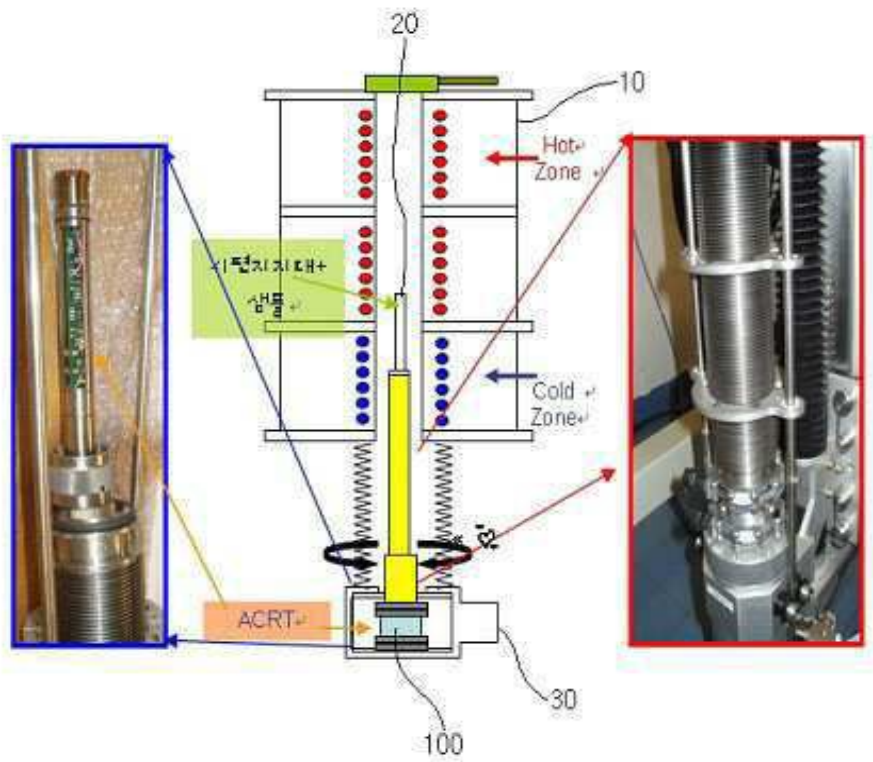
도면1

등축정:

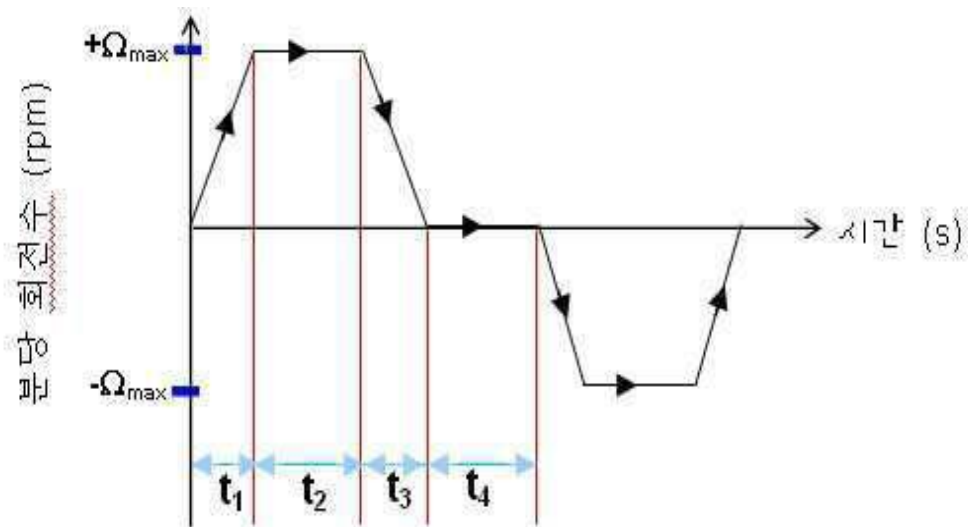
주상정:



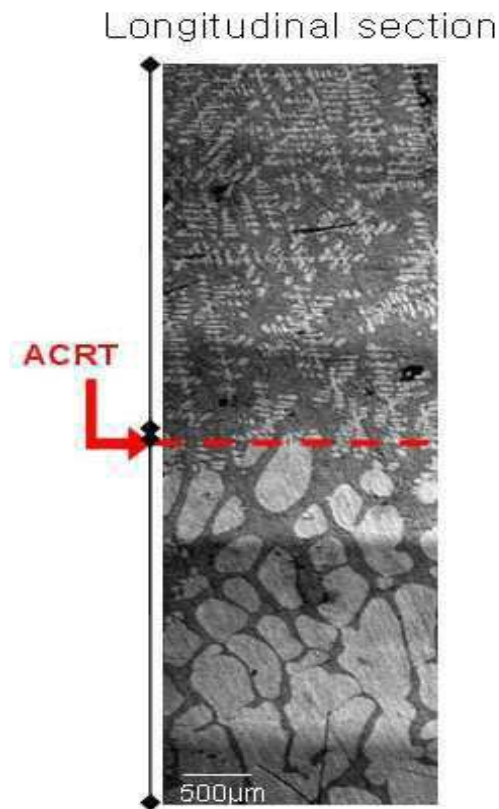
도면2



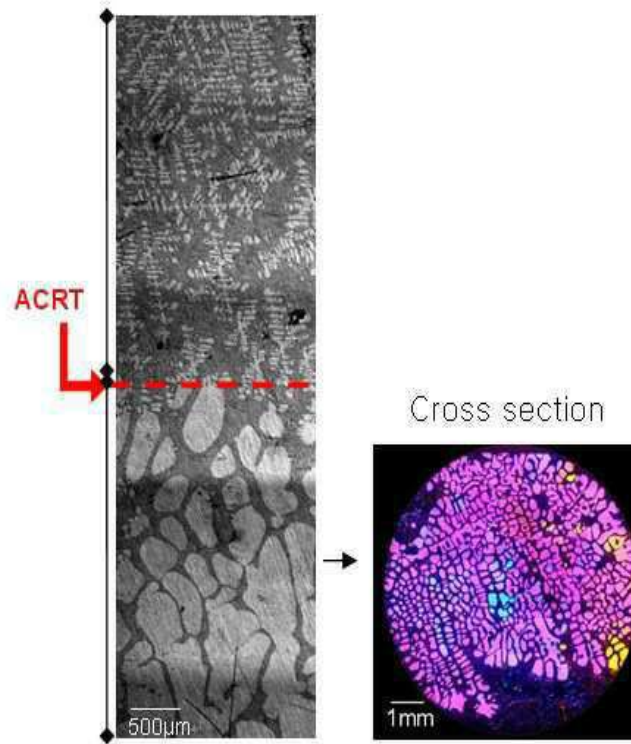
도면3



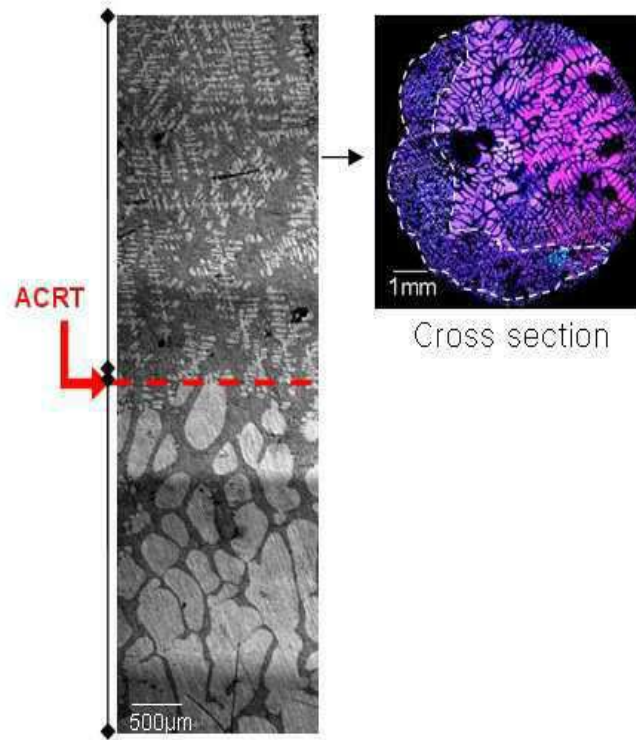
도면4a



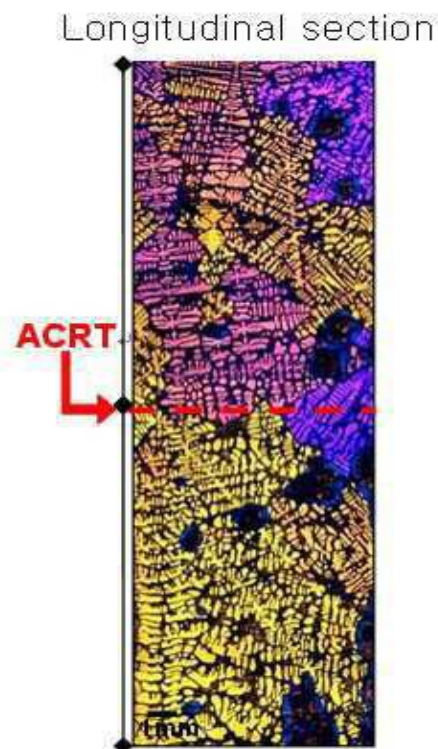
도면4b



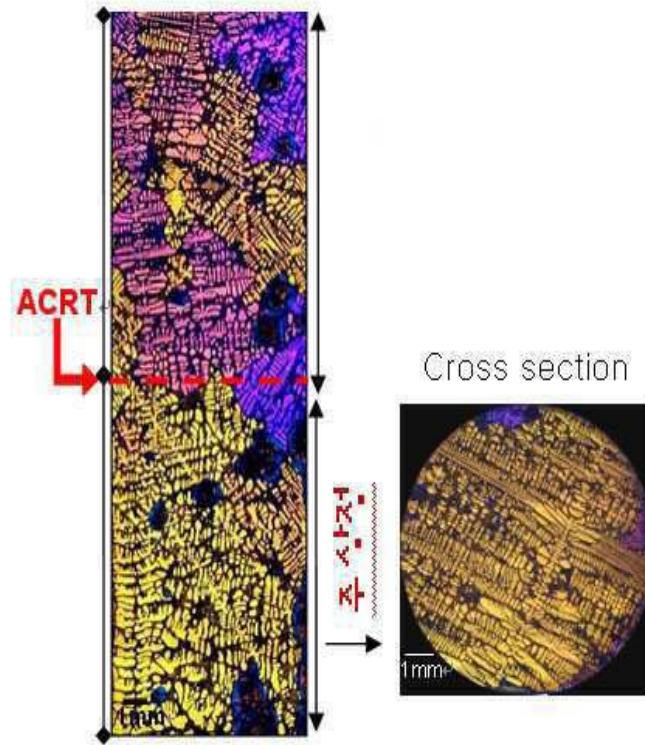
도면4c



도면5a



도면5b



도면5c

