(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0071797
(43) 공개일자 2015년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22D 1/00 (2006.01) *B22D 11/114* (2006.01)
B22D 17/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0158508
(22) 출원일자 2013년12월18일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
이정무
경남 창원시 성산구 삼정자로 79, 115동 502호 (성주동, 유니온빌리지)
윤운하
경남 창원시 성산구 외리로34번길 13, 107동 302호 (성주동, 한림푸르지오)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김남식, 이인행, 양기혁, 한윤호

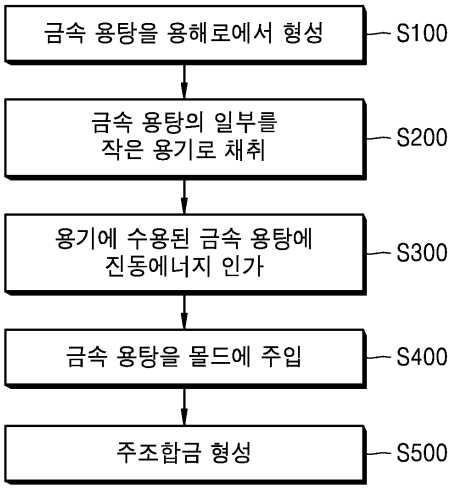
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **주조합금의 제조 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명은 고용경화, 석출경화 및/또는 인장특성이 향상된 주조합금의 제조방법에 관한 것으로서, 상기 금속의 용탕을 용해로에서 형성하는 단계, 상기 용해로에 수용된 상기 금속의 용탕 중 일부를 상기 용해로보다 용량이 작은 용기로 채취하는 단계, 상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계 및 상기 진동에너지를 인가한 상기 금속의 용탕을 몰드에 주입하고 응고시키는 단계를 포함하는 주조합금의 제조방법을 제공한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

어광준

경남 창원시 성산구 삼정자로 79, 101동 1002호 (성주동, 유니온빌리지)

조영희

경남 창원시 성산구 삼정자로 79, 112동 701호 (성주동, 유니온빌리지)

정재길

경남 창원시 성산구 용지로121번길 16, 401호 (중앙동, 삼화빌딩)

이재욱

서울 관악구 관악로6길 29, 202 (봉천동, 세영빌라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	PNK3240
부처명	산업통상자원부
연구관리전문기관	산업기술연구회
연구사업명	주요사업
연구과제명	경량금속소재의 액상기반 공정기술 개발(2/3)
기 여 율	1/1
주관기관	한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간	2013.01.01 ~ 2013.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

적어도 하나 이상의 금속을 포함하는 주조합금의 제조방법으로서,

상기 금속의 용탕을 용해로에서 형성하는 단계;

상기 용해로에 수용된 상기 금속의 용탕 중 일부를 상기 용해로보다 용량이 작은 용기로 채취하는 단계;

상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계; 및

상기 진동에너지를 인가한 상기 금속의 용탕을 몰드에 주입하고 응고시키는 단계;

를 포함하는, 주조합금의 제조방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계;는

상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 초음파 또는 펄스를 인가하는 단계;를 포함하는, 주조합금의 제조방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 금속은 알루미늄 합금을 포함하는, 주조합금의 제조방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 알루미늄 합금은 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금을 포함하는, 주조합금의 제조방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 규소(Si)는 상기 알루미늄(Al)과 과공정 조성, 공정 조성 또는 아공정 조성을 형성할 수 있는 함량을 가지는, 주조합금의 제조방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금 중에서 상기 규소(Si)는 1.65 중량% 내지 30 중량%를 구성하는, 주조합금의 제조방법.

청구항 7

제 3 항에 있어서,

상기 알루미늄 합금은 구리(Cu)를 더 포함하는 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금인, 주조합금의 제조방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 몰드는 사형 몰드, 금형 몰드 또는 다이캐스팅용 몰드를 포함하는, 주조합금의 제조방법.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 따른 상기 제조방법에 의하여 형성된, 주조합금.

청구항 10

적어도 하나 이상의 금속을 포함하는 주조합금을 제조하는 장치로서,

용해로에 수용된 금속의 용탕 중 일부를 채취하여 수용할 수 있으며, 상기 용해로보다 용량이 작은, 용기;

상기 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가할 수 있는 초음파 장치; 및

상기 용해로에서 상기 용기로 상기 금속의 용탕을 채취하고 상기 용기로부터 몰드에 상기 금속의 용탕을 주입할 수 있도록, 상기 용기의 움직임을 조절하는 제어장치;

를 구비하는, 주조합금의 제조장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 몰드는 사형 몰드, 금형 몰드 또는 다이캐스팅용 몰드를 포함하는, 주조합금의 제조장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 주조합금의 제조 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더 상세하게는 진동에너지를 용탕에 인가하는 주조합금의 제조 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 주조합금의 제조에 있어서, 합금 내부의 조직을 미세화함으로써 기계적 특성을 향상시키는 기술개발이 시도되고 있다. 이러한 주조합금 내부에 정출되는 여러 상들을 미세화함으로써 기계적 특성의 향상을 도모할 수 있다. 대표적으로, 규소를 포함하는 알루미늄 합금을 주조법으로 구현하는 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금은 주조성이 우수하여 자동차, 산업기계 등의 부품제조에 다양하게 사용되고 있다. 지금까지 알려진 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 기계적 특성을 향상시키는 방법은 응고속도를 제어하여 조직을 미세화시키는 방법이나 응고 후에 열처리 공정을 통하여 미세조직을 제어하는 방법 등이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 그러나, 주조합금의 인장강도나 항복강도를 포함하는 기계적 특성을 더욱 개선시키기 위한 연구들은 계속 시도되고 있다. 본 발명은 주조합금의 강도를 더욱 증가시킬 수 있는 제조 방법 및 장치를 효과적으로 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명의 일 관점에 의한 적어도 하나 이상의 금속을 포함하는 주조합금의 제조방법이 제공된다. 상기 주조합금의 제조방법은 상기 금속의 용탕을 용해로에서 형성하는 단계, 상기 용해로에 수용된 상기 금속의 용탕 중 일부를 상기 용해로보다 용량이 작은 용기로 채취하는 단계, 상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계 및 상기 진동에너지를 인가한 상기 금속의 용탕을 몰드에 주입하고 응고시키는 단계를 포함한다.

[0005] 상기 주조합금의 제조방법에서, 상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계는 상기 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 초음파 또는 펄스를 인가하는 단계를 포함할 수 있다.

[0006] 상기 주조합금의 제조방법에서, 상기 금속은 알루미늄 합금을 포함할 수 있으며, 예를 들어, Al-Si계 주조용 알

루미늄 합금을 포함할 수 있다. 상기 규소(Si)는 상기 알루미늄(Al)과 과공정 조성, 공정 조성 또는 아공정 조성을 형성할 수 있는 함량을 가질 수 있으며, 예를 들어, 상기 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금 중에서 상기 규소(Si)는 1.65 중량% 내지 30 중량%를 구성할 수 있다.

[0007] 상기 주조합금의 제조방법에서, 상기 금속은 구리(Cu)를 더 함유하는 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금을 포함할 수 있다.

[0008] 상기 주조합금의 제조방법에서, 상기 몰드는 사형 몰드, 금형 몰드 또는 다이캐스팅용 몰드를 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명의 다른 관점에 의한 주조합금이 제공된다. 상기 주조합금은 상술한 제조방법에 의하여 구현된다.

[0010] 본 발명의 또 다른 관점에 의한 주조합금의 제조장치가 제공된다. 상기 주조합금의 제조장치는 적어도 하나 이상의 금속을 포함하는 주조합금을 제조하는 장치로서, 용해로에 수용된 금속의 용탕 중 일부를 채취하여 수용할 수 있으며, 상기 용해로보다 용량이 작은, 용기; 상기 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가할 수 있는 초음파 장치; 및 상기 용해로에서 상기 용기로 상기 금속의 용탕을 채취하고 상기 용기로부터 몰드에 상기 금속의 용탕을 주입할 수 있도록, 상기 용기의 움직임을 조절하는 제어장치;를 구비한다.

발명의 효과

[0011] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 실시예들에 따르면, 주조합금의 용탕에 진동 에너지를 효과적으로 인가함으로써, 고용경화, 석출경화 및/또는 인장특성이 향상된 주조합금을 제공할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 주조합금의 제조방법을 나타내는 순서도이다.

도 2 내지 도 5는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 주조합금의 제조방법을 도해하는 도면들이다.

도 6은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 주조합금의 제조장치 및 이에 의한 제조공정을 도해하는 도면이다.

도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법을 설명하기 위한 알루미늄-규소의 상태도를 도해하는 도면들이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법에서 용체화처리하고 시효경화하는 구성을 개념적으로 도해하는 도면이다.

도 9a는 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 처리를 수행하였을 때 구리를 포함하는 알루미늄 합금의 전기저항을 나타내는 그래프이다.

도 9b는 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 처리를 수행하였을 때 구리를 포함하는 알루미늄 합금의 미소경도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에서 초음파 처리 유무에 따른 고주기 피로 특성을 나타내는 그래프이다.

도 11a는 본 발명의 비교예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진이다.

도 11b는 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 시효석출물을 분석한 사진이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 과공정 알루미늄-규소 주조합금의 제조방법에서 초음파 처리를 한 후에 유지시간에 따른 초정 규소의 크기를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 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 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하

게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 또한, 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장된 것이다.

[0014] 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 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. 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 형태를 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.

[0015] 도면들에 있어서, 예를 들면, 제조 기술 및/또는 공차(tolerance)에 따라, 도시된 형상의 변형들이 예상될 수 있다. 따라서, 본 발명 사상의 실시예는 본 명세서에 도시된 영역의 특정 형상에 제한된 것으로 해석되어서는 아니 되며, 예를 들면 제조상 초래되는 형상의 변화를 포함하여야 한다.

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 주조합금의 제조방법을 나타내는 순서도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 제조방법에서 대용량의 용해로에 수용된 금속의 용탕 중 일부를 용해로보다 용량이 작은 용기로 채취하는 단계를 도해하는 도면이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 제조방법에서 작은 용기에 수용된 상기 금속의 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계를 도해하는 도면이고, 도 4a 및 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 제조방법에서 진동에너지를 인가한 금속의 용탕을 다이캐스팅용 몰드에 주입하고 응고시키는 단계를 도해하는 도면이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 제조방법에서 진동에너지를 인가한 금속의 용탕을 사형 몰드에 주입하고 응고시키는 단계를 도해하는 도면이다.

[0017] 도 1 내지 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시예들에 따른 주조합금의 제조방법은 적어도 하나 이상의 금속을 포함하는 주조합금의 제조방법으로서, 상기 금속의 용탕(200)을 용해로(120)에서 형성하는 단계(S100), 용해로(120)에 수용된 상기 금속의 용탕(200) 중 일부를 용해로(120)보다 용량이 작은 용기(140)로 채취하는 단계(S200), 상기 작은 용기(140)에 수용된 상기 금속의 용탕(200)에 진동에너지를 인가하는 단계(S300) 및 상기 진동에너지를 인가한 상기 금속의 용탕(200)을 몰드(50, 60)에 주입하고 응고시키는 단계(S400, S500)를 포함한다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에서 진동에너지를 인가하기 위하여 초음파 혹은 펄스 형태의 파동 등이 인가될 수 있으나, 이에 한정되지 않으며 어떠한 형태의 진동에너지도 인가될 수 있음은 물론이다.

[0019] 도 2 및 도 3을 참조하면, 용해로(120)에 수용된 대용량의 금속의 용탕(200) 중 일부가 채취되어 용해로(120)보다 용량이 작은 용기(140)에 수용된다. 용기(140)는 몰드(50, 60)에 금속의 용탕(200)을 직접 주입할 때 이용된다. 도면에 도시된 용기(140)의 크기, 형상 및 모양은 예시적이며 이에 의하여 본 발명의 기술적 사상이 제한되지 않는다.

[0020] 초음파나 펄스와 같은 진동에너지를 용해로(120)에 수용된 대용량의 용탕(200)에 직접 인가하는 경우, 진동에너지 인가의 효과가 대용량의 용탕(200)에 골고루 미치는 것이 어려운 문제점이 발생할 수 있다. 예를 들어, 초음파와 같은 진동에너지를 대용량의 금속의 용탕(200)에 직접 인가하는 경우에는 초음파의 투과 깊이가 작아 초음파의 효과를 충분히 구현할 수 없게 된다. 이를 위하여 대용량의 금속의 용탕(200)을 수용하는 용해로(120)의 측벽에 복수의 초음파 처리 장치를 배치할 수 있으나, 용해로(120)의 측벽을 구성하는 재질을 통과하는 과정에서 초음파가 상쇄되어 정작 대용량의 용탕(200)에 인가되는 초음파 처리 효과가 미미할 수 있다. 이는 몰드(50, 60)의 외벽에 초음파 장치를 설치하는 경우에도 마찬가지이다.

[0021] 발명자는 진동에너지 인가의 효과를 극대화하기 위하여 용해로(120)에 수용된 대용량의 금속의 용탕(200)에 진동에너지를 인가하는 것이 아니라, 상술한 작은 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)에 진동에너지를 인가한 후에 몰드(50, 60)에 진동에너지가 인가된 용탕(200)을 주입하는 방법을 제안한다. 이러한 방법은, 예를 들어, 대용량의 용탕을 준비한 후에, 예를 들어, 로봇팔 등을 이용하여, 소량의 용탕을 몰드에 주입하여 주조품을 제조하는 금형주조법이나 다이캐스팅법에 더욱 효과적일 수 있다. 도 2 내지 도 5에서 구체적으로 도시하지 않았지만, 상기 로봇팔이 용기(140)의 일측에 연결되어 용기(140)의 움직임을 제어할 수도 있다.

[0022] 구체적으로, 초음파 장치(150)에 연결된 혼(155, horn)을 상술한 작은 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)에 투입하고 초음파를 인가할 수 있다. 초음파 장치(150)에서 발생되는 초음파의 조건은 상술한 작은 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)의 용량에 따라 적절하게 조절될 수 있다. 예를 들어, 상기 초음파는 17 kHz 내지 23

kHz 범위의 주파수 및 0.5 kW 내지 5 kW 범위의 출력을 가질 수 있다. 그러나, 상술한 주파수와 출력의 수치적 범위는 예시적이며 이에 의하여 본 발명의 기술적 사상이 제한되지는 않는다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 제조방법은 필요한 주조형상에 완전히 일치하도록 정확하게 기계가공된 강제(鋼製)의 금형(金型)에 용융된 금속을 주입하여 금형과 똑같은 주물을 얻는 정밀주조법인 다이캐스팅에 적용될 수 있다.

[0024] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 작은 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)에 진동에너지를 인가한 후에 용기(140)로부터 다이캐스팅용 몰드(50)로 용탕(200)을 주입할 수 있다. 다이캐스팅용 몰드(50)는 용탕(200)이 주입되어 성형품이 성형되는 성형공간(54)이 내부에 배치되며, 용탕(200)을 주입하기 위해 성형공간(54)에 연결되며 용탕(200)이 공급되는 슬리브(sleeve)(52)와, 슬리브(52)에 공급된 용탕(200)을 가압하여 용탕(200)이 성형공간(54)에 주입되게 하는 플런저(plunger)(53)가 제공된다. 슬리브(52)는 상측에 용기(140)를 통해 용탕(200)을 공급받을 수 있도록 용탕 공급구(51)가 형성된다. 즉 슬리브(52)에 공급되는 용탕(200)은 슬리브(52)의 하측부터 채워진다. 도 4a에 도시된 바와 같이 플런저(53)가 다이캐스팅용 몰드(50)의 후방에 물러나 있는 상태에서 용기(140)로부터 슬리브(52)에 용탕(200)이 공급된다. 용탕(200) 공급 후, 도 4b에 도시된 바와 같이 플런저(53)가 전방을 향해 이동되면, 슬리브(52)에 공급된 용탕(200)이 플런저(53)에 의해 가압되면서 성형공간(54)에 주입된다. 성형공간(54)에 용탕(200)이 주입된 상태에서 용탕(200)이 응고됨으로써, 성형품의 성형이 이루어진다.

[0025] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 주조합금의 제조방법은 사형(砂型) 주조에 적용될 수도 있다.

[0026] 도 5를 참조하면, 작은 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)에 진동에너지를 인가한 후에 용기(140)로부터 사형 몰드(60)로 용탕(200)을 주입할 수 있다. 용탕(200)은 스프루(61, sprue)에서 런너(62, runner)로 흘러 들어가고, 게이트(64, gate)라는 입구부를 통해 형상의 빈 공간을 이루는 부분으로 들어간다. 라이저(63, riser)는 주조형상이 냉각되어 수축할 때 공급할 액체 상태의 금속의 작은 저장고이다. 코어(65, core)는 실린더의 구멍과 같이 공간을 형성하기 위해 주형 안에 배치할 수 있다. 폐쇄 주형 주조는 코프(66, cope)나 드래그(67, drag)의 반쪽에 사용되고, 플라스크(68, flask)로 밀봉된다. 주형은 주조형상을 꺼내기 위하여 파괴한다. 분리선(parting line)은 두 주형의 반쪽이 만나는 곳에 위치한다.

[0027] 도 6은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 주조합금의 제조장치 및 이에 의한 제조공정을 도해하는 도면이다. 도 6을 참조하면, 본 발명의 또 다른 관점에 의한 주조합금의 제조장치(190)가 제공된다. 주조합금의 제조장치(190)는 적어도 하나 이상의 금속을 포함하는 주조합금을 제조하는 장치로서, 용해로(120)에 수용된 금속의 용탕(200) 중 일부를 채취하여 수용할 수 있으며, 용해로(120)보다 용량이 작은, 용기(140); 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)에 진동에너지를 인가할 수 있는 초음파 장치(150); 및 용해로(120)에서 용기(140)로 금속의 용탕(200)을 채취하고 용기(140)로부터 몰드(70)에 금속의 용탕(200)을 주입할 수 있도록, 용기(140)의 움직임을 조절하는 제어장치(110);를 구비할 수 있다.

[0028] 제어장치(110)는, 용기(140)의 각도를 조절하거나 용기(140)를 이동시킴으로써, 용해로(120)에서 용기(140)로 금속의 용탕(200)을 채취할 수 있도록 제어할 수 있으며 용기(140)로부터 몰드(70)에 금속의 용탕(200)을 주입할 수 있도록 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어장치(110)는 용기(140)의 움직임을 제어할 수 있도록 구성된 로봇(110a)을 포함할 수 있다. 로봇(110a)은 용기(140)의 일측에 연결된 로봇팔을 구비할 수 있다. 한편, 제어장치(110)는 지상에 고정될 수 있으나 필요에 따라서는 지상에 고정되지 않고 이동할 수도 있다.

[0029] 초음파 장치(150)는 일단에 배치된 혼(155, horn)을 포함할 수 있으며, 혼(155)을 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)에 투입하고 초음파를 인가할 수 있다. 초음파 장치(150)에서 발생되는 초음파의 조건은 상술한 작은 용기(140)에 수용된 금속의 용탕(200)의 용량에 따라 적절하게 조절될 수 있다. 예를 들어, 상기 초음파는 17 kHz 내지 23 kHz 범위의 주파수 및 0.5 kW 내지 5 kW 범위의 출력을 가질 수 있다. 그러나, 상술한 주파수와 출력의 수치적 범위는 예시적이며 이에 의하여 본 발명의 기술적 사상이 제한되지는 않는다.

[0030] 몰드(70)는 내부에 성형공간(70b)을 포함하는 주형(70a)을 구비한다. 몰드(70)는, 예를 들어, 사형 몰드, 금형 몰드 또는 다이캐스팅용 몰드를 포함할 수 있는바, 구체적으로는, 상술한 다이캐스팅용 몰드(50)나 사형 몰드(60)를 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명의 또 다른 관점에 의한 주조합금의 제조장치는, 상술한 장치(190) 외에 용해로(120) 및/또는 몰드(70)를 더 구비할 수도 있다.

[0032] 이하에서는 상술한 제조방법을 구체적으로 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에 적용하는 경우를 예시적으로 설명한다. 그러나 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 미세화 처리 및 강도개선을 목적으로 초음파 처리를 수행할 수 있는 다른 금속 혹은 합금에도 적용할 수 있음은 명백하다.

[0033] 도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법을 설명하기 위한 알루미늄-규소의 상태도를 도해하는 도면들이고, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법에서 용체화처리하고 시효경화하는 구성을 개념적으로 도해하는 도면이다.

[0034] 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법은 알루미늄(Al)과 규소(Si)를 포함하고, 구리(Cu)를 더 포함하는, 알루미늄 합금 용탕을 용해로에서 형성하는 단계; 상기 용해로에 수용된 상기 알루미늄 합금 용탕 중 일부를 상기 용해로보다 용량이 작은 용기로 채취하는 단계; 상기 작은 용기에 수용된 상기 알루미늄 합금 용탕에 진동에너지를 인가하는 단계; 및 상기 진동에너지를 인가한 상기 알루미늄 합금 용탕을 응고시키는 단계;를 포함한다. 나아가, 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법은, 상기 알루미늄 합금 용탕을 응고시켜 형성한 주조상태 그대로의 생주물(as-cast)을 용체화 처리(solution treatment)하는 단계; 및 용체화 처리한 상기 생주물을 시효 경화하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0035] 일반적으로 알루미늄에 규소가 1.65% 이상 첨가된 Al-Si계 알루미늄 합금은 주조성이 우수하여 자동차, 산업기계 등의 부품제조에 다양하게 사용되고 있다. 이러한 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 기계적 특성을 향상시키기 위하여, 응고속도를 제어하여 조직을 미세화시키는 방법이나 응고 후에 열처리 공정을 통하여 미세조직을 제어하는 방법 이외에, 본 발명의 발명자들은 응고 전에 액상 상태의 합금 용탕에서 합금의 미세조직적 특성을 제어하는 방법을 제안한다. 이를 위하여, 본 발명에서는 Al-Si계 합금에 0.5 중량% 이상의 구리가 첨가된 Al-Si-Cu계 합금의 용탕에 진동에너지를 인가하는 방법을 이용하였다. 본 발명에서 진동에너지를 인가하기 위하여 초음파 혹은 펄스 형태의 파동 등이 인가될 수 있으나, 이에 한정되지 않으며 어떠한 형태의 진동에너지도 인가될 수 있음은 물론이다.

[0036] 용탕에 진동에너지를 인가하는 이러한 방법은 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에서 규소의 함량이 12.6 중량% 이하인 아공정 조성, 규소의 함량이 12.6 중량% 부근인 공정 조성, 규소의 함량이 12.6 중량% 이상인 과공정 조성인 경우에 모두 적용될 수 있음을 확인하였다(도 7a 및 도 7b 참조). 한편, 아공정 조성인 경우에서도 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 주조성을 위하여 규소의 함량은 1.65 중량% 이상인 것이 바람직하며, 과공정 조성인 경우에서도 응고수축, 연신율 등의 기계적 특성을 위하여 30 중량% 이하인 것이 바람직하다. 한편, 상기 아공정 조성과 상기 과공정 조성의 경계를 이루는 공정 조성은 합금에 추가로 더 첨가되는 합금원소(예를 들어, 마그네슘, 구리, 철)의 종류에 따라서 변동될 수도 있다.

[0037] 인가된 진동에너지는 다음의 두 가지 효과를 발현하는 것으로 설명할 수 있다. 첫째, Al-Si-Cu계 합금의 용탕에는 Al-Al, Al-Si, Si-Si, Al-Cu 등의 본드(bond)들이 존재할 수 있는데, 강한 진동을 부여함으로써 이러한 본드들의 결합력에 영향을 주어 오더링(ordering)을 감소시키며 이러한 효과로 알루미늄 기지 내부에 구리의 고용도가 증가될 수 있다. 둘째, 진동에너지는 용탕의 내부에 국부적인 압력을 증가시키는 효과를 가지며, 용탕의 압력 증가로 알루미늄 기지 내부에 구리의 고용도가 증가될 수 있다.

[0038] 본 발명자는, 상기 조성의 합금 용탕을 진동에너지를 인가하지 않는 통상적인 방법으로 주조한 경우와 비교할 때, 상기 조성의 합금 용탕에 진동에너지를 인가하여 주조한 경우, 주조상태에서 고용강화 효과가 증가하여 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 기계적 특성이 향상됨을 확인하였다.

[0039] 또한, 상기 주조상태의 소재를 열처리(용체화/시효처리)하는 경우에도, 초기 고용량이 높기 때문에 구리를 포함하는 석출물에 의하여 석출경화 효과가 증가하여 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 기계적 특성이 향상됨을 확인하였다.

[0040] 본 발명의 실시예들에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에서 구리는 0.5 중량% 내지 15 중량%를 구성하며, 엄격하게는, 1.5 중량% 내지 5.0 중량%를 구성할 수 있다.

[0041] 한편, 본 발명의 변형된 실시예에 의하면, Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에서 요구되는 특성에 따라 다양한 합금원소를 용탕에 첨가하여 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 특성을 변화시킬 수 있다. 예를 들어, Al-Si 합금 용탕에 마그네슘, 아연, 망간, 크롬, 니켈, 티타늄, 바나듐, 지르코늄, 철, 주석, 코발트 및 리튬으로 이루어진

군에서 선택된 적어도 어느 하나 이상을 더 첨가할 수 있다.

[0042] 한편, 본 발명의 변형된 다른 실시예에 의하면, Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에서 요구되는 특성에 따라 용탕에 세라믹 입자를 첨가하여 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 특성을 변화시킬 수 있다. 이 경우, 세라믹 입자가 첨가된 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금은 알루미늄 합금 복합재료로 이해될 수 있다. 예를 들어, Al-Si 합금 용탕에 SiC, Al_2O_3 및/또는 B_4C 등의 세라믹 입자를 첨가할 수 있다.

[0043] 상술한 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금이나 알루미늄 합금 복합재료는 금형, 사형, 다이캐스팅, 원심주조 등의 임의의 모든 주조방법으로 구현될 수 있다.

[0044] 한편, 본 발명의 실시예들에서는 주조합금의 용탕에 초음파를 적용하는 구성을 채용하고 있는바, 주조합금의 용탕에 초음파를 적용할 경우의 효과에 대한 이해를 돕기 위해서 상술한 기술적 사상을 적용한 실험예들(실험예 1 내지 실험예4)을 설명한다. 또한, 과공정 알루미늄-규소 주조합금의 제조방법에서 초음파 처리를 한 후에 유지시간을 이해하기 위하여 상술한 기술적 사상을 적용한 실험예(실험예 5)를 설명한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실험예들에 의해서 한정되는 것은 아니다.

[0045] 실험예1

[0046] 실험예1은 Al-Cu 이원계 합금을 통한 기초 시험으로서, 초음파 처리(UST ; Ultrasonic treatment)에 따라 합금원소인 구리의 고용량의 증가 가능성을 확인하고자 하였다. 이를 위하여, 표 1에 개시된 Al-Cu 조성의 이원계 합금을 사용하였다.

표 1

[0047]

조성(wt.%)					
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti
0.089	0.08	3.93	0.001	0.004	0.041

[0048] 실험방법은 합금 1kg를 전기저항로에서 완전히 용해한 후 초음파 장치를 이용하여 초음파 처리를 하였다. 초음파 처리 조건은 약 19.0kHz의 주파수와 약 1kW의 출력으로 1분동안 주파수를 용탕에 인가하였다. 초음파 처리시 용탕온도를 다양하게 설정하여 시험하였다. 초음파 처리중에 용탕온도는 약 30℃ 내지 40℃ 감소하였으며, 초음파 처리후 200℃로 가열된 금형 몰드에 주입하여 주조하였다.

[0049] 도 9a는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 초음파 처리를 수행하였을 때 구리를 포함하는 알루미늄 합금의 전기저항을 나타내는 그래프이고, 도 9b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 초음파 처리를 수행하였을 때 구리를 포함하는 알루미늄 합금의 미소경도 변화를 나타내는 그래프이다. 도 9a 및 도 9b에 표시된 온도는 초음파 처리 후 금형 몰드에 주입할 때의 온도를 기준으로 하였다. 비교를 위하여 초음파 처리를 하지 않은 시편도 동일한 합금으로 동일방법으로 제조하였으며, 용탕온도 700℃에서 용해한 후 동일한 금형 몰드에 주조하였다.

[0050] 도 9a를 참조하면, 초음파 처리를 하지 않은 경우에 비하여 초음파 처리를 실시하면 전기저항값이 증가하며, 초음파 처리를 실시하는 온도가 증가함에 따라서도 전기저항값이 증가하였다. 이는 Al 내부로 Cu의 고용도가 증가함에 따라 기지의 격자왜가 증가함에 기인한다. 한편, 초음파 처리 온도가 증가함에 따라 고용량이 더 증가할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0051] 도 9b를 참조하면, 전기저항값의 변화와 동일하게 Al 기지의 미소 경도값도 증가함을 알 수 있는데, Cu의 고용량이 증가했다는 것을 의미하는 것으로 판단할 수 있다.

[0052] 실험예2

[0053] 실험예2는 본 발명의 일 실시예를 구현한 실험예로서, 구체적으로, 과공정 Al-Si합금인 A390합금(Al-17.95%Si-4.22%Cu)에 적용하였다. 실험예2에서는 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법이, 예를 들어, 도 7b에 도시된 F-G-H-I 선을 따라 수행될 수 있다.

[0054] 1. 제조 방법

[0055] 초음파 처리한 소재는 17.95wt%의 Si과 4.2wt%의 Cu를 함유한 상용 A390 합금(과공정 합금)을 사용하였다. 구체적으로, 상기 과공정 합금의 조성은 표 2에 표시하였다.

표 2

[0056]

alloy	조성 (wt.%)					
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti
A390	17.95	0.25	4.22	0.02	0.50	0.093

[0057] 실험방법은 A390합금 1kg를 전기저항로에서 용해온도 약 790℃로 완전히 용해한 후에, 초음파 장치를 이용하여 초음파 처리를 수행하였다. 초음파 처리의 조건으로는 19.0kHz 부근의 주파수로 약 1kW의 출력을 사용하였으며 1분동안 초음파를 용탕에 인가하였다. 초음파 처리시 용탕온도는 790℃에서 750℃로 다소 감소하였다. 초음파 처리후 200℃로 가열된 금형 몰드에 용탕을 주입하여 주조하였다.

[0058] 본 발명의 실험예2에 따른 과공정 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법은 알루미늄과 과공정 조성을 형성할 수 있는 함량의 규소를 포함하고, 구리를 더 포함하는, 과공정 알루미늄-규소 합금 용탕을 제공하는 제 1 단계; 상기 알루미늄-규소 합금 용탕에 초음파 처리를 수행하는 제 2 단계; 및 상기 초음파 처리를 수행한 상기 알루미늄-규소 합금 용탕을 응고시키는 제 3 단계;를 포함한다. 이들 단계들은, 예를 들어, 도 2b에서 도시된 F-G-H-I 선을 따라 수행될 수 있으며, 이하에서 이를 설명한다.

[0059] 도 7a 및 도 7b를 참조하면, 알루미늄-규소 합금 용탕의 온도가 F점에서 점점 냉각되어 G점에 도달하게 되면 초정 규소(primary Si)가 최초로 정출된다. 계속하여, G점에서 H점까지, 즉, 공정 온도(예를 들어, 도면에 도시된 577℃)까지, 점점 냉각되는 동안 초정 규소의 비율은 점점 커지고 용탕의 비율은 점점 작아진다. G점에서 H점까지 용탕의 조성은 G-E라인을 따르게 된다. 알루미늄 합금 용탕이 H점(공정 온도)에 도달하게 되면, 공정 반응(eutectic reaction)이 일어나서 잔존하던 액상의 용탕에서는 규소가 알루미늄에 고용된 형태인 α-Al 고용체와 순수한 규소가 동시에 정출된다. 물론, 용탕에 추가로 더 첨가되는 합금원소(예를 들어, 마그네슘, 구리, 철)와 용탕의 분위기에 따라서 상기 순수한 규소는 고용체 형태를 가질 수도 있다. 여기에서 상기 순수한 규소는 공정 규소(eutectic Si)로 이해될 수 있다. H점에서 I점까지 점점 냉각되는 동안 순수한 규소의 비율은 점점 커지고 규소가 알루미늄에 고용된 형태인 α-Al 고용체의 비율은 점점 작아진다.

[0060] 실험예2에서 상기 알루미늄 합금 용탕에 초음파 처리를 수행하는 제 2 단계는 용탕이 존재하는 구간에서 수행하였다. 예를 들어, 상기 초음파 처리는 상기 용탕에서 초정 규소가 최초로 정출될 때까지만 수행하였다(F-G 구간).

[0061] 하지만, 변형된 실시예에서는, 상기 초음파 처리가 상기 용탕이 공정 온도에 도달할 때까지 수행될 수도 있다(F-G-H 구간). 또한, 변형된 다른 실시예에서는, 상기 초음파 처리가 상기 용탕에서 초정 규소가 최초로 정출될 때부터 상기 용탕에서 공정 규소가 나타날 때까지 수행될 수도 있다(G-H 구간).

[0062] 상기 초음파 처리를 수행한 상기 알루미늄 합금 용탕을 응고시키는 제 3 단계는 H-I 구간을 포함하며, 초정 규소를 둘러싸는 공정 조직으로 구성되는 알루미늄-규소 주조합금이 구현될 수 있다. 상기 공정 조직은 규소가 알루미늄에 고용된 형태인 α-Al 고용체;와 순수한 규소;가 동시에 정출되고 성장된 조직이다.

[0063] 본 발명자는 상기 초음파 처리를 수행함으로써 상기 주조합금에서 구현되는 초정 규소를 더 미세화할 수 있음을 확인하였다. 초정 규소가 조대화되면 알루미늄-규소 주조합금이 취화되고 입계에서 매우 취약한 여러 문제점들이 발생하게 되는데, 상기 초음파 처리를 수행함으로써 효과적으로 초정 규소를 미세화할 수 있다.

[0064] 한편, 비교를 위하여 동일한 합금을 초음파 처리를 하지 않고 통상적인 방법으로 제조하였다. 구체적으로, 동일한 조성의 합금 5kg을 전기저항로를 사용하여 720℃로 용해 후 용탕의 수소가스를 제거하기 위하여 탈가스 처리를 실시하고, 탈가스 처리 후 15분간 진정시킨 후 금형 몰드에 주입하였다.

[0065] 2. 특성 평가

[0066] (1) 열처리

[0067] 먼저, 상술한 제조방법에 의하여 주조한 상태의 주물에 대하여 표 3과 같은 열처리를 수행하였다.

표 3

[0068]

열처리	열처리 조건
F	주조상태 그대로
T6	용체화처리 495℃/8hrs → 수냉 quenching (to 60-80℃) → 시효처리 175℃/8hrs
T7	용체화처리 495℃/8hrs → 수냉 quenching (to 60-80℃) → 시효처리 230℃/4hrs

[0069] 도 8의 (a)를 참조하면, 상기 초음파 처리를 수행한 알루미늄 합금 용탕을 응고시켜 형성한 주조 상태 그대로인 생주물(as-cast)이 도시된다. 상기 생주물은 별도의 기계 가공이나 열처리를 하지 않고 주조한 그대로의 주물로서 애즈-캐스트(as-cast)로 명명될 수 있으며, 도 7b에서 H-I 라인을 따라 냉각시켜 주조한 주물을 의미할 수 있다. 알루미늄-규소 합금 용탕에 첨가된 구리 등은 상기 생주물에서 알루미늄 기지(320) 내에 고용되어 고용강화의 효과를 발현하여 강도 향상에 기여할 수 있다. 또한, 상기 합금 용탕에 첨가된 규소, 구리 등은 알루미늄과 함께 서로 반응하여 상기 생주물에서 다양한 형태의 이차상(330)으로 존재하여 분산강화의 효과를 발현하여 강도 향상에 기여할 수도 있다.

[0070] 상기 고용강화는, 어떤 금속에 용해된 다른 금속의 작용이다. 용질 원자와 전위의 움직임과의 상호작용의 결과로서 용질 원자의 첨가는 결정질 재료의 항복강도를 증가시킨다. 고용체는 치환형 고용체와 침입형 고용체가 있다. 치환형 고용체에서 용매 원자와 용질 원자의 크기는 대략 같으며 용질 원자는 결정 격자의 격자점을 점유하게 된다. 용매 원자와 용질 원자의 다른 크기 때문에, 결정 격자의 규칙도를 흩트리며, 전위는 이렇게 왜곡된 격자를 쉽게 지나갈 수 없다. 전위가 다시 움직이기 위해서는 더 높은 응력이나 온도가 필요하게 된다. 침입형 고용체에서 용질 원자는 용매 원자보다 훨씬 작으며 용질 원자는 용매 격자의 격자간 위치를 점유한다. 침입형 원자가 전위의 이동을 방해하며 전위가 이동하려면 더욱 큰 응력과 열적 에너지가 필요하게 된다.

[0071] 상기 분산강화는, 연한 기지에 미세하게 분산된 이차상 입자에 의하여 합금이 강화되는 것을 의미한다. 일반적으로 금속은 기지에 미세하게 분산된 불용성의 이차상에 의해 효과적으로 강화될 수 있다. 이 때 분산된 이차상이 어떤 방법에 의해 도입되었는가에 따라 석출경화와 분산강화로 구별할 수 있다. 석출경화란 이차상이 과포화된 고용체로부터 석출에 의해서 형성되는 경우의 강화현상이며, 분산강화란 이차상이 고용체로부터 석출이 아닌 다른 과정(예를 들어, 분말야금법이나 내부산화법)에 의해 형성되는 경우의 강화현상이다. 석출경화가 일어나기 위해서는 온도에 따른 고용도의 차이가 있어야 한다.

[0072] 구리를 포함하는 과공정 알루미늄-규소 주조합금은 고용강화나 분산강화에 비하여 석출경화에 의하여 강도가 증가되는 것이 가장 효과적으로 알려져 있으므로, 이러한 석출경화 효과를 극대화시키기 위해서는 알루미늄 기지로의 고용량을 증가시키는 것이 필요하다. 본 발명자는 구리를 포함하는 과공정 알루미늄-규소 용탕에 초음파을 인가함으로써 구리 원소가 고온에서도 알루미늄-규소 주조합금의 알루미늄 기지에 다량 고용될 수 있으며 이후의 열처리에 의하여 석출경화 효과를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

[0073] 석출경화에 의하여 합금이 강화되기 위해서는 먼저 용체화 처리(solid solution treatment)를 행하여야 한다. 도 8의 (a) 및 (b)를 참조하면, 합금 원소들이 기지 내로 녹아들어갈 수 있는 온도까지 합금을 가열한 후 어느 일정 시간을 유지시킨 뒤, 합금 원소들이 과포화 상태로 있을 수 있는 낮은 온도까지 급랭을 하는 것이 용체화 처리이다. 이러한 고용체는 낮은 온도에서 준안정하다. 도 8의 (b) 및 (c)를 참조하면, 석출경화 과정의 두 번째 부분은 시효처리(aging treatment)이다. 이러한 시효 과정 중에 석출상(340)이 생성되어 경도(강도)가 증가하는 현상을 시효경화(age hardening) 또는 석출경화(precipitation hardening)라고 한다. 시효경화는 합금을 강화시키는 석출상(340)이 상온에서 생성되는 자연시효의 경우와 시효시간을 단축하기 위하여 상온보다 높은 온도로 가열하여 석출상(340)을 생성하는 인공시효의 경우에 의하여 구현될 수 있다.

[0074] (2) 인장시험 결과

[0075] 상술한 열처리를 수행한 후에 각 조건에서 3회 이상 인장시험한 결과를 평균한 값을 표 4에 나타내었다.

표 4

[0076]

시편	물성	열처리		
		F	T6	T7
통상주조방법 (비교예)	인장강도(MPa) 연신율 (%)	193.6 0.5	306.4 0.4	263.8 0.4
초음파 처리 (본 발명)	인장강도(MPa) 연신율 (%)	277.1 0.9	410.0 0.7	328.3 0.6

[0077] 먼저, 열처리 F(as-cast) 상태에서 인장시험 결과를 분석하면, 통상주조시 194MPa의 인장강도를 가지나 초음파 처리후에는 277MPa의 인장강도를 가짐을 확인하였다.

[0078] 한편, 주조 상태에서 Al 내부로의 Cu의 고용량 증가에 따라 열처리 후 석출 경화 효과도 증가하였다. 이로 인하여 T6 및 T7 조건에서도 인장특성이 향상되었다. 구체적으로, 초음파 처리시 통상적인 방법보다 모든 열처리 조건에서 25 내지 43% 정도의 인장강도가 증가하였다.

[0079] (3) 피로시험 결과

[0080] 상술한 T6 열처리를 수행한 시편에 대하여 상온 고주기 피로 시험을 실시하였다. 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금에서 초음파 처리 유무에 따른 고주기 피로 특성을 나타내는 그래프이다. 도 10을 참조하면, 상술한 초음파 처리를 수행하지 않은 합금(□)의 경우 피로한이 105MPa이지만, 상술한 초음파 처리를 수행한 합금(■)의 경우 피로한이 135MPa로 향상됨을 확인할 수 있다.

[0081] 3. 미세조직적 특성 분석

[0082] (1) 초정 Si 및 공정 Si 크기 변화

[0083] 도 11a는 상술한 초음파 처리를 수행하지 않은 A390 합금의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것이며, 도 11b는 상술한 초음파 처리를 수행한 A390 합금의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것으로서, 초음파 처리에 따라 초정 Si의 크기가 감소하고 분포가 균일해짐을 확인할 수 있다. 반면 공정 Si의 크기는 감소하지 않고 다소 증가하였다. 영상입도 분석기로 크기를 측정한 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5

[0084]

시편	초정 Si 크기(㎛)	공정 Si 크기(㎛)
통상주조방법 (비교예)	45.3	4.49
초음파 처리 (본 발명)	19.9	4.74

[0085] (3) 시효석출물 분석

[0086] A390 합금의 시효 열처리시 석출되는 시효석출물을 TEM으로 분석하였는데 주 시효석출물은 Θ″ ($CuAl_2$)이었으

며, 초음파 처리 유무에 따라 시효석출물의 종류는 변화가 없음을 확인하였다.

[0087] (4) 격자상수 분석

[0088] 표 6은 X선 회절분석을 통하여 A390 합금에서 Al의 격자상수를 측정한 결과이다. 초음파 처리 유무에 따라 격자상수가 다소 다름을 볼 수 있다. Cu는 Al보다 원자반경이 작아서 Al내부에 Cu의 고용량이 많아지면 격자상수는 작아진다. 주조상태나 용체화처리 상태에서는 초음파 처리한 시편의 격자상수가 작은데, 이 결과로부터 초음파 처리한 시편에서 Cu의 고용량이 클 것을 예측할 수 있다. 또한 주조상태의 시편을 용체화처리하면 Cu의 고용량이 증가하기 때문에 양 시편 모두 격자상수가 작아진다. 한편, 시효처리를 하게되면 과포화고용된 Cu가 도 12에서 보인 바와 같이 θ″ ($CuAl_2$)으로 석출되어 나오기 때문에 격자상수는 다시 증가한다. 초음파 처리한 시편에서 이 효과가 큰 것을 볼 수 있다.

표 6

[0089]

시편	주조상태 (㎛)	용체화처리(㎛)	시효처리 (T6) (㎛)
통상주조방법 (비교예)	4.0613	4.0578	4.0565
초음파 처리 (본 발명)	4.0518	4.0471	4.0642

[0090] (6) 결과 정리

[0091] 이상의 미세조직 분석결과를 볼 때 초음파 처리에 의한 특성향상(강도상승)은 주로 다량 첨가된 Cu에 의한 것으로 이해되며, 주로 Cu의 고용강화 및 열처리시 석출경화가 특성 향상의 주요한 원인으로 파악된다.

[0092] 실험예3

[0093] 실험예3은 본 발명의 다른 실시예를 구현한 실험예로서, 구체적으로, 공정 Al-Si합금(Al-12.3wt%Si)에 적용하였다. 실험예3에서는 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법이, 예를 들어, 도 7b에 도시된 J-E-K 선을 따라 수행될 수 있다.

[0094] 1. 제조 방법

[0095] 초음파 처리한 소재는 12.3wt%의 Si과 3.3wt%의 Cu를 함유한 공정 Al-Si 합금을 사용하였다. 구체적으로, 상기 공정 합금의 조성은 표 7에 표시하였다.

표 7

[0096]

alloy	조성 (wt.%)						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Ni
Al-12.3Si	12.3	0.14	3.3	0.013	0.76	0.12	2.8

[0097] 실험방법은 합금 1kg를 전기저항로에서 용해온도 약 790℃로 완전히 용해한 후에, 초음파 장치를 이용하여 초음파 처리를 수행하였다. 초음파 처리의 조건으로는 19.0kHz 부근의 주파수로 약 1kW의 출력을 사용하였으며 1분 동안 초음파를 용탕에 인가하였다. 초음파 처리시 용탕온도는 790℃에서 750℃로 다소 감소하였다. 초음파 처리 후 200℃로 가열된 금형 몰드에 용탕을 주입하여 주조하였다.

[0098] 한편, 비교를 위하여 동일한 합금을 초음파 처리를 하지 않고 통상적인 방법으로 제조하였다. 구체적으로, 동일한 조성의 합금 5kg을 전기저항로를 사용하여 720℃로 용해 후 용탕의 수소가스를 제거하기 위하여 탈가스 처리를 실시하고, 탈가스 처리 후 15분간 진정시킨 후 금형 몰드에 주입하였다.

[0099] 2. 특성 평가

[0100] (1) 열처리

[0101] 먼저, 상술한 제조방법에 의하여 주조한 상태의 주물에 대하여 표 8과 같은 열처리를 수행하였다.

표 8

[0102]

열처리	열처리 조건
T7	용체화처리 490℃/2hrs → 수냉 quenching (to 60-80℃) → 시효처리 230℃/5hrs

[0103] (2) 인장시험 결과

[0104] 상술한 열처리를 수행한 후에 각 조건에서 3회 이상 인장시험한 결과를 평균한 값을 표 9에 나타내었다. 인장시험 결과 초음파 처리시 통상적인 주조 방법보다 35% 정도 인장강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

표 9

[0105]

시편	물성	열처리
		T7
통상주조방법 (비교예)	인장강도(MPa)	225.0
	연신율 (%)	0.3
초음파 처리 (본 발명)	인장강도(MPa)	302.9
	연신율 (%)	0.7

[0106] 실험예4

[0107] 실험예4는 본 발명의 또 다른 실시예를 구현한 실험예로서, 구체적으로, 아공정 Al-Si합금에 적용하였다. 실험예4에서는 Al-Si계 주조용 알루미늄 합금의 제조방법이, 예를 들어, 도 7b에 도시된 L-M-N-O 선을 따라 수행될 수 있다.

[0108] 1. 제조 방법

[0109] 초음파 처리한 소재는 7.18wt%의 Si을 함유한 상용 A356 합금 (실질적으로 Cu가 첨가되지 않은 합금)과, A356합금에 0.7wt%의 Cu를 첨가한 합금과, A356합금에 1.8wt.%의 Cu를 첨가한 합금을 사용하여 비교하였다. 구체적으로, 상기 아공정 합금의 조성은 표 10에 표시하였다.

표 10

alloy	조성 (wt%)					
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti
A356(no Cu)	7.18	0.12	0.0001	-	0.39	-
A356+0.7%Cu	7.18	0.12	0.70	-	0.53	-
A356+1.9%Cu	6.50	0.12	1.83	-	0.59	-

[0110]

[0111] 실험방법은 합금 1kg를 전기저항로에서 용해온도 약 750℃로 완전히 용해한 후에, 초음파 장치를 이용하여 초음파 처리를 수행하였다.

[0112] 초음파 처리의 조건으로는 19.0kHz 부근의 주파수로 약 1kW의 출력을 사용하였으며 1분동안 초음파를 용탕에 인가하였다. 초음파 처리시 용탕온도는 750℃에서 710℃로 다소 감소하였다. 초음파 처리후 200℃로 가열된 금형 몰드에 용탕을 주입하여 주조하였다.

[0113] 한편, 비교를 위하여 동일한 합금을 초음파 처리를 하지 않고 통상적인 방법으로 제조하였다. 구체적으로, 동일한 조성의 합금 5kg을 전기저항로를 사용하여 720℃로 용해 후 용탕의 수소가스를 제거하기 위하여 탈가스 처리를 실시하고, 탈가스 처리 후 15분간 진정시킨 후 금형 몰드에 주입하였다.

[0114] 2. 특성 평가

[0115] (1) 열처리

[0116] 먼저, 상술한 제조방법에 의하여 주조한 상태의 주물에 대하여 표 11와 같은 열처리를 수행하였다.

표 11

[0117]

열처리	열처리 조건
F	주조상태 그대로

[0118] (2) 인장시험 결과

[0119] 상술한 열처리를 수행한 후에 각 조건에서 3회 이상 인장 시험한 결과를 평균한 값을 표 12에 나타내었다.

표 12

[0120]

시편	물성	A356(no Cu)	A356+0.7%Cu	A356+1.9%Cu
통상주조방법 (비교예)	인장강도(MPa)	165.5	195.3	224.8
	연신율 (%)	5.5	3.0	3.9
초음파 처리 (본 발명)	인장강도(MPa)	186.0	228.0	269.3
	연신율 (%)	2.5	2.2	3.9

[0121] 구체적으로 살펴보면, 구리가 실질적으로 첨가되지 않은 A356 합금은 초음파 처리한 경우의 인장강도가 초음파 처리를 수행하지 않은 경우의 인장강도보다 20.5 MPa의 크기만큼 약 12% 증가하였으며, 구리가 0.7 중량% 첨가된 A356 합금은 초음파 처리한 경우의 인장강도가 초음파 처리를 수행하지 않은 경우의 인장강도보다 32.7MPa의 크기만큼 약 16.7% 증가하였으며, 구리가 1.9 중량% 첨가된 A356 합금은 초음파 처리한 경우의 인장강도가 초음파 처리를 수행하지 않은 경우의 인장강도보다 44.5MPa의 크기만큼 약 20.0% 증가하였다. 즉, 생주물(as-cast) 인장시험 경과, 모든 합금에서 초음파 처리 후에 인장 특성이 개선되었는데, 구리의 함량이 증가할수록 인장강도의 증가폭이 커졌다.

[0122] 실험예5

[0123] 실험예5는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 과공정 알루미늄-규소 주조합금의 제조방법에서 초음파 처리를 한 후에 유지시간에 따른 초정 규소의 크기를 측정하였다. 실험방법은 합금 20kg을 전기저항로에서 완전히 용해한 후에, 1kg의 용탕을 수용할 수 있는 작은 용기로 상기 용탕을 채취 한 후, 상기 작은 용기 내에서 상기 용탕에 대해서 초음파 처리를 수행하였다.

[0124] 도 13을 참조하면, 800℃ 내지 750℃ 범위의 알루미늄 합금 용탕에 1분간 초음파 처리를 수행한 후 1분, 4분, 7분, 10분 동안 용탕의 유지시간을 가진 후 응고하여 구현한 A390 합금에서의 초정 규소의 크기(◆)와 750℃ 내지 700℃ 범위의 알루미늄 합금 용탕에 1분간 초음파 처리를 수행한 후 1분, 4분, 7분, 10분 동안 유지시간을 가진 후 응고하여 구현한 A390 합금에서의 초정 규소의 크기(■)가 나타난다. 이에 따르면, 1분 정도의 초음파 처리를 수행하는 경우에서 초음파 처리를 수행하지 않은 경우보다 초정 규소의 크기가 미세화되는 효과가 있음을 확인하였으며, 이러한 초음파 처리 효과는 초음파 처리 이후에 용탕의 유지시간이 약 7분되는 시점까지는 안정적으로 구현되고 그 이후에는 초음파 처리 효과가 다소 감소될 수 있음을 확인하였다. 이러한 기술적 사상을 도 1 내지 도 5에 도시된 공정에 적용한다면, 초음파 처리를 수행한 후에, 초음파 처리를 수행한 알루미늄 합금 용탕(200)을 몰드(50, 60)에 주입하는 공정시간을 10분 이내로 관리할 경우, 초정 규소의 미세화라는 초음파 처리의 효과를 효과적으로 구현할 수 있음을 충분히 기대할 수 있다.

[0125] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0126] 120 : 용해로 140 : 작은 용기

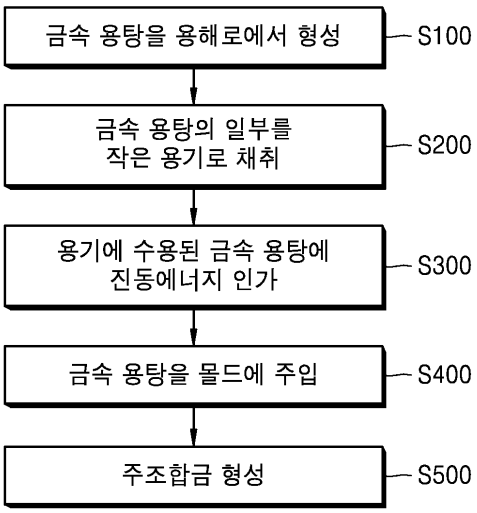
150 : 초음파 장치 155 : 초음파 장치의 혼

50 : 다이캐스팅용 몰드 60 : 사형 몰드

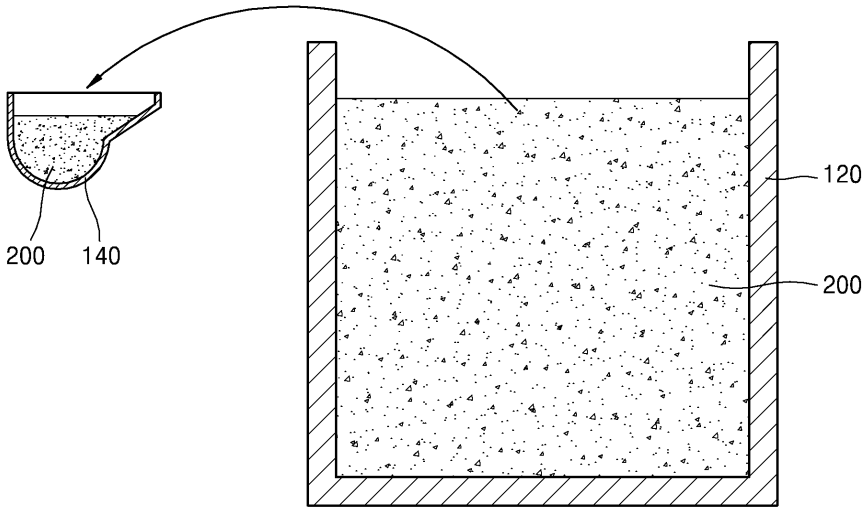
200 : 알루미늄 합금 용탕 300 : 알루미늄-규소 주조합금

도면

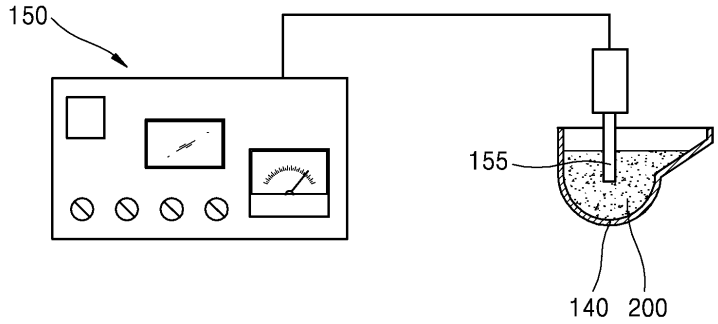
도면1



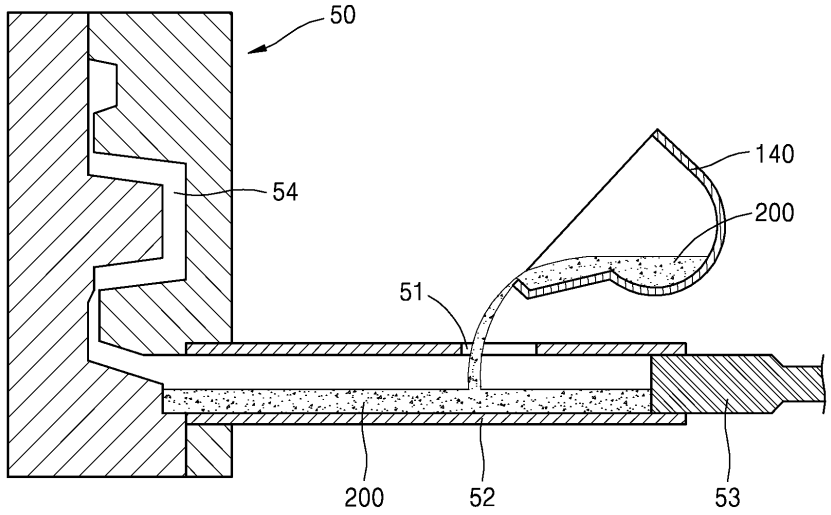
도면2



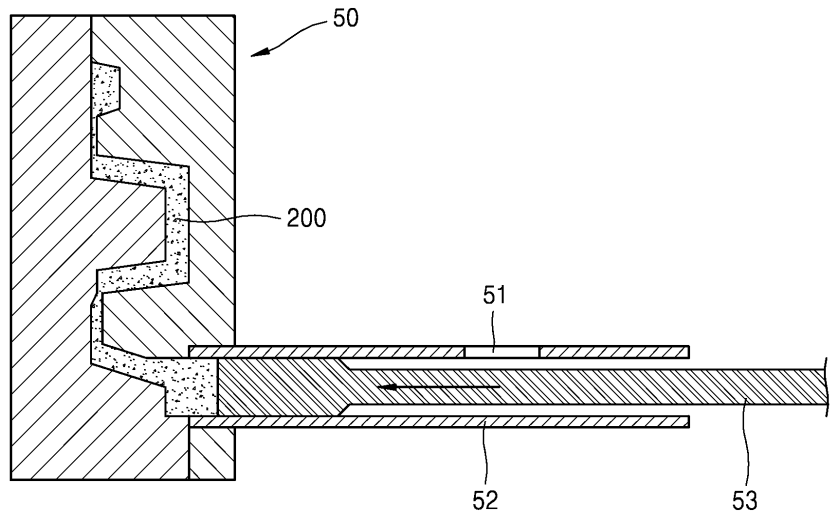
도면3



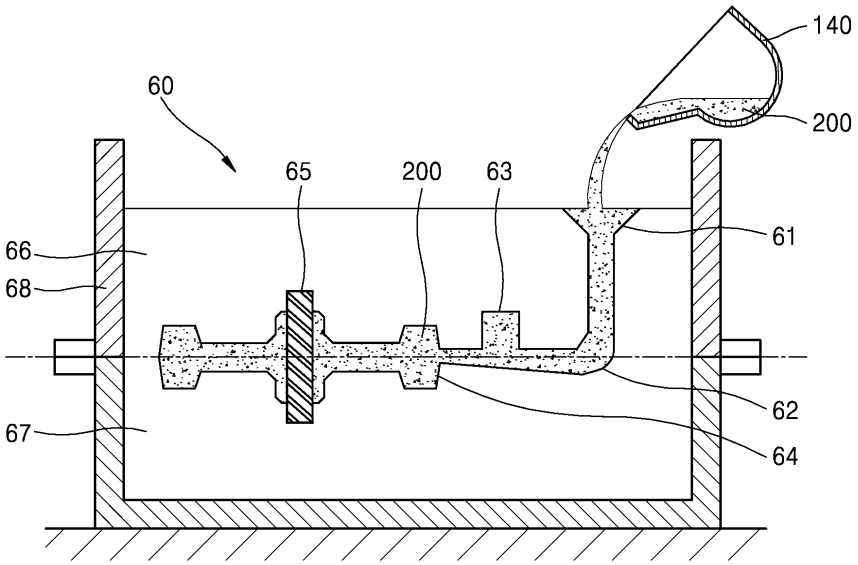
도면4a



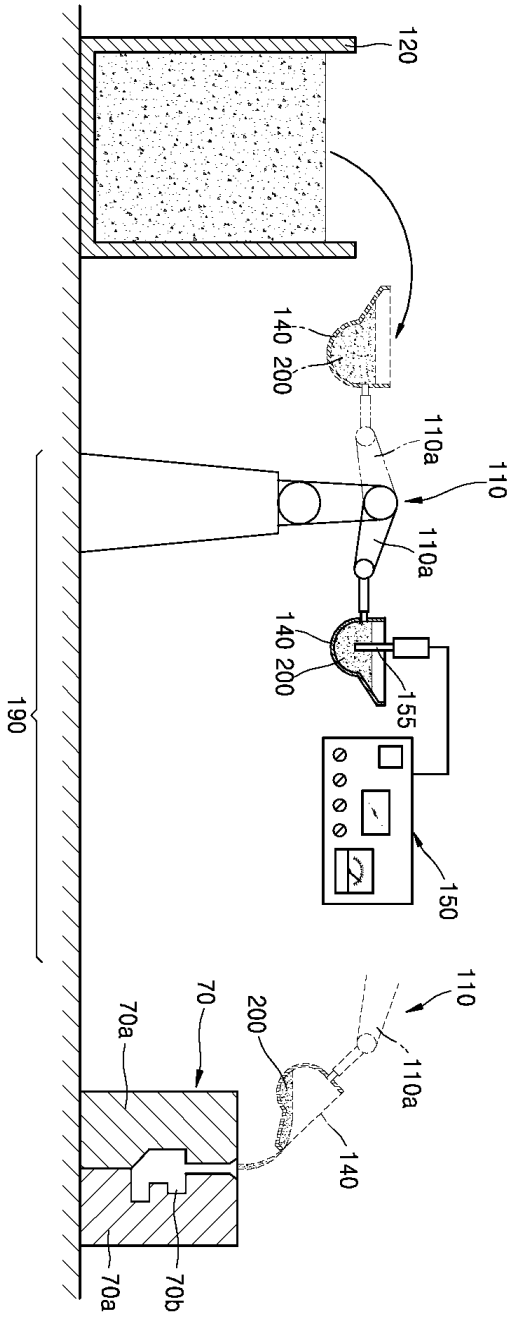
도면4b



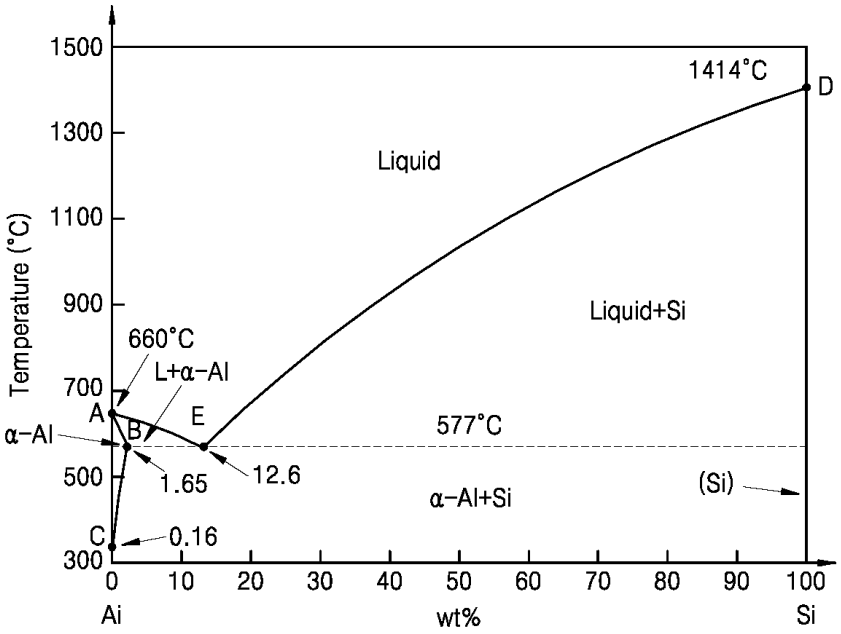
도면5



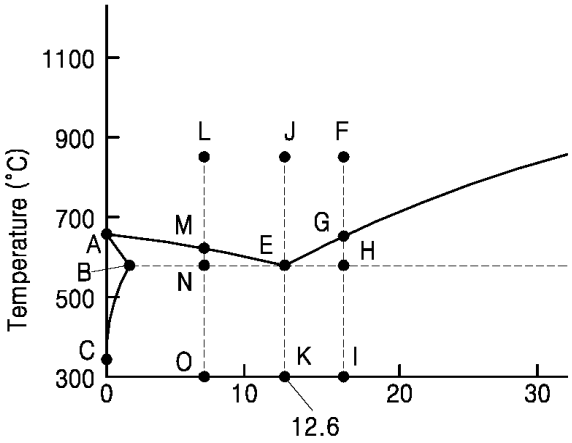
도면6


120
140 200
110a
110
110a
140 200
155
150
190
110
70
70a
200
110a
140
70a
70b

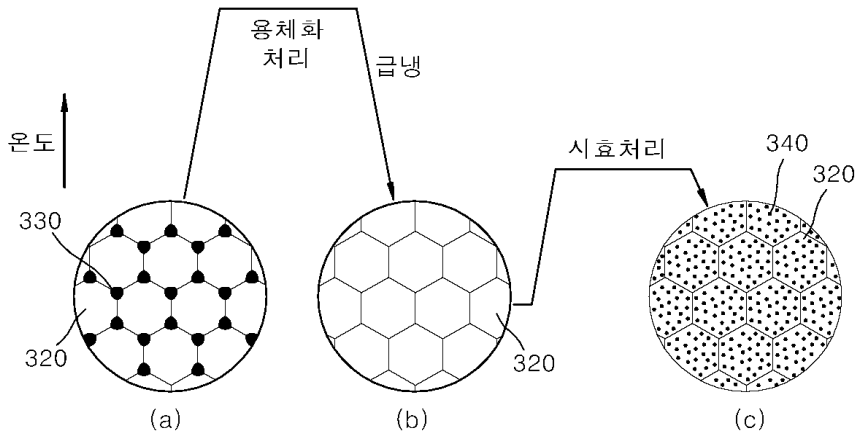
도면7a



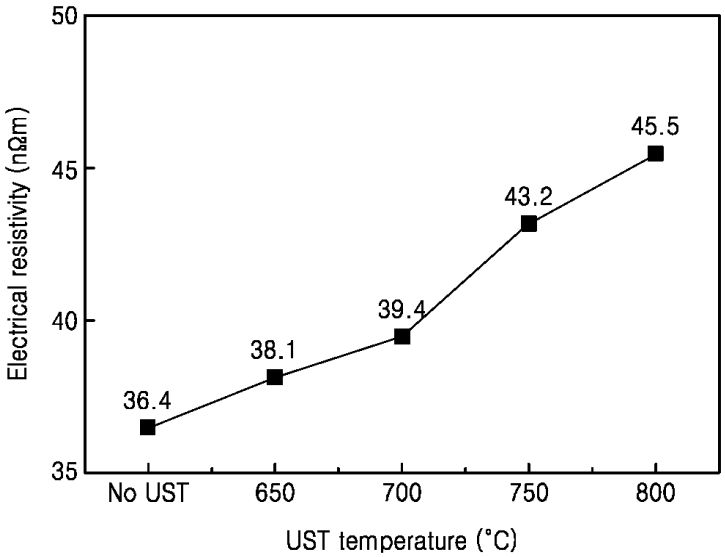
도면7b



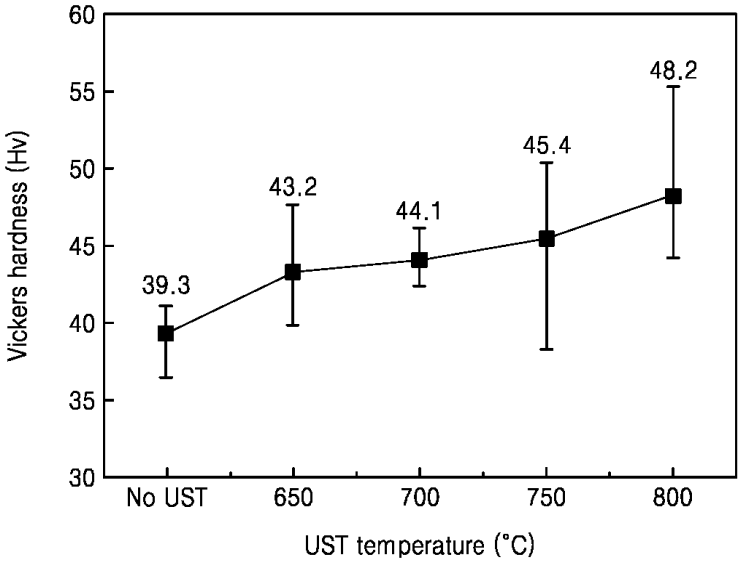
도면8



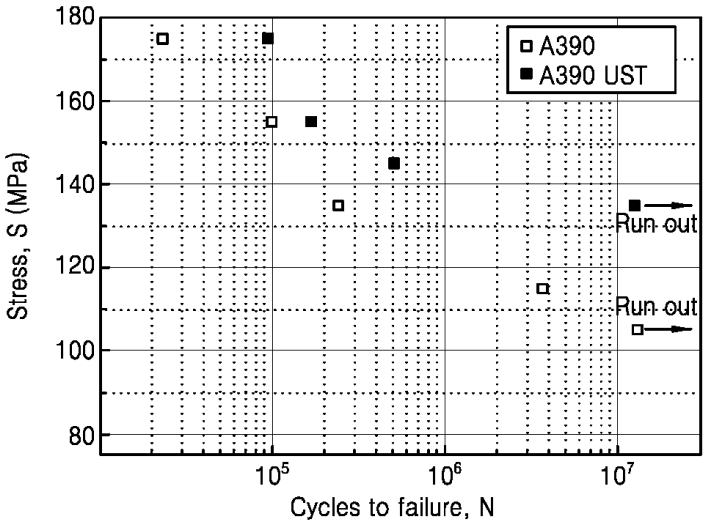
도면9a


Electrical resistivity (nΩm)
50
45
40
35
36.4
38.1
39.4
43.2
45.5
No UST
650
700
750
800
UST temperature (°C)

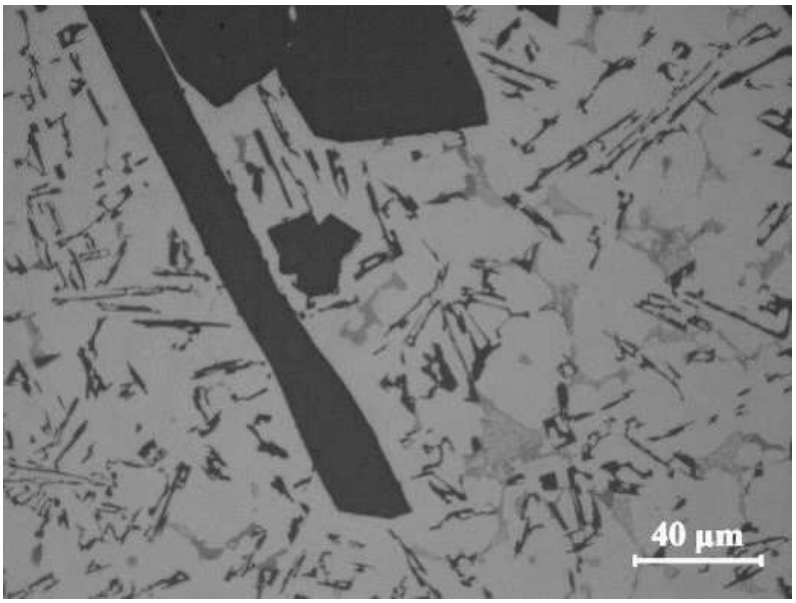
도면9b


Vickers hardness (Hv)
60
55
50
45
40
35
30
39.3
43.2
44.1
45.4
48.2
No UST
650
700
750
800
UST temperature (°C)

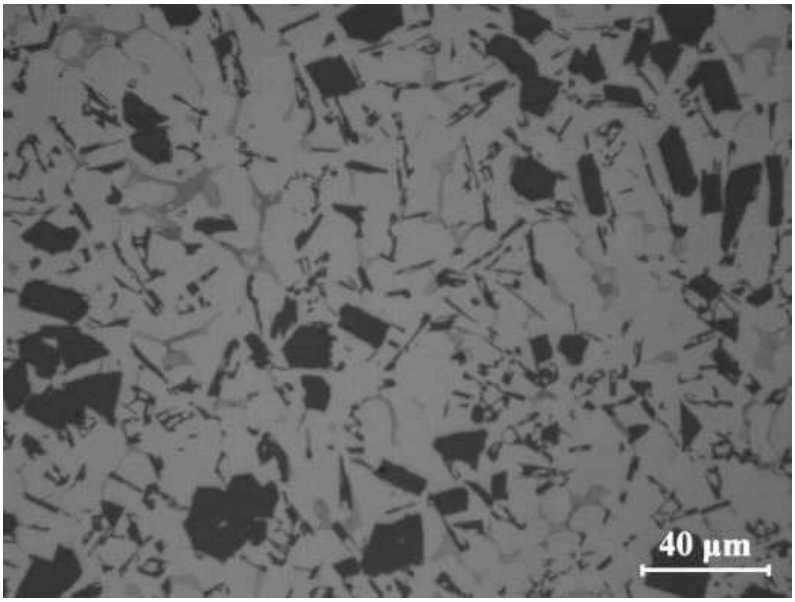
도면10


180
160
140
120
100
80
Stress, S (MPa)
10^5
10^6
10^7
Cycles to failure, N
A390
A390 UST
Run out
Run out

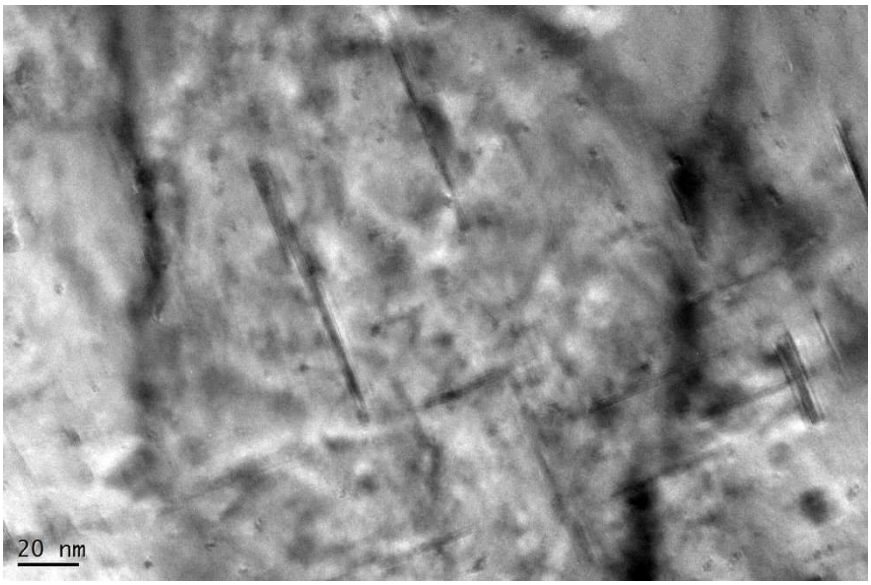
도면11a


40 μm

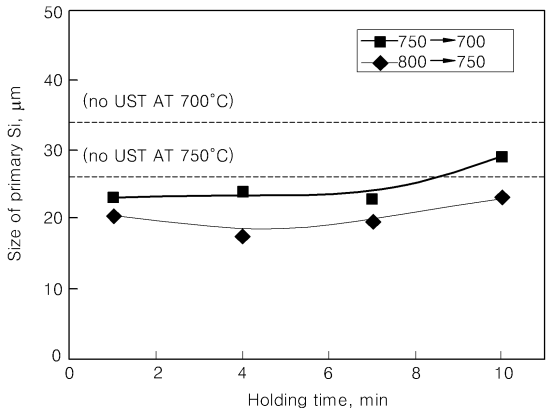
도면11b



도면12



도면13


750→700
800→750
(no UST AT 700°C)
(no UST AT 750°C)
Size of primary Si, μm
Holding time, min
0
10
20
30
40
50
0
2
4
6
8
10