(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0085536
(43) 공개일자 2020년07월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22D 35/04 (2006.01) *B22D 1/00* (2006.01)
B22D 35/06 (2006.01) *C22C 1/02* (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22D 35/04 (2013.01)
B22D 1/007 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0001777
(22) 출원일자 2019년01월07일
심사청구일자 2019년01월07일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
이정무
경상남도 창원시 성산구 삼정자로 81, 115동 502호
조영희
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18, 107동 1003호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이인행

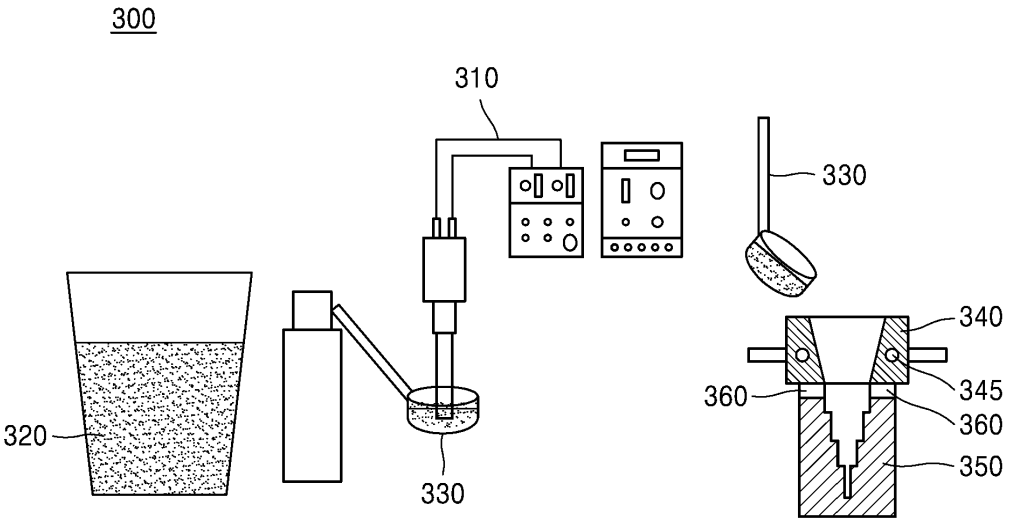
전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 발명의 명칭 **초음파 주조 시스템 및 이를 이용한 주조합금 제조방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 관점에 따르면, 초음파처리 주조 시스템을 제공한다. 상기 초음파처리 주조 시스템은 금속을 용해할 수 있는 용해로; 상기 용해로에 의해 용융된 용탕을 초음파처리할 수 있는 초음파처리 장치; 상기 초음파처리된 용탕을 과냉처리할 수 있는 과냉처리부; 및 상기 과냉처리된 용탕이 투입되는 몰드를 포함한다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
B22D 35/06 (2013.01)
C22C 1/026 (2013.01)
C22C 21/00 (2013.01)
(72) 발명자
김수배
경상남도 창원시 성산구 용지로21번길 36-6
윤운하
경상남도 창원시 성산구 외리로34번길 13, 107동 302호
정재길
경상남도 창원시 성산구 원이대로 774, 204동 2306호
조민수
경상남도 진주시 망경로 234-5, 107동 1603호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PNK5900
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업
연구과제명 미세조직기반 고온강도예측 모델을 이용한 다성분다상 알루미늄 주조재의 고온강도 향상기술(1/2)
기 여 율 80/100
주관기관 국가과학기술연구회
연구기간 2018.04.01 ~ 2018.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 PNK5781
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 국가과학기술연구회
연구사업명 주요사업
연구과제명 Al-Si-Mg계 다이캐스팅 소재의 열처리 결함 분석 및 공정 최적화를 통한 소재신뢰성 향상 기술지원(1/3)
기 여 율 20/100
주관기관 국가과학기술연구회
연구기간 2018.05.01 ~ 2018.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

용해로;

상기 용해로에 의해 용융된 용탕을 초음파처리할 수 있는 초음파처리 장치;

상기 초음파처리된 용탕을 과냉처리할 수 있는 과냉처리부; 및

상기 과냉처리된 용탕이 투입되는 몰드;를 포함하는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

상기 용탕이 상기 몰드로 투입되기 위해 유동되는 경로 중에 배치된 것인,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 과냉처리부 및 상기 몰드 사이에는 단열부가 형성되는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 과냉처리부의 일부는 상기 단열부의 일면과 결합되고, 상기 몰드의 일부는 상기 단열부의 타면과 결합된 것인,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 단열부는, 규산 칼슘, 암면, 유리섬유 및 세라믹 섬유 중 어느 하나 이상을 포함하는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

상기 용탕과 접촉하여 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시키는 것인,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

상기 몰드의 주입구 상부에 배치되며, 상기 용탕이 상기 몰드의 주입구로 유동될 수 있도록 소정의 각도를 가지고 기울어진 플레이트 형태인,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 플레이트의 일 면에는 상기 용탕이 유동할 수 있는 용탕이동로가 형성된,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

상기 몰드의 주입구 상부와 결합되어 상기 용탕이 몰드로 투입되기 전 과냉처리를 수행하도록 배치되는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

본체; 및

상기 본체의 내부에 형성되어, 상기 용탕이 하부로 유동할 수 있도록 기울어진 경사면 및 상기 용탕이 상기 몰드 내부로 배출되는 출구를 포함하는 용탕이동로;

를 포함하는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 본체는 상기 몰드의 주입구 상부의 일면에 안착되는 안착면을 포함하며,

상기 몰드의 주입구 상부의 일면과 상기 본체의 안착면 사이에는 단열부가 형성되어 있는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 본체의 내부에 냉각매체가 유동될 수 있는 냉각유로를 더 포함하는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

경동식 초음파처리로를 더 포함하며,

상기 과냉처리부는 플레이트 형태로서 일 단부는 상기 초음파처리로와 연결되고, 타 단부는 몰드와 연결되는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 과냉처리부 및 상기 초음파처리로의 연결부와, 상기 과냉처리부 및 상기 몰드의 연결부 중 어느 하나 이상에 단열부가 형성되는,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 15

제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 과냉처리부는 구리 또는 구리합금으로 이루어진,

초음파처리 주조 시스템.

청구항 16

용탕을 초음파처리하는 단계;

상기 초음파처리가 완료된 용탕을 과냉처리하는 단계; 및

상기 과냉처리된 용탕을 몰드로 투입하고 응고시키는 단계;

를 포함하는,

초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 과냉처리하는 단계는,

상기 용탕이 상기 몰드로 투입되기 위해 유동되는 경로 중에서 수행되는,

초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 과냉처리하는 단계는,

상기 경로 중에 배치된 과냉처리부에 직접 접촉하여 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시키는 단계를 포함하는,

초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 과냉처리하는 단계는,

상기 용탕이 소정의 각도를 가지고 상기 몰드의 주입구로 기울어진 경사면을 따라 유동되면서 냉각되는 단계를 포함하는,

초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법.

청구항 20

제 16 항 내지 제 19 항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 금속은 알루미늄 합금을 포함하는,

초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법.

청구항 21

초음파처리된 용탕을 주조하기 위한 몰드결합체로서,

초음파처리된 용탕이 투입되는 몰드; 및

상기 몰드의 주입구 상부에 배치되며, 상기 용탕과 접촉하여 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시키는 과냉처리부;를 포함하는,

주조합금 제조용 몰드결합체.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 과냉처리부 및 상기 몰드 사이에는 단열부가 형성되는,

주조합금 제조용 몰드결합체.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 과냉처리부의 일부는 상기 단열부의 일면과 결합되고, 상기 몰드의 일부는 상기 단열부의 타면과 결합된 것인,

주조합금 제조용 몰드결합체.

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 단열부는, 규산 칼슘, 암면, 유리섬유 및 세라믹 섬유 중 어느 하나 이상을 포함하는,

주조합금 제조용 몰드결합체.

청구항 25

제 21 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

본체; 및

상기 본체의 내부에 형성되어, 상기 용탕이 하부로 유동할 수 있도록 기울어진 경사면 및 상기 용탕이 상기 몰드 내부로 배출되는 출구를 포함하는 용탕이동로;

를 포함하는,

주조합금 제조용 몰드결합체.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

본체; 및

상기 본체의 내부에 형성되어, 상기 용탕이 하부로 유동할 수 있도록 기울어진 경사면 및 상기 용탕이 상기 몰드 내부로 배출되는 출구를 포함하는 용탕이동로;

를 포함하는,

주조합금 제조용 몰드결합체.

청구항 27

제 21 항에 있어서,

상기 과냉처리부는,

구리 또는 구리합금으로 이루어진,

주조합금 제조용 몰드결합체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 초음파처리를 이용하여 주조합금의 조직 미세화를 구현할 수 있는 초음파 주조 시스템 및 이를 이용한 주조합금의 제조방법에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 주조합금의 경우, 조직을 미세화 함으로써 강도나 연신율과 같은 기계적 특성을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다. 따라서 주조 단계 중 용탕에 다양한 처리를 수행하여 주조합금의 조직 미세화를 도모하고 있다.

[0003] 예를 들어, 용탕에 미세화를 위한 첨가제를 투입하여 응고과정 중에 형성되는 초정상이나 공정상들의 크기를 미세화시킬 수 있다. 일 예로, 규소가 12.6중량% 이상 함유된 알루미늄 합금을 주조법으로 구현하는 과공정 Al-Si계 주조합금은 초정 규소(primary Si) 뿐만 아니라 공정 규소(eutectic Si)가 다량 존재하며, 초정 규소 및 공정 규소의 미세화를 위해 다양한 첨가제를 투입한다. 그러나, 초정 규소를 미세화하기 위하여 첨가하는 제 1 첨가제와 공정 규소를 미세화하기 위하여 첨가하는 제 2 첨가제는 서로 화학반응을 일으켜 미세화효과가 반감되는 문제점이 발생할 수 있다. 또한, 이러한 화학반응을 방지하기 위하여 이중 용해 방법이 제안되고 있으나, 적어도 2 번 이상의 용해 및 주조 공정이 필요하여 제조비용이 상승하는 문제점이 수반된다.

[0004] 주조합금의 미세화를 위한 다른 예로서 용탕의 초음파처리가 있다. 용탕에 직접 초음파처리를 수행한 후 이를 주조함으로서 주조합금의 조직 미세화를 구현한 경우가 다수 보고되고 있다. 그러나, 처리 대상이 되는 합금계에 따라 초음파처리의 효과가 예상과 달리 나타나지 않은 경우가 발생하며, 아직 이러한 원인에 대해서는 뚜렷하게 밝혀지지 않고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 초음파처리된 용탕을 주조하는 경우 조직의 미세화를 더욱 확실하게 담보할 수 있는 초음파처리 주조 시스템 및 이를 이용한 주조합금 제조방법의 제공을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 초음파처리 주조 시스템이 제공된다.

[0007] 상기 초음파처리 주조 시스템은 금속을 용해할 수 있는 용해로; 상기 용해로에 의해 용융된 용탕을 초음파처리할 수 있는 초음파처리 장치; 상기 초음파처리된 용탕을 과냉처리할 수 있는 과냉처리부; 및 상기 과냉처리된 용탕이 투입되는 몰드를 포함할 수 있다.

[0008] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부는, 상기 용탕이 상기 몰드로 투입되기 위해 유동되는 경로 중에 배치된 것일 수 있다.

[0009] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부 및 상기 몰드 사이에는 단열부가 형성될 수 있다.

[0010] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부의 일부는 상기 단열부의 일면과 결합되고, 상기 몰드의 일부는 상기 단열부의 타면과 결합된 것일 수 있다.

[0011] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 단열부는, 규산 칼슘, 암면, 유리섬유 및 세라믹 섬유 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부는, 상기 용탕과 접촉하여 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시키는 것일 수 있다.

[0013] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부는, 상기 몰드의 주입구 상부에 배치되며, 상기 용탕이 상기 몰드의 주입구로 유동될 수 있도록 소정의 각도를 가지고 기울어진 플레이트 형태일 수 있다.

[0014] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 플레이트의 일 면에는 상기 용탕이 유동할 수 있는 용탕이동로가 형성될 수 있다.

[0015] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부는, 상기 몰드의 주입구 상부와 결합되어 상기 용탕이 몰드로 투입되기 전 과냉처리를 수행하도록 배치될 수 있다.

[0016] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부는, 본체; 및 상기 본체의 내부에 형성되어, 상기 용탕이 하부로 유동할 수 있도록 기울어진 경사면 및 상기 용탕이 상기 몰드 내부로 배출되는 출구를 포함하는 용탕이동로;를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 본체는 상기 몰드의 주입구 상부의 일면에 안착되는 안착면을 포함하며, 상기 몰드의 주입구 상부의 일면과 상기 본체의 안착면 사이에는 단열부가 형성되어 있는 것일 수 있다.

[0018] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 본체의 내부에 냉각매체가 유동될 수 있는 유로를 더 포함할 수 있다.

[0019] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 경동식 초음파처리로를 더 포함하며, 상기 과냉처리부는 플레이트 형태로서 일 단부는 상기 초음파처리로의 입구부와 연결되고, 타 단부는 몰드의 주입구가 형성된 상면에 연결될 수 있다.

[0020] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부 및 상기 초음파처리로의 연결부와, 상기 과냉처리부 및 상기 몰드의 연결부 중 어느 하나 이상에 단열부가 형성되어 있을 수 있다.

[0021] 상기 초음파처리 주조 시스템에 있어서, 상기 과냉처리부는 구리 또는 구리합금으로 이루어질 수 있다.

[0022] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 관점에 따르면, 초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법이 제공된다.

[0023] 상기 초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법은, 금속이 용해된 용탕을 초음파처리하는 단계; 상기 초음파처리가 완료된 금속 용탕을 과냉처리하는 단계; 및 상기 과냉처리된 용탕을 몰드로 투입하고 응고시키는 단계;를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법에 있어서, 상기 과냉처리하는 단계는, 상기 용탕이 상기 몰드로 투입되기 위해 유동되는 경로 중에서 수행될 수 있다.

[0025] 상기 초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법에 있어서, 상기 과냉처리하는 단계는, 상기 경로 중에 배치된 과냉처리부에 직접 접촉하여 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법에 있어서, 상기 과냉처리하는 단계는, 상기 용탕이 소정의 각도를 가지고 상기 몰드의 주입구로 기울어진 경사면을 따라 유동되면서 냉각되는 단계를 포함할 수 있다.

[0027] 상기 초음파처리를 이용한 주조합금 제조방법에 있어서, 상기 금속은 알루미늄 합금을 포함할 수 있다.

[0028] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 또 다른 관점에 따르면, 초음파처리된 용탕을 주조하기 위한 몰드결합체가 제공된다.

[0029] 상기 주조합금 제조용 몰드결합체는, 초음파처리된 용탕이 투입되는 몰드; 및 상기 몰드의 주입구 상부에 배치되며, 상기 용탕과 접촉하여 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시키는 과냉처리부;를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 주조합금 제조용 몰드결합체에 있어서, 상기 과냉처리부 및 상기 몰드 사이에는 단열부가 형성될 수 있다. 예를 들어, 상기 과냉처리부의 일부는 상기 단열부의 일면과 결합되고, 상기 몰드의 일부는 상기 단열부의 타면

과 결합된 것일 수 있다.

[0031] 상기 주조합금 제조용 몰드결합체에 있어서, 상기 단열부는, 규산 칼슘, 암면, 유리섬유 및 세라믹 섬유 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0032] 상기 주조합금 제조용 몰드결합체에 있어서, 상기 과냉처리부는, 본체; 및 상기 본체의 내부에 형성되어, 상기 용탕이 하부로 유동할 수 있도록 기울어진 경사면 및 상기 용탕이 상기 몰드 내부로 배출되는 출구를 포함하는 용탕이동로;를 포함할 수 있다.

[0033] 상기 주조합금 제조용 몰드결합체에 있어서, 상기 과냉처리부는 구리 또는 구리합금으로 이루어질 수 있다.

발명의 효과

[0034] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 초음파처리 주조 시스템에 의할 경우, 용탕의 과냉 처리에 의해 종래에 비해 초음파처리의 효과가 현저하게 증가됨에 따라 주조합금의 조직 미세화에 크게 기여할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 용탕에 초음파 인가에 따른 핵생생제 입자의 크기의 변화 및 이에 따른 과냉 효과를 나타낸다.

도 2 내지 도 5는 본 발명의 실시예들에 따른 초음파처리 주조 시스템 및 이에 따른 주조방법을 개략적으로 도해하는 도면이다.

도 6은 비교예 1a 내지 1c와, 실험예 1에 해당되는 합금 샘플의 주조 상태의 미세조직을 관찰한 결과이다.

도 7은 비교예 1a 내지 1c와, 실험예 1에 해당되는 합금 샘플의 초정 Si의 평균 크기 및 크기 분포를 도해하는 그래프이다.

도 8은 비교예 1a 내지 1c와, 실험예 1에 해당되는 합금 샘플을 T6 열처리 한 후 인장강도(UTS) 및 연신율(Elongation)의 변화를 측정한 것이다.

도 9는 비교예 2a 내지 2c와, 실험예 2에 해당되는 합금 샘플의 주조 상태의 미세조직을 관찰한 결과이다.

도 10 및 도 11은 비교예 2a 내지 2c와, 실험예 2에 해당되는 합금 샘플의 결정립의 크기 및 크기 분포를 나타내는 결과이다.

도 12는 비교예 2a 내지 2c와, 실험예 2에 해당되는 합금 샘플의 주조 후 인장강도, 항복강도(YS) 및 연신율의 변화를 측정한 것이다.

도 13은 비교예 3a 내지 3c와, 실험예 3에 해당되는 합금 샘플의 주조 상태의 미세조직을 관찰한 결과이다.

도 14 및 도 15는 비교예 3a 내지 3c와, 실험예 3에 해당되는 합금 샘플의 결정립의 크기 및 크기 분포를 나타내는 결과이다.

도 16은 비교예 3a 내지 3c와, 실험예 3에 해당되는 합금 샘플의 주조 후 인장강도, 항복강도 및 연신율의 변화를 측정한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 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 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

[0037] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 초음파 인가에 따른 핵생성제의 크기 변화 및 이에 따른 과냉 효과를 설명하기 위한 그래프이다.

[0038] 일반적으로, 금속 용탕에 초음파를 인가하면, 용탕 내부에서 캐비테이션(cavitation)이 발생한다. 이때, 캐비테이션에 의한 불균일 핵생성이 유도되어 응고시의 초정상(주로 결정립, 초정 Si, 초정 금속간화합물 등)이 미세해진다. 캐비테이션에 의한 불균일 핵생성 메커니즘과 관련하여 여러 가설들이 제안되고 있지만, 가장 많은 지

지를 받는 가설중 하나가 비습윤 입자(non-wetting particle)의 젖음성(wetting) 메커니즘이다. 금속 용탕에는 다양한 종류의 비금속 입자(non-metallic particle)들이 미량 존재한다. 상기 비금속 입자는 예를 들어, 산화물(oxide) 계열의 미세한 불순물 입자 및 미세화제로 의도적으로 첨가하는 것들이 포함된다. 상기 비금속 입자들은 잠재적으로 액상의 용탕이 응고되는 상천이(phase transformation) 과정에서 실제 응고에 기여할 수 있는 응고핵의 핵생성제(nucleants)가 될 수 있다. 그러나 이러한 대다수의 불순물 입자들은 습윤성이 좋지 않아 용탕 내에서 낮은 젖음성을 보인다. 따라서 이러한 탕 내에서 실제 액상의 응고에 기여하는 불균일 핵으로서 역할을 수행하지 못하며, 결국 주조합금의 조직 미세화에 기여하지 못하게 된다. 반면, 초음파처리를 수행할 경우, 상술한 불순물 입자들이 습윤되어 핵생성제 역할을 수행 할 수 있으므로 미세화에 기여할 수 있게 된다.

[0039] 그러나 경우에 따라, 초음파처리가 수행된 후에도 예상과 달리 미세화 효과가 나타나지 않거나 미미하게 나타날 수 있다. 이는 초음파처리의 습윤 효과만으로는 설명할 수 없는 다른 이유에 의해 초음파 효과가 나타나지 않았기 때문으로 해석된다.

[0040] 본 발명자들은 이러한 현상을 액상에서 고상으로 응고되는 과정 중에 나타나는 불균일 핵생성 및 성장 이론의 관점에서 분석하였으며, 이러한 분석의 결과로서 초음파처리의 효과를 극대화하기 위해서는 용탕을 몰드로 출탕하는 과정 중에 과냉처리가 필요할 수 있다는 것을 발견하였다.

[0041] 즉, 도 1의 (a)에 나타낸 바와 같이, 용탕 내에서 주로 비금속 입자로 이루어진 핵생성제들은 초음파처리(UST) 시 인가된 초음파 에너지에 의해 초음파가 인가되지 않을 경우(No UST)에 비해 더 작은 크기로 쪼개져서 입자의 크기가 미세하게 될 수 있다. 액상에서 불균일 핵생성에 의해 응고가 일어나는 경우, 액상에서 고상으로의 상천이 장벽 에너지를 극복하기 위해서는 핵생성제의 크기가 임계값 이상을 가져야 한다. 만약, 핵생성제의 크기가 임계 크기보다 작을 경우, 상기 핵생성제는 액상을 성장시켜 응고상으로 변화시키는 응고핵으로서의 역할을 수행하지 못하게 된다. 이는 임계 크기보다 작은 핵생성제는 실질적으로 액상의 응고에는 기여하지 못하게 된다는 것을 의미한다.

[0042] 용탕을 초음파처리하는 과정에서 초음파에 의해 용탕 내 핵생성제가 쪼개지면서 입자 크기가 응고핵이 되기 위한 임계 크기보다 감소하게 되면, 응고에 실질적으로 기여할 수 있는 핵생성제의 수는 오히려 감소하게 되며, 결국 주조합금의 미세화에도 기여하지 못하게 된다 .

[0043] 본 발명자들은 이러한 초음파처리의 문제점을 인식하고, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 연구를 계속 수행한 결과, 초음파처리 후 몰드로 출탕하는 과정 중에 용탕을 과냉 처리를 수행할 경우 초음파처리의 효과가 오히려 극대화될 수 있다는 것을 발견하였다.

[0044] 액상에서 불균일 핵생성으로 응고가 되기 위해서는 어느 정도의 과냉이 필요하다. 여기서 과냉이란 용융점 이하로 냉각되는 정도($\triangle T_1$, $\triangle T_2$)이다. 도 1의 (b)를 참조하면, 용탕 내에서 적절한 과냉이 일어날 경우 활성화된 핵생성제의 수(즉, 응고에 실제 기여할 수 있는 핵생성제의 수, No. of nucleation events)를 극대화할 수 있다. 도 1의 (b)를 참조하면, 초음파처리 전 최적의 과냉은 $\triangle T_1$이었으나, 초음파처리로 인하여 불순물의 크기가 더 미세해짐에 따라 동일한 과냉 $\triangle T_1$에서는 활성화된 핵생성제의 수는 감소하고 비활성화된 핵생성제의 수는 증가하게 된다.

[0045] 비활성화된 핵생성제를 활성화 시키기 위해서는 도 1의 (b)와 같이 과냉도를 더 증가시키는 것이 필요하다. 즉, 과냉이 증가할수록 응고핵의 임계크기는 감소하는 경향을 나타내며, 이는 과냉이 증가할수록 액상을 응고시키기 위한 핵으로서 기여할 수 있는 핵생성제의 크기가 더 작아지게 된다는 것을 의미한다. 따라서 도 1의 (b)에 나타낸 바와 같이, 초음파처리에 의해 용탕 내 핵생성제의 크기가 더 미세화 될 경우, 초음파처리된 용탕의 과냉도를 증가시키면($\triangle T_2$), 미세화된 핵생성제까지 응고핵으로 활성화되면서, 실제 응고에 기여할 수 있는 핵생성제의 수는 크게 늘어나게 된다. 이와 같이 용탕 내 응고핵의 수가 증가됨에 따라 주조 합금은 현저하게 미세한 금속조직을 구현할 수 있게 된다.

[0046] 이러한 금속 상변태적 이론을 바탕으로, 본 발명에서는 초음파를 인가한 후 과냉효과를 추가함으로써 보다 큰 조직 미세화 효과를 얻을 수 있도록 하였다.

[0047] 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파처리 주조 시스템은 이러한 본 발명자들이 제시한 이론을 실제로 구현할 수 있는 것으로서, 금속을 용해할 수 있는 용해로, 용해로에서 용해된 용탕에 초음파처리를 수행할 수 있는 초음파처리 장치, 초음파처리된 용탕이 투입되는 몰드 및 상기 초음파처리된 용탕이 몰드로 투입되는 과정 중에 상기 용탕을 과냉시킬 수 있는 과냉처리부를 포함한다.

[0048] 상기 과냉처리부는 상기 용탕이 상기 몰드로 투입되기 위해 유동되는 경로 중에 배치되어 초음파처리된 용탕이 몰드로 투입되기 전에 상기 용탕의 열에너지를 외부로 방열시켜 용탕의 온도를 감소시키는 역할을 수행한다. 이를 위해 상기 과냉처리부는 열전도도가 높은 금속, 예를 들어 구리 또는 구리합금이 사용될 수 있다.

[0049] 예를 들어, 중력 주조 방식에 있어서, 과냉처리부는 용탕이 투입되는 몰드의 주입구 상부에 배치되며, 상기 용탕이 몰드의 주입구로 유동될 수 있도록 소정의 각도를 가지고 기울어진 경사부를 포함할 수 있다. 초음파처리가 완료된 용탕은 먼저 과냉처리부로 출탕되며, 상기 용탕은 상기 과냉처리부의 경사면을 따라 몰드의 주입구로 유동되는 과정 중에 과냉처리부에 의해 냉각되면서 온도가 감소하게 된다. 상기 과냉처리부를 유동하면서 과냉된 용탕은 몰드로 투입된 후 응고되어 주조합금이 된다.

[0050] 과냉처리부와 몰드는 직접 접촉되어 연결될 수 있다. 이 경우, 선택적으로 몰드와 과냉처리부 사이에는 몰드와 과냉처리부 사이의 열전달을 차단하기 위한 단열부가 형성될 수 있다.

[0051] 과냉처리부는 용탕이 몰드로 투입되기 전 용탕의 온도를 감소시키는 역할을 수행하며, 따라서 용탕이 몰드로 투입되기 전에 충분히 과냉될 수 있도록 낮은 온도로 유지하는 것이 필요하다. 반면, 몰드의 경우에는 용탕의 주입성 및 유동성을 확보하기 위해서 용탕 주입 전에 몰드를 소정의 온도로 미리 가열하는 것이 필요할 수 있다. 예를 들어 알루미늄 합금 용탕을 주입하는 경우, 과냉처리부는 몰드보다 낮은 20~50℃ 범위로 유지하는 반면, 몰드는 100~300℃ 범위에서 유지할 수 있다.

[0052] 과냉처리부와 몰드가 직접 연결되어 있는 경우, 고온의 몰드로부터 저온의 과냉처리부로 열이 전달되며 이에 의해 과냉처리부의 온도가 올라갈 수 있다. 이렇게 몰드로부터 전달된 열에 의해 과냉처리부의 온도가 증가하게 되면 과냉처리부의 설치 목적인 용탕의 과냉이 충분히 이루어지지 않을 수 있다. 특히 주조가 복수회에 걸쳐서 연속적으로 진행되는 경우에는 주조가 진행될수록 과냉처리부의 온도가 계속 증가하여 실제 용탕의 과냉의 효과가 주조 회수에 따라 점점 감소하게 되는 문제가 발생할 수 있다.

[0053] 이러한 문제를 해결하기 위하여, 몰드와 과냉처리부가 서로 직접 접촉되는 부분에는 몰드로부터 과냉처리부로의 열전달을 차단하기 위한 단열부가 설치될 수 있다. 예를 들어, 상기 단열부는 과냉처리부와 몰드의 사이에서, 일 면이 과냉처리부의 일부와 결합되고 타 면은 몰드의 일부와 접촉되는 형태를 가질 수 있다. 이러한 단열부에 의해서 높은 온도를 가지는 몰드로부터 낮은 온도를 가지는 과냉처리부로의 열전달이 차단되며, 따라서 과냉처리부의 온도가 상승하는 것을 억제할 수 있다.

[0054] 이러한 단열부의 소재로는 규산 칼슘(루미보드), 암면, 유리섬유 및 세라믹 섬유 중 어느 하나일 수 있다.

[0055] 도 2 내지 도 5는 본 발명의 실시예들에 따른 초음파처리 주소 시스템 및 이를 이용한 주조방법에 대해서 개략적으로 도해하는 도면이다.

[0056] 도 2를 참조하면, 제 1 실시예를 따르는 초음파처리 주조 시스템(200)은 초음파처리장치(210), 용해로(220), 과냉처리부(240) 및 몰드(250)를 포함한다. 선택적으로 용탕채취부(230)를 더 포함할 수 있다.

[0057] 초음파처리장치(210)는 초음파를 발생시키기 위한 전력설비와 상기 전력 설비로부터 전력을 인가받아 용탕 내에서 초음파를 방사할 수 있는 혼(horn)을 구비한다. 상기 혼은 내열금속, 예를 들어 Ti, Mo 등의 금속재질 혹은 Sialon과 같은 세라믹 재질로 이루어질 수 있다.

[0058] 용탕채취부(230)는 용해로(220) 내 용탕을 적어도 일부 채취한 후 이를 몰드(250)로 이동하는 수단으로서, 용해로(220) 및 몰드(250) 사이를 반복하여 왕복 이동할 수 있다.

[0059] 초음파처리는 용해로(220) 내에서 수행되거나 혹은 용탕채취부(230) 내에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 용해로(220) 내에서 초음파처리가 완료되면, 바로 용해로(220)로부터 몰드(250)로 출탕될 수 있다. 다른 예로서, 용탕채취부(230)를 이용할 경우, 용탕채취부(230)가 용해로(220)에서 용탕을 일부 채취한 후 몰드(250) 쪽으로 이동한 다음, 혼을 용탕채취부(230)에 투입하여 초음파처리를 완료한 후 바로 이어서 몰드(250)로 출탕할 수 있다.

[0060] 과냉처리부(240)는 용탕이 몰드(250)의 주입구로 흘러들어갈 수 있도록 소정의 각도로 기울어진 플레이트 형태일 수 있다. 이때 상기 플레이트의 일면에는 용탕이 안정적으로 유동될 수 있는 용탕이동로(미도시)가 홈 형태로 형성될 수 있다. 용해로(220)에서 초음파처리가 완료된 용탕은 그 일부가 용탕채취부(230)에 의해 이동된 후 과냉처리부(240)로 투입된다. 과냉처리부(240)에 투입된 용탕은 중력에 의해 용탕이동로를 따라 흘러내리면서 과냉처리되고, 최종적으로 몰드(250)로 투입되게 된다.

[0061] 선택적으로 과냉처리부(240)의 단부 중 몰드(250)의 상면과 직접 접촉되는 영역에는 단열부(260)이 형성될 수

있다. 이를 통해 주조 과정에서 몰드(250)로부터 과냉처리부(240)으로의 열전달이 억제된다.

[0062] 도 3에는 본 발명의 제 2 실시예를 따라는 초음파처리 주조 시스템(300)이 나타나 있다. 도 3을 참조하면, 제 2 실시예의 경우 과냉처리부(340)의 형태가 상이하다는 점을 제외하고 제 1 실시예와 동일하다. 제 2 실시예에 의하면, 과냉처리부(340)는 몰드(350)의 주입구와 결합되어 용탕이 몰드(350)로 투입되기 전 과냉처리를 수행하도록 설계될 수 있다. 선택적으로 몰드(350)과 과냉처리부(340) 사이에는 단열부(360)이 형성될 수 있다.

[0063] 도 4에는 몰드의 주입구와 결합가능한 형태의 과냉처리부(340)의 단면이 구체적으로 도시되어 있다. 도 4의 (a) 및 (b)는 과냉처리부(340)의 단면도 및 평면도이며, (c)는 몰드(350)와 결합된 상태에서의 단면도이다.

[0064] 도 4의 (a) 및 (b)를 참조하면, 과냉처리부(340)는 본체(341), 본체(341)의 내부에 형성되어, 용탕이 하부로 유동할 수 있도록 기울어진 경사면(342a) 및 출구(342b)를 포함하는 용탕이동로(342)를 구비한다. 선택적으로 본체(341)는 몰드(350)의 주입구와 결합시 몰드(350)의 상면에 본체(341)를 안착되게 할 수 있는 안착면(344)을 더 포함할 수 있다.

[0065] 도 4의 (c)를 참조하면, 몰드(350)의 상부에 결합된 과냉처리부(340)로 용탕이 투입되면, 용탕은 용탕이동로(342)의 경사면(342a)을 따라 몰드(350)의 내부쪽으로 유동된 후 출구(342b)를 통해 몰드(350) 내부로 투입된다. 과냉처리부(350)의 용탕이동로(342)의 경사면 각도, 용탕의 총 이동거리 등을 제어함으로써 합금의 종류에 따른 과냉도의 최적화가 구현될 수 있다.

[0066] 선택적으로 몰드(350)의 상면과 본체(341)의 안착면(344) 사이에는 단열부(360)이 개재되도록 형성되어, 몰드(350)로부터 본체(341)로의 열전달이 억제될 수 있다.

[0067] 선택적으로서, 과냉처리부(340)는, 도 3에 도시한 바와 같이 본체 내부에 냉각매체를 유동시킬 수 있는 냉각유로(345)를 구비할 수 있다. 이러한 냉각유로(345)를 통해 보다 효과적이면서 정밀하게 과냉도의 제어가 가능할 수 있다.

[0068] 도 5에는 본 발명의 제 3 실시예를 따르는 초음파처리 주조 시스템(500)이 나타나 있다. 도 5를 참조하면, 초음파처리 주조 시스템(500)은 초음파처리장치(510), 용해로(520), 경동식 초음파처리로(530), 과냉처리부(540) 및 몰드(550)을 포함한다.

[0069] 과냉처리부(540)는 초음파처리로(530) 및 몰드(550)를 서로 연결하는 플레이트 형태를 가진다. 구체적으로 플레이트 형태의 과냉처리부(540)의 일 단부는 초음파처리로(530)의 입구부에 연결되고, 타 단부는 몰드(550)의 주입구가 형성된 상면에 연결된다. 용해로(520) 내에서 초음파처리가 완료된 후 용해로(520)로부터 용탕의 일부를 초음파처리로(530)로 투입한다. 초음파처리로(530)는 경동식이므로 소정의 각도로 기울일 수 있다. 초음파처리로(530)에 소정의 용탕이 투입된 후 초음파처리로(530)를 기울이면, 이와 연결된 과냉처리부(540) 및 몰드(550)도 같이 연동되어 기울어지게 된다. 용탕은 플레이트 형태의 과냉처리부(540)를 따라 흘러내려 몰드(550)로 투입되며, 과냉처리부(540)를 따라 유동하는 동안 과냉이 일어나게 된다. 몰드(550)는 과냉처리부(540)와 탈착가능하게 연결될 수 있다. 따라서 주조가 완료된 후에는 몰드(550)를 과냉처리부(540)로부터 탈착시킨 후 주조합금을 수득할 수 있다.

[0070] 본 실시예의 경우에는, 플레이트 형태의 과냉처리부(540)의 일 단부가 초음파처리로(530)에 연결되고, 타 단부가 몰드(550)와 연결된다. 따라서 초음파처리로(530) 및 과냉처리부(540)의 연결부와, 과냉처리부(540) 및 몰드(550)의 연결부에 단열부(560a, 560b)가 형성된다. 변형예로서, 단열부(560a, 560b) 중 어느 하나만이 형성될 수도 있다.

[0071] 이하에서는, 본 발명의 이해를 돕기 위한 실시예들을 설명한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실시예들만으로 한정되는 것은 아니다.

[0072] <실험예>

[0073] 실험을 위해 여러 가지 조건에서 알루미늄 주조 합금 샘플을 제조하였다. 알루미늄 합금 샘플의 조성은 표 1과 같이 3가지 종류로 설계되었다. 각 조성에 해당되는 합금 5kg을 용해하여 GBF로 탈가스 처리하였다. 초음파처리는 세라믹 재질의 혼(horn)을 용해로에 투입한 후 60초간 수행하였다. 용해된 용탕의 과냉 처리를 위해 내부에 경사진 냉각판을 구비한 중공형 냉각판을 이용하였다. 냉각판은 열전도도가 높은 구리를 이용하여 제조하였다. 출탕은 구리로 제작한 몰드에 1.5kg 주입하여 수행하였다. 표 2에는 실험예 및 비교예에 해당되는 단계별 공정조건이 나타나 있다. 본 명세서 및 도면에서 “UST”, “CP”는 각각 초음파처리 및 냉각판을 이용한 과냉처리를 의미한다. 또한 “UST+CP”는 두 처리를 모두 수행한 것을 의미하며, “untreated”는 두 공정 모두 수행하

지 않은 것을 의미한다.

표 1

[0074]

조성(wt.%)	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Ti	Zn	P	Al
조성 1	17.95	0.50	4.22	0.25	0.02	0.093	0.026	0.001	Bal.
조성 2	6.96	0.34	0.018	0.10	0.01	0.031	-	-	Bal.
조성 3	6.07	0.97	2.06	0.11	-	0.027	-	-	Bal.

표 2

[0075]

샘플	합금조성	CP	UST
실험예 1	조성 1	O	O
비교예 1a	조성 1	X	X
비교예 1b	조성 1	O	X
비교예 1c	조성 1	X	O
실험예 2	조성 2	O	O
비교예 2a	조성 2	X	X
비교예 2b	조성 2	O	X
비교예 2c	조성 2	X	O
실험예 3	조성 3	O	O
비교예 3a	조성 3	X	X
비교예 3b	조성 3	O	X
비교예 3c	조성 3	X	O

[0076] 도 6은 본 발명의 비교예 1a 내지 1c와, 실험예 1에 해당되는 합금 샘플의 주조 상태의 미세조직을 관찰한 결과이며, 도 7은 상기 샘플들의 초정 Si(Primary Si)의 평균 크기 및 분포를 도해하는 그래프이다.

[0077] 조성 1에 해당되는 합금은 과공정 Al-Si 합금이고, 일반적으로 주조시 조직 내부에 초정 Si이 생성된다. 도 6 및 도 7을 모두 참조하면, 비교예 1a 샘플의 초정 Si(도 5의 화살표) 입자 크기가 36㎛으로 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 그러나 비교예 1b 샘플은 28㎛, 비교예 1c 샘플은 21㎛로 과냉처리 및 초음파처리로 인해서 초정 Si의 입자 크기가 미세화된 것을 확인할 수 있으며, 두 공정이 모두 적용된 실험예 1 샘플의 경우 초정 Si 입자의 크기가 18㎛로, 비교예들과 비교할 때 가장 미세화된 것을 확인할 수 있었다. 또한 도 7의 (b)를 참조하면, Si 초정의 크기 분포도 실험예 1의 경우가 가장 균일한 것을 확인할 수 있다.

[0078] 도 8은 비교예 1a 내지 1c와, 실험예 1에 해당되는 합금 샘플을 T6 열처리 한 후 인장강도(UTS) 및 연신율(Elongation)의 변화를 측정한 것이다. T6 열처리 조건은 495℃의 온도에서 8시간동안 용체화처리를 수행하고, 수냉으로 60℃ 내지 80℃의 온도범위까지 퀜칭하였으며, 175℃의 온도에서 8시간동안 시효처리를 수행하였다.

[0079] 도 8을 참조하면, 실험예 1의 경우, 비교예 1a 내지 1c 대비 초정 Si 입자의 크기가 더 미세해짐에 따라 T6 열처리 후 인장강도 및 연신율 특성이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.

[0080] 도 9는 본 발명의 비교예 2a 내지 2c와, 실험예 2에 해당되는 합금 샘플의 주조 상태의 미세조직을 관찰한 결과이며, 도 10 및 도 11은 상기 샘플들의 결정립의 크기 및 크기 분포를 나타내는 결과이다. 조성 2에 해당되는 합금은 아공정 Al-Si 합금이고, 일반적으로 주조시 조직 내부에 공정 Si이 생성된다. 도 8에 화살표로 표기된 것이 공정 Si이다.

[0081] 도 9를 참조하면, 비교예 2a 샘플의 공정 Si 입자 크기가 28㎛으로 가장 크고, 비교예 2b 샘플은 21㎛, 비교예 2c 샘플은 20㎛로 공정 Si의 입자 크기가 미세화 된 것을 확인할 수 있으나, 실험예 2 샘플의 경우 공정 Si 입자의 크기가 19㎛로, 가장 미세화된 것을 확인할 수 있었다.

[0082] 도 10 및 도 11을 참조하면, 비교예 2a 샘플의 결정립의 크기(Grain size)가 426㎛로 가장 컸으며, 비교예 2b 샘플의 결정립의 크기가 343㎛, 비교예 2c 샘플의 결정립의 크기가 293㎛ 였으며, 실험예 2 샘플의 결정립의 크기가 258㎛로 가장 작은 것을 확인할 수 있었다. 결정립 크기의 분포도 역시 실험예 2 샘플에서 미세화된 결정립의 비율이 가장 높았다.

[0083] 도 12는 비교예 2a 내지 2c와, 실험예 2에 해당되는 합금 샘플의 주조 후 인장강도, 항복강도(YS) 및 연신율의

변화를 측정한 것이다.

[0084] 도 12에 의하면, 실험예 2 샘플의 경우, 비교예 2a 내지 2c 대비 공정 Si 입자의 크기가 더 미세해짐에 따라 주조상태에서 인장강도, 항복강도 및 연신율 특성이 모두 우수한 것을 확인할 수 있었다.

[0085] 도 13은 본 발명의 비교예 3a 내지 3c와, 실험예 3에 해당되는 합금 샘플의 주조 상태의 미세조직을 관찰한 결과이며, 도 14 및 도 15는 상기 샘플들의 결정립의 크기 및 크기 분포를 나타내는 결과이다. 조성 3에 해당되는 합금은 Cu 및 Mg가 함유된 아공정 Al-Si 합금이고, 주조시 조직 내부에 이차수지상(SDAS)이 생성된다.

[0086] 도 13을 참조하면, 비교예 3a 샘플의 이차수지상(SDAS)의 크기가 26㎛으로 가장 크고, 비교예 3b은 24㎛, 비교예 3c 샘플은 22㎛로 이차수지상의 크기가 더 미세화 된 것을 확인할 수 있으나, 실험예 3 샘플의 경우 이차수지상의 크기가 20㎛로, 가장 미세화된 것을 확인할 수 있었다.

[0087] 도 14 및 도 15를 참조하면, 본 경우는 초음파처리된 비교예 3c 샘플의 경우, 결정립 크기가 233㎛로 아무 공정도 적용되지 않은 비교예 3a 샘플과 거의 유사한 값을 나타내었으며, 과냉처리된 비교예 2b 샘플의 결정립 크기인 210㎛에 비해 높은 값을 나타내었다. 이로부터 합금계에 따라서는 단순히 초음파처리만 수행한 것으로 주조합금의 미세화를 구현하기 어려울 수도 있다는 것을 알 수 있다.

[0088] 그러나 초음파처리 및 과냉처리가 모두 수행된 실험예 3 샘플의 경우에는, 결정립의 크기가 179㎛로 다른 비교예 샘플들과 비교하여 가장 작은 것을 확인할 수 있었다. 결정립 크기의 분포도 역시 실험예 3 샘플에서 미세화된 결정립의 비율이 가장 높았다. 이로부터 초음파처리 및 과냉처리가 모두 수행된 경우에 가장 우수한 합금 특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

[0089] 도 16은 비교예 3a 내지 3c와, 실험예 3에 해당되는 합금 샘플의 주조 후 인장강도, 항복강도 및 연신율의 변화를 측정한 것이다.

[0090] 도 16을 참조하면, 실험예 3의 경우에 비교예 3a와 비교할 때 연신율을 다소 감소하였으나, 인장강도 및 항복강도는 가장 우수한 값을 나타냄을 알 수 있다.

[0091] 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

[0092] 200, 300, 500 : 초음파처리 주조 시스템

210, 310, 510 : 초음파처리장치

220, 320, 520: 용해로

230, 330 : 용탕채취부

240, 340, 540 : 과냉처리부

260, 360, 560a, 560b : 단열부

250, 350, 550: 몰드

341 : 본체

342 : 용탕이동로

342a : 경사면

342b : 출구

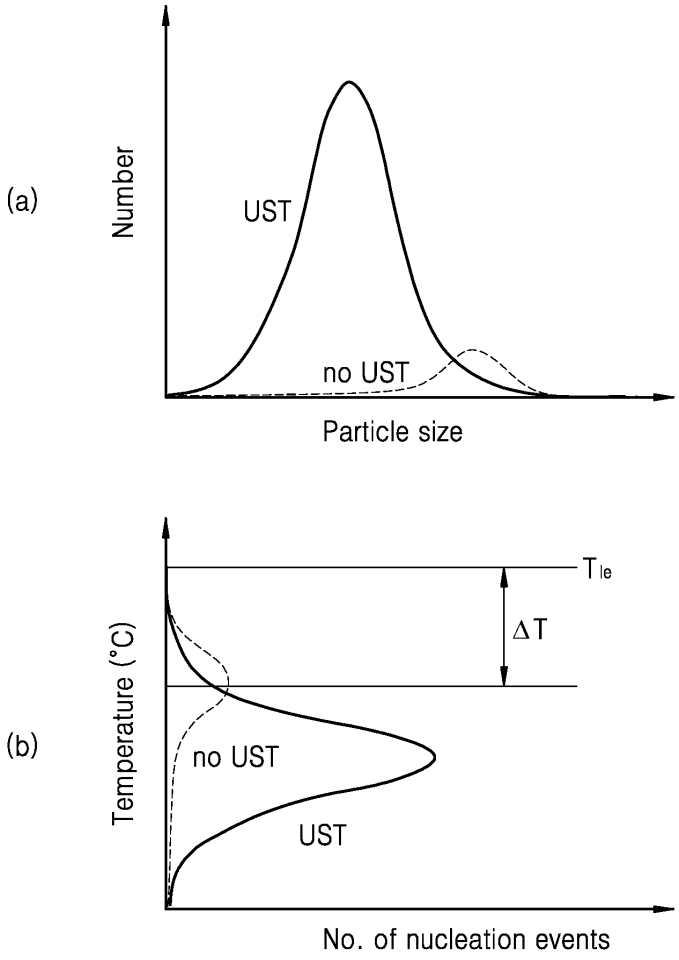
344 : 안착면

345 : 냉각유로

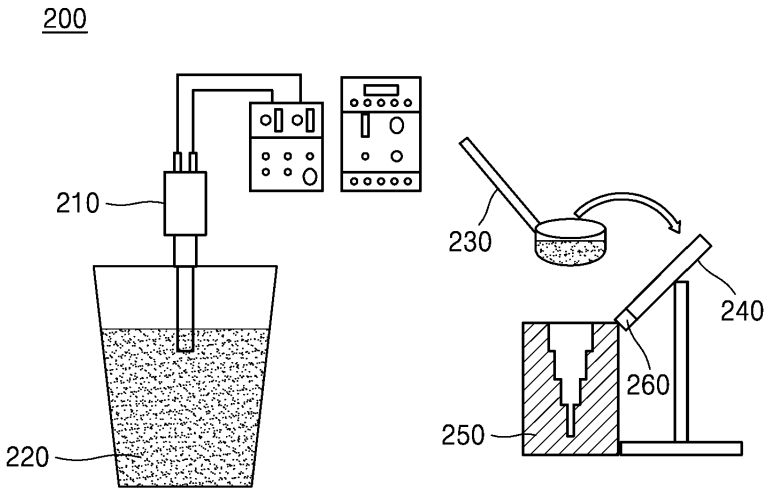
530 : 초음파처리로

도면

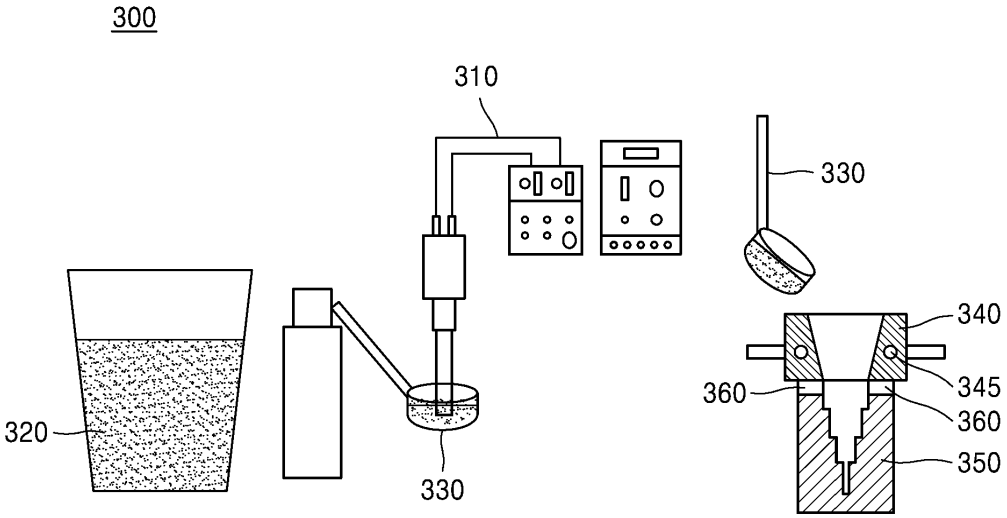
도면1


(a)
Number
UST
no UST
Particle size
(b)
Temperature (°C)
T_{le}
ΔT
no UST
UST
No. of nucleation events

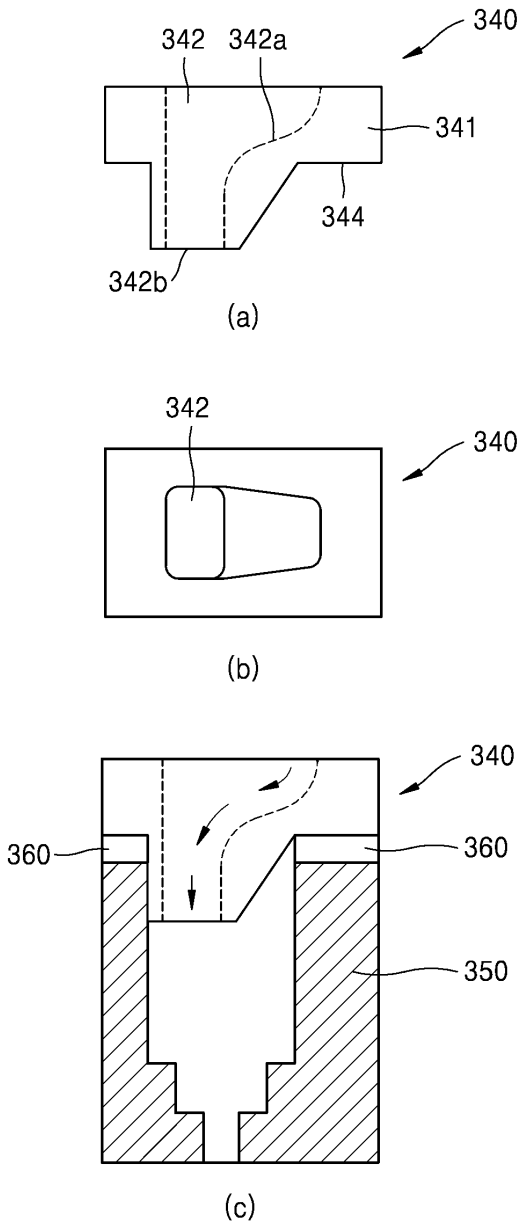
도면2


200
210
220
230
240
250
260

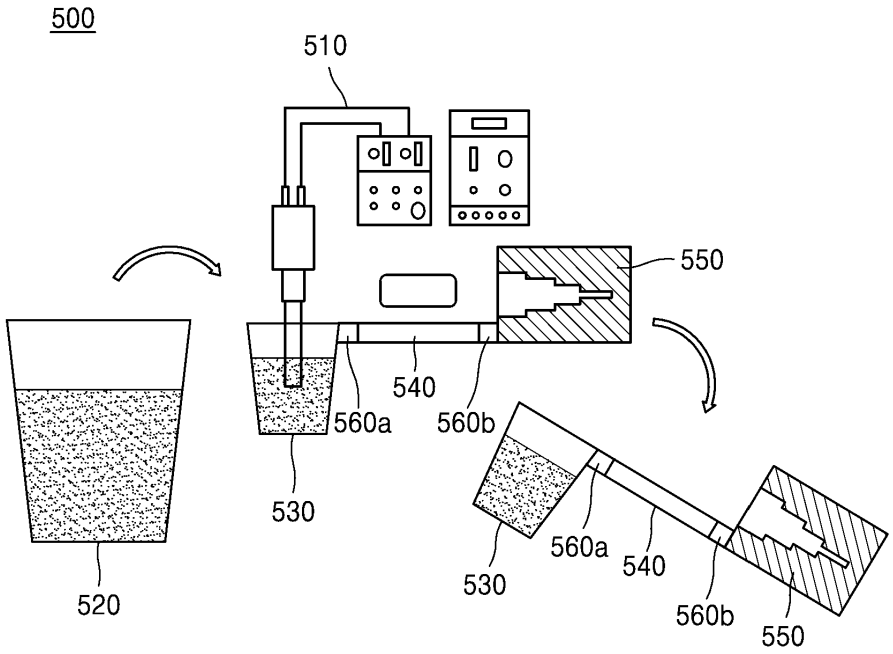
도면3



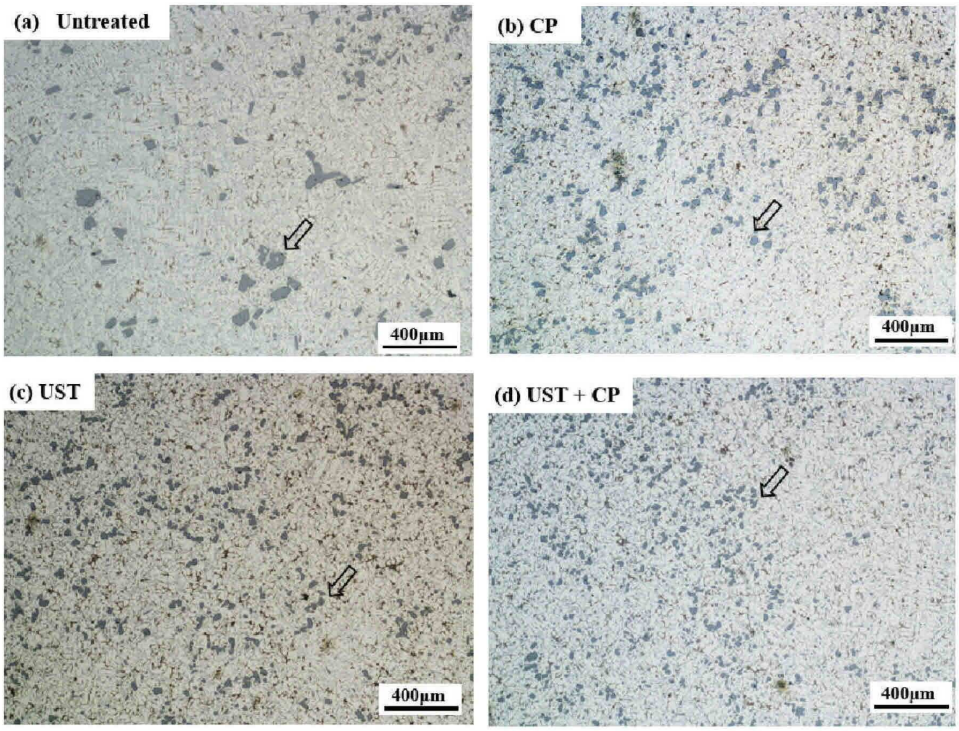
도면4



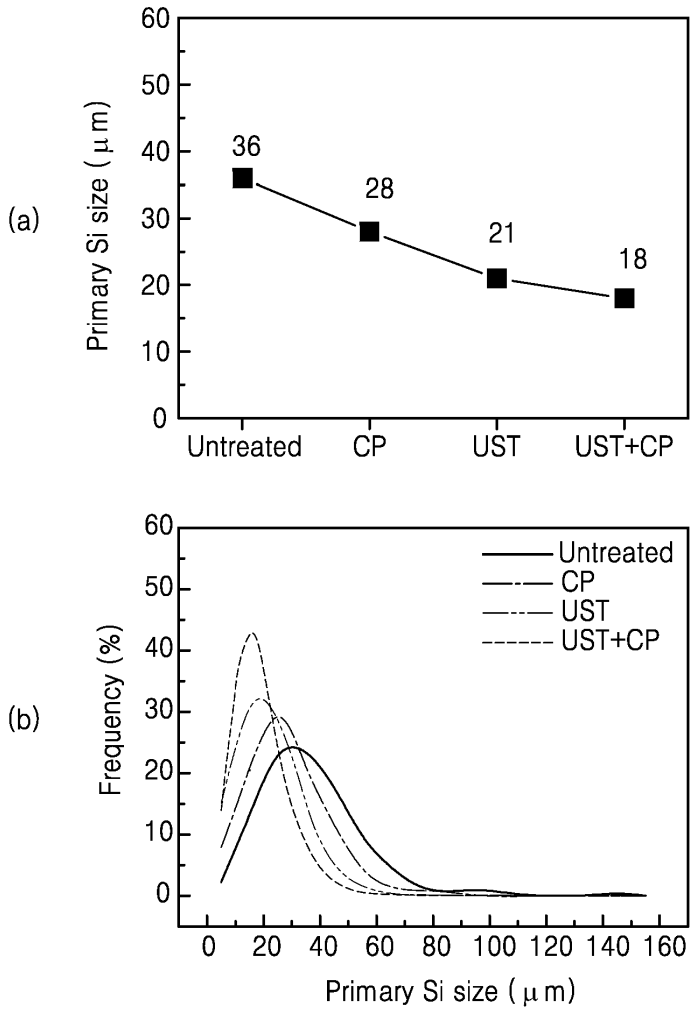
도면5


500
510
550
540
560a
560b
530
520
530
560a
540
560b
550

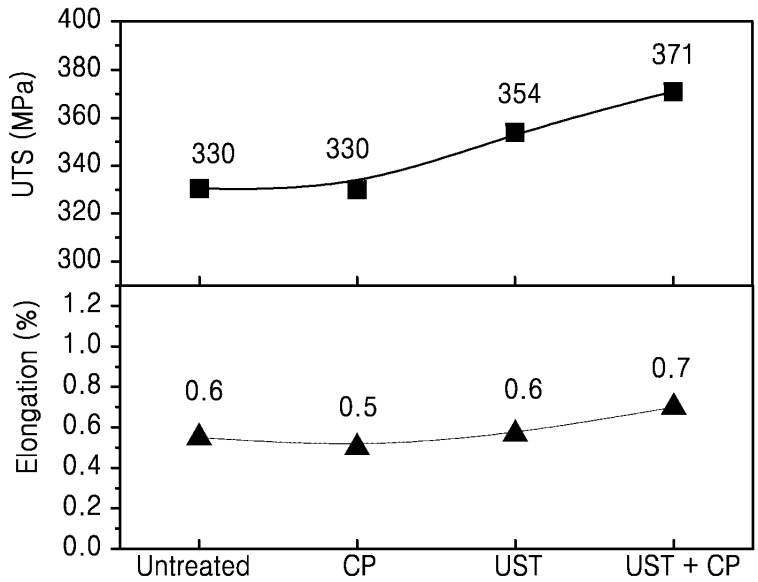
도면6


(a) Untreated
400μm
(b) CP
400μm
(c) UST
400μm
(d) UST + CP
400μm

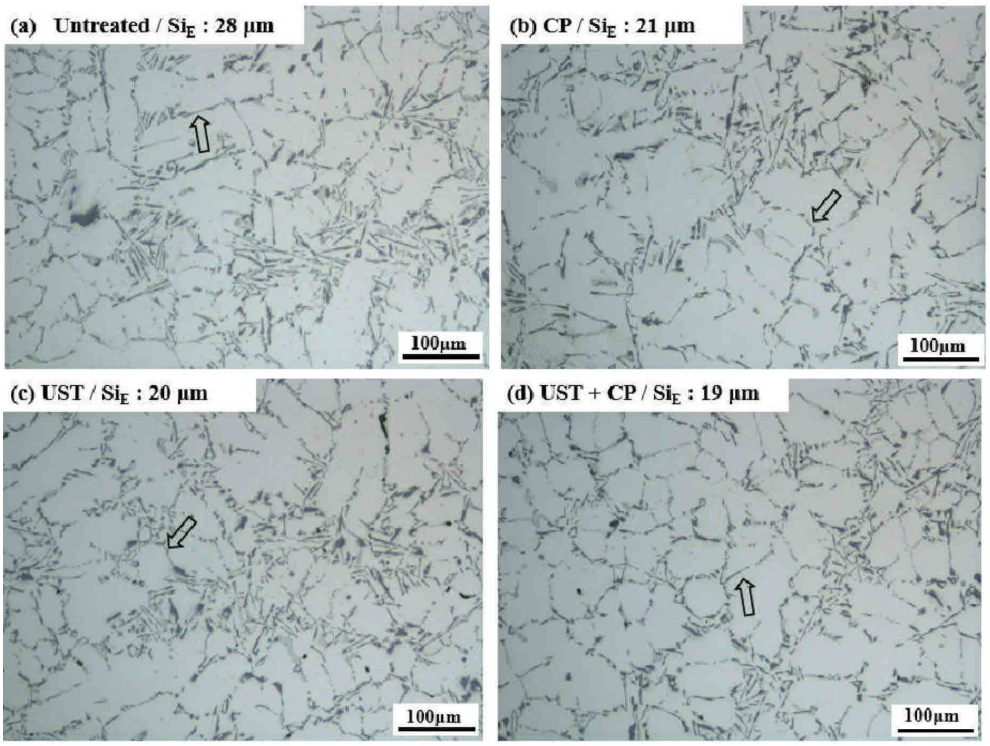
도면7


(a)
Primary Si size (μm)
60
50
40
30
20
10
0
36
28
21
18
Untreated
CP
UST
UST+CP
(b)
Frequency (%)
60
50
40
30
20
10
0
Untreated
CP
UST
UST+CP
0
20
40
60
80
100
120
140
160
Primary Si size (μm)

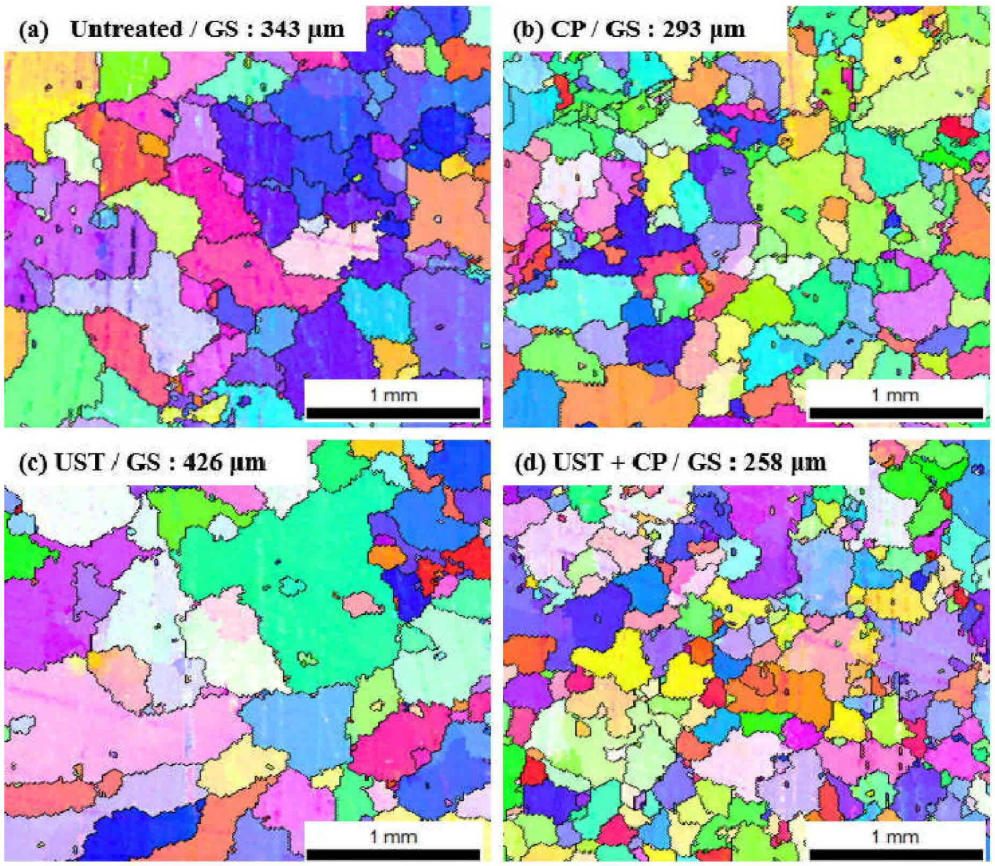
도면8


UTS (MPa)
400
380
360
340
320
300
330
330
354
371
Elongation (%)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.6
0.5
0.6
0.7
Untreated
CP
UST
UST + CP

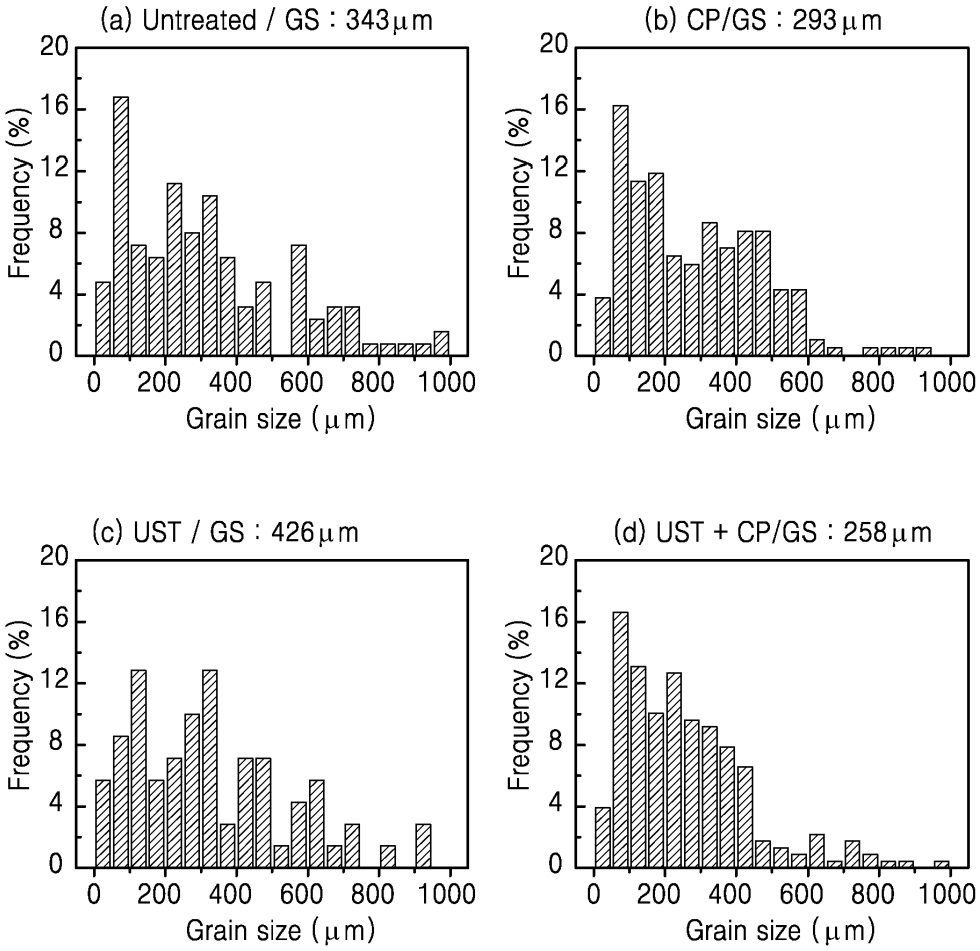
도면9


(a) Untreated / Si_E : 28 μm
100μm
(b) CP / Si_E : 21 μm
100μm
(c) UST / Si_E : 20 μm
100μm
(d) UST + CP / Si_E : 19 μm
100μm

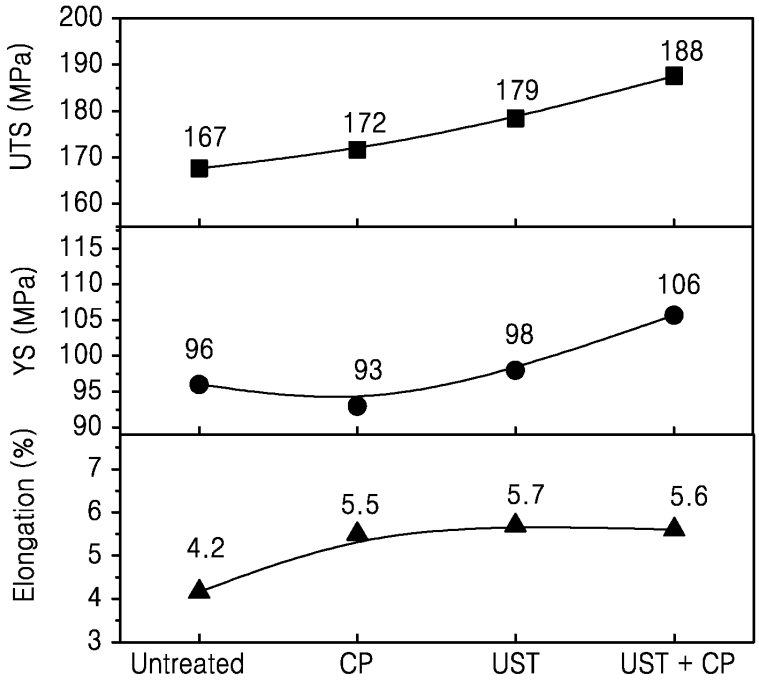
도면10


(a) Untreated / GS : 343 μm
1 mm
(b) CP / GS : 293 μm
1 mm
(c) UST / GS : 426 μm
1 mm
(d) UST + CP / GS : 258 μm
1 mm

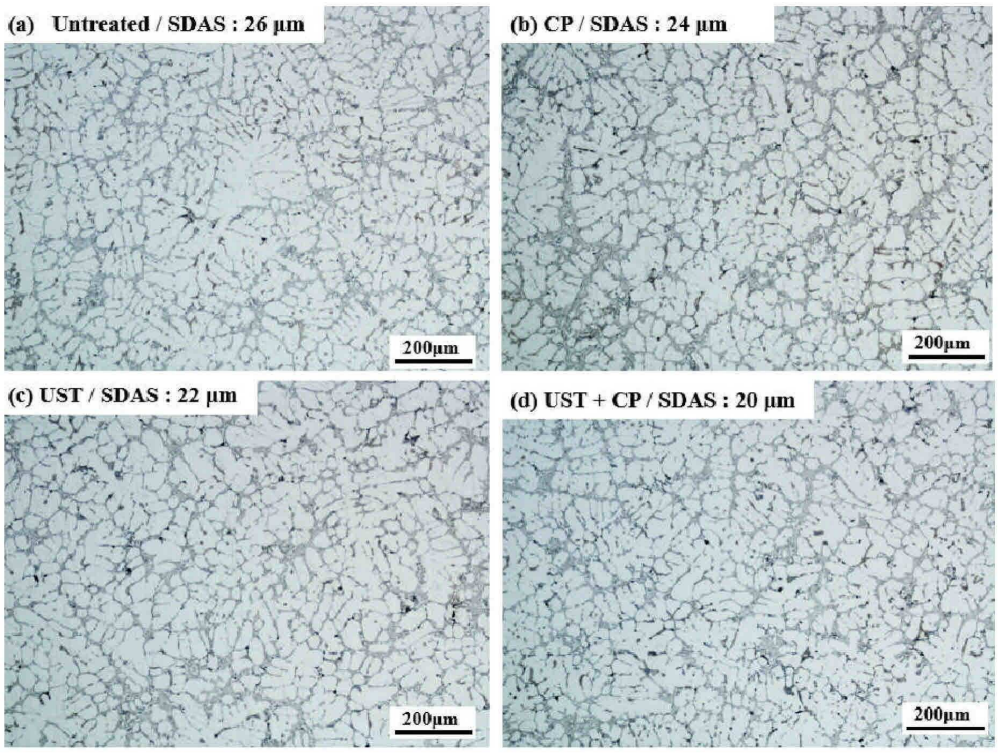
도면11


(a) Untreated / GS : 343㎛
(b) CP/GS : 293㎛
(c) UST / GS : 426㎛
(d) UST + CP/GS : 258㎛
Frequency (%)
Grain size (㎛)
0
4
8
12
16
20
0
200
400
600
800
1000

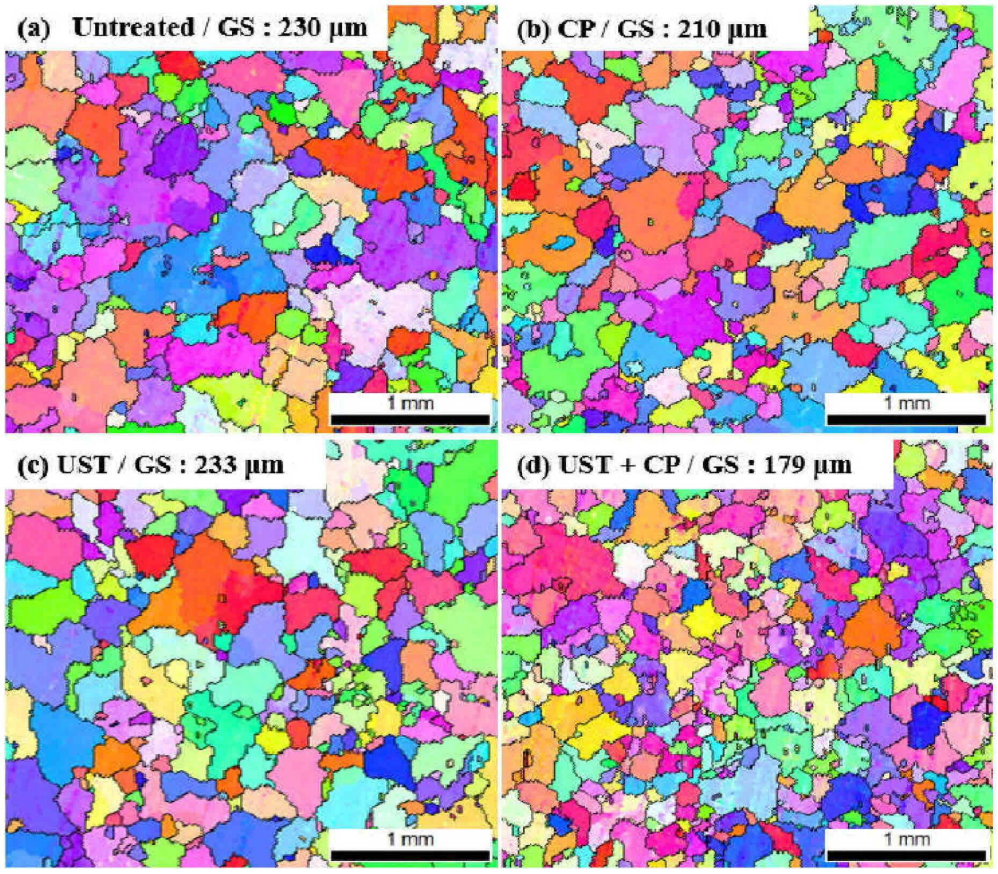
도면12


UTS (MPa)
YS (MPa)
Elongation (%)
167
172
179
188
96
93
98
106
4.2
5.5
5.7
5.6
Untreated
CP
UST
UST + CP

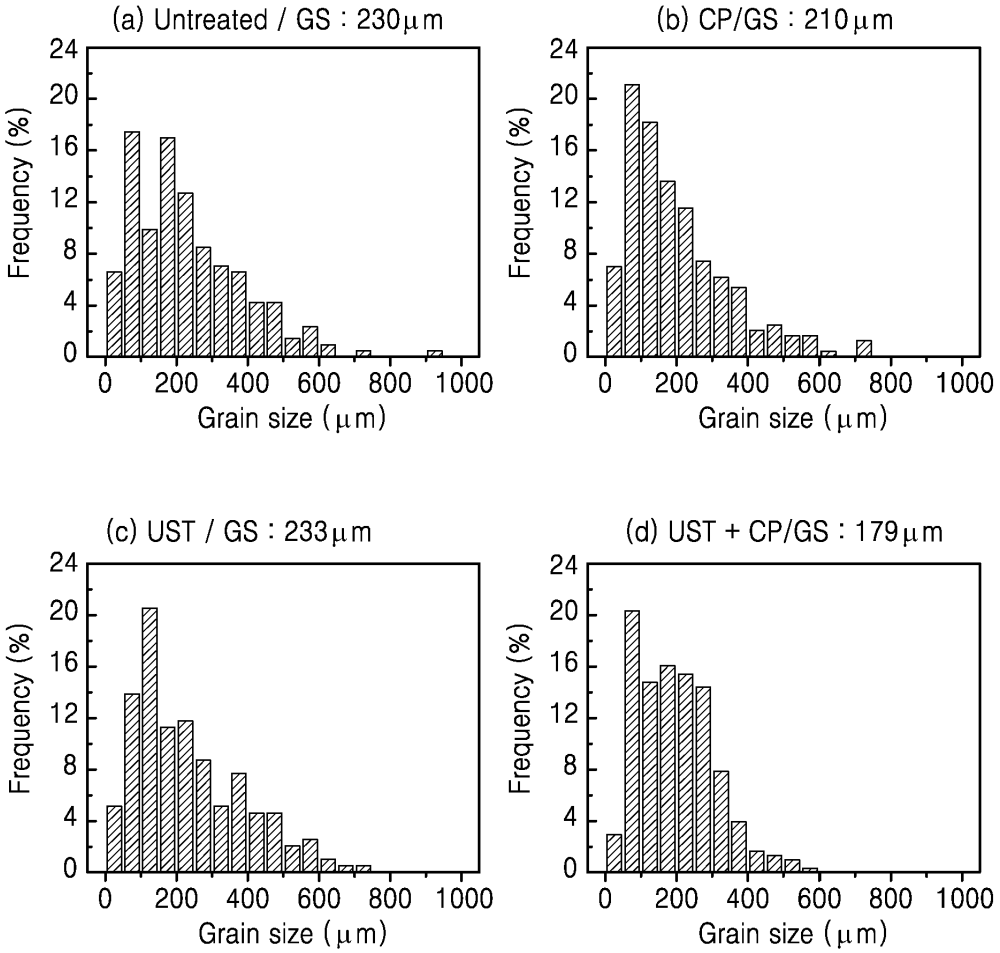
도면13


(a) Untreated / SDAS : 26 μm
200μm
(b) CP / SDAS : 24 μm
200μm
(c) UST / SDAS : 22 μm
200μm
(d) UST + CP / SDAS : 20 μm
200μm

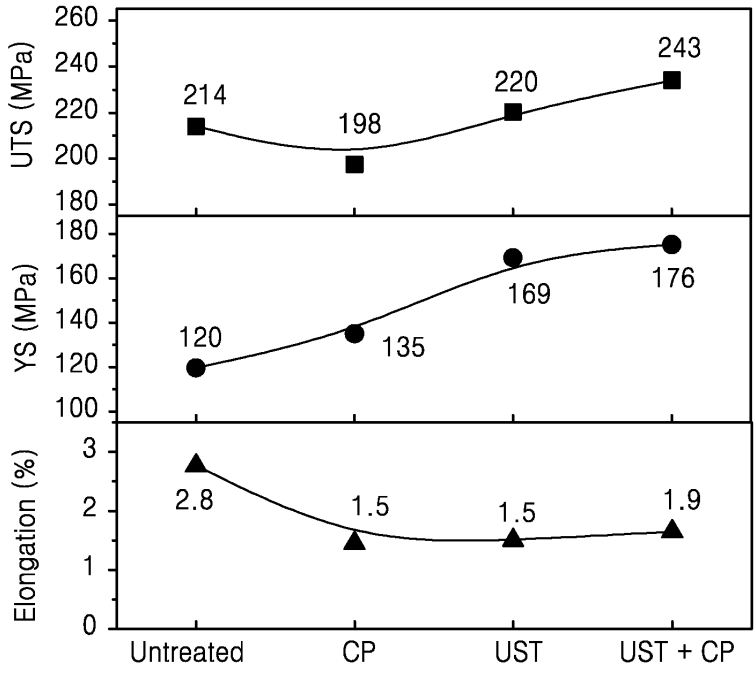
도면14


(a) Untreated / GS : 230 μm
1 mm
(b) CP / GS : 210 μm
1 mm
(c) UST / GS : 233 μm
1 mm
(d) UST + CP / GS : 179 μm
1 mm

도면15


(a) Untreated / GS : 230μm
(b) CP/GS : 210μm
(c) UST / GS : 233μm
(d) UST + CP/GS : 179μm
Frequency (%)
Grain size (μm)
0
4
8
12
16
20
24
0
200
400
600
800
1000

도면16


UTS (MPa)
YS (MPa)
Elongation (%)
214
198
220
243
120
135
169
176
2.8
1.5
1.5
1.9
Untreated
CP
UST
UST + CP