(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0154356
(43) 공개일자 2024년10월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 21/10 (2006.01) *B22D 11/00* (2006.01)
B22D 11/04 (2006.01) *B22D 11/045* (2006.01)
B22D 11/055 (2006.01) *C22F 1/053* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 21/10 (2013.01)
B22D 11/003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0050862
(22) 출원일자 2023년04월18일
심사청구일자 2023년04월18일

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
이윤수
경상남도 창원시 성산구 상남로 35, 606호
김형욱
경상남도 창원시 성산구 대암로 253, 104동 402호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이인행

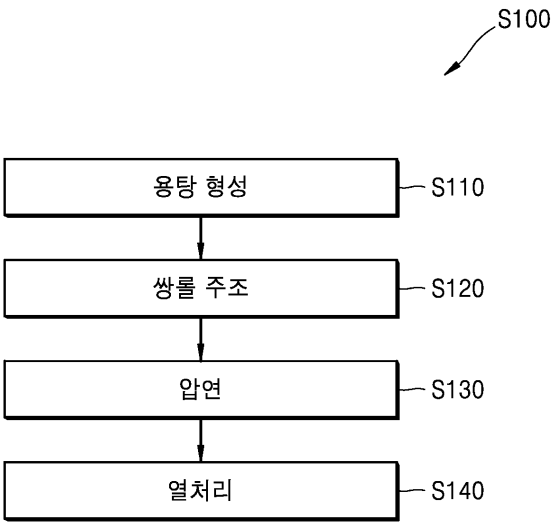
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법 및 이를 이용하여 제조한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재**

(57) 요 약

본 발명은, 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법을 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법은, 5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 원소들을 용해하여 용탕을 형성하는 단계; 및 상기 용탕을 구리 또는 구리 합금으로 구성되고, 회전하는 한 쌍의 냉각롤 사이에 주입하여 쌍롤 주조하는 단계를 포함하고, 상기 알루미늄을 제외한 합금 원소들의 총 함량과 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기(Ra)의 곱은 5 이상 내지 30 이하의 범위를 가진다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B22D 11/0405 (2013.01)
B22D 11/0455 (2013.01)
B22D 11/055 (2013.01)
C22F 1/053 (2013.01)
(72) 발명자
조용희
경상남도 창원시 성산구 상남로 37, 408호
김원경
경상남도 창원시 의창구 상남로216번길 1, 202호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711158644
과제번호	PNCC140
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	나노소재기술개발
연구과제명	항공용 7xxx계 알루미늄합금 판재 제조기술(1단계)(2/3)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국재료연구원
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 원소들을 용해하여 용탕을 형성하는 단계; 및

상기 용탕을 구리 또는 구리 합금으로 구성되고, 회전하는 한 쌍의 냉각롤 사이에 주입하여 쌍롤 주조하는 단계를 포함하고,

상기 알루미늄을 제외한 합금 원소들의 총 함량과 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기(Ra)의 곱은 5 이상 내지 30 이하의 범위를 가지는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 냉각롤은 0.1 ㎛ 내지 4.0 ㎛ 범위의 평균 표면 거칠기를 가지는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 주조 방향에 대하여 수평 방향, 수직 방향, 및 이들 모두의 방향으로 표면 균열이 형성되지 않는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 냉각롤은 상기 평균 표면 거칠기를 가지도록 연마된 후에, 고상 또는 액상의 윤활제가 도포된,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는,

티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함하는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 쌍롤 주조하는 단계를 수행한 후에,

상기 쌍롤 주조된 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 압연하는 단계를 더 포함하는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 압연하는 단계를 수행한 후에,

상기 압연된 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 열처리하는 단계를 더 포함하고,

상기 열처리하는 단계는 용체화 처리, 소부 열처리 및 시효 열처리 중 적어도 어느 하나로 수행되는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 용체화 처리는 420℃ 내지 570℃ 범위의 온도에서 30분 내지 10시간 동안 수행하는.

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 소부 열처리는 130℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서 10 분 내지 1 시간 동안 수행하는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 시효 열처리는 100℃ 내지 250℃ 범위의 온도에서 1 시간 내지 30 시간 동안 수행하는,

쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법.

청구항 11

5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하고,

구리 또는 구리 합금으로 구성되고, 회전하는 한 쌍의 냉각롤 사이에 주입하여 쌍롤 주조하여 제조되고,

상기 알루미늄을 제외한 합금 원소들의 총 함량과 상기 평균 표면 거칠기의 곱은 5 이상 내지 30 이하의 범위를 가지는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는,

티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함하는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는,

열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리 및 자연시효를 거치면, 항복강도(YS): 270 MPa 이상, 인장강도(UTS): 450

MPa 이상, 및 연신율(EL): 7% 이상을 만족하는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는,

열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리, 자연시효 및 소부 열처리를 거치면, 항복강도(YS): 320 MPa 이상, 인장강도(UTS): 480 MPa 이상, 및 연신율(EL): 2% 이상을 만족하는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는,

열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리, 자연시효 및 시효 열처리를 거치면, 항복강도(YS): 450 MPa 이상, 인장강도(UTS): 520 MPa 이상, 및 연신율(EL): 3% 이상을 만족하는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 알루미늄 합금의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법 및 이를 이용하여 제조한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 전 세계적으로 수송기기 부품의 경량화를 통하여 연비 효율성을 향상시키려는 추세에 따라 경량 및 고강도 소재에 대한 요구가 증가하며, 이 중 알루미늄 합금은 우수한 주조성, 가공성, 기계적 특성, 내구한도, 재활용성 등으로 인하여 그 사용량이 급격하게 증가하고 있다. 특히, 알루미늄 합금 중 주요 합금원소로서 아연, 마그네슘 등을 첨가하는 7000계 알루미늄 합금은 주로 항공기 소재로 적용되었으나, 높은 기계적 특성으로 인하여 최근 자동차, 전자기기용 케이스 등으로의 적용이 확대되고 있다.

[0003] 그러나, 7000계 알루미늄 합금은 아연, 마그네슘, 구리 등 첨가원소의 함량이 증가함에 따라 강도는 증가하는 반면, 고액공존영역의 확장으로 주조결함의 발생이 쉽고, 가공성이 감소하여 여러 단계의 가공을 거쳐야만 하기 때문에 기존 철강 소재에 비하여 최종 소재의 단가가 높다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여, 간결한 제조공정으로 7000계 알루미늄 합금의 제조비용을 현실화시키고자 하는 연구가 다양하게 진행되고 있으며, 그 중 하나가 용탕으로부터 직접 판재를 생산할 수 있는 쌍롤 주조법이다. 하지만 현재까지 개발된 쌍롤 주조법은 저합금계 알루미늄합금 제조기술에 국한되어 있으며, 강도가 우수한 고합금계 알루미늄합금에 대한 연구가 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0933385호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는, 알루미늄 합금의 조성범위를 제어하고, 열전도성이 높은 구리 또는 구리합금 냉각롤의 표면 조도를 정밀하게 제어함으로써 표면 결함의 형성을 억제할 수 있는, 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법을 제공하는 것이다.

[0006] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 관점에 의하면, 표면 결함의 형성을 억제할 수 있는, 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법 및 이를 이용하여 제조한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재가 제공된다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법은, 5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 원소들을 용해하여 용탕을 형성하는 단계; 및 상기 용탕을 구리 또는 구리 합금으로 구성되고, 회전하는 한 쌍의 냉각롤 사이에 주입하여 쌍롤 주조하는 단계를 포함하고, 상기 알루미늄을 제외한 합금 원소들의 총 함량과 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기(Ra)의 곱은 5 이상 내지 30 이하의 범위를 가질 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 냉각롤은 0.1 μm 내지 4.0 μm 범위의 평균 표면 거칠기를 가질 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 주조 방향에 대하여 수평 방향, 수직 방향, 및 이들 모두의 방향으로 표면 균열이 형성되지 않을 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 냉각롤은 상기 평균 표면 거칠기를 가지도록 연마된 후에, 고상 또는 액상의 윤활제가 도포될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속 중 선택적으로 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 쌍롤 주조하는 단계를 수행한 후에, 상기 쌍롤 주조된 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 압연하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 압연하는 단계를 수행한 후에, 상기 압연된 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 열처리하는 단계를 더 포함하고, 상기 열처리하는 단계는 용체화 처리, 소부 열처리 및 시효 열처리 중 적어도 어느 하나로 수행될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 용체화 처리는 420℃ 내지 570℃ 범위의 온도에서 30분 내지 10시간 동안 수행할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 소부 열처리는 130℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서 10 분 내지 1 시간 동안 수행할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 시효 열처리는 100℃ 내지 250℃ 범위의 온도에서 1 시간 내지 30 시간 동안 수행할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 구리 또는 구리 합금으로 구성되고, 회전하는 한 쌍의 냉각롤 사이에 주입하여 쌍롤 주조하여 제조되고, 상기 알루미늄을 제외한 합금 원소들의 총 함량과 상기 평균 표면 거칠기의 곱은 5 이상 내지 30 이하의 범위를 가질 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속 중 선택적으로 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리 및 자연시효를 거치면, 항복강도(YS): 270 MPa 이상, 인장강도(UTS): 450 MPa 이상, 및 연신율(EL):

7% 이상을 만족할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리, 자연시효 및 소부 열처리를 거치면, 항복강도(YS): 320 MPa 이상, 인장강도(UTS): 480 MPa 이상, 및 연신율(EL): 2% 이상을 만족할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리, 자연시효 및 시효 열처리를 거치면, 항복강도(YS): 450 MPa 이상, 인장강도(UTS): 520 MPa 이상, 및 연신율(EL): 3% 이상을 만족할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 기술적 사상에 의할 경우, 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법은 쌍롤 주조의 냉각롤의 평균 표면 거칠기를 제어함으로써, 냉각롤과 판재 사이의 마찰을 줄여 걸리는 응력을 감소시키고, 합금의 조성을 한정함으로써 최종 응고부인 결정립계의 저융점상(편석)을 감소시켜, 쌍롤 주조 한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 표면 품질을 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 후속의 열간압연 또는 냉간압연 수행 시 결함 발생을 억제하여 최종 판재의 특성을 향상시킬 수 있다.

[0024] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법을 개략적으로 나타낸 공정 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용된 쌍롤 주조 장치를 나타내는 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에서, 합금 원소의 함량과 냉각롤의 평균 표면 거칠기의 상관 관계를 나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용되는 알루미늄 합금 설계를 위한 열역학 계산 결과를 나타내는 그래프들이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용되는 알루미늄 합금 설계를 위한 합금 원소 첨가량에 따른 액상 분율의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에서, 유한요소모델 시뮬레이션을 위한 개략도이다.

도 7 및 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에서, 유한요소모델 시뮬레이션의 결과를 나타내는 그래프들이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진들이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 아연 및 구리 함량 변화에 따른 표면 상태를 나타내는 사진들이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 균열부를 확대하여 나타내는 주사전자현미경 사진이다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에서 표면 균열부의 미세조직을 나타내는 사진들이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 냉각롤의 평균 표면 거칠기 변화에 따른 표면 상태를 나타내는 사진들이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 기

계적 특성을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.

[0027] 본 명세서에서, "합금 원소"는 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에서 알루미늄을 제외하고, 의도적으로 또는 의도하지 않고 첨가되는 다른 원소들을 지칭하는 용어로 사용됨에 유의한다.

[0028] 본 발명의 기술적 사상에 따르면, 알루미늄 합금의 조성범위를 제어하고, 쌍롤주조에 사용되는 냉각롤의 표면 조도를 정밀하게 제어함으로써 표면 결함의 발생을 억제하여 고강도를 구현할 수 있는 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법 및 이를 이용하여 제조한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 제공하는 것이다.

[0029] 이하, 본 발명의 일 측면인 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에 대하여 설명한다.

[0030] 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재

[0031] 본 발명의 일 측면인 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함한다.

[0032] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속 중 선택적으로 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함할 수 있다.

[0033] 이하, 본 발명에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에 포함되는 각 성분의 역할 및 그 함량에 대하여 설명하면 다음과 같다. 이때, 성분 원소의 함유량은 모두 중량%를 의미한다.

[0034] 아연(Zn): 5 중량% ~ 10 중량%

[0035] 아연은 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 강도를 향상시키는 원소이다. 아연의 함량이 5 중량 % 미만인 경우에는, 강도 확보가 어려울 수 있다. 아연의 함량이 10 중량 %를 초과하는 경우에는, 용탕의 유동도가 감소하여 쌍롤 박판주조 도중 노즐입구가 일부 막히는 등의 주조성이 불량하게 되어 쌍롤 주조가 어려우며, 제조되는 합금 판재의 중심부에 편석이 생겨 기계적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 아연은 판재 전체 중량의 5 중량 % 내지 10 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0036] 마그네슘(Mg): 2 중량% ~ 3 중량%

[0037] 마그네슘은 고용강화 원소로서 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 기지에 고용되어 강도 및 성형성을 향상시키는 원소이다. 또한 아연과 함께 첨가될 경우 석출경화에 의하여 시효처리 후 강도를 크게 향상시킬 수 있다. 마그네슘의 함량이 2 중량% 미만인 경우에는, 강도 확보 및 성형성 향상이 어려울 수 있고, 쌍롤 주조 시 쌍롤과 판재의 소착 문제를 유발할 수 있다. 마그네슘의 함량이 3 중량%를 초과하는 경우에는, 연신율이 현저하게 저하되므로 쌍롤 주조 시 균열을 야기할 수 있다. 따라서, 마그네슘은 판재 전체 중량의 2 중량% ~ 3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0038] 구리(Cu): 0.5 중량% ~ 2.5 중량%

[0039] 구리는 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 강도 및 성형성을 향상시키는 원소이다. 구리의 함량이 0.5 중량% 미만인 경우에는, 강도 확보 및 성형성 향상이 어려울 수 있다. 구리의 함량이 2.5 중량%를 초과하는 경우에는, 쌍롤 주조시 편석에 의한 균열을 형성할 수 있다. 따라서, 구리는 판재 전체 중량의 0.5 중량% ~ 2.5 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0040] 티타늄(Ti): 0.3 중량% 이하

[0041] 티타늄은 재결정을 억제하여 결정립을 미세화할 수 있는 효과가 있고, 티타늄을 포함하는 미세화제, 예를 들어, 티타늄을 포함하는 알루미늄 모합금, 예를 들어 Al-Ti-B 결정립 미세화제인 Al-5Ti-1B 등으로 첨가될 수 있고, 다만 상기 미세화제로 제한되는 것은 아니다. 티타늄의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 결정립 미세화의 효과가 없을 수 있다. 티타늄의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 조대한 금속간 화합물을 형성하여 연성이 저하될 수 있다. 따라서, 티타늄은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0042] 보론(B): 0.3 중량% 이하

[0043] 보론은 티타늄과 같이 결정립을 미세화할 수 있는 효과가 있고, 보론을 포함하는 미세화제, 예를 들어, 보론을 포함하는 알루미늄 모합금, 예를 들어 Al-Ti-B 결정립 미세화제인 Al-5Ti-1B 등으로 첨가될 수 있고, 다만 상기 미세화제로 제한되는 것은 아니다. 보론의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 결정립 미세화의 효과가 없을 수 있다. 보론의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 거칠기가 큰 화합물을 형성하여 인성 및 탄성이 저하될 수 있다. 따라서, 보론은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0044] 지르코늄(Zr): 0.3 중량% 이하

[0045] 지르코늄은 재결정을 억제하여 결정립을 미세화할 수 있는 효과가 있고, 예를 들어, 지르코늄을 포함하는 알루미늄 모합금의 형태로서 미세화제로 첨가될 수 있고, 다만 상기 미세화제로 제한되는 것은 아니다. 지르코늄의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 결정립 미세화의 효과가 없을 수 있다. 지르코늄의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 조대한 금속간 화합물을 형성하여 연성이 저하될 수 있다. 따라서, 지르코늄은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0046] 크롬(Cr): 0.3 중량% 이하

[0047] 크롬은 재결정을 억제하여 결정립을 미세화할 수 있는 효과가 있고, 예를 들어, 크롬을 포함하는 알루미늄 모합금의 형태로서 미세화제로 첨가될 수 있고, 다만 상기 미세화제로 제한되는 것은 아니다. 크롬의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 결정립 미세화의 효과가 없을 수 있다. 크롬의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 조대한 금속간 화합물을 형성하여 연성이 저하될 수 있다. 따라서, 크롬은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0048] 망간(Mn): 0.3 중량% 이하

[0049] 망간은 재결정을 억제하여 결정립을 미세화할 수 있는 효과가 있고, 예를 들어, 망간을 포함하는 알루미늄 모합금의 형태로서 미세화제로 첨가될 수 있고, 다만 상기 미세화제로 제한되는 것은 아니다. 망간의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 분산입자를 충분히 형성하지 못하여 강화 효과가 없을 수 있다. 망간의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 기계적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 망간은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0050] 스칸듐(Sc): 0.3 중량% 이하

[0051] 스칸듐은 결정립을 미세화하여 고온균열에 대한 저항성을 증가시키고 알루미늄 합금의 용접성 및 가공성을 향상시키는 원소이다. 스칸듐의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 결정립 미세화 효과가 없을 수 있다. 스칸듐의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 주조시 용해되지 않은 스칸듐 입자에 의하여 크랙이 발생될 수 있다. 따라서, 스칸듐은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0052] 희토류 금속: 0.3 중량% 이하

[0053] 희토류 금속은 바늘 형상의 미세 석출물 또는 정출물을 구형으로 변형시키고, 석출물의 입경 크기를 제어하여 경도를 증가시키는 원소이다. 상기 희토류 금속은 예를 들어 상기 희토류 금속은, 이트륨(Y), 란탄(La), 세륨(Ce), 프라세오디뮴(Pr), 네오디뮴(Nd), 프로메슘(Pm), 사마륨(Sm), 유로퓸(Eu), 가돌리늄(Gd), 터븀(Tb), 디스프로슘(Dy), 홀뮴(Ho), 어븀(Er), 툴륨(Tm), 이터븀(Yb) 및 루테튬(Lu)으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상일 수 있다. 희토류 금속의 함량이 0.01 중량% 미만인 경우에는, 경도 증가의 효과가 없을 수 있다. 희토류 금속의 함량이 0.3 중량%를 초과하는 경우에는, 압연가공성, 표면조도, 치수 정밀도 등이 저하될 수 있다.

따라서, 희토류 금속은 판재 전체 중량의 0.3 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% ~ 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0054] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속을 포함하지 않을 수 있다. 또는, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 및 희토류 금속 중 선택적으로 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.5 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함할 수 있다.

[0055] 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 나머지 성분은 알루미늄(Al)이다. 다만, 통상의 제조과정에서는 원료 또는 주위 환경으로부터 의도되지 않은 불순물들이 불가피하게 혼입될 수 있으므로, 이를 배제할 수는 없다. 이들 불순물들은 통상의 제조과정의 기술자라면 누구라도 알 수 있는 것이기 때문에 그 모든 내용을 본 명세서에서 특별히 언급하지는 않는다.

[0056] 그러나, 본 발명의 기술적 사상은 상기 합금의 조성에 제한되는 것은 아니며, 7000 계열 알루미늄 합금 판재로 사용될 수 있는 합금 조성을 포괄적으로 포함할 수 있다.

[0057] 전술한 합금 조성의 구체적인 성분 및 이들의 함량 범위를 제어하고, 후술하는 제조 방법을 통해 제조된 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 후속하는 압연 및 열처리에 의하여 기계적 특성이 다양하게 변화될 수 있다.

[0058] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리 및 자연시효를 거치면, 예를 들어, 항복강도(YS): 270 MPa 이상, 인장강도(UTS): 450 MPa 이상, 및 연신율(EL): 7% 이상을 만족할 수 있고, 예를 들어, 항복강도(YS): 270 MPa ~ 400 MPa, 인장강도(UTS): 450 MPa ~ 580 MPa, 및 연신율(EL): 7% ~ 22%를 만족할 수 있다.

[0059] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리, 자연시효 및 소부 열처리를 거치면, 예를 들어, 항복강도(YS): 320 MPa 이상, 인장강도(UTS): 480 MPa 이상, 및 연신율(EL): 2% 이상을 만족할 수 있고, 예를 들어, 항복강도(YS): 320 MPa ~ 600 MPa, 인장강도(UTS): 480 MPa ~ 660 MPa, 및 연신율(EL): 2% ~ 14%를 만족할 수 있다.

[0060] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는, 열간압연과 냉간압연한 후 용체화처리, 자연시효 및 시효 열처리를 거치면, 예를 들어, 항복강도(YS): 450 MPa 이상, 인장강도(UTS): 520 MPa 이상, 및 연신율(EL): 3% 이상을 만족할 수 있고, 예를 들어, 항복강도(YS): 450 MPa ~ 630 MPa, 인장강도(UTS): 520 MPa ~ 690 MPa, 및 연신율(EL): 3% ~ 14%를 만족할 수 있다.

[0061] 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법

[0062] 이하에서는 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.

[0063] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법(S100)을 개략적으로 나타낸 공정 순서도이다.

[0064] 도 1을 참조하면, 상기 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법(S100)은, 용탕 형성단계(S110); 쌍롤 주조단계(S120); 압연 단계(S130); 및 열처리 단계(S140)를 포함한다.

[0065] 상기 용탕 형성단계(S110)에서는 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 구성하는 합금원소들을 용해하여 용탕을 형성한다. 예를 들어, 상기 용탕 형성단계(S110)에서는, 5 중량% 내지 10 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 0.5 중량% 내지 2.5 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 원소를 용해하여 용탕을 형성할 수 있다.

[0066] 상기 알루미늄 합금 및 상기 용탕은 티타늄(Ti), 보론(B), 지르코늄(Zr), 크롬(Cr), 망간(Mn), 스칸듐(Sc) 내지 희토류 금속 중 선택적으로 적어도 어느 하나 이상을 포함하며, 이들의 합계 총량으로 0.01 중량% 내지 0.5 중량%로 더 포함할 수 있다.

[0067] 상기 합금원소들은 고주파 유도 용해로를 이용하여 흑연 도가니 내에서 용해될 수 있다. 상기 용탕 형성단계(S110)는 상기 합금원소들이 완전히 용해되는 온도에서 수행될 수 있다. 상기 합금원소들을 각각 개별적으로 첨가하거나, 또는 상기 합금원소 전체 또는 일부를 모합금의 형태로서 첨가하여 수행될 수 있다. 예를 들어, 아연을 각각 순수한 원소상태로서 알루미늄 용탕에 첨가하거나 또는 아연의 함량이 높은 알루미늄-아연 모합금의 형

태로서 알루미늄 용탕에 첨가할 수 있다. 이러한 방식은 다른 첨가원소들인 마그네슘, 구리 등에도 적용될 수 있다.

[0068] 쌍롤 주조단계(S120)에서는 상기 용탕을 회전하는 한 쌍의 냉각롤 사이에 주입하여 쌍롤 주조하여 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 형성한다.

[0069] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용된 쌍롤 주조 장치(100)를 나타내는 개략도이다.

[0070] 도 2를 참조하면, 쌍롤 주조 장치(100)는 회전하는 한 쌍의 냉각롤(twin roll)(110)과, 냉각롤(110) 사이의 이격 공간으로 용탕(M)을 주입하는 용탕주입수단(120)을 포함하여 구성된다. 용탕주입수단(120)은 용해로로부터 용탕(M)을 제공받아 일시적으로 보관하는 턴디쉬(130)와, 턴디쉬(130)로부터 용탕(M)을 냉각롤(110) 사이의 이격 공간으로 안내하여 주입하는 노즐(140) 및 주입구(150)를 포함한다. 노즐(140)과 주입구(150)를 거쳐, 냉각롤(110) 사이의 이격 공간으로 주입된 용탕(M)은 냉각롤(110)에 의해 냉각되어 응고되면서 동시에 냉각롤(110)에 의한 압연되는 효과를 받고, 이에 따라 고상의 판재(P)로 배출되게 된다. 이때 냉각롤(110)를 구성하는 롤러의 내부에는 냉각수로(160)가 구비된다. 냉각수로(160)는 용탕(M)의 열을 흡열하기 위한 구성으로서 방사성으로 다수 개가 구비되며 냉각수의 유량을 제어할 수 있도록 펌프(미도시)와 연결되어 있다. 냉각수로(160)를 구비함에 따라, 용탕(M)의 냉각이 더욱 촉진되어 고액 공존구간이 넓어 빠른 냉각속도를 제공할 수 있다.

[0071] 냉각롤(110)은 순수한 구리 혹은 구리 합금으로 구성될 수 있다. 예를 들어 냉각롤(110)은 Cu-Cr 합금 또는 Cu-Be 합금으로 구성될 수 있고, 다만 냉각롤(110)이 이에 제한되는 것은 아니며, 용탕을 빠른 시간내에 응고시키는 열전도도가 높은 냉각롤을 적절히 선택하여 사용할 수 있다.

[0072] 냉각롤(110)의 간격은 2 ㎜ 내지 10 ㎜ 일 수 있다. 냉각롤(110)의 간격이 2㎜ 미만인 경우에는, 제조되는 판재의 두께가 얇아 후속 가공 열처리 공정을 수행하기 어려울 수 있다. 냉각롤(110)의 간격이 10 ㎜를 초과하는 경우에는, 판재의 두께가 두꺼워 후속가공 열처리 공정을 많이 수행해야 하기 때문에 공정 생략형 쌍롤 주조법의 장점이 사라질 수 있다.

[0073] 냉각롤(110)의 회전속도는 0.5 m/min 내지 10 m/min 일 수 있다. 냉각롤(110)의 회전속도가 0.5 m/min 미만인 경우에는, 너무 낮은 회전속도로 인하여 용탕이 응고되고 난 뒤에 냉각롤(110)을 빠져나가게 되기 때문에 압하력이 높아지고, 이에 따라 제조된 판재에 많은 크랙이 발생할 수 있다. 냉각롤(110)의 회전속도가 10 m/min 를 초과하는 경우에는, 용탕이 흘러내리는 문제점이 있어 판재가 제조되지 못할 수 있다.

[0074] 냉각롤(110)로부터 용탕에 가해지는 압하력은 10 kg/㎜ 내지 100 kg/㎜일 수 있다. 냉각롤(110)의 압하력이 10 kg/㎜ 미만인 경우에는, 판재의 주조가 이루어지지 않거나 주조무늬 등의 결함이 형성될 수 있다. 냉각롤(110)의 압하력이 100 kg/㎜를 초과하는 경우에는 판재에 크랙을 형성하여 기계적 특성을 저하시킬 수 있다.

[0075] 상기 냉각롤의 간격, 회전속도 및 압하력의 크기는 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0076] 냉각롤(110)은 0.1 ㎛ 내지 4.0 ㎛ 범위의 평균 표면 거칠기(Ra)를 가질 수 있고, 이를 위하여 연마될 수 있다. 이와 같이 냉각롤(110)의 평균 표면 거칠기를 연마에 의하여 감소시킴에 따라, 용탕이 고상화되어 형성되는 판재와 냉각롤(110) 사이의 마찰력을 감소시켜, 형성되는 판재 표면에 걸리는 인장응력을 감소시킬 수 있고, 이에 따라 응고부인 결정립계의 저융점상이 균열을 생성하는 것을 억제할 수 있다. 냉각롤(110)의 평균 표면 거칠기(Ra)는 방향성이 없는 무작위성의 형상으로 구현될 수 있다. 그러나, 이는 예시적이며 일정한 방향성을 가지는 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다.

[0077] 냉각롤(110)은 상기 평균 표면 거칠기를 가지도록 연마된 후에, 고상 또는 액상의 윤활제가 도포될 수 있다. 상기 윤활제는, 예를 들어 알루미나 분말, 아연 산화물 분말 등의 산화물 분말, SiC 분말, 그라파이트 분말, 기름, 용융 글라스 등을 포함할 수 있다.

[0078] 쌍롤 주조단계(S120)를 수행하여 쌍롤 주조된 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 2 ㎜ 내지 10 ㎜ 범위의 두께를 가질 수 있다. 상기 판재의 두께가 2 ㎜ 미만인 경우에는, 상기 판재의 두께가 얇아 후속 가공 열처리 공정을 수행하기 어려울 수 있다. 상기 판재의 두께가 10 ㎜를 초과하는 경우에는, 상기 판재의 두께가 두꺼워 후속 가공 열처리 공정을 많이 요구할 수 있다.

[0079] 상기 쌍롤 주조된 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 주조 방향에 대하여 수평 방향, 수직

방향, 및 이들 모두의 방향으로 표면 균열이 형성되지 않을 수 있다.

[0080] 다시 도 1을 참조하면, 상기 제조방법(S100)은 쌍롤 주조단계(S120)를 수행한 후에, 쌍롤 주조된 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 압연하는 압연 단계(S130)를 포함할 수 있다.

[0081] 압연 단계(S130)는 열간 압연 및 냉간 압연 중 적어도 어느 하나로 수행될 수 있다. 압연 단계(S130)를 수행한 후, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 0.5 ㎜ 내지 3 ㎜ 범위의 두께를 가질 수 있다.

[0082] 상기 열간 압연은 200℃ 내지 300℃로 가열되고, 4 m/min 내지 20 m/min의 속도로 회전하는 한 쌍의 열간 압연용 롤을 이용하여 수행될 수 있다. 상기 열간 압연용 롤의 온도가 200℃ 미만인 경우에는, 균열 발생에 의한 압연 결함이 증가될 수 있다. 상기 열간 압연용 롤의 온도가 300℃를 초과하는 경우에는, 상기 열간 압연용 롤의 표면과의 소착 현상이 발생할 수 있고, 설비 관리가 곤란할 수 있다. 상기 열간 압연용 롤의 속도가 4 m/min 미만인 경우에는, 상기 판재 전체적으로 압연변형을 주어 판재 성형성 향상에 도움을 주는 전단변형의 발생이 어려울 수 있다. 상기 열간 압연용 롤의 속도가 20 m/min 를 초과하는 경우에는 상기 판재의 중심부까지 변형을 야기시키지 못할 수 있다.

[0083] 상기 열간 압연은 10% 내지 35%의 압하율로 수행될 수 있고, 평균 25%의 압하율로 수행될 수 있다. 상기 압하율이 10% 미만인 경우에는, 많은 횟수의 반복압연을 실시해야 하기 때문에 공정시간 및 비용이 증가할 수 있다. 상기 압하율이 35%를 초과하는 경우에는, 상기 판재에 상당한 크랙이 발생하여 표면품질 및 기계적 성질이 저하될 수 있다.

[0084] 상기 열간 압연을 수행한 후의 상기 판재의 두께는, 상기 열간 압연이 수행되기 전의 상기 판재의 두께의 20% 내지 80 %로 될 때까지 반복적으로 이루어질 수 있다.

[0085] 상기 쌍롤 주조된 판재는 고온의 상태를 유지하므로, 쌍롤 주조 장치와 열간 압연기를 복수 스탠드로 배치하여, 상기 쌍롤 주조와 상기 열간 압연을 연속적으로 수행할 수 있다.

[0086] 상기 냉간 압연은 상기 열간 압연을 수행한 후 상기 판재를 상온으로 냉각한 후에 냉간 압연용 롤을 이용하여 수행될 수 있다. 또는, 상기 냉간 압연은 상기 쌍롤 주조를 수행한 후 열간 압연을 수행하지 않고 상기 판재를 상온으로 냉각한 후에 수행될 수 있다. 또는, 상기 쌍롤 주조 및 상기 열간 압연을 수행한 후에, 냉간 압연을 수행하지 않고 상기 판재를 상온으로 냉각할 수 있다.

[0087] 상기 냉간 압연을 수행한 후의 상기 판재의 두께는, 상기 열간 압연이 수행된 후의 상기 판재의 두께의 40% 내지 90 %가 감소될 때까지 반복적으로 이루어질 수 있다.

[0088] 다시 도 1을 참조하면, 상기 제조방법(S100)은 압연 단계(S130)를 수행한 후에, 압연된 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 열처리하는 열처리 단계(S140)를 포함할 수 있다.

[0089] 상기 열처리 단계(S140)는 박판 주조된 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 내부 특성을 균질하게 하거나 혹은 기계적 특성 등을 향상시키기 위하여 수행되는 모든 열처리를 포함한다. 상기 열처리하는 단계(S140)는 용체화 처리, 소부 열처리 및 시효 열처리 중 적어도 어느 하나로 수행될 수 있다.

[0090] 상기 용체화 처리는 420℃ 내지 570℃ 범위의 온도에서 30분 내지 10 시간 동안 수행될 수 있다. 상기 용체화 처리를 수행한 후 수냉 퀜칭을 수행할 수 있다.

[0091] 상기 시효 열처리는 100℃ 내지 250℃ 범위의 온도에서 1 시간 내지 30 시간 동안 수행될 수 있다. 상기 시효 열처리에 의하여 과포화 고용체로부터 용질 원소가 추출되어 시효 석출상을 형성할 수 있다.

[0092] 또한, 상기 열처리하는 단계(S140)는 소부 열처리를 더 포함할 수 있다. 상기 소부 열처리는 130℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서 10 분 내지 1 시간 동안 수행될 수 있다.

[0093] 상기 열처리 단계(S140)를 수행한 후에, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재는 공랭으로, 상온으로, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다.

[0094] 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에서, 첨가되는 합금 원소의 함량과 쌍롤 주조 시의 냉각롤의 평균 표면 거칠기에는 상관관계가 있다. 즉, 상기 합금원소의 함량이 낮으면, 평균 표면 거칠기가 큰 냉각롤을 사용하여도 표면 결함을 방지할 수 있으나, 상기 합금원소의 함량이 높아질수록 국부적인 경화 현상이 발생하게 되므로, 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기가 작아질 필요가 있다.

[0095] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제

조방법에서, 합금 원소의 함량과 냉각롤의 평균 표면 거칠기의 상관 관계를 나타내는 그래프이다.

[0096] 도 3을 참조하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에서, 상기 알루미늄을 제외한 합금 원소들의 총 함량과 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기의 곱은 5 이상 내지 30 이하의 범위를 가질 수 있다. 상기 곱이 5 미만에서는 냉각롤의 가공비용이 증가되는 한계가 있고, 상기 곱이 30 이상에서는 표면 균열이 발생할 수 있다. 상기 합금 원소들의 함량이 7.5 중량% 미만이면 원하는 강도를 얻을 수 없고, 16 중량%를 초과하면, 가공성이 감소되고, 가공비가 증가될 수 있다. 예를 들어, 상기 합금 원소들의 함량이 7.5 중량%인 경우에는 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기는 0.7 μm 내지 4 μm 범위일 수 있다. 상기 합금 원소들의 함량이 16 중량%인 경우에는 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기는 0.3 μm 내지 1.9 μm 범위일 수 있다.

[0097] 본 발명의 기술적 사상에 따르면, 상기 냉각롤은 0.1 μm 내지 4.0 μm 범위의 평균 표면 거칠기(Ra)를 가질 수 있다. 여기에서, 평균 표면 거칠기는 95%의 신뢰수준을 가질 수 있다.

[0098] 실험예

[0099] 이하에서는, 본 발명의 기술적 사상에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에 대한 실험예를 상세하게 설명하기로 한다. 하기 실험예는 본 발명의 기술사상을 설명하기 위한 예시로서, 본 발명은 후술하는 실험예로 한정되지는 않는다.

[0100] 합금 설계

[0101] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용되는 알루미늄 합금 설계를 위한 열역학 계산 결과를 나타내는 그래프들이다.

[0102] 도 4에서, (a)는 아연, (b)는 마그네슘, 및 (c)는 구리의 함량을 변화시켰을때, 온도에 따른 상 분율의 변화를 나타낸다. 구체적으로, 도 4의 (a)는 Al-(4.0~10.0)Zn-2.5Mg-2.0Cu, (b)는 Al-8.0Zn-(1.5~3.0)Mg-2.0Cu, 및 (c)는 Al-8.0Zn-2.5Mg-(1.5~3.0)Cu 합금이다.

[0103] 도 4를 참조하면, 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금에서, 아연, 마그네슘, 및 구리 등과 같은 주요한 원소의 첨가량의 증가는 고상과 액상의 온도 차이로 나타나는 고액공존구간의 길이에는 영향을 거의 미치는 않지만, 최종 응고온도에서의 액상 분율(ΔL_f)을 크게 증가시키는 것을 알 수 있다. 즉, 동일한 냉각속도로 냉각하는 경우에, 주요한 원소의 첨가량의 증가됨에 따라 최종 응고부인 결정립계에 잔류 액상의 양이 증대된다. 이러한 잔류 액상이 증가된 부분은 강도가 낮고 취약한 상태가 되며, 쌍롤 주조 시 판재 표면에 걸리는 인장응력과 같은 외력에 의한 균열 발생 및 전파가 용이한 지점이 된다.

[0104] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용되는 알루미늄 합금 설계를 위한 합금 원소 함량에 따른 액상 분율의 변화를 나타내는 그래프이다.

[0105] 도 5를 참조하면, Al-(4.0~10.0)Zn-(1.5~3.0)Mg-(1.5~3.0)Cu 합금의 합금 원소 함량에 따른 액상 분율(ΔL_f) 변화가 나타나 있다. 아연, 마그네슘, 및 구리 등과 같은 주요한 원소의 함량에 대하여, 단위 함량 당 최종 응고부 액상 분율의 증가는 기울기(slope)가 클수록 크게 된다. 마그네슘(Mg)이 가장 큰 기울기를 나타내고, 그 다음이 구리(Cu)이고, 아연(Zn)이 가장 작은 기울기를 나타낸다. 즉, 마그네슘이 단위 함량 당 최종 응고부 액상 분율의 증가가 가장 큰 것을 의미한다. 따라서, 상기 알루미늄 판재의 강도를 크게 저하시키지 않는 범위 내에서 쌍롤 주조 시 발생하는 결함을 억제하기 위해서는 마그네슘 및 구리의 함량을 최대한 제한하는 것이 바람직하다. 또한, 구리는 최종 응고부인 결정립계에 편석과 같은 저융점상을 크게 증가시켜 강도 저하를 더 발생시킬 수 있으므로, 그 함량의 정밀한 제어가 필요하다.

[0106] 시뮬레이션 결과 분석

[0107] 제조 공정 상의 판재 표면의 균열을 억제할 수 있는 변수들을 확인하기 위하여 유한요소모델(Finite element model) 시뮬레이션을 수행하였다.

[0108] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에서, 유한요소모델 시뮬레이션을 위한 개략도이다.

[0109] 표 1은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에서, 유한요소모델 시뮬레이션에 사용된 변수와 수치를 나타낸다.

표 1

[0110]

파라미터	설명	단위	수치	변수
R_{inner}	냉각롤의 내경	mm	140, 190, 240	O
R_{outer}	냉각롤의 외경	mm	150, 200, 250	O
L	노즐팁과 냉각롤 중심 간의 거리	mm	30, 35, 40	O
D	고상화된 판재의 두께	mm	3, 4, 5	O
k_{roll}	냉각롤의 열전도도	W/m K	324	X
C_{roll}	냉각롤의 비열	J/kg K	385	X
v	냉각롤의 회전속도	mpm	0.94, 2.83, 4.71	O
$m_{roll-strip}$	냉각롤과 판재 사이의 마찰계수	-	0.1, 0.3, 0.5, 1.0	O
T_{roll}	냉각롤의 초기 온도	K	373	X
T_{melt}	용탕의 초기 온도	K	953	X
$T_{atmosphere}$	대기 온도	K	293	X
$T_{coolant}$	냉각수 온도	K	293	X
$h_{roll-strip}$	냉각롤과 판재 간의 열전달계수	W/m^2 K	6000, 7000, 8000	O
$h_{roll-coolant}$	냉각롤과 냉각수 간의 열전달계수	W/m^2 K	10000	X
$h_{strip-atmosphere}$	판재와 대기 간의 열전달계수	W/m^2 K	20	X
$h_{roll-atmosphere}$	냉각롤과 대기 간의 열전달계수	W/m^2 K	20	X

[0111] 도 6 및 표 1을 참조하면, 상기 유한요소모델 시뮬레이션에 사용된 요소들이 도면에 의하여 설명되어 있고, 다양한 변수들이 나타나 있다. 표 1에서 밑줄친 수치는 변수들의 표준 수치를 나타낸다.

[0112] 도 7 및 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에서, 유한요소모델 시뮬레이션의 결과를 나타내는 그래프들이다.

[0113] 도 7에서, 파라미터 "A"는 냉각롤의 회전 속도, "B"는 냉각롤 사이의 간격, "C"는 냉각롤의 직경, "D"는 노즐과 냉각롤 중심 간의 거리(set-back distance), "E"는 냉각롤과 판재 사이의 열전달계수, 및 "F"는 냉각롤의 평균 표면 거칠기이다.

[0114] 도 7의 (a)를 참조하면, 주조 파라미터들에 대하여 판재의 중앙점에서 액상 분율에 대한 판재 표면에서의 전단응력의 변화가 나타나 있다. 각각의 화살표는 개개의 주조 파라미터들의 증가에 따른 이동 방향을 나타낸다.

[0115] 도 7의 (b)를 참조하면, 도 7의 (a)의 그래프에 대하여 각각의 주조 파라미터들에 대한 기울기를 나타낸다. 상기 기울기는 전단응력을 Log_{10}(액상 분율)로 나눈 값이다. 예를 들어, 상기 냉각롤의 회전 속도(A)가 증가되면, 전단응력이 감소되고 액상 분율은 증가된다. 반면, 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기(F)가 증가되면, 전단응력 및 액상 분율이 함께 증가된다. 상기 주조 파라미터들 중에서 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기만이 양의 기울기를 나타내므로, 상기 평균 표면 거칠기를 제어하는 것이 전단응력 및 액상 분율을 최소화함으로써 고강도를 확보하기에 적절한 변수로 분석된다.

[0116] 도 8의 (a)를 참조하면, 냉각롤의 닙(nip)으로부터의 거리에 따른 수직 응력(normal stress)에 대한 마찰계수에 따른 변화를 따라 나타낸다. 상기 냉각롤의 닙은 용탕이 쌍롤을 지나 판재로 형성되어 토출되는 구역을 지칭한다. 상기 닙에 가까워질수록 상기 수직 응력이 증가된다. 또한, 상기 마찰계수가 증가됨에 따라, 상기 판재 표면에 인가되는 수직 응력이 증가하는 것으로 분석된다.

[0117] 도 8의 (b)를 참조하면, 주조 시간에 따른 냉각롤 분리 하중(separation force)에 대한 마찰계수에 따른 변화를 나타낸다. 상기 주조 시간 초기에 상기 냉각롤 분리 하중이 급속하게 증가되고, 상기 주조 시간이 경과됨에 따라, 상기 냉각롤 분리 하중이 완만하게 증가되는 경향을 나타낸다. 또한, 상기 마찰계수가 증가됨에 따라, 상기 냉각롤 분리 하중이 증가되고, 이는 작용-반작용 법칙에 따라 상기 판재에 걸리는 하중 또한 증가되는 것으로 분석된다.

[0118] 도 8의 결과로부터, 상기 마찰계수는 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기와 비례하므로, 결과적으로 상기 냉각롤의 평균 표면 거칠기가 증가될수록, 판재 표면에 인가되는 수직 응력 및 하중이 증가되는 것으로 분석된다.

[0119] 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재 제조

[0120] 표 2는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용될 알루미늄 합금의 합금 조성이 나타나 있다. 표 2의 합금 조성은 중량%를 의미한다.

표 2

[0121]

분류	목표조성	Zn	Mg	Cu	Al
실험예1	Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	5.90	2.73	1.96	잔부
실험예2	Al-8.0Zn-2.5Mg-1.0Cu	7.73	2.81	1.02	잔부
실험예3	Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	7.93	2.68	2.00	잔부
실험예4	Al-8.0Zn-2.5Mg-3.0Cu	7.72	2.80	2.83	잔부
실험예5	Al-10.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	9.75	2.74	1.85	잔부

분류	목표조성	Cr	Mn	Ti	Fe	Si
실험예1	Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	0.22	0.086	0.026	0.14	0.029
실험예2	Al-8.0Zn-2.5Mg-1.0Cu	0.24	0.088	0.028	0.21	0.027
실험예3	Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	0.23	0.089	0.029	0.19	0.030
실험예4	Al-8.0Zn-2.5Mg-3.0Cu	0.22	0.088	0.026	0.11	0.026
실험예5	Al-10.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	0.24	0.088	0.027	0.21	0.028

[0122] 표 2에는, 목표 조성 및 실측 조성이 나타나 있다. 상기 목표 조성은, 예를 들어 "Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu"는 6 중량% 아연, 2.5 중량% 마그네슘, 및 2.0 중량% 구리 및 잔부는 알루미늄 등을 포함하는 것을 의미한다.

[0123] 또한, 표 2에는 미세화제로서 첨가한 크롬, 망간, 및 티타늄의 함량이 나타나 있다. 또한, 의도적으로 첨가하지 않고 불가피한 불순물로서 첨가된 철 및 실리콘의 함량은 밑줄로 구분되어 나타나 있다.

[0124] 표 2의 조성을 가지는 알루미늄 합금을 용해한 후에 쌍롤 주조를 수행하였다.

[0125] 표 3은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조 시의 쌍롤 주조 파라미터를 나타내는 표이다.

표 3

[0126]

쌍롤 주조 파라미터	수치
용탕 온도 (℃)	690(용탕 주입시) -> 680(쌍롤 접촉시)
냉각롤 재질	구리 합금
냉각롤 온도 (℃)	100 (쌍롤주조 공정 시작시)
냉각롤 직경 (mm)	300
냉각롤 사이 간격 (mm)	4
냉각롤 속도 (mpm)	2.83
냉각롤의 평균 표면 거칠기	0.8 μm / 3.5 μm
노즐과 냉각롤 중심 간의 거리 (mm)	35
노즐 폭 (mm)	150
냉각수 주입량 (l/m)	80

[0127] 표 3에서, 냉각롤의 평균 표면 거칠기는 SiC 페이퍼로 냉각롤의 표면을 연마함으로써 구현하였고, 각각 3.5 μm 및 0.8 μm이었다. 또한, 상기 냉각롤 평균 표면 거칠기는 산술 평균으로 산출하였다.

[0128] 표 4는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 제조방법에 적용될 알루미늄 합금의 알루미늄을 제외한 합금 원소의 함량 총합과 냉각롤 평균 표면 거칠기의 곱이 나타나 있다.

표 4

[0129]

냉각롤의 평균 표면 거칠기			0.8 μm	3.5 μm
분류	목표조성	합금 원소의 함량 총합	합금원소의 함량 총합과 평균 표면 거칠기의 곱	
실험예1	Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	11.09	8.87	38.82
실험예2	Al-8.0Zn-2.5Mg-1.0Cu	12.15	9.72	42.54
실험예3	Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	13.18	10.54	46.12
실험예4	Al-8.0Zn-2.5Mg-3.0Cu	13.82	11.06	48.37
실험예5	Al-10.0Zn-2.5Mg-2.0Cu	14.93	11.95	52.27

[0130] 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 물성

[0131] 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진들이다.

[0132] 도 9를 참조하면, 실험예1 내지 실험예5의 판재의 단면에 대한 미세조직이 나타나있다. 모든 실험예들은 전체적으로는 유사한 미세조직을 가지지만, 아연 및 구리의 함량이 증가됨에 따라 입계에 편석이 증가되는 경향을 나타내었다.

[0133] 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 아연 및 구리 함량 변화에 따른 표면 상태를 나타내는 사진들이다.

[0134] 도 10을 참조하면, 평균 표면 거칠기가 0.8 μm인 한 쌍의 냉각롤을 이용하여 형성한 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 표면 상태가 나타나 있다. 아연의 경우에는, 함량을 6.0 중량% 내지 10 중량%의 범위로 변화시켜도 표면에서 결함 발생이 없고, 전체적인 표면 상태의 변화가 거의 나타나지 않았다. 반면, 구리의 경우에는, 함량이 1 중량% 및 2 중량%에서는 표면에서 결함 발생이 없고, 전체적인 표면 상태의 변화가 거의 나타나지 않았다. 반면, 구리가 3 중량%로 포함된 경우에는, 표면 미응고부가 형성되고, 균열과 같은 결함이 발생하였다. 구리가 단위 첨가량 당 최종 응고부 액상 분율 및 저융점상(편석)을 크게 증가시키는 합금원소이므로, 상기 표면 미응고부 및 상기 균열을 형성하는 것으로 분석된다. 따라서, 구리의 함량은 3 중량% 미만으로 제어할 수 있고, 2.5 중량% 이하로 제어하는 것이 바람직하다.

[0135] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 균열부를 확대하여 나타내는 주사전자현미경 사진이다.

[0136] 도 11을 참조하면, 실험예4에서 판재 표면에 형성된 균열부가 확대되어 나타나 있다. 상기 균열부에서는 수지상정이 형상 변화없이 그대로 나타나 있다. 따라서, 상기 판재가 쌍롤주조에 의하여 응고가 완료되기 전에 응력에 발생한 균열이 발생한 것으로 분석된다.

[0137] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재에서 표면 균열부의 미세조직을 나타내는 사진들이다.

[0138] 도 12를 참조하면, 균열부가 형성된 실험예4 판재의 표면에 침투탐상검사를 실시한 결과가 나타나있다. 쌍롤주조 후, 열간압연 후, 및 냉간 압연 후에 관찰된 균열부들이 점선 영역으로 표시되어 있다. 쌍롤주조 시에 형성된 균열들은 후속에서 열간압연 및 냉간압연을 수행하여도 사라지지 않고 잔존하거나 심지어는 크게 성장하게 됨을 알 수 있다. 따라서, 쌍롤주조에서 균열부의 형성을 방지하는 것이 판재의 표면 결함을 방지하기 위하여 중요한 것임을 알 수 있다.

[0139] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 냉각롤의 평균 표면 거칠기 변화에 따른 표면 상태를 나타내는 사진들이다.

[0140] 도 13을 참조하면, (a) 및 (b)는 실험예1의 합금(Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu)이고, (c) 및 (d)는 실험예3의 합금(Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu)으로서, 아연 함량을 변화시켰다. 또한, (a) 및 (c)는 한 쌍의 냉각롤의 평균 표면 거칠기(Ra)가 3.5 μm이고, (b)와 (d)는 0.8 μm이었다. 아연 함량에 무관하게, (a) 및 (c)와 같이 냉각롤의 평균 표면 거칠기가 큰 경우에는 화살표로 표시된 것과 같이 판재 표면의 균열이 발견되었다. 반면 (b)와 (d)와 같이 냉각롤의 평균 표면 거칠기가 작은 경우에는 판재 표면에 균열이 거의 발생하지 않았다. 따라서, 실험예들의 합금 조성의 경우에는, 냉각롤의 평균 표면 거칠기는 3.5 μm 미만인 것이 바람직하다.

[0141] 상기 쌍롤 주조법을 이용하여 실험예1, 실험예2, 실험예3, 및 실험예5에 해당하는 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재를 제조하고, 이어서, 열간 압연, 냉각 압연 및 열처리한 후에 기계적 특성을 측정하였다.

[0142] 상기 쌍롤 주조법에 의하여 제조된 판재는, 400℃에서 1시간 동안 열처리하고, 400℃에서 열간압연하고, 다시 400℃에서 1시간 동안 열처리하고, 상온에서 냉간압연하였다. 상기 판재의 두께는 쌍롤 주조 후에는 약 5.5 ㎜, 열간압연 후에는 약 3 ㎜, 냉간압연 후에는 약 1 ㎜이었다.

[0143] 냉간압연 이후 하기와 같이 상기 판재를 열처리하였다. ① T4 열처리는, 냉간압연후 470℃에서 1시간 동안 용체화처리하고, 1주일간 자연시효한 경우이다. ② BH 열처리는 냉간압연후 470℃에서 1시간 동안 용체화처리하고, 1주일간 자연시효하고, 180℃에서 30분 동안 소부(bake hardening) 열처리한 경우이다. ③ T6 열처리는 냉간압연후 470℃에서 1시간 동안 용체화처리하고, 1주일간 자연시효하고, 120℃에서 24시간 동안 시효 열처리한 경우이다.

[0144] 표 5는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 기계적 특성을 나타내는 표이다.

표 5

[0145]

기계적특성	열처리조건	실험예1	실험예2	실험예3	실험예5
항복강도 (MPa)	T4	304	336	347	371
	BH	361	462	484	556
	T6	506	554	545	582
인장강도 (MPa)	T4	496	534	531	512
	BH	534	591	585	606
	T6	571	616	606	628
연신율 (%)	T4	18	20	17	8
	BH	10	12	6	3
	T6	12	8	6	4

[0146] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 쌍롤 주조법을 이용한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 판재의 기계적 특성을 나타내는 그래프이다.

[0147] 표 5 및 도 14를 참조하면, 표면 결함이 형성된 실험예4를 제외한 실험예들의 열처리 조건에 따른 항복강도, 인장강도 및 연신율이 나타나있다.

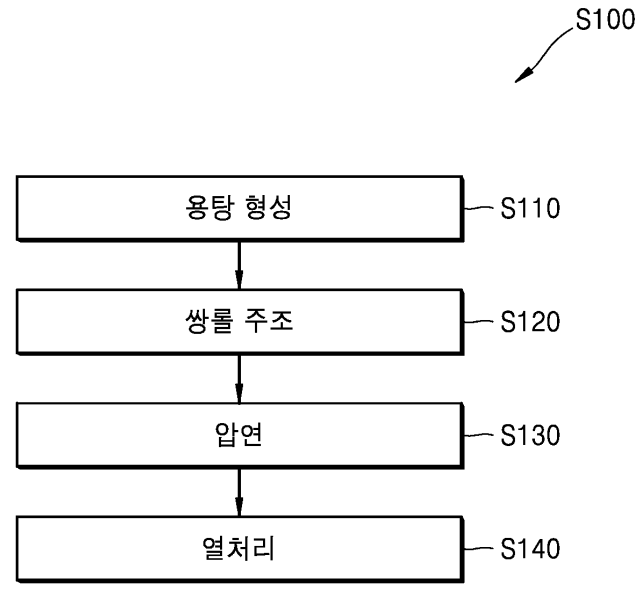
[0148] 항복강도 및 인장강도는 모든 실험예들에서 T4 열처리 경우를 기준으로 BH 열처리 경우는 증가되었고, T6 열처리 경우는 더 증가되었다. 연신율은 모든 실험예들에서, T4 열처리 경우를 기준으로 BH 열처리 경우 및 T6 열처리 경우 모두 감소되었다.

[0149] 실험예1, 실험예3, 및 실험예5의 결과를 비교하여, 아연 함량에 따른 기계적 특성의 변화를 분석할 수 있다. 항복 강도는 아연 함량이 증가됨에 따라 T4 열처리 경우, BH 열처리 경우, 및 T6 열처리 경우들 모두 증가되었다. 인장강도는 아연 함량이 증가됨에 따라 BH 열처리 경우, 및 T6 열처리 경우에서 증가되었고, T4 열처리 경우에는 실험예3이 가장 크게 나타났다. 연신율은 아연 함량이 증가됨에 따라 T4 열처리 경우, BH 열처리 경우, 및 T6 열처리 경우들 모두 감소되었다.

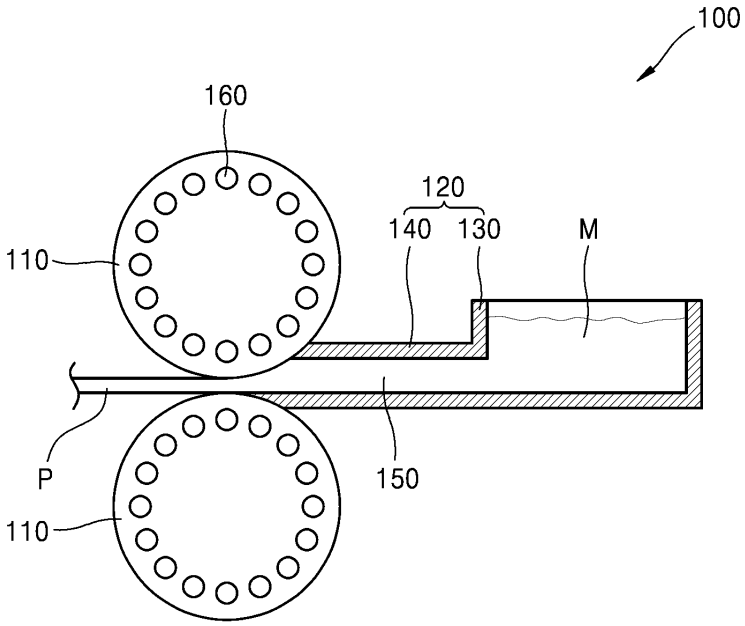
[0150] 이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

도면

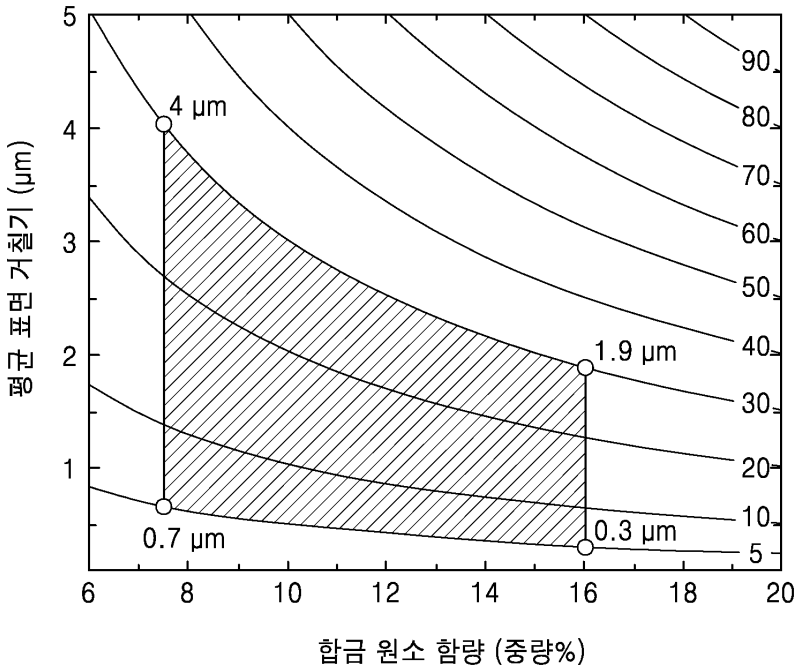
도면1


S100
용탕 형성
S110
쌍롤 주조
S120
압연
S130
열처리
S140

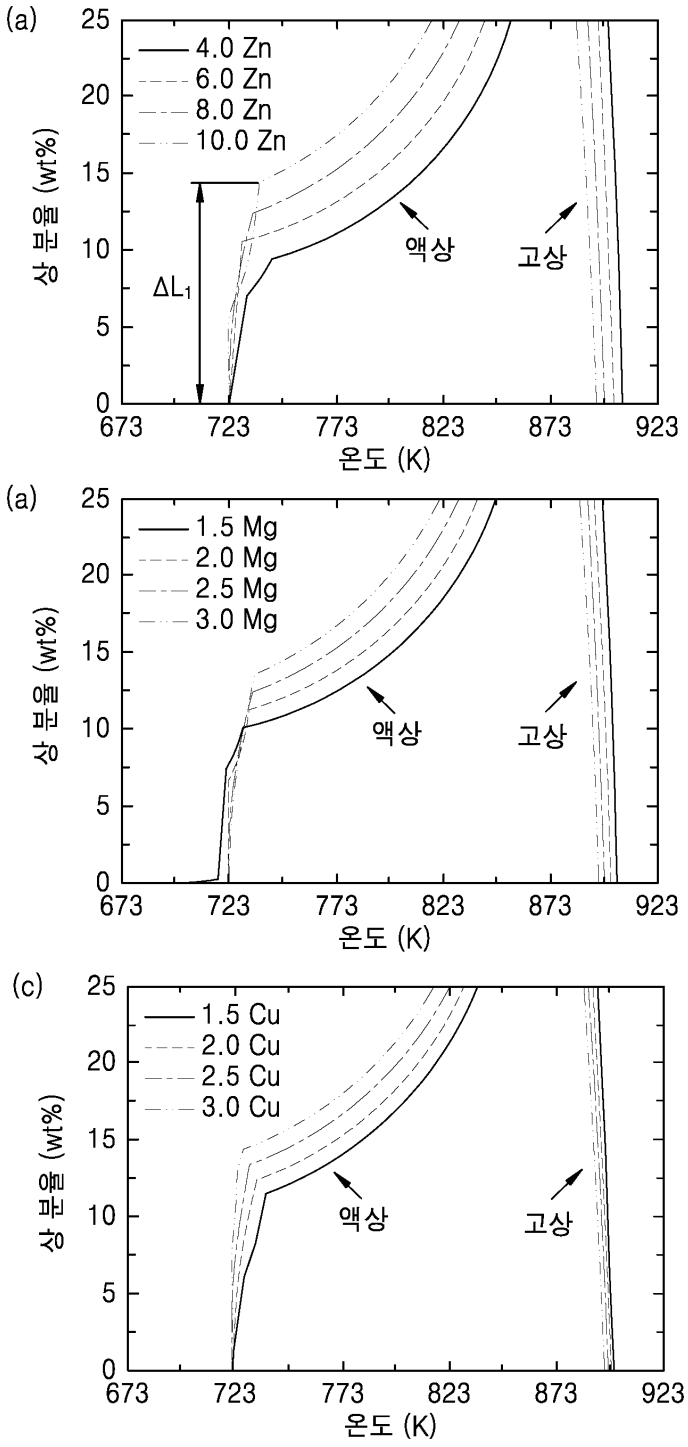
도면2


100
160
120
140
130
M
110
P
150
110

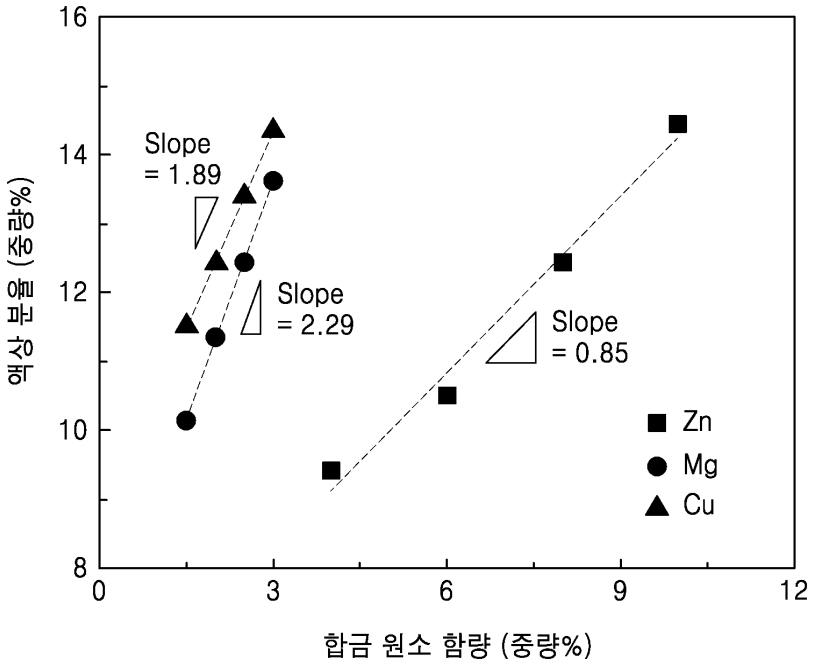
도면3


5
4
3
2
1
평균 표면 거칠기 (μm)
4 μm
1.9 μm
0.7 μm
0.3 μm
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
6
8
10
12
14
16
18
20
합금 원소 함량 (중량%)

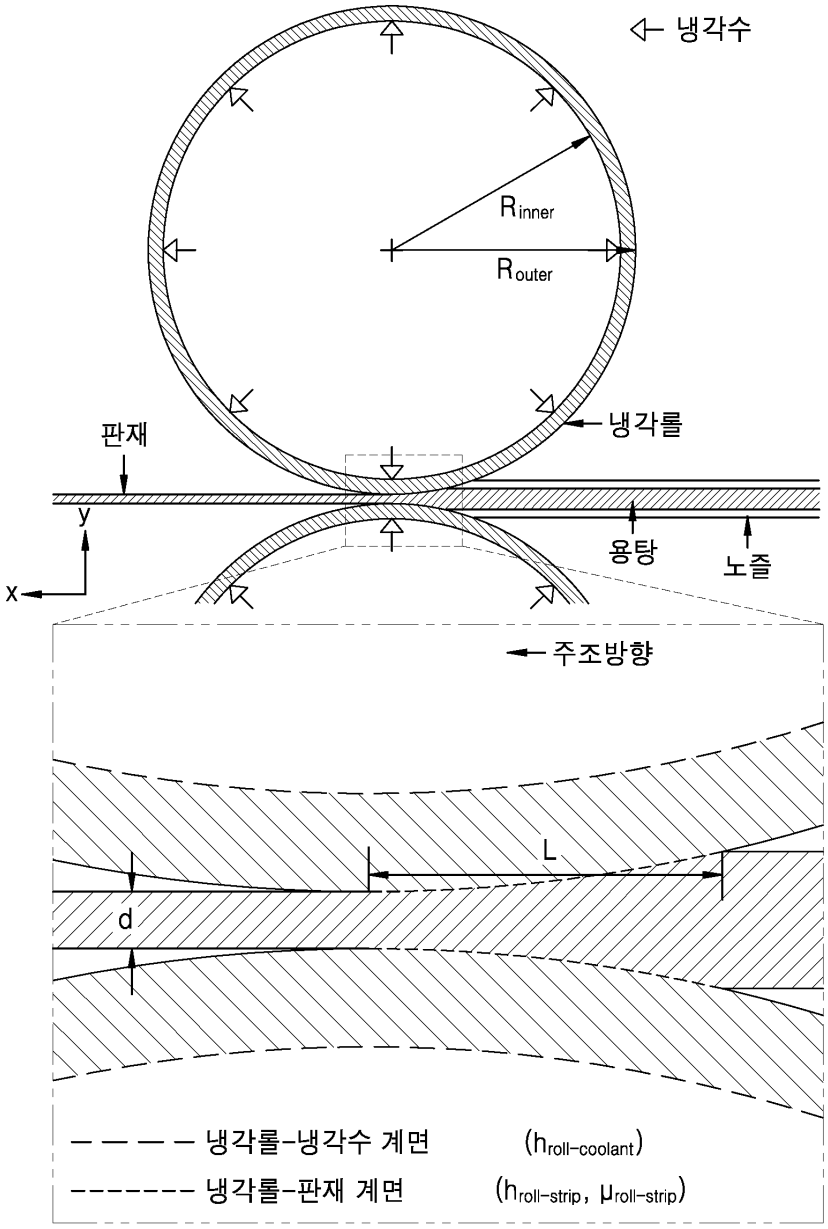
도면4


(a)
4.0 Zn
6.0 Zn
8.0 Zn
10.0 Zn
ΔL1
액상
고상
상 분율 (wt%)
온도 (K)
(a)
1.5 Mg
2.0 Mg
2.5 Mg
3.0 Mg
액상
고상
상 분율 (wt%)
온도 (K)
(c)
1.5 Cu
2.0 Cu
2.5 Cu
3.0 Cu
액상
고상
상 분율 (wt%)
온도 (K)

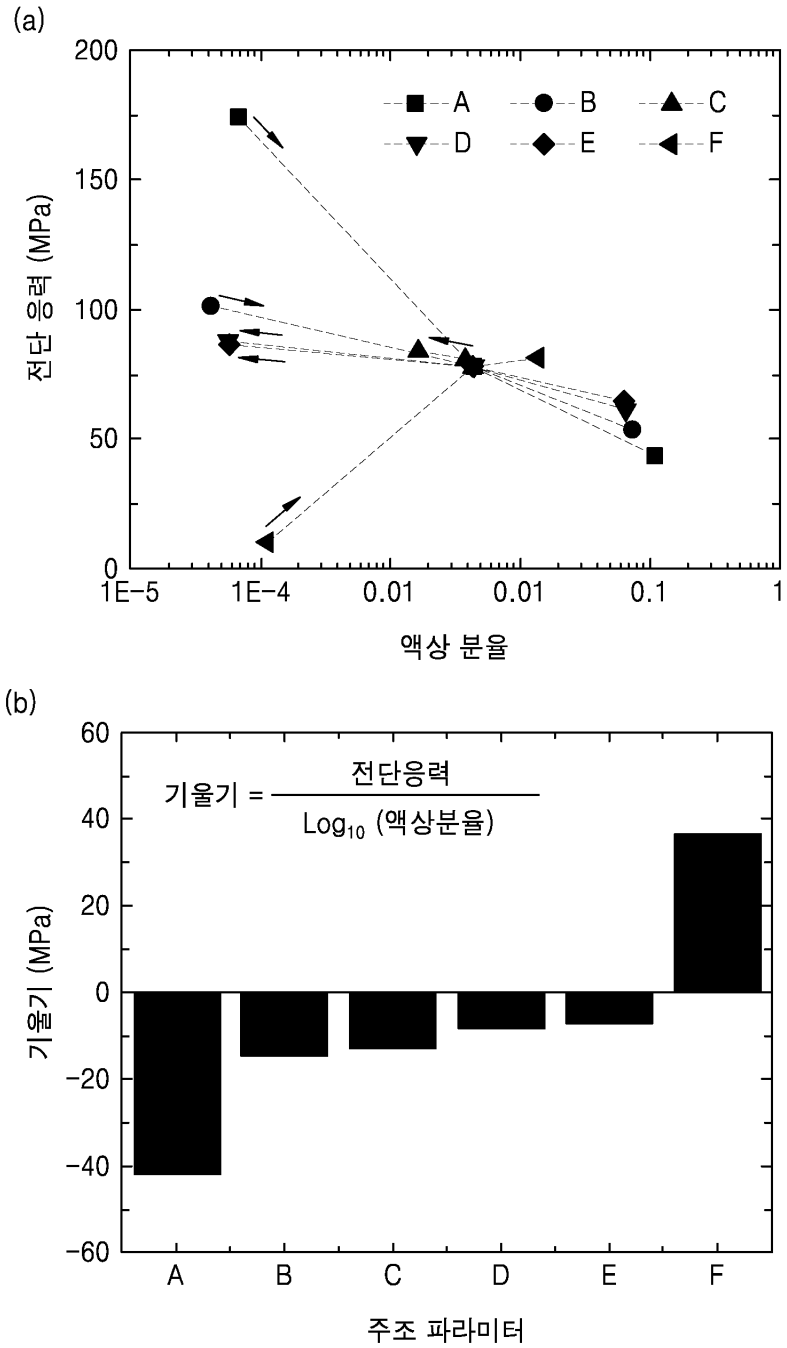
도면5


16
14
12
10
8
0
3
6
9
12
액상 분율 (중량%)
합금 원소 함량 (중량%)
Slope
= 1.89
Slope
= 2.29
Slope
= 0.85
Zn
Mg
Cu

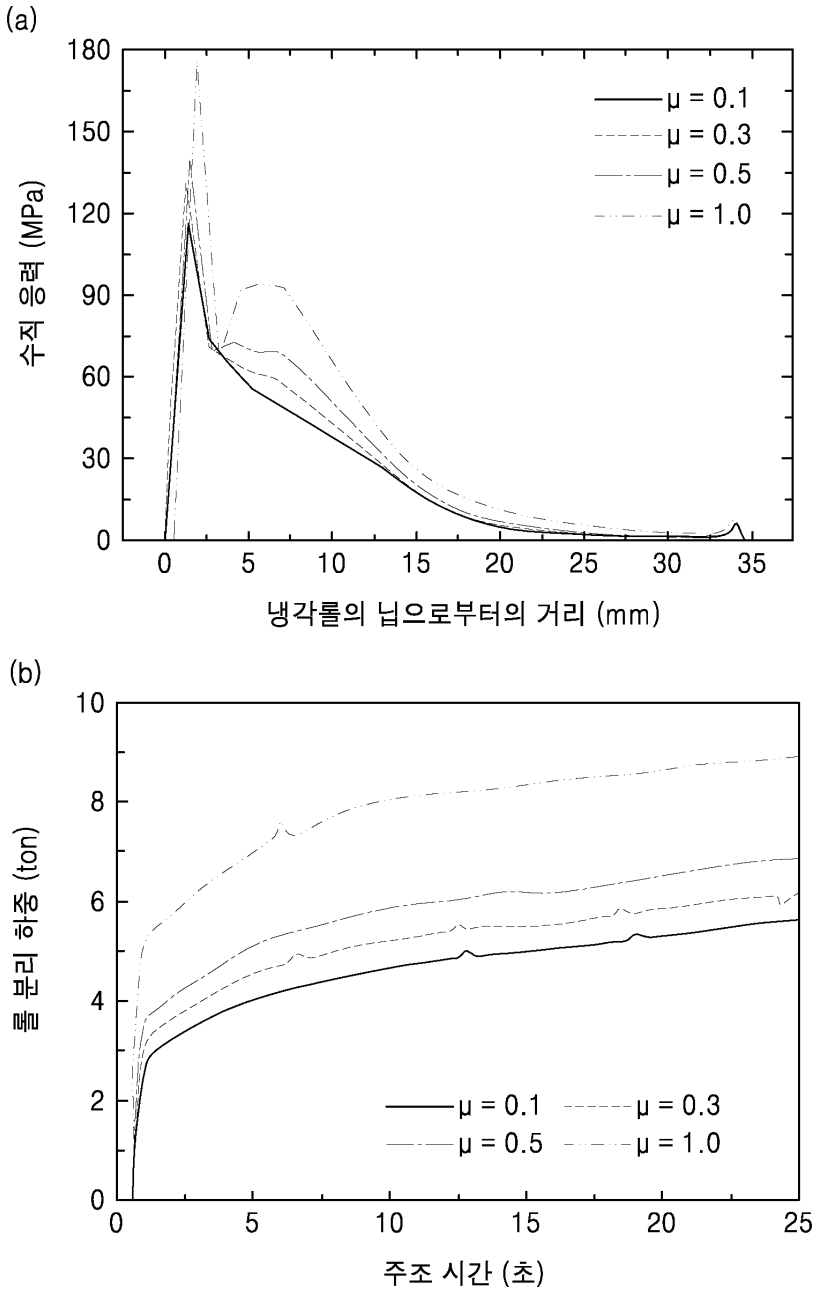
도면6


냉각수
R_{inner}
R_{outer}
냉각롤
판재
y
x
용탕
노즐
주조방향
L
d
냉각롤-냉각수 계면 ($h_{roll-coolant}$)
냉각롤-판재 계면 ($h_{roll-strip}$, $\mu_{roll-strip}$)

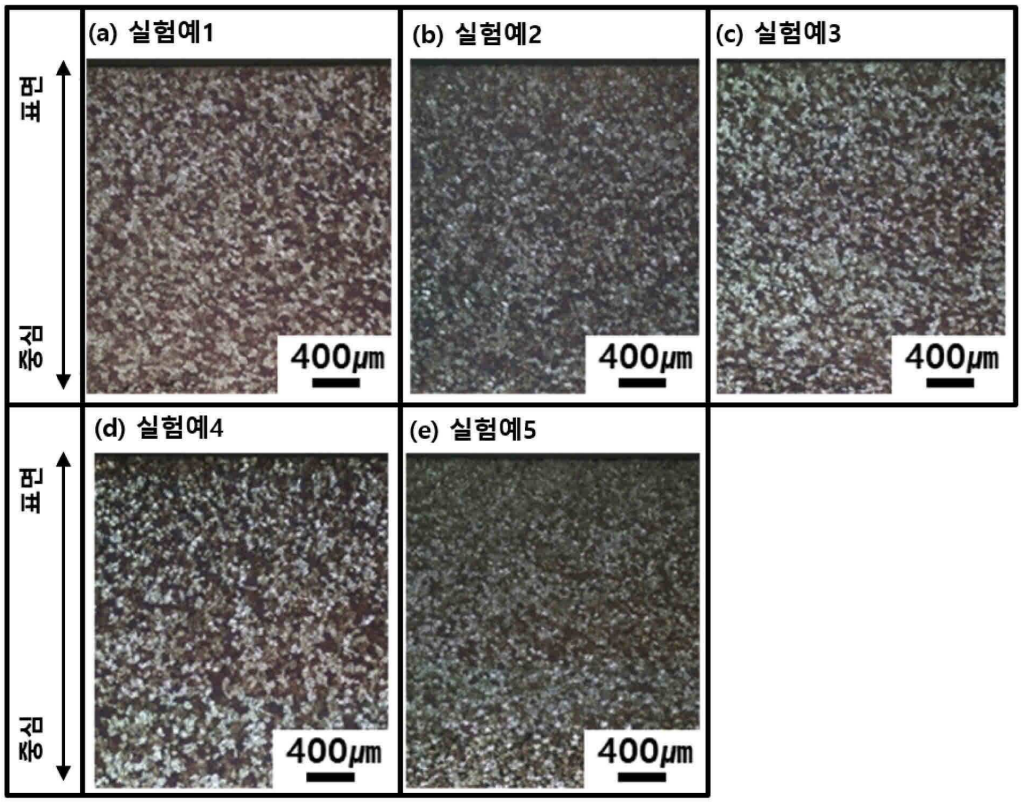
도면7


(a)
200
150
100
50
0
전단 응력 (MPa)
A
B
C
D
E
F
1E-5
1E-4
0.01
0.01
0.1
1
액상 분율
(b)
60
40
20
0
-20
-40
-60
기울기 (MPa)
기울기 = 전단응력 / Log10 (액상분율)
A
B
C
D
E
F
주조 파라미터

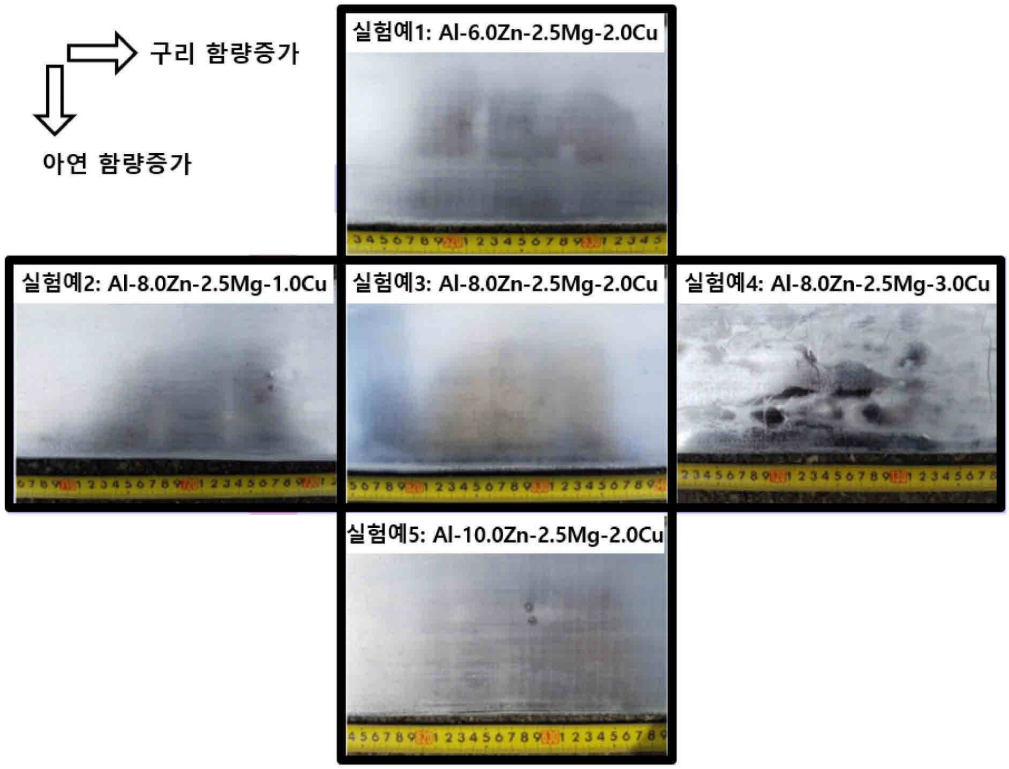
도면8


(a)
수직 응력 (MPa)
냉각롤의 닙으로부터의 거리 (mm)
μ = 0.1
μ = 0.3
μ = 0.5
μ = 1.0
(b)
롤 분리 하중 (ton)
주조 시간 (초)
μ = 0.1
μ = 0.3
μ = 0.5
μ = 1.0

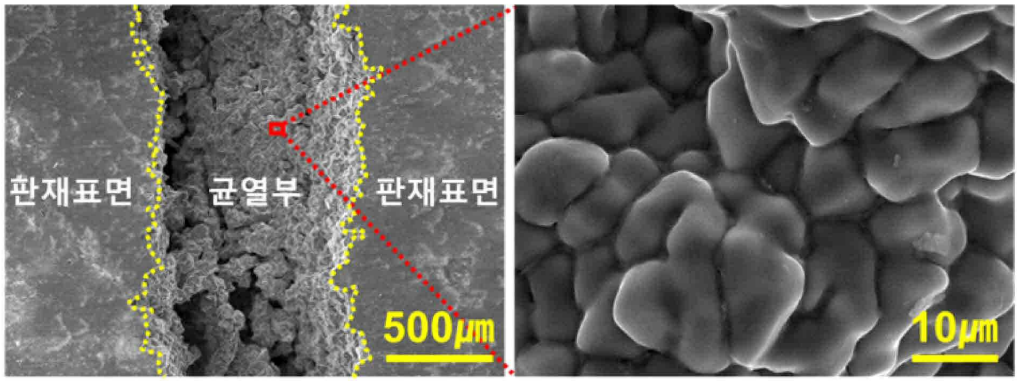
도면9


(a) 실험예1
(b) 실험예2
(c) 실험예3
(d) 실험예4
(e) 실험예5
표면
중심
400㎛

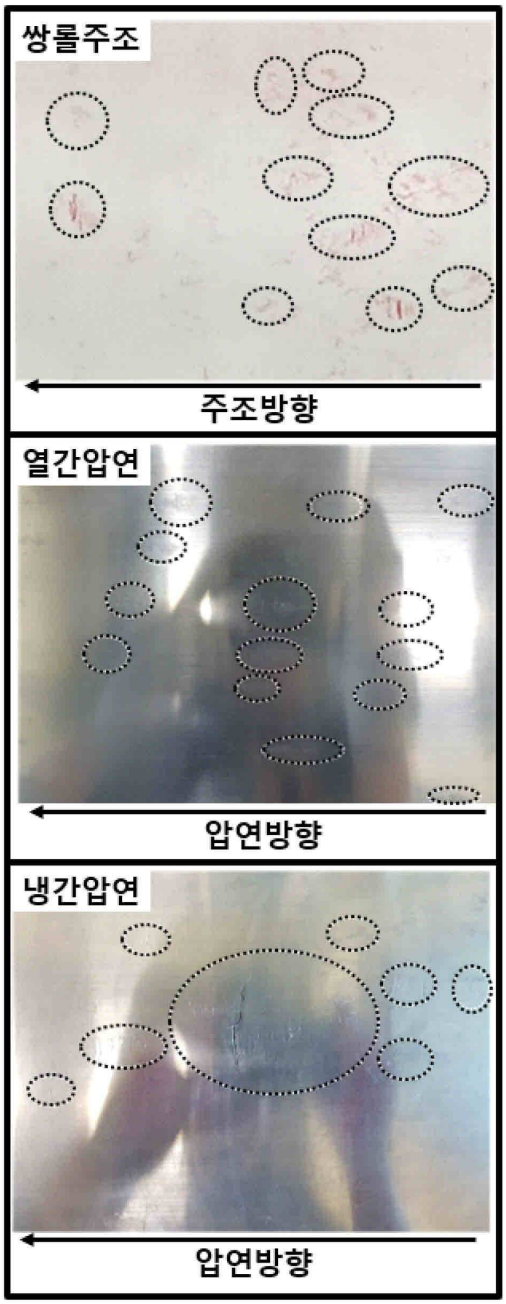
도면10


구리 함량증가
아연 함량증가
실험예1: Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu
실험예2: Al-8.0Zn-2.5Mg-1.0Cu
실험예3: Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu
실험예4: Al-8.0Zn-2.5Mg-3.0Cu
실험예5: Al-10.0Zn-2.5Mg-2.0Cu

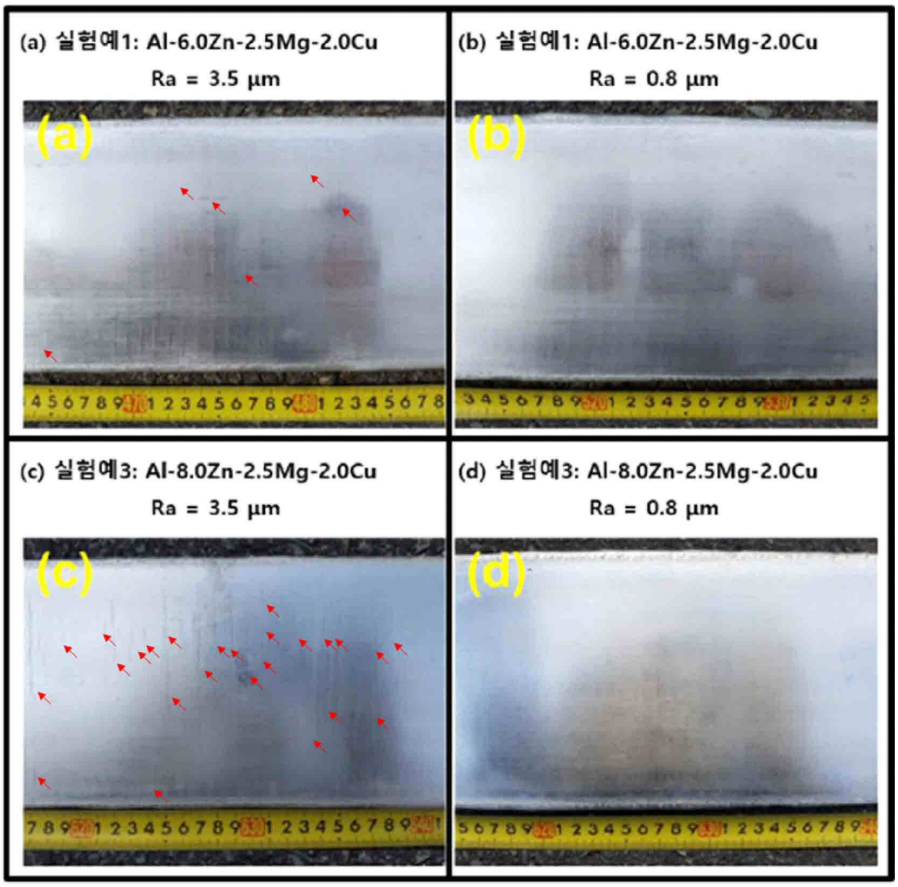
도면11



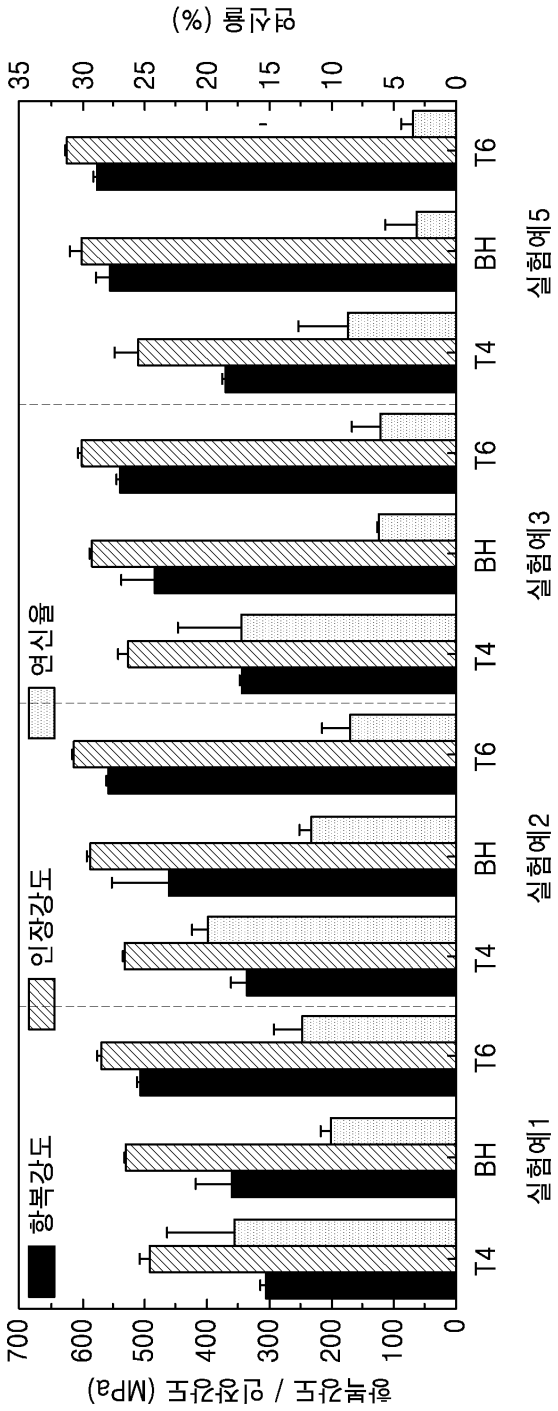
도면12



도면13


(a) 실험예1: Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu
Ra = 3.5 μm
(a)
(b) 실험예1: Al-6.0Zn-2.5Mg-2.0Cu
Ra = 0.8 μm
(b)
(c) 실험예3: Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu
Ra = 3.5 μm
(c)
(d) 실험예3: Al-8.0Zn-2.5Mg-2.0Cu
Ra = 0.8 μm
(d)

도면14


항복강도
인장강도
연신율
항복강도 / 인장강도 (MPa)
연신율 (%)
0
100
200
300
400
500
600
700
0
5
10
15
20
25
30
35
T4
BH
T6
T4
BH
T6
T4
BH
T6
T4
BH
T6
실험예1
실험예2
실험예3
실험예5