



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년08월14일
(11) 등록번호 10-2566987
(24) 등록일자 2023년08월09일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 21/10 (2006.01) B22D 21/04 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)
C22F 1/053 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C22C 21/10 (2013.01)
B22D 21/04 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-0053246
- (22) 출원일자 2023년04월24일
심사청구일자 2023년04월24일
- (56) 선행기술조사문헌
JP2008516079 A*
KR1020210032429 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
- (72) 발명자
조용희
경상남도 창원시 성산구 상남로 37, 408호
김형욱
경상남도 창원시 성산구 대암로 253, 104동 402호
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
이인행

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 이상훈

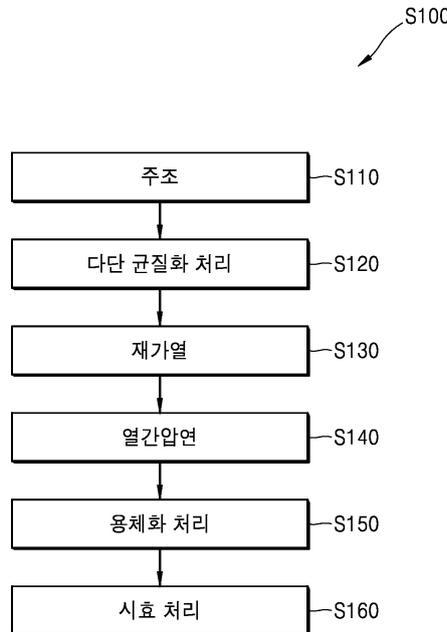
(54) 발명의 명칭 **고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 발명은, 상온의 열간압연 롤을 이용하여 열간압연을 수행할 수 있고, 2차상 분율을 감소시켜 결함을 방지하여 기계적 특성을 향상시킨 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판 및 그 제조방법을 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법은, 5 중량% 내지 8 중량%의 아연

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 1 중량% 내지 2 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 합금 원소들을 용해하여 형성된 용탕을 주조하여 알루미늄 합금 주조재를 형성하는 주조 단계; 상기 알루미늄 합금 주조재를 다단 균질화 처리하여 알루미늄 합금 균질화재를 형성하는 다단 균질화 처리 단계; 상기 알루미늄 합금 균질화재를 300℃ 내지 400℃ 범위의 온도로 가열하는 재가열 단계; 및 재가열된 상기 알루미늄 합금 균질화재를 열간압연하여 알루미늄 합금 후판을 형성하는 열간압연 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/0226 (2013.01)

C21D 9/46 (2013.01)

C22F 1/053 (2013.01)

김원경

경상남도 창원시 의창구 상남로216번길 1, 202호

(72) 발명자

이윤수

경상남도 창원시 성산구 상남로 35, 606호

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

명세서

청구범위

청구항 1

5 중량% 내지 8 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 1 중량% 내지 2 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 합금 원소들을 용해하여 형성된 용탕을 주조하여 알루미늄 합금 주조재를 형성하는 주조 단계;

상기 알루미늄 합금 주조재를 다단 균질화 처리하여 알루미늄 합금 균질화재를 형성하는 다단 균질화 처리 단계;

상기 알루미늄 합금 균질화재를 300℃ 내지 400℃ 범위의 온도로 가열하는 재가열 단계;

재가열된 상기 알루미늄 합금 균질화재를 열간압연하여 알루미늄 합금 후판을 형성하는 열간압연 단계;

상기 알루미늄 합금 후판을 420℃ 내지 500℃ 범위의 온도에서 30분 내지 5 시간 동안 용체화 처리하는 용체화 처리 단계; 및

상기 알루미늄 합금 후판을 100℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서 5 시간 내지 30 시간 동안 시효 처리하는 시효 처리 단계를 포함하고,

상기 알루미늄 합금은 0.3 중량% 이하의 크롬(Cr), 0.1 중량% 이하의 티타늄(Ti), 및 0.1 중량% 이하의 지르코늄(Zr) 중 적어도 어느 하나를 더 포함하고,

상기 다단 균질화 처리 단계는,

상기 알루미늄 합금 주조재를 450℃ 내지 475℃ 범위의 온도에서 6 시간 초과 내지 24 시간 미만 동안 1차 균질화 처리하는 단계; 및

1차 균질화 처리된 상기 알루미늄 합금 주조재를 470℃ 내지 490℃ 범위의 온도에서 1 시간 내지 4 시간 미만 동안 2차 균질화 처리하는 단계를 포함하고,

상기 2차 균질화 처리 단계의 온도는 상기 1차 균질화 처리 단계의 온도에 비하여 높은,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 열간압연 단계는,

상온의 열간압연 롤을 이용하여 수행하는,

고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

제 1 항에 있어서,
 상기 알루미늄 합금 주조체는, 50 μm 내지 80 μm 범위의 평균 결정립도를 가지는,
 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
 상기 알루미늄 합금 주조체는 120 mm 내지 200 mm 범위의 두께를 가지고,
 상기 알루미늄 합금 후판은 25 mm 내지 40 mm 범위의 두께를 가지는,
 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,
 상기 시효 처리 단계를 수행하여 제조된 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은,
 항복강도(YS): 450 MPa 이상, 인장강도(UTS): 520 MPa 이상, 및 연신율(EL): 10% 이상을 만족하는,
 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,
 상기 시효 처리 단계를 수행하여 제조된 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은,
 50 부피% 내지 80 부피%의 재결정 분율을 가지는,
 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법.

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 알루미늄 합금의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[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, 레저용품 등으로의 적용이 확대되고 있다.

[0003] 그러나, 7000계 알루미늄 합금은 아연, 마그네슘, 구리 등 첨가원소의 함량이 증가함에 따라 강도는 증가하는 반면, 주조재 내부의 2차상의 분율이 증가하여 주조결함의 발생이 쉽고, 이들 2차상들로 인해 기계적 특성이 하락되는 단점이 있다. 따라서, 2차상의 분율을 감소시키고, 미세한 결정립을 가짐에 따라 기계적 특성이 우수한 후판에 대한 요구가 높아지고 있다.

[0004] 또한, 대량 생산되는 7000계 알루미늄 합금 슬라브의 열간압연은 고온으로 가열한 열간압연 롤을 이용하여 수행하는 것이 일반적이다. 그러나, 7000계 알루미늄 합금 슬라브가 소량인 경우에는 열간압연 롤을 가열하는 것은 비용이 많이 소요된다. 따라서, 열간압연 롤을 가열하지 않고 상온 상태에서 사용하여 7000계 알루미늄 합금 슬라브를 열간압연하여 알루미늄 합금 후판을 제조하는 기술이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0933385호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는, 상온의 열간압연 롤을 이용하여 열간압연을 수행할 수 있고, 2차상 분율을 감소시켜 결함을 방지하여 기계적 특성을 향상시킨 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판 및 그 제조방법을 제공하는 것이다.

[0007] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 관점에 의하면, 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판 및 그 제조방법이 제공된다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법은, 5 중량% 내지 8 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 1 중량% 내지 2 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 합금 원소들을 용해하여 형성된 용탕을 주조하여 알루미늄 합금 주조재를 형성하는 주조 단계; 상기 알루미늄 합금 주조재를 다단 균질화 처리하여 알루미늄 합금 균질화재를 형성하는 다단 균질화 처리 단계; 상기 알루미늄 합금 균질화재를 300℃ 내지 400℃ 범위의 온도로 가열하는 재가열 단계; 및 재가열된 상기 알루미늄 합금 균질화재를 열간압연하여 알루미늄 합금 후판을 형성하는 열간압연 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 다단 균질화 처리 단계는, 상기 알루미늄 합금 주조재를 450℃ 내지 475℃ 범위의 온도에서 6 시간 초과 내지 24 시간 미만 동안 1차 균질화 처리하는 단계; 및 1차 균질화 처리된 상기 알루미늄 합금 주조재를 470℃ 내지 490℃ 범위의 온도에서 1 시간 내지 4 시간 미만 동안 2차 균질화 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 2차 균질화 처리 단계의 온도는 상기 1차 균질화 처리 단계의 온도에 비하여 높을 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 열간압연 단계는, 상온의 열간압연 롤을 이용하여 수행할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄 합금 후판을 420℃ 내지 500℃ 범위의 온도에서 30분 내지 5 시간 동안 용체화 처리하는 용체화 처리 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄 합금 후판을 100℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서 5 시간 내지 30 시간 동안 시효 처리하는 시효 처리 단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄 합금 후판을 420℃ 내지 500℃ 범위의 온도에서 30분 내지 5 시간 동안 용체화 처리하는 용체화 처리 단계; 및 상기 알루미늄 합금 후판을 100℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서

5 시간 내지 30 시간 동안 시효 처리하는 시효 처리 단계를 더 포함할 수 있다.

- [0016] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄 합금은, 0.3 중량% 이하의 크롬(Cr), 0.1 중량% 이하의 티타늄(Ti), 및 0.1 중량% 이하의 지르코늄(Zr) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄 합금 주조재는, 50 μm 내지 80 μm 범위의 평균 결정립도를 가질 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄 합금 주조재는 120 mm 내지 200 mm 범위의 두께를 가지고, 상기 알루미늄 합금 후판은 25 mm 내지 40 mm 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 5 중량% 내지 8 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 1 중량% 내지 2 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 항복강도(YS): 450 MPa 이상, 인장강도(UTS): 520 MPa 이상, 및 연신율(EL): 10% 이상을 만족할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 50 부피% 내지 80 부피%의 재결정 분율을 가질 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 0.3 중량% 이하의 크롬(Cr), 0.1 중량% 이하의 티타늄(Ti), 및 0.1 중량% 이하의 지르코늄(Zr) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명의 기술적 사상에 의할 경우, 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조 방법은 다단 균질화 처리를 통해 주조재에 존재하는 화합물의 분율을 최소화하여 후판의 기계적 특성을 향상시키고, 상온의 물을 이용한 열간압연을 위하여 압연시 발생하는 파손을 억제하도록 재가열 열처리 온도를 제어함으로써, 우수한 기계적 특성을 가지는 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판을 제공할 수 있다.
- [0023] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법을 개략적으로 나타낸 공정 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법을 공정 시간과 공정 온도의 변화를 나타낸 개략도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에서, 알루미늄 합금 설계를 위한 열역학 계산 결과를 나타내는 그래프들이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금 주조재의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진들이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금의 시차주사 열량측정 그래프들이다.
- 도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금의 균질화 시간에 따른 미세조직의 변화를 나타내는 광학현미경 사진들이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 균질화 시간에 따른 화합물 분율을 나타내는 그래프들이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 균질화 시간에 따른 경도를 나타내는 그래프들이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 재가열 온도에 따른 열간압연 결과를 나타내는 사진들이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알

루미늄 합금 후판의 단면을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 강도 및 연신율을 나타내는 그래프들이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 피로 특성을 나타내는 그래프이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 파괴 인성을 나타내는 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 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.
- [0026] 본 명세서에서, "합금 원소"는 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판에서 알루미늄을 제외하고, 의도적으로 또는 의도하지 않고 첨가되는 다른 원소들을 지칭하는 용어로 사용됨에 유의한다. 또한, 본 명세서에 기재된 "화합물"은 알루미늄 기지에 고용되지 않고 결정입계 또는 결정입내 등에 석출상 또는 정출상으로 형성되어 구분되는 모든 종류의 화합물들을 의미하며, 알루미늄 합금에서 통상적으로 지칭하는 2차상을 포함하는 의미에 유의한다.
- [0027] 본 발명의 기술적 사상은 조성 범위를 제어하고, 다단 균질화 열처리 및 재가열 온도를 최적화함에 따라 상온의 압연률을 이용하여 열간압연이 가능하게 하여, 기계적 특성이 우수한 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판 및 그 제조하는 방법을 제공하는 것이다.
- [0028] 이하, 본 발명의 일 측면인 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판에 대하여 설명한다.
- [0029] 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판
- [0030] 본 발명의 일 측면인 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 5 중량% 내지 8 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 1 중량% 내지 2 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함한다.
- [0031] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 0.3 중량% 이하의 크롬(Cr), 0.1 중량% 이하의 티타늄(Ti), 및 0.1 중량% 이하의 지르코늄(Zr) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 0.01 중량% 내지 0.3 중량%의 크롬(Cr), 0.01 중량% 내지 0.1 중량%의 티타늄(Ti), 및 0.01 중량% 내지 0.1 중량%의 지르코늄(Zr) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.
- [0032] 이하, 본 발명에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판에 포함되는 각 성분의 역할 및 그 함량에 대하여 설명하면 다음과 같다. 이때, 성분 원소의 함유량은 모두 중량%를 의미한다.
- [0033] 아연(Zn): 5 중량% ~ 8 중량%
- [0034] 아연은 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 강도를 향상시키는 원소이다. 아연의 함량이 5 중량% 미만인 경우에는, 강도 확보가 어려울 수 있다. 아연의 함량이 8 중량%를 초과하는 경우에는, 용탕의 유동도가 감소하여 주조성이 불량하게 될 수 있고, 제조되는 합금 후판의 중심부에 편석이 생겨 기계적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 아연은 후판 전체 중량의 5 중량% 내지 8 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.
- [0035] 마그네슘(Mg): 2 중량% ~ 3 중량%
- [0036] 마그네슘은 고용강화 원소로서 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 기지에 고용되어 강도 및 성형성을 향상시키는 원소이다. 마그네슘의 함량이 2 중량% 미만인 경우에는, 강도 확보 및 성형성 향상이 어려울 수 있다. 마그네슘의 함량이 3 중량%를 초과하는 경우에는, 연신율이 현저하게 저하되므로 균열을 야기할 수 있다. 따라

서, 마그네슘은 후판 전체 중량의 2 중량% 내지 3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0037] 구리(Cu): 1 중량% ~ 2 중량%

[0038] 구리는 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 강도 및 성형성을 향상시키는 원소이다. 구리의 함량이 1 중량% 미만인 경우에는, 강도 확보 및 성형성 향상이 어려울 수 있다. 구리의 함량이 2 중량%를 초과하는 경우에는, 주조시 편석에 의한 균열을 형성할 수 있다. 따라서, 구리는 후판 전체 중량의 1 중량% 내지 2 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0039] 크롬(Cr): 0.3 중량% 이하

[0040] 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 후판 전체 중량의 0.5 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% 내지 0.3 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0041] 티타늄(Ti): 0.1 중량% 이하

[0042] 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 0.1 중량%를 초과하는 경우에는, 조대한 금속간 화합물을 형성하여 연성이 저하될 수 있다. 따라서, 티타늄은 후판 전체 중량의 0.1 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% 내지 0.1 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0043] 지르코늄(Zr): 0.1 중량% 이하

[0044] 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 0.1 중량%를 초과하는 경우에는, 조대한 금속간 화합물을 형성하여 연성이 저하될 수 있다. 따라서, 지르코늄은 후판 전체 중량의 0.1 중량% 이하로, 예를 들어 0.01 중량% 내지 0.1 중량%로 첨가되는 것이 바람직하다.

[0045] 상기 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 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.

[0046] 그러나, 본 발명의 기술적 사상은 상기 합금의 조성에 제한되는 것은 아니며, 7075계, 7050계, 7068계 등과 같은 7000 계열 알루미늄 합금 후판으로 사용될 수 있는 합금 조성을 포괄적으로 포함할 수 있다.

[0047] 전술한 합금 조성의 구체적인 성분 및 이들의 함량 범위를 제어하고, 후술하는 제조 방법을 통해 제조된 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은 후속하는 열간압연 및 열처리에 의하여 기계적 특성이 다양하게 변화될 수 있다.

[0048] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 예를 들어, 항복강도(YS): 450 MPa 이상, 인장강도(UTS): 520 MPa 이상, 및 연신율(EL): 10% 이상을 만족할 수 있고, 예를 들어, 항복강도(YS): 450 MPa ~ 650 MPa, 인장강도(UTS): 520 MPa ~ 720 MPa, 및 연신율(EL): 10% ~ 16%를 만족할 수 있다.

[0049] 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판은, 50 부피% 내지 80 부피%의 재결정 분율을 가질 수 있다. 상기 재결정 분율은 크롬(Cr), 지르코늄(Zr) 등의 첨가에 의하여 감소될 수 있다. 또한 열간압연시의 압하율에 의하여도 변화될 수 있다.

[0050] 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법

[0051] 이하에서는 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.

[0052] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법(S100)을 개략적으로 나타낸 공정 순서도이다.

- [0053] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법을 공정 시간과 공정 온도의 변화를 나타낸 개략도이다.
- [0054] 도 1 및 도 2를 참조하면, 상기 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법(S100)은, 주조 단계(S110); 다단 균질화 처리 단계(S120); 재가열 단계(S130); 열간압연 단계(S140); 용체화 처리 단계(S150); 및 시효 처리 단계(S160)를 포함한다.
- [0055] 상기 주조 단계(S110)는 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판을 구성하는 합금 원소들을 용해하여 용탕을 형성한 후에 주조하는 단계이다.
- [0056] 상기 주조 단계(S110)에서는, 예를 들어 5 중량% 내지 8 중량%의 아연(Zn), 2 중량% 내지 3 중량%의 마그네슘(Mg), 1 중량% 내지 2 중량%의 구리(Cu), 및 잔부는 알루미늄(Al)과 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금에 해당하는 합금 원소들을 용해하여 용탕을 형성할 수 있다. 또한, 상기 용탕은, 0.3 중량% 이하의 크롬(Cr), 0.1 중량% 이하의 티타늄(Ti), 및 0.1 중량% 이하의 지르코늄(Zr) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.
- [0057] 상기 합금원소들은 고주파 유도 용해로를 이용하여 흑연 도가니 내에서 상기 합금원소들이 완전히 용해되는 온도에서 용해될 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 형태로서 알루미늄 용탕에 첨가할 수 있다. 이러한 방식은 다른 첨가원소들인 마그네슘, 구리 등에도 적용될 수 있다.
- [0058] 상기 용탕을 슬라브 틀에 넣어서 고체화하여 알루미늄 합금 주조재를 형성할 수 있다. 상기 알루미늄 합금 주조재는 DC(direct chilled) 연속 주조 방법에 의하여 수행될 수 있으나, 이는 예시적이며 본 발명에 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0059] 상기 알루미늄 합금 주조재를 상온으로 공랭시킬 수 있다. 그러나, 이는 예시적이며, 공랭하지 않고 주조 직후 후속의 다단 균질화 처리를 연속적으로 수행하는 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다.
- [0060] 상기 알루미늄 합금 주조재는, 150 μm 이하의 결정립도를 가질 수 있고, 50 μm 내지 80 μm 범위의 평균 결정립도를 가질 수 있다.
- [0061] 다단 균질화 처리 단계(S120)는 상기 알루미늄 합금 주조재를 가열하여 균질화 처리하여 알루미늄 합금 균질화재를 형성하는 단계이다. 다단 균질화 처리 단계(S120)는 1차 균질화 처리 단계 및 2차 균질화 처리 단계를 포함할 수 있다.
- [0062] 상기 1차 균질화 처리 단계에서는, 상기 알루미늄 합금 주조재를 450 $^{\circ}\text{C}$ 내지 475 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 온도에서 6 시간 초과 내지 24 시간 미만 동안 1차 균질화 처리할 수 있다. 상기 1차 균질화 처리 단계는, 예를 들어 9 시간 내지 12 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0063] 상기 2차 균질화 처리 단계에서는, 1차 균질화 처리된 상기 알루미늄 합금 주조재를 470 $^{\circ}\text{C}$ 내지 490 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 온도에서 1 시간 내지 4 시간 미만 동안 2차 균질화 처리할 수 있다. 상기 2차 균질화 처리 단계의 온도는 상기 1차 균질화 처리 단계의 온도에 비하여 높은 것이 바람직하다.
- [0064] 예를 들어, 상기 1차 균질화 처리 단계는 460 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 12시간 동안 수행될 수 있고, 상기 2차 균질화 처리 단계는 475 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 2시간 동안 수행될 수 있다.
- [0065] 상기 균질화 처리에 의하여, 알루미늄 합금의 내부 조직의 균질화가 이루어지며, 특히 주조 과정 중에 석출된 화합물이 알루미늄 기지 내로 다시 고용될 수 있다. 또한, 상기 균질화 처리를 다단으로 수행함에 따라 균질화 처리에 소요되는 전체 시간을 감소시킬 수 있다.
- [0066] 이어서, 상기 균질화 처리에 의하여 형성된 알루미늄 합금 균질화재를 상온으로 공랭시킬 수 있다.
- [0067] 선택적으로, 상기 알루미늄 합금 균질화재를 면삭하여 표면 결함을 제거할 수 있고, 이에 따라 후속의 열간압연에서 결함 발생을 방지할 수 있다.
- [0068] 상기 재가열 단계(S130)는 상기 알루미늄 합금 균질화재를 열간압연을 위하여 재가열하는 단계이다. 상기 재가열 단계(S130)는 상기 알루미늄 합금 균질화재를 가열하여 300 $^{\circ}\text{C}$ 내지 400 $^{\circ}\text{C}$ 범위의 온도에서 1 시간 내지 4 시간 동안 유지하여 수행할 수 있고, 예를 들어 약 2 시간 동안 유지하여 수행될 수 있다.

- [0069] 종래의 알루미늄 합금의 열간압연은 200℃ 이상 가열한 열간압연 롤을 이용하였으나, 본 발명에서는 상온의 열간압연 롤을 사용하는 기술적 특징이 있다. 이와 같이 상온의 열간압연 롤을 이용하기 위하여는 재가열 온도가 중요하다, 상기 재가열 온도가 300℃ 미만인 경우에는 상기 열간압연 롤에 가해지는 하중이 증가되어 열간압연이 불가능할 수 있다. 상기 재가열 온도가 400℃ 이상인 경우에는 상기 알루미늄 합금 균질화재와 상기 열간압연 롤 사이의 온도 차이에 의한 열충격이 너무 크게 되어 열간압연 시 압연재가 파괴될 수 있다.
- [0070] 상기 열간압연 단계(S140)는, 재가열된 상기 알루미늄 합금 균질화재를 300℃ 내지 400℃ 범위의 온도에서 열간압연하여 알루미늄 합금 후판을 형성하는 단계이다.
- [0071] 상기 열간압연은 50 m/min 내지 70 m/min의 속도로 회전하고, 상온의, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도의 한 쌍의 열간압연 롤을 이용하여 수행될 수 있다. 상기 열간압연 롤의 속도가 50 m/min 미만인 경우에는, 상기 후판 전체적으로 압연변형을 주어 후판 성형성 향상에 도움을 주는 전단변형의 발생이 어려울 수 있다. 상기 열간압연 롤의 속도가 70 m/min 를 초과하는 경우에는 상기 후판의 중심부까지 변형을 야기시키지 못할 수 있다.
- [0072] 상기 열간압연은 4% 내지 10% 미만 범위의 압하율로 수행될 수 있고, 평균 7%의 압하율로 수행될 수 있다. 상기 압하율이 4% 미만인 경우에는, 많은 횡수의 반복압연을 실시해야 하기 때문에 공정시간 및 비용이 증가할 수 있다. 상기 압하율이 10% 이상인 경우에는, 상기 후판에 상당한 크랙이 발생하여 표면품질 및 기계적 성질이 저하될 수 있다. 상기 열간압연은 원하는 두께를 얻을 때까지 반복적으로 이루어질 수 있다.
- [0073] 열간압연을 수행하기 전의 상기 알루미늄 합금 주조재 또는 상기 알루미늄 합금 균질화재는 120 mm 내지 200 mm (120T 내지 200T) 범위의 두께를 가질 수 있고, 열간압연을 수행하여 형성한 알루미늄 합금 후판은 25 mm 내지 40 mm (25T 내지 40T) 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0074] 상기 열간압연 단계(S140)를 수행한 후, 상기 알루미늄 합금 후판은 공랭으로 상온으로, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다.
- [0075] 상기 용체화 처리 단계(S150)에서는, 열간압연된 상기 알루미늄 합금 후판을 용체화 처리한다. 상기 용체화 처리 단계(S150)는 상기 알루미늄 합금 후판을 가열하여, 예를 들어 420℃ 내지 500℃ 범위의 온도에서 30분 내지 5 시간 동안 유지하여 수행될 수 있고, 예를 들어 470℃에서 1 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0076] 상기 용체화 처리 단계(S150)를 수행한 후, 수냉 퀴칭을 수행하여, 상기 알루미늄 합금 후판은 상온으로, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다. 상기 용체화 처리에 의하여 열간압연에 의하여 형성된 생성상이 분해될 수 있고, 알루미늄 기지의 조성 균일도가 향상될 수 있다. 상기 용체화 처리를 수행한 후, 수냉 퀴칭을 수행하여 상온으로, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다.
- [0077] 상기 시효 처리 단계(S160)에서는, 용체화 처리된 상기 알루미늄 합금 후판을 시효 처리한다. 상기 시효 처리 단계(S160)는 상기 알루미늄 합금 후판을 가열하여, 예를 들어 100℃ 내지 200℃ 범위의 온도에서 5 시간 내지 30 시간 동안 유지하여 수행될 수 있고, 예를 들어 120℃에서 24 시간 동안 수행될 수 있다.
- [0078] 상기 시효 처리를 수행한 후, 수냉 퀴칭을 수행하여, 상기 알루미늄 합금 후판은 상온으로, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다. 상기 시효 처리에 의하여 과포화 고용체로부터 용질 원소가 추출되어 시효 석출상을 형성할 수 있다. 상기 시효 처리를 수행한 후, 수냉 퀴칭을 수행하여 상온으로, 예를 들어 0℃ 내지 40℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다.
- [0079] 상기 용체화 처리 단계(S150) 및 상기 시효 처리 단계(S160)는 순차적으로 수행될 수 있다. 또는 상기 용체화 처리 단계(S150)만 수행되거나, 상기 시효 처리 단계(S160)만 수행될 수 있다.
- [0080] 실험예
- [0081] 이하에서는, 본 발명의 기술적 사상에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판에 대한 실험예를 상세하게 설명하기로 한다. 하기 실험예는 본 발명의 기술사상을 설명하기 위한 예시로서, 본 발명은 후술하는 실험예로 한정되지 않는다.
- [0082] 표 1은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금의 합금 조성이 나타나 있다. 표 1의 합금 조성은 중량%를 의미하고, 잔부는 알루미늄(Al) 및 불가피한 불순물을 포함한다.

표 1

분류	목표조성	Zn	Mg	Cu	Cr	Ti	Zr	Fe	Si
주조재	Al-5.6Zn-2.5Mg-1.5Cu	5.55	2.40	1.40	0.14	0.025	0.05	0.09	0.02
1차 균질화재	Al-5.6Zn-2.5Mg-1.5Cu	5.55	2.40	1.40	0.14	0.025	0.05	0.09	0.02
실시예1	Al-5.6Zn-2.5Mg-1.5Cu	5.55	2.40	1.40	0.14	0.025	0.05	0.09	0.02
실시예2	Al-6.2Zn-2.5Mg-1.5Cu	6.20	2.40	1.45	0.19	0.025	0	0.10	0.02
실시예3	Al-7.8Zn-2.5Mg-1.5Cu	7.85	2.55	1.40	0.18	0.020	0	0.09	0.015

[0083] 표 1에는, 알루미늄 합금들의 목표 조성 및 실측 조성이 나타나 있다. 상기 목표 조성은, 예를 들어 "Al-5.6Zn-2.5Mg-1.5Cu"는 5.6 중량% 아연, 2.5 중량% 마그네슘, 및 1.5 중량% 구리 및 잔부는 알루미늄 등을 포함하는 것을 의미한다.

[0085] 또한, 표 1에는 미세화재로서 첨가한 크롬(Cr), 티타늄(Ti) 및 지르코늄(Zr)의 함량이 나타나 있다. 또한, 의도적으로 첨가하지 않고 불가피한 불순물로서 첨가된 철(Fe) 및 실리콘(Si)의 함량은 밀줄로 구분되어 나타나 있다.

[0086] 마그네슘에 대한 아연의 비율(Zn/Mg)은 주조재, 1차 균질화재, 및 실시예1의 경우는 2.24, 실시예2의 경우는 2.48, 실시예3의 경우는 3.12이었다.

[0087] 표 1의 알루미늄 합금들을 DC 연속 주조를 수행하여 알루미늄 합금 주조재를 제조하였다. 상기 주조재는 폭 350 mm, 두께 150 mm 및 길이 600 mm의 치수를 가졌다.

[0088] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에서, 알루미늄 합금 설계를 위한 열역학 계산 결과를 나타내는 그래프들이다. 도 3에서, (a)는 상기 실시예1, (b)는 상기 실시예2, 및 (c)는 상기 실시예3의 경우이다.

[0089] 도 3을 참조하면, 아연 함량이 변화될 때의 온도에 따른 형성되는 상의 변화를 나타내었다. 상기 알루미늄 합금에서 주로 형성되는 화합물은 MgZn₂ 상임을 알 수 있다. 이외에도, Al₃Mg₂ 상, Al₁₃Cr₂ 상, 및 T-(Mg₃₂(Al, Zn)₄₉) 상 등이 형성된다. 열역학적 계산에 따르면 아연 함량이 증가함에 따라, 상기 알루미늄 합금 내에 형성된 전체 화합물의 분율은 6.3 부피%에서 7.5 부피%로 증가하였다.

[0090] 이어서, 상기 알루미늄 합금 주조재를 균질화 처리하였다. 이하에서는, 상기 균질화 처리의 조건 설정에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.

[0091] 표 2는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금의 균질화 처리 조건이 나타나 있다.

표 2

분류	1차 균질화 처리	2차 균질화 처리
주조재	안함	안함
1차 균질화재	460℃, 12시간	안함
실시예1	460℃, 12시간	475℃, 2시간
실시예2	460℃, 12시간	475℃, 2시간
실시예3	460℃, 12시간	475℃, 2시간

[0093] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금 주조재의 미세조직을 나타내는 광학현미경 사진들이다.

[0094] 도 4를 참조하면, 상기 알루미늄 합금 주조재는 약 150 μm 이하의 결정립도를 가지고, 및 50 μm 내지 80 μm 범위의 평균 결정립도의 미세조직을 가졌다. 또한, 상기 알루미늄 합금 주조재는 3.2 부피% 내지 3.6 부피% 범위, 약 3.4 부피%(vol%)의 화합물 분율을 가졌다.

[0095] 상기 알루미늄 합금 주조재를 균질화 처리하면, 높은 온도에서 부분 용융이 발생할 수 있다. 이러한 부분 용융을 방지하고, 석출 또는 정출 등에 의하여 형성되는 화합물의 분율을 최소화하는 것이 바람직하다. 이러한 부분

용융은 흡열반응이므로, 시차주사 열량측정(differential scanning calorimetry, DSC) 그래프에서 피크가 나타나게 되고, 따라서 부분 용융을 방지하는 균질화 처리 온도를 결정할 수 있다.

- [0096] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금의 시차주사 열량측정 그래프들이다.
- [0097] 도 5의 (a)를 참조하면, 상기 알루미늄 합금 주조재에서는, 부분 용융을 나타내는 피크의 시작 온도가 약 477.7℃이고, 정점의 온도가 약 481.2℃이고, 종료 온도가 약 491.0℃이었다. 또한, 균질화 처리용 로의 내부 온도 편차가 약 15℃임을 고려할 필요가 있다. 이에 따라, 1차 균질화 처리는 부분 용융에 의하여 상기 피크가 시작되는 상기 시작 온도 이하로 제어되어야 하므로, 약 460℃가 바람직한 온도로 분석된다.
- [0098] 이러한 결과에 따라, 상기 알루미늄 합금 주조재를 460℃에서 12시간 동안 1차 균질화를 수행하여, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재를 제조하였다.
- [0099] 도 5의 (b)를 참조하면, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재에서는, 부분 용융을 나타내는 피크의 시작 온도가 약 492.8℃이고, 정점의 온도가 약 499.6℃이고, 종료 온도가 약 503.2℃이었다. 또한, 균질화 처리용 로의 내부 온도 편차가 약 15℃임을 고려할 필요가 있다. 이에 따라, 2차 균질화 처리는 부분 용융에 의하여 상기 피크가 시작되는 상기 시작 온도 이하로 제어되어야 하므로, 약 475℃가 바람직한 온도로 분석된다.
- [0100] 이러한 결과에 따라, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재를 475℃에서 2시간 동안 2차 균질화를 수행하여, 알루미늄 합금 2차 균질화재를 제조하였다.
- [0101] 상기 알루미늄 합금 주조재에 비하여 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재의 피크 시작 온도가 높은 이유는, 부분 용융을 발생시키는 화합물의 일부가 1차 균질화 처리에 의하여 알루미늄 기지 내로 고용되어, 상기 화합물의 함량이 낮아졌기 때문에 부분 용융이 발생하는 시작 온도가 증가되는 것으로 분석된다.
- [0102] 상기 알루미늄 합금 2차 균질화재는 실시예1에 상응하며, 두 단계의 다단 균질화 처리가 수행되었다. 또한, 실시예2 및 실시예3은 실시예1와는 합금 조성이 상이할 뿐이며, 상기 균질화 처리는 동일한 온도 및 시간으로 다단 균질화 처리로 제조하였다.
- [0103] 이하에서는, 상기 다단 균질화 처리 시간의 최적화에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.
- [0104] 도 6 및 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법에 따라 제조된 알루미늄 합금의 균질화 시간에 따른 미세조직의 변화를 나타내는 광학현미경 사진들이다.
- [0105] 도 6을 참조하면, 상기 알루미늄 합금 주조재를 460℃에서 6시간 내지 48시간 동안 시간을 변화시켜 1차 균질화 처리한 경우의 미세조직이 나타나 있다. 상기 알루미늄 합금 주조재는 주조 직후 약 3.4 부피%의 화합물 분율을 가졌다. 상기 알루미늄 합금 주조재의 1차 균질화 처리 시간이 증가되면 36시간까지는 화합물 분율이 계속 감소하였고, 반면 48시간에서는 화합물 분율이 다시 증가하였다. 흰색 화살표로 표시된 결정입계에 존재하는 화합물은 상기 알루미늄 합금 주조재와 6시간 동안 균질화 처리된 경우에는 발견되었으나, 12시간 이상 균질화 처리 시에는 발견되지 않았다. 따라서, 상기 화합물 분율 최소화 및 균질화 처리 시간 최소화를 고려하여 최적화한 결과로서, 1차 균질화 처리는 460℃에서 12시간 동안 수행하는 것이 바람직하다.
- [0106] 여기에서, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재는 도 6의 460℃에서 12시간 동안 1차 균질화 처리한 경우이며, 화합물 분율은 1.18 부피%로 나타났다.
- [0107] 도 7을 참조하면, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재를 475℃에서 1시간 내지 24시간 동안 시간을 변화시켜 2차 균질화 처리한 경우의 미세조직이 나타나 있다. 상기 알루미늄 합금 주조재의 2차 균질화 처리 시간이 증가되면 24시간까지 화합물의 분율이 계속 감소하였다. 특히, 화합물 분율이 1 부피% 이하로 낮아지는 2차 균질화 처리 시간은 2시간 이상임을 알 수 있다. 따라서, 상기 화합물 분율 최소화 및 균질화 처리 시간 최소화를 고려하여 최적화한 결과로서, 2차 균질화 처리는 475℃에서 2시간 동안 수행하는 것이 바람직하다.
- [0108] 상기 화합물 분율의 변화에 대하여 검토하면, 상기 알루미늄 합금 주조재에서는 화합물 분율이 3.42 부피%이었고, 460℃에서 12시간 동안 1차 균질화 처리한 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재에서는 화합물 분율이 1.18 부피%로 감소되었고, 475℃에서 2시간 동안 2차 균질화 처리한 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재는 화합물 분율이 0.84 부피%로 감소하였다. 따라서, 본 발명에 따르면, 화합물(2차상) 분율을 빠른 시간에 1 부피% 미만으로 달성할 수 있다.
- [0109] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루

미늄 합금의 균질화 시간에 따른 화합물 분율을 나타내는 그래프들이다. 도 8의 (a)는 상기 알루미늄 합금 주조재를 460℃에서 1차 균질화 처리한 경우이고, (b)는 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재를 475℃에서 2차 균질화 처리한 경우이다.

[0110] 도 8을 참조하면, 상기 화합물 분율 최소화 및 균질화 처리 시간 최소화를 고려하여 최적화된 결과로서, 상기 1차 균질화 처리는 460℃에서 12시간 동안 수행한 것이고, 상기 2차 균질화 처리는 475℃에서 2시간 동안 수행한 것임을 알 수 있다. 이는 도 6 및 도 7을 참조하여 상술한 결과와 일치한다.

[0111] 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 균질화 시간에 따른 경도를 나타내는 그래프들이다. 도 9의 (a)는 상기 알루미늄 합금 주조재를 460℃에서 1차 균질화 처리한 경우이고, (b)는 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재를 475℃에서 2차 균질화 처리한 경우이다.

[0112] 표 3은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 균질화 시간에 따른 경도를 나타내는 표이다.

표 3

1차 균질화 처리		2차 균질화 처리	
시간(h)	경도(Hv)	시간(h)	경도(Hv)
0	95.84 ± 6.61	1	151.24 ± 0.86
6	139.98 ± 2.05	2	153.01 ± 1.30
12	141.11 ± 1.77	4	153.62 ± 1.14
24	142.72 ± 2.53	8	154.27 ± 1.14
36	151.38 ± 1.60	12	154.30 ± 1.15
48	150.13 ± 1.79	24	155.05 ± 0.87

[0114] 도 9 및 표 3을 참조하면, 상기 알루미늄 합금 주조재를 460℃에서 1차 균질화 처리한 경우에는, 주조 직후에서 6시간까지 경도가 급격하게 증가하였고, 그 이후의 시간에서는 거의 동일한 경도를 나타내었다. 또한, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재를 475℃에서 2차 균질화 처리한 경우에는, 2시간까지 경도가 급격하게 증가하였고, 그 이후에서는 완만하게 증가하였다. 이러한 경도 증가 및 균질화 처리 시간 최소화를 고려하여 최적화된 결과로서, 상기 1차 균질화 처리는 460℃에서 12시간 동안 수행한 것이고, 상기 2차 균질화 처리는 475℃에서 2시간 동안 수행한 것임을 알 수 있다. 이는 도 6 내지 도 8을 참조하여 상술한 화합물 분율 결과와 일치한다.

[0115] 이어서, 2차 균질화 처리된 상기 알루미늄 합금 균질화재를 다양한 온도로 재가열한 후 상온의 열간압연 롤을 이용하여 열간압연하여 약 25 mm 두께의 알루미늄 합금 후판을 제조하였다. 이하에서는, 상기 열간압연 조건 설정에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.

[0116] 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 재가열 온도에 따른 열간압연 결과를 나타내는 사진들이다.

[0117] 도 10을 참조하면, 실시예1의 알루미늄 합금 2차 균질화재의 열간압연 결과가 나타나있다. 상기 열간압연은 상온의 열간압연 롤을 이용하여 수행하였다. 350℃와 400℃로 재가열하여 열간압연한 경우에는 상기 알루미늄 합금 2차 균질화재의 열간압연이 성공적으로 이루어졌다. 반면, 재가열 온도가 460℃에서는 알루미늄 합금 2차 균질화재가 파괴되어 열간압연이 불가능하였다.

[0118] 상기 재가열 온도가 460℃인 경우에는, 상기 알루미늄 합금 2차 균질화재와 상기 열간압연 롤 사이의 온도 차이에 의한 열충격이 큰 영향을 주게 됨으로써, 상기 알루미늄 합금 2차 균질화재가 파괴된 것으로 분석된다. 반면, 상기 재가열 온도가 460℃ 이하로 감소되면, 상기 알루미늄 합금 2차 균질화재와 상기 열간압연 롤 사이의 온도 차이가 감소되어, 이에 따라 열충격의 영향이 감소되어 열간압연이 가능해지는 것으로 분석된다.

[0119] 표 4는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금의 재가열 온도에 따른 열간압연 결과를 나타내는 표이다.

표 4

구분	재가열 온도(℃)					
	320	340	360	380	400	460

주조재	0	0	0	X	X	X
1차 균질화재	0	0	0	0	X	X
실시예1	0	0	0	0	0	X

[0121] 표 4를 참조하면, 2차 균질화를 수행한 실시예1을 상온의 열간압연 롤을 이용하여 열간압연을 수행할 경우, 320℃ 내지 400℃ 범위로 재가열되는 것이 바람직함을 알 수 있다. 반면, 상기 알루미늄 합금 1차 균질화재는 400℃ 이상에서는 열간압연이 불가능하였고, 상기 알루미늄 합금 주조재는 380℃ 이상에서는 열간압연이 불가능하였다. 이러한 결과는 상기 균질화 처리를 진행함에 따라, 결정립계의 화합물의 분율이 감소되고 기계적 특성이 증가됨에 따라 상온의 열간압연 롤을 이용하는 열간압연 시 발생하는 열충격에 대한 내성이 증가되기 때문으로 분석된다.

[0122] 산업 현장에서는 압연 장비에 손상이 발생하는 것을 방지하기 위해 열간 압연 시 열간압연 롤에 가해지는 하중을 최소화하는 것이 중요하므로 재가열 온도를 높이는 것이 중요하다. 이를 위해서는 화합물 분율을 감소시키도록 다단 균질화를 수행하는 것이 상온의 열간압연 롤을 사용하여 열간압연을 수행할 때, 상기 하중을 감소시키는 방안으로 분석된다.

[0123] 이어서, 실시예 1 내지 실시예3의 열간압연된 알루미늄 합금 후판을 가열하여 470℃에서 1 시간 동안 용체화 처리하고, 수냉한 후에 다시 가열하여 120℃에서 12 시간 동안 시효 처리하였다, 즉, 실시예들은 T6 열처리되었다. 이와 같이, 용체화 처리 및 시효 처리를 수행한 알루미늄 합금 후판에 대하여 하기의 기계적 특성의 측정과 미세조직 관찰을 수행하였다.

[0124] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 단면을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다. 도 11에서 (a)는 상기 실시예1, (b)는 상기 실시예2, (c)는 상기 실시예3의 경우이다. "RD"는 압연 방향을 나타내고, "ND"는 상기 압연 방향에 대하여 수직 방향, 즉 두께 방향을 나타낸다.

[0125] 도 11을 참조하면, 실시예들은 미세조직이 유사하게 나타났고, 아연 함량의 변화에 대한 경향성을 뚜렷하게 나타내지 않았다. 실시예들의 결정립 평균 크기는 46.8 μm 내지 49.1 μm 범위이고, KAM(kernel average misorientation)은 1.14 내지 1.21 범위이고, 재결정 분율은 63 부피% 내지 66 부피% 범위로 나타났다. 여기에서, 상기 재결정 분율은 EBSD(후방 산란 전자, Electron Backscatter Diffraction) 분석 시 GOS(grain orientation spread) 값이 0도 내지 2도 사이를 가지는 결정들을 포함하도록 정의하였다.

[0126] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 강도 및 연신율을 나타내는 그래프들이다.

[0127] 표 5는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 강도 및 연신율을 나타내는 표이다.

표 5

구분	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
실시예1	500 ± 8.5	571 ± 2.7	14.2 ± 0.6
실시예2	545 ± 3.8	608 ± 3.5	13.3 ± 0.5
실시예3	591 ± 4.0	653 ± 2.0	13.1 ± 0.6

[0129] 도 12 및 표 5를 참조하면, 실시예들은 강도-연신율 곡선이 유사한 거동을 나타내었다. 실시예들의 아연 함량이 증가함에 따라 항복강도 및 인장강도가 상승하였고, 연신율은 감소하는 경향을 나타내었다.

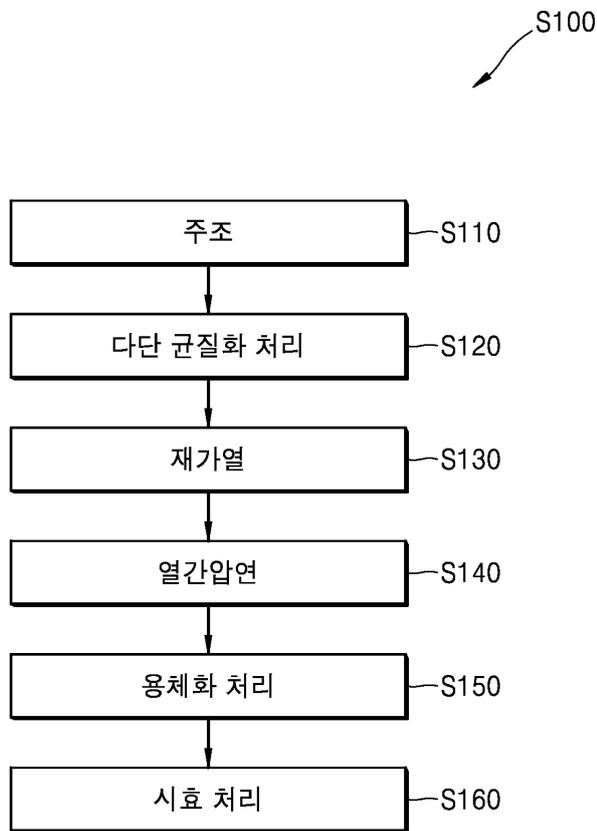
[0130] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 피로 특성을 나타내는 그래프이다.

[0131] 도 13에서, 상기 피로 실험은 R 비율 0.1, 피로 사이클 주파수 30 Hz, 상온(25℃)에서 수행하였다. 피로 응력은 10⁷ 사이클에서 취득한 응력으로 정의하였다. 상기 피로 실험에서 10⁴ 사이클까지의 소요 시간은 0.09시, 10⁵ 사이클까지의 소요 시간은 0.93시, 10⁶ 사이클까지의 소요 시간은 9.26시, 및 10⁷ 사이클까지의 소요 시간은 92.59시이었다.

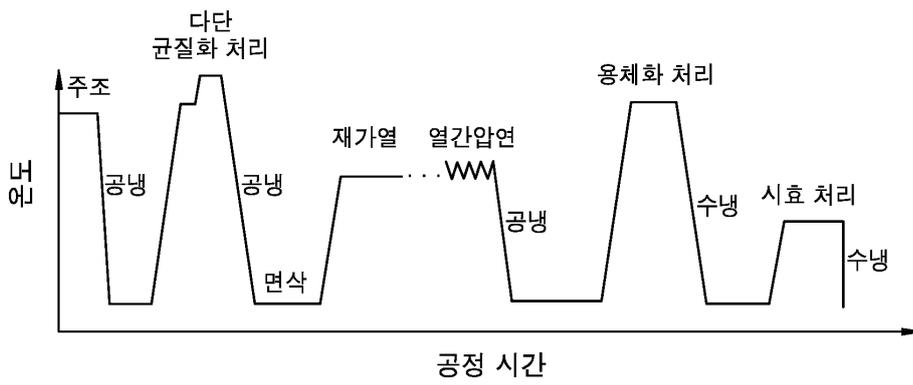
- [0132] 도 13을 참조하면, 실시예들은 사이클수-피로 응력 곡선이 유사한 거동을 나타내었다. 모든 경우에서 피로 사이클이 증가됨에 따라 최대 응력은 감소하였다. 실시예1의 피로 응력이 다른 실시예들에 비하여 낮게 나타났다. 아연 함량이 증가됨에 따라 피로 응력이 증가되는 경향을 나타내었다.
- [0133] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 고강도 알루미늄-아연-마그네슘-구리 합금 후판의 제조방법으로 제조된 알루미늄 합금 후판의 파괴 인성을 나타내는 그래프들이다.
- [0134] 도 14를 참조하면, K_Q 에 대하여 실시예1의 경우는 $28.1 \text{ MPa m}^{1/2}$, 실시예2의 경우는 $26.7 \text{ MPa m}^{1/2}$, 실시예3의 경우는 $23.0 \text{ MPa m}^{1/2}$ 으로 나타났다. 따라서, 아연 함량이 증가됨에 따라, 상기 알루미늄 합금 후판의 파괴 인성이 감소됨을 알 수 있다.
- [0135] 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

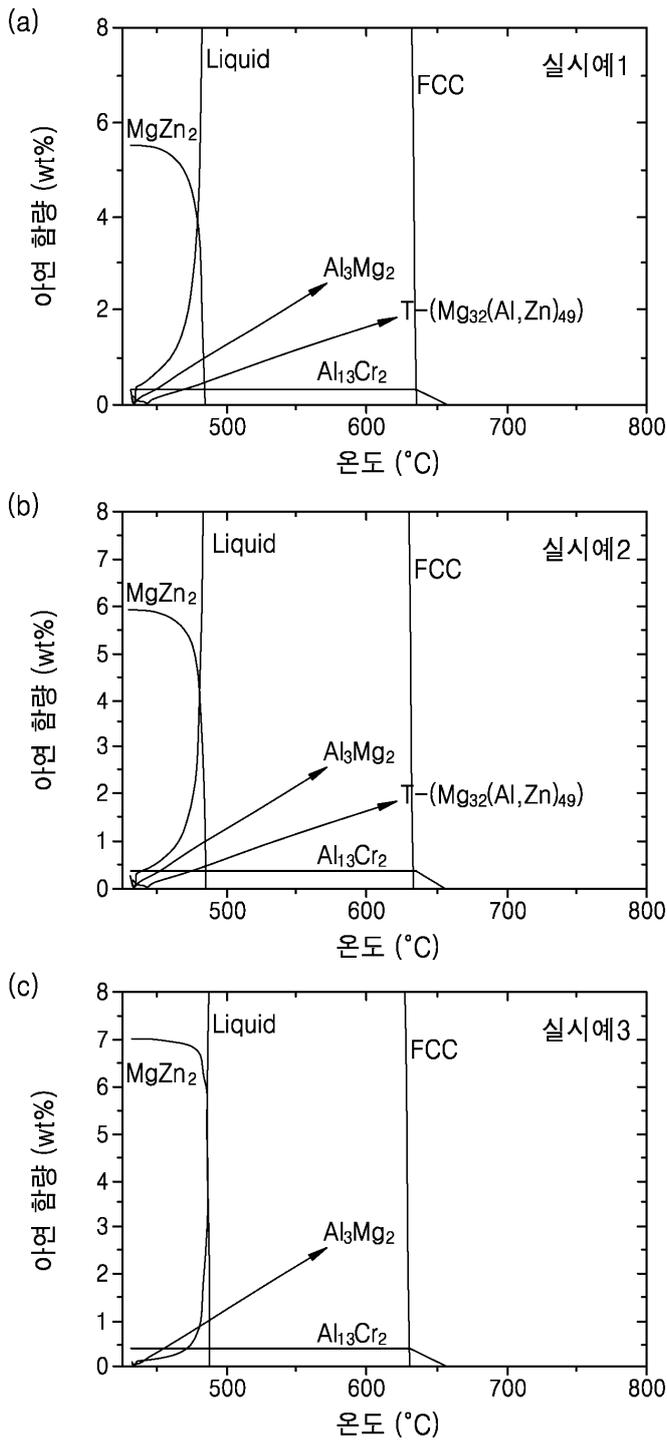
도면1



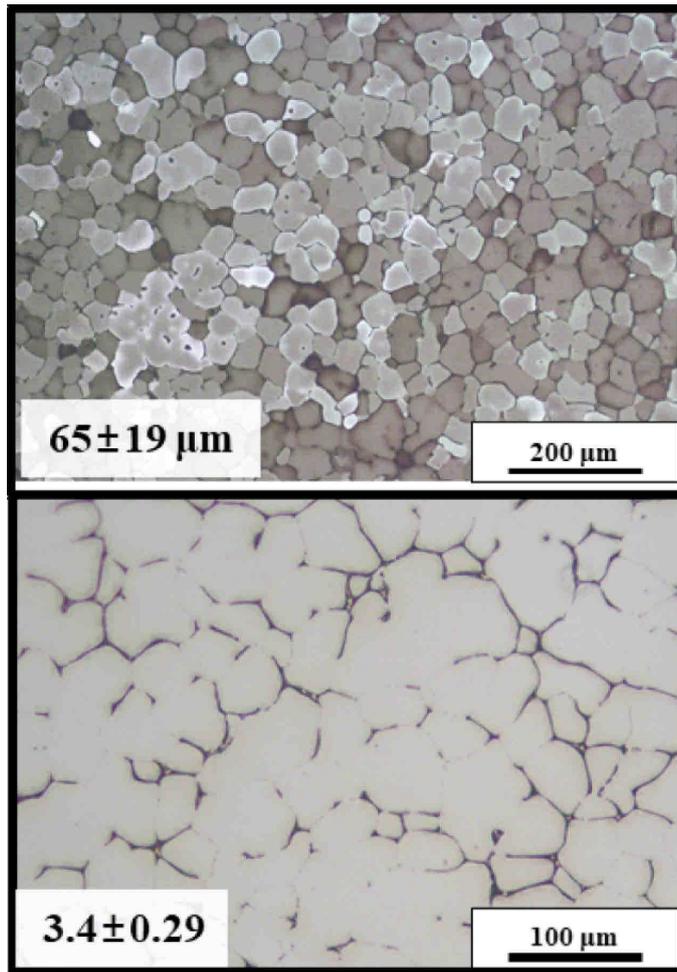
도면2



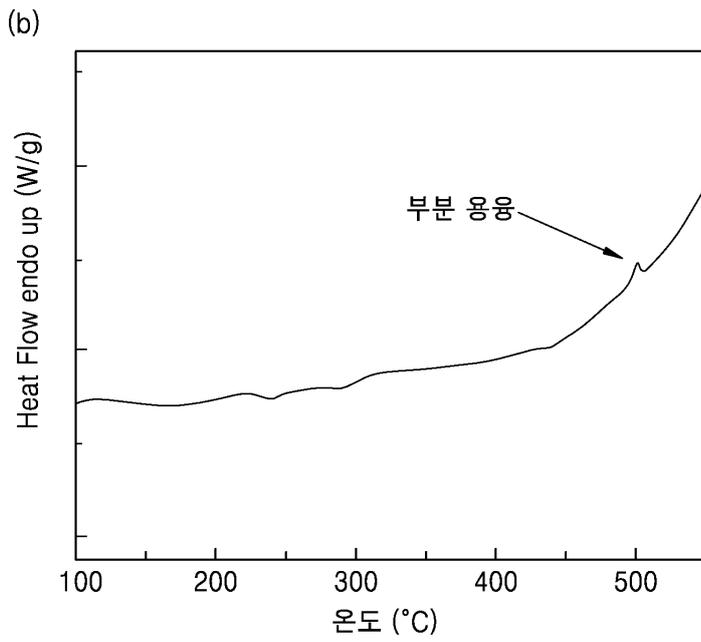
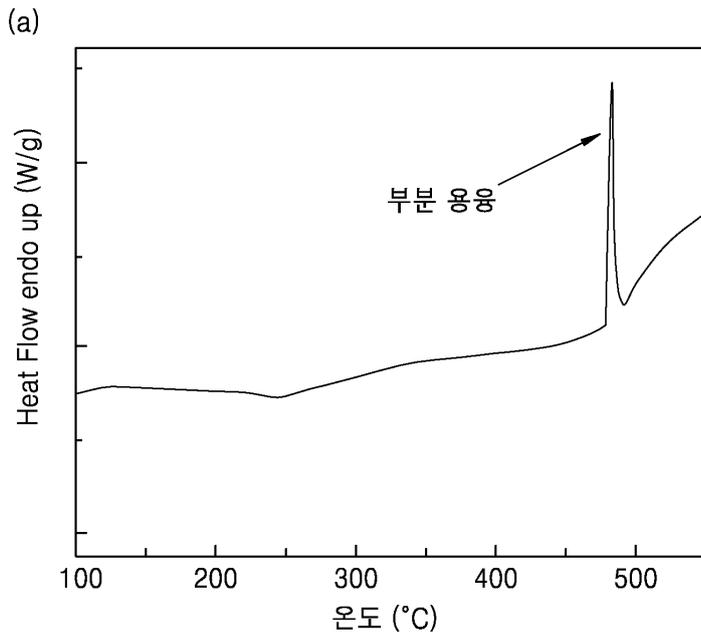
도면3



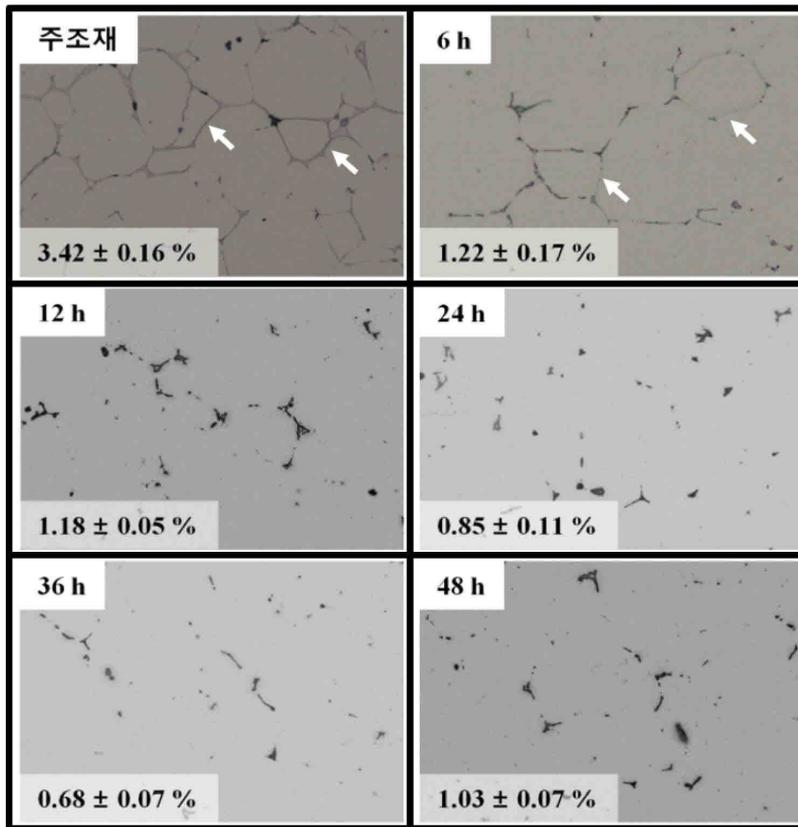
도면4



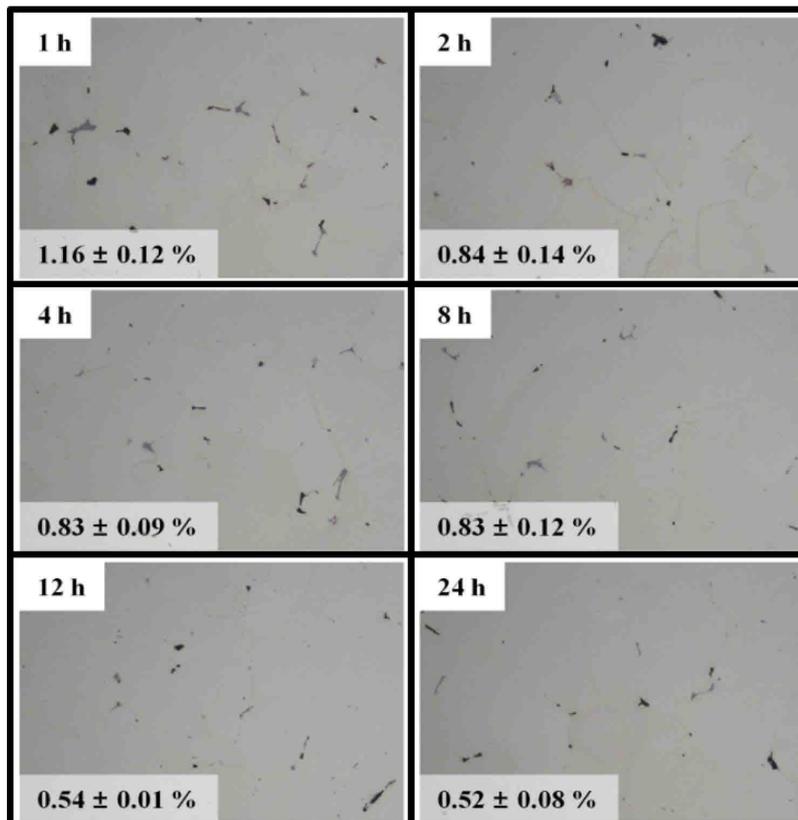
도면5



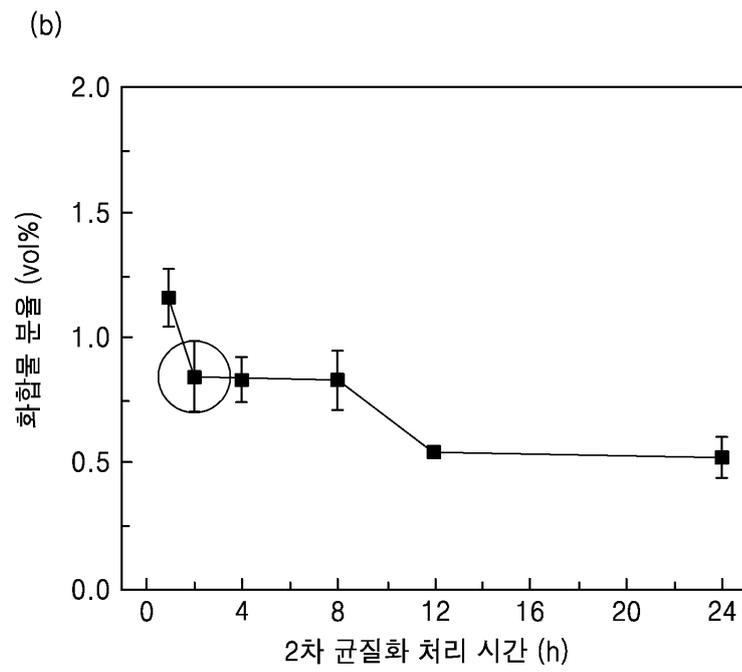
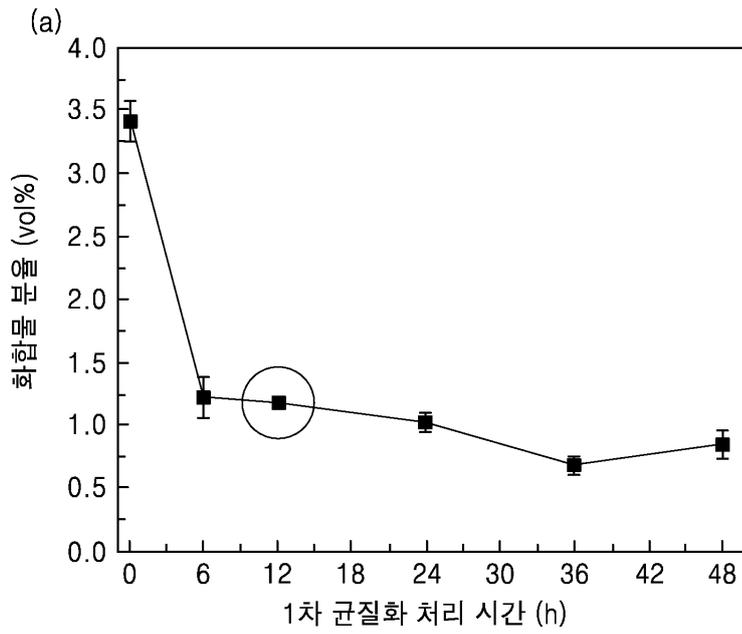
도면6



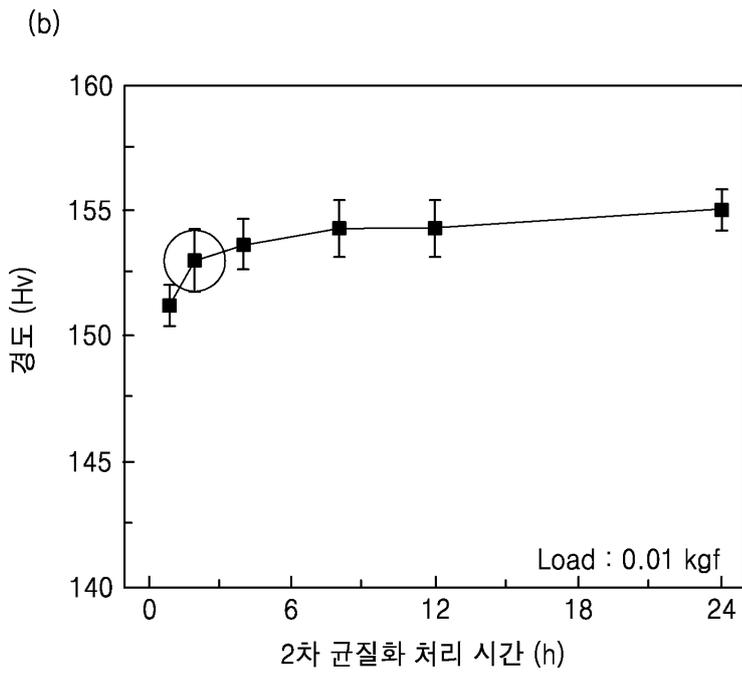
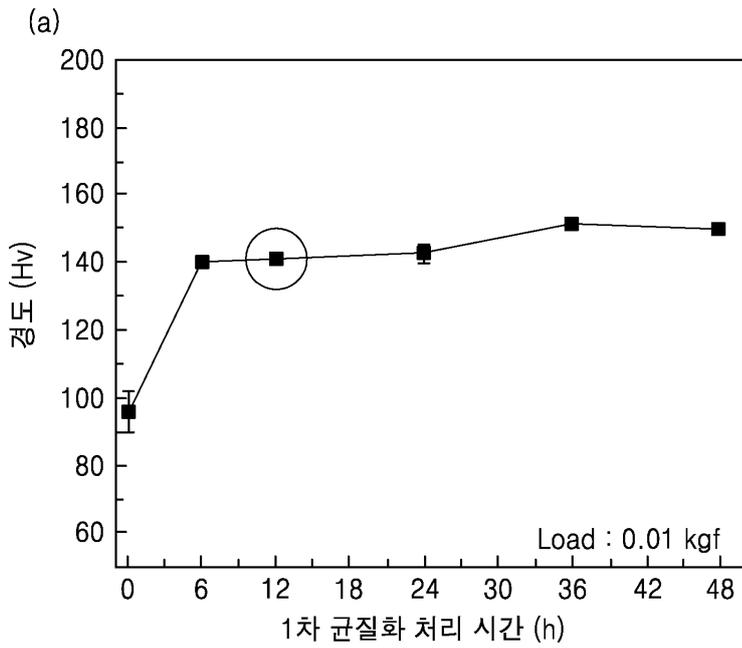
도면7



도면8



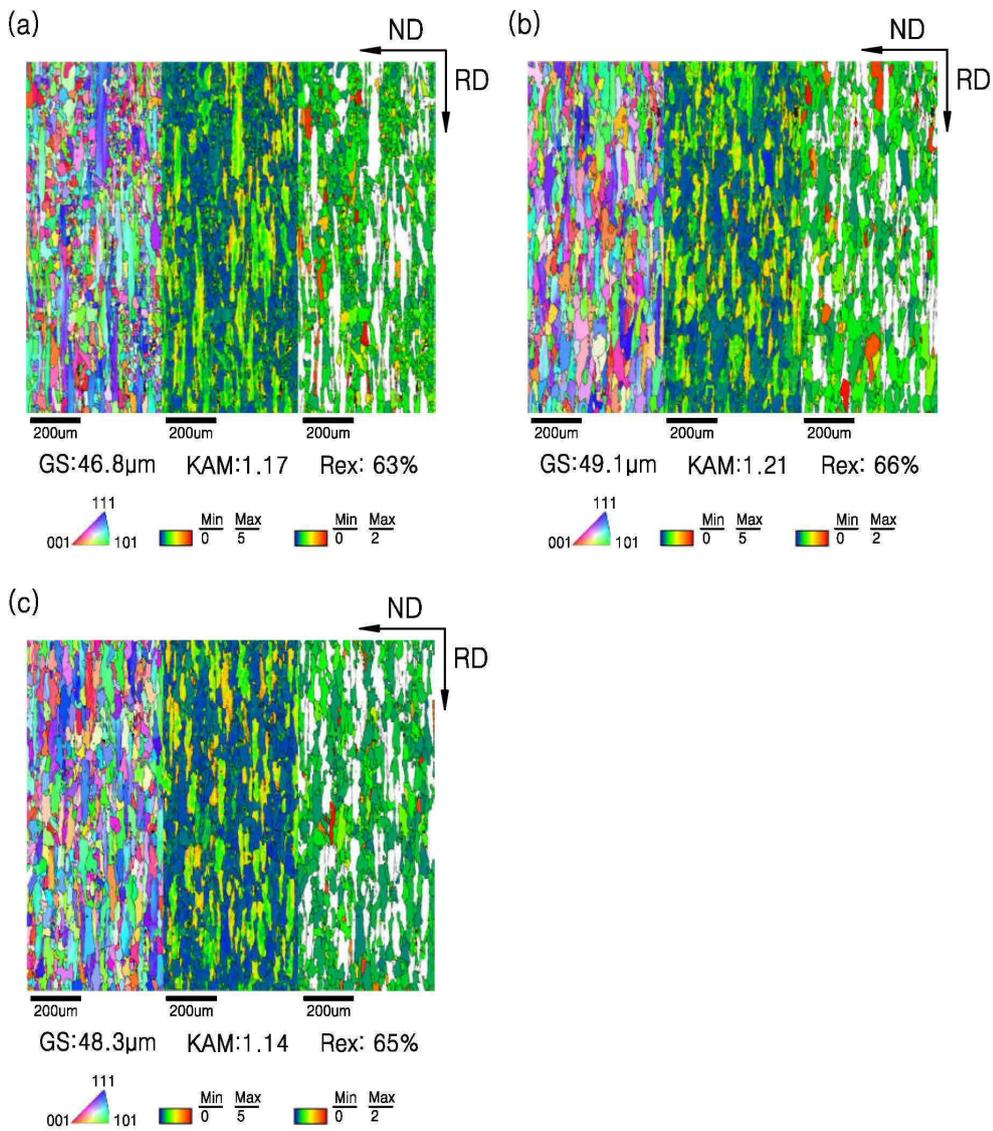
도면9



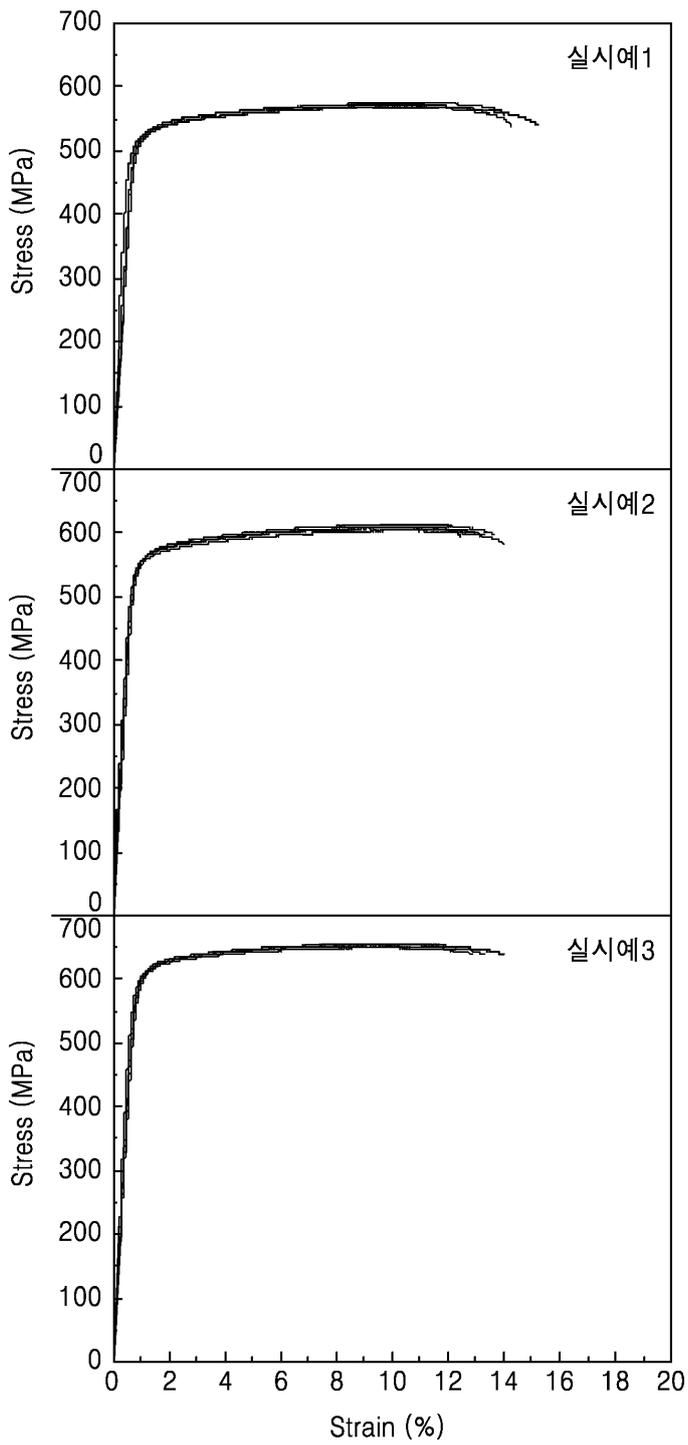
도면10



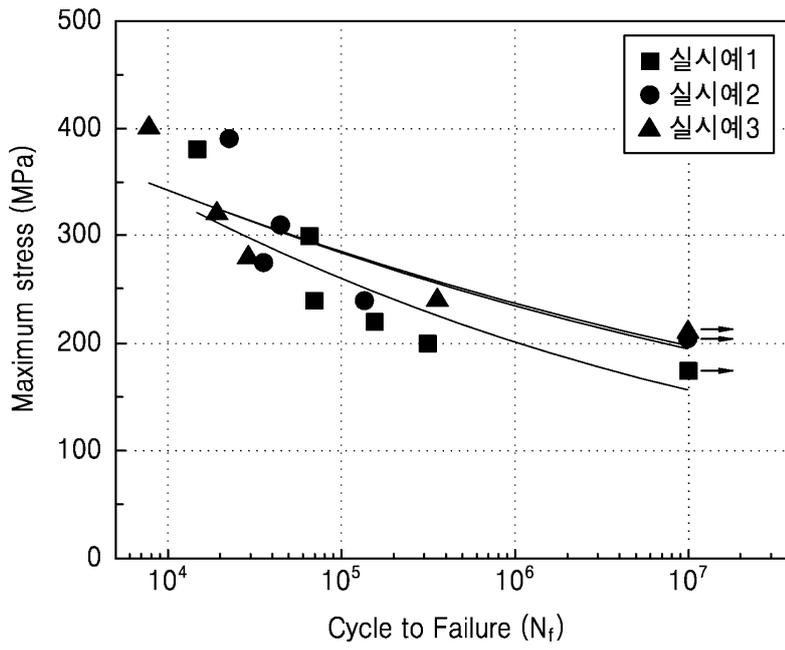
도면11



도면12



도면13



도면14

