(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0105884
(43) 공개일자 2024년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 21/10 (2006.01) *B22D 21/04* (2006.01)
C22F 1/053 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 21/10 (2013.01)
B22D 21/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0188350
(22) 출원일자 2022년12월29일
심사청구일자 2022년12월29일

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
김수현
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18, 105동 902호
이윤수
경상남도 창원시 성산구 상남로 35, 606호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이인행

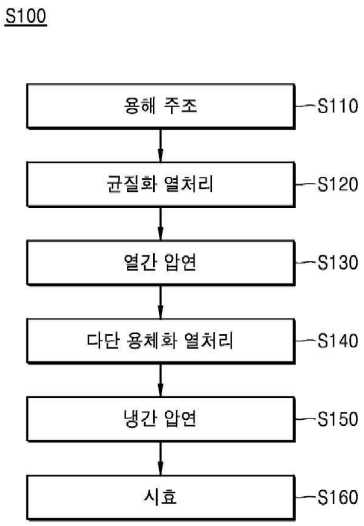
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **초고강도 알루미늄 합금 판재 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은, 초고강도 알루미늄 합금 판재 및 그 제조방법을 제공한다. 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5%~ 4%, 구리(Cu): 0.8 ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05 %~ 0.1% 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 항복강도 750MPa 이상, 인장강도 770MPa 이상을 만족한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C22F 1/053 (2013.01)
(72) 발명자
조영희
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18, 107동 1003호
김원경
경상남도 창원시 성산구 상남로216번길 1, 202호
손현우
경상남도 창원시 성산구 용지로 56, 211호
김병주
경상남도 밀양시 점필재로 65, 102동 1903호
천현석
부산광역시 부산진구 백양관문로 104, 1동 302호
김지수
경상남도 창원시 진해구 냉천로 235, 102동 601호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711154321
과제번호 2021M3H4A1A04091999
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 나노소재기술개발
연구과제명 에너지 인가 멀티스케일 복합 강화상 제어에 의한 e-VTOL 기체구조용 인장강도 1GPa 연신율 10%이상 알루미늄 합금 개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 한국재료연구원
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5% ~ 4%, 구리(Cu): 0.8% ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05%~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 불가피한 불순물을 포함하고,

항복강도 750MPa 이상, 인장강도 770MPa 이상을 만족하는,

초고강도 알루미늄 합금 판재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 스칸듐(Sc)과 상기 지르코늄(Zr)의 함량비(스칸듐의 중량% 함량/지르코늄의 중량% 함량)는 1.0 내지 3.0의 범위인,

초고강도 알루미늄 합금 판재.

청구항 3

중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5% ~ 4%, 구리(Cu): 0.8% ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05%~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금을 용해 및 주조하는 단계;

상기 주조된 알루미늄 합금을 균질화 열처리하는 단계;

상기 균질화 열처리된 알루미늄 합금을 열간 압연하여 알루미늄 합금 중간재를 형성하는 단계;

상기 알루미늄 합금 중간재를 다단 용체화 열처리하는 단계;

상기 알루미늄 합금 중간재를 냉간 압연하여 알루미늄 합금 판재를 형성하는 단계; 및

상기 냉간 압연된 알루미늄 합금 판재를 시효 처리하는 단계;를 포함하는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 균질화 열처리 단계는,

440℃ 내지 460℃ 범위의 온도에서 3시간 내지 24 시간 동안 수행되는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 열간 압연 단계는,

300℃ 내지 460℃의 온도범위에서 50% 내지 95% 압하량으로 수행되는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 6

제 3 항에 있어서,

상기 다단 용체화 열처리 단계는,

제 1 용체화 열처리 및 제 2 용체화 열처리를 포함하는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 7

제 3 항에 있어서,

상기 제 1 용체화 열처리 단계는,

460℃ 내지 475℃ 범위의 온도에서 1분 내지 2시간 동안 수행되는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 8

제 3 항에 있어서,

상기 제 2 용체화 열처리 단계는,

477℃ 내지 482℃ 범위의 온도에서 1분 내지 2시간 동안 수행되는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 용체화 열처리 단계 이후,

상기 제 2 용체화 열처리 단계를 수행하기 위한 승온 속도는 0.3 내지 1 ℃/분인,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 10

제 3 항에 있어서,

상기 용체화 열처리 단계 이후,

상기 알루미늄 합금 중간재를 퀜칭(quenching)하는 단계; 를 더 포함하는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 11

제 3 항에 있어서,

상기 냉간 압연 단계는,

15% 내지 30% 압하량으로 수행되는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 12

제 3 항에 있어서,

상기 냉간 압연 단계 전에,

상기 용체화 처리된 알루미늄 합금 중간재를 표면 면삭하는 단계;를 더 포함하는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 13

제 3 항에 있어서,

상기 시효 처리 단계는,

90℃ 내지 110℃ 범위의 온도에서 24 시간 내지 10 일 동안 수행되는,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

청구항 14

제 3 항에 있어서,

상기 스칸듐과 상기 지르코늄의 함량비(스칸듐의 중량% 함량/지르코늄의 중량% 함량)는 1.0 내지 3.0의 범위인,

초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 알루미늄 합금 판재에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 항복강도가 750MPa 이상, 인장강도가 780MPa이상인 초고강도 알루미늄 합금 판재 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 들어, 알루미늄 합금 판재는 자동차 차체, 항공기 동체, UAM 프레임 등의 다양한 산업분야에 활용되고 있으며, 특히, 상기한 산업 분야에 활용가능한 각종 부품 제조에 활용되는 합금은 특성상 매우 높은 강도와 경량화가 요구되고 있다.

[0003] 현재 사용되고 있는 7000계 알루미늄 합금 판재는 Al-Zn-Mg-Cu로 대표되는 고강도 알루미늄 합금으로서 우수한 기계적 성질, 가공 특성, 내식성 등을 갖고 있다. 다만, 현재 상용 합금 판재 기준으로 인장강도 700MPa이내로만 구현할 수 있는 한계점이 있으며, 더욱 고강도를 갖는 7000계 합금 판재의 개발이 필요하다.

[0004] 한편, 알루미늄 합금 판재의 강도 증대를 위해 주요 합금 원소인 아연의 함량을 증가시키고 지르코늄, 스칸듐 등의 미량 합금 원소를 첨가하는 방법이 있다. 그러나 단순히 합금 원소의 증가만으로는 강도를 향상시키는 데 한계가 있다. 또한, 상기의 합금 원소들을 포함하는 알루미늄 합금 판재는 열간 압연 후 급격한 물성변화로 인해, 냉간 압연 단계에서 파괴될 위험성이 있다.

[0005] 또, 알루미늄 합금 판재의 강도를 증가시키기 위한 제조하기 위한 주조 공정으로는 분무주조법, 멜트스피닝법 등이 있다. 그러나 상기 공정들은 벌크 판재를 제조 시 생산성이 낮아 실제 벌크 소재의 적용에는 많은 제약이 있으며, 대량생산 측면에서도 불리한 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본등록특허 제 4535731호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 항복강도가 750MPa 이상, 인장강도가 780MPa이상인 초고강도 알루미늄 합금 판재 및 그 제조방법을 제공하는 것이다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 관점에 의하면, 초고강도 알루미늄 합금 판재 및 그 제조방법을 제공한다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5%~ 4%, 구리(Cu): 0.8 ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05 %~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 항복강도 750MPa 이상, 인장강도 770MPa 이상을 만족할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5% ~ 4%, 구리(Cu): 0.8% ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05%~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 불가피한 불순물을 포함하고, 항복강도 750MPa 이상, 인장강도 770MPa 이상을 만족할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 스칸듐과 상기 지르코늄의 함량비(스칸듐의 중량% 함량/지르코늄의 중량% 함량)는 1.0 내지 3.0의 범위 일 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5% ~ 4%, 구리(Cu): 0.8% ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05%~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금을 용해 및 주조하는 단계; 상기 주조된 알루미늄 합금을 균질화 열처리하는 단계; 상기 균질화 열처리된 알루미늄 합금을 열간 압연하여 알루미늄 합금 중간재를 형성하는 단계; 상기 알루미늄 합금 중간재를 다단 용체화 열처리하는 단계; 상기 알루미늄 합금 중간재를 냉간 압연하여 알루미늄 합금 판재를 형성하는 단계; 및 상기 냉간 압연된 알루미늄 합금 판재를 시효 처리하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 균질화 열처리 단계는, 440℃ 내지 460℃ 범위의 온도에서 3시간 내지 24시간 동안 수행될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 열간 압연 단계는, 300℃ 내지 460℃의 온도범위에서 50% 내지 95% 압하량으로 수행될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 다단 용체화 열처리 단계는, 제 1 용체화 열처리 및 제 2 용체화 열처리를 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 제 1 용체화 열처리 단계는, 460℃ 내지 475℃ 범위의 온도에서 1분 내지 2시간 동안 수행될 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 제 2 용체화 열처리 단계는, 477℃ 내지 482℃ 범위의 온도에서 1분 내지 2시간 동안 수행될 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 제 1 용체화 열처리 단계 이후, 상기 제 2 용체화 열처리 단계를 수행하기 위한 승온 속도는 0.3 내지 1 ℃/분일 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 용체화 열처리 단계 이후, 상기 알루미늄 합금 중간재를 퀜칭(quenching)하는 단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 냉간 압연 단계는, 15% 내지 30% 압하량으로 수행될 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 냉간 압연 단계 전에, 상기 용체화 처리된 알루미늄 합금 중간재를 표면 면삭하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 시효 처리 단계는, 90℃ 내지 110℃ 범위의 온도에서 24 시간 내지 10 일 동안 수행될 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 스칸듐과 상기 지르코늄의 함량비(스칸듐의 중량% 함량/지르코늄의 중량% 함량)는 1.0 내지 3.0의 범위일 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 기술적 사상에 의할 경우, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 아연, 마그네슘, 구리, 스칸듐, 지르코늄, 망간 및 잔부는 알루미늄 및 불가피한 불순물을 포함하여 구성됨으로써, 우수한 강도 특성을 가지고 있어 자동차 차체, 항공기 동체, UAM 프레임 등에 사용 가능하다.

[0025] 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 알루미늄 특유의 경량성으로 인하여 제품의 무게를 감소시킬 수 있으며 지속적으로 극한 환경에 노출되어도 우수한 강도를 유지할 수 있어서 제품의 수명이 증가되며 사용 중의 불량발

생을 크게 감소시킬 수 있다. 또한, 기존 소재에 비하여 기계적 성질이 우수하여 부식환경에서의 수명 향상과 생산성 증가의 효과를 얻을 수 있다.

[0026] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 공정 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 모식도이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 공정 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 모식도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 투과전자현미경 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 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.

[0029] 알루미늄 합금 판재가 자동차 차체, 항공기 동체, UAM 프레임 등의 다양한 산업분야에 활용되기 위해서는 매우 높은 강도와 경량화가 요구된다. 한편, 기존 상용 합금 판재는 인장강도가 700MPa 이내로 구현된 것이 일반적이며, 높은 강도 및 경량화를 요구하는 산업분야가 증가함에 따라 사용 용도가 제한되고 있다. 따라서, 기존 사용하던 재료인 7xxx계 알루미늄 합금에서 항복강도 및 인장강도를 향상시킬 수 있는 기술이 요구되고 있다.

[0030] 본 발명의 기술적 사상에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재는 합금 원소의 종류와 범위를 제어하고, 제조공정에 있어서 용체화 처리를 다단에 거쳐 수행함으로써 인장강도 및 항복강도가 모두 우수한 특성을 가질 수 있다.

[0031] 따라서, 본 발명의 기술적 사상에 따른 초고강도 Al-Zn-Mg-Cu-Sc-Zr-Mn 알루미늄 합금 판재는, 합금 원소의 종류 및 함량을 하기와 같이 제어한다. 또, 제조 공정 상에서 열간 압연 후 2단에 걸쳐 용체화 처리를 수행함으로써 합금 원소의 첨가량을 제한하면서도 고강도를 달성할 수 있다.

[0032] 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 아연을 다량 첨가하고, 상기 알루미늄 합금 판재의 강화 원소로서 스칸듐, 지르코늄, 망간을 첨가함으로써 고강도를 확보할 수 있다. 상기 합금을 이용하여 제조한 자동차 차체, 항공기 동체, UAM 프레임은, 기존 소재에 비하여 기계적 성질이 우수하여 극한 환경에서의 수명 향상과 생산성 증가의 효과를 얻을 수 있다.

[0033] 이하에서, 본 발명의 일 측면인 초고강도 알루미늄 합금 판재에 대하여 설명한다.

[0034] **초고강도 알루미늄 합금 판재**

[0035] 본 발명의 일 측면인 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 마그네슘, 실리콘, 구리, 철, 망간, 크롬, 아연, 티타늄, 바나듐, 지르코늄, 스칸듐 및 잔부는 알루미늄 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

[0036] 구체적으로, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재는, 중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5%~ 4%, 구리(Cu): 0.8 ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05 %~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 불가피한 불순물을 포함하고, 항복강도 750MPa 이상, 인장강도 770MPa 이상을 만족할 수 있다.

[0037] 상기 기타 불가피한 불순물에 대하여 설명하면, 통상의 제조과정에서 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.

[0038] **아연(Zn): 13 ~ 14.5중량%**

[0039] 아연은 고용강화 및 석출강화에 의해 강도를 향상시키는 효과가 있는 원소이다. 다만, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재에서, 아연의 첨가량이 너무 많은 경우에는 판재의 가공성을 저하시킬 수 있으므로, 그 첨가량을 제어할 필요가 있다. 특히, 아연의 첨가량이 판재 전체의 14.5중량%를 초과하는 경우, 가공성이 불량하여 실질적으로 압연이 불가능해져 강도가 감소하게 된다. 반면, 아연의 첨가량이 13중량% 미만인 경우, 판재의 강도 증가 효과가 미미하다. 상기의 이유로 인해 아연의 첨가량은 13 ~ 14.5중량%로 제한한다.

[0040] **마그네슘(Mg): 2.5 ~ 4중량%**

[0041] 마그네슘은 고용 강화 및 석출강화에 의해 강도를 향상시키는 효과가 있다.

[0042] 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재에서, 마그네슘 첨가량이 2.5% 미만인 경우, 충분한 강도를 얻기 어렵다. 반면, 마그네슘의 첨가량이 4 중량%를 초과하는 경우, 정출물이 조대화되어 강도 및 성형성이 저하된다. 그러므로, 마그네슘은 2.5중량% 이상 ~ 4중량% 이하 첨가한다.

[0043] **구리(Cu): 0.8 ~ 1.3 중량%**

[0044] 구리는 결정립을 미세화하고 입계부식을 제어함으로써 강도와 내응력 부식 균열성을 향상시킬 수 있다. 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재에서, 구리의 첨가량이 0.8% 미만인 경우, 내응력 부식 균열성이 열화되어, 판재의 강도가 저하된다. 반대로, 1.3 중량%를 초과하는 경우 정출물이 조대화되어 강도가 감소할 수 있다. 그러므로, 구리의 첨가량은 판재 전체의 0.8중량% 이상 ~ 1.3중량% 이하로 제한하는 것이 바람직하다.

[0045] **스칸듐(Sc): 0.1 ~ 0.3 중량%**

[0046] 스칸듐은 알루미늄 합금의 결정립 미세화 및 석출강화에 의해 판재의 강도를 향상시키는 원소이다. 스칸듐의 첨가량이 0.1% 미만인 경우, 생성되는 석출물의 양이 충분하지 않아서 결정립 미세화 및 강화 효과가 미미하다.

[0047] 스칸듐을 0.3 중량%를 초과하여 첨가하게 되면 조대한 정출물 생성으로 인하여 강도가 감소하므로 스칸듐은 0.1 중량% 이상 ~ 0.3중량% 이하로 첨가한다.

[0048] **지르코늄(Zr): 0.1 ~ 0.15 중량%**

[0049] 지르코늄은 스칸듐과 마찬가지로 알루미늄 합금의 결정립 미세화와 석출강화에 의하여 강도에 기여하는 원소이다. 지르코늄의 첨가량이 0.1% 미만인 경우, 결정립 미세화와 강화효과가 미미하다.

[0050] 한편, 지르코늄의 첨가량이 0.15%를 초과하는 경우 조대한 정출물 생성으로 인하여 제조되는 판재의 강도가 감소하게 되므로, 상기 지르코늄은 0.1중량% 이상 0.15% 이하 첨가하는 것이 바람직하다. 또, 지르코늄의 첨가량은 스칸듐과 동일하거나 1/3 이상일 수 있다.

[0051] **망간(Mn): 0.05 ~ 0.1중량%**

[0052] 망간은 알루미늄 합금 판재의 미세 결정립을 형성하는데 작용하는 원소이다.

[0053] 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재에서, 상기 망간의 경우 첨가량이 0.05 중량% 미만인 경우 재결정에 의한 미세 결정립 및 조직을 얻기 어렵다. 반면, 0.1 중량%를 초과하는 경우에는 주조성이 급격히 낮아진다. 그러므로 본 발명에서는 망간을 0.05 중량% 이상 0.1 중량% 이하로 첨가한다.

[0054] 전술한 합금 조성의 구체적인 성분 및 이들의 함량 범위를 제어하고, 후술하는 제조방법을 통해 제조된 고강도 알루미늄 합금 판재는, 하기와 같은 특성을 가질 수 있다.

[0055] 상기 스칸듐과 상기 지르코늄의 함량비(스칸듐의 중량% 함량/지르코늄의 중량% 함량)는 1.0 내지 3.0의 범위일 수 있다. 상기 스칸듐의 중량%는 본 발명의 알루미늄 합금 판재에 대해, 지르코늄의 중량% 함량에 대해 동일한 함량을 갖거나, 최대 3.0배까지 더 포함될 수 있다.

[0056] 이하에서는, 본 발명의 기술적 사상에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 설명하기로 한다.

[0057] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 공정 흐름도(S100)이고, 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 모식도이다.

[0058] 도 1 및 2를 참조하면, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법(S100)은, 용해주조 단계(S110); 균질화 열처리 단계(S120); 열간 압연 단계(S130); 다단 용체화 열처리 단계(S140); 냉간 압연 단계(S150); 및 시효 단계(S160)를 포함한다.

[0059] 구체적으로, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법(S100)은, 중량%로, 아연(Zn): 13% ~ 14.5%, 마그네슘(Mg): 2.5%~ 4%, 구리(Cu): 0.8 ~ 1.3%, 스칸듐(Sc): 0.1% ~ 0.3%, 지르코늄(Zr): 0.1% ~ 0.15%, 망간(Mn): 0.05 %~ 0.1%, 잔부는 알루미늄 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 알루미늄 합금을 용해 및 주조하는 단계(S110); 상기 주조된 알루미늄 합금을 균질화 열처리하는 단계(S120); 상기 균질화 열처리된 알루미늄 합금을 열간 압연하여 알루미늄 합금 중간재를 형성하는 단계(S130); 상기 알루미늄 합금 중간재를 다단 용체화 열처리하는 단계(S140); 상기 알루미늄 합금 중간재를 냉간 압연하여 알루미늄 합금 판재를 형성하는 단계(S150); 및 상기 냉간 압연된 알루미늄 합금 판재를 시효 처리하는 단계(S160);를 포함할 수 있다.

[0060] **용해주조 단계(S110)**

[0061] 상기 용해주조 단계(S110)는 합금 원소들 각각을 첨가하거나, 또는 합금원소 전체 또는 일부를 모합금의 형태로서 첨가할 수 있다. 예를 들어, 마그네슘을 순수한 원소상태로서 알루미늄 용탕에 첨가하거나 또는 마그네슘의 함량이 높은 알루미늄-마그네슘 합금을 모합금으로써 알루미늄 용탕에 첨가할 수 있다. 이러한 방식은 다른 첨가 원소들에도 적용될 수 있다.

[0062] 상기 용해주조 단계(S110)는 상기 알루미늄 합금이 완전히 용해되는 온도에서 수행될 수 있다. 또한, 상기 용해주조 단계(S110)에서는, 상기 용해된 알루미늄 합금을 원하는 형상, 예를 들어 슬라브 등의 형상으로 주조할 수 있다.

[0063] **균질화 열처리 단계(S120)**

[0064] 상기 균질화 열처리하는 단계(S120)는, 440℃ 내지 460℃ 범위의 온도에서 3 시간 내지 24 시간 동안 수행될 수 있다. 상기 균질화 열처리하는 단계(S120)에 의하여, 상기 주조된 알루미늄 합금 내의 합금원소의 균질화가 수행될 수 있다.

[0065] **열간 압연 단계(S130)**

[0066] 상기 열간 압연 단계(S130)는, 300℃ 내지 460℃의 온도 범위에서 50% 내지 95% 압하량으로 수행될 수 있다. 더욱 바람직하게는, 상기 열간 압연 단계(S130)는, 300℃ 내지 430℃ 온도 범위에서 수행될 수 있다. 상기 열간 압연 단계(S130)의 온도가 300℃ 미만인 경우, 상기 알루미늄 합금 판재의 가공성이 떨어지고 460℃를 초과하는 경우 내부 용융에 의하여 취성이 발생한다. 상기의 열간 압연 단계(S130)를 수행하여 알루미늄 합금 중간재를 형성할 수 있다.

[0067] **다단 용체화 열처리 단계(S140)**

[0068] 본 발명의 조성 범위로 주조되어 열간압연을 거친 중간재는 강도가 매우 높기 때문에, 열간 압연 단계(S130) 후 바로 냉간 압연 단계(S150)를 수행할 경우, 상기의 알루미늄 합금 판재가 파괴되는 문제가 발생한다. 그러므로, 열간 압연 단계(S130) 후 다단 용체화 열처리 단계(S140)를 필수적으로 수행해야 한다. 상기 용체화 열처리 단계는 중간재 내부의 석출물을 재고용시켜 상기 중간재의 강도를 저하시키므로, 상기 냉간 압연 단계(S150)전에 수행 시 상기 중간재의 파괴를 방지할 수 있다.

[0069] 상기 다단 용체화 열처리 단계(S140)는 제 1 용체화 열처리 및 제 2 용체화 열처리를 포함하며, 상기 열처리는 서로 다른 온도대역에서 적어도 2회 이상 수행된다. 상기 다단 용체화 열처리 단계(S140) 중 첫번째로 수행되는 상기 제 1 용체화 열처리는 460℃ 내지 475℃ 온도에서 1분 내지 2시간 동안 수행될 수 있다. 이때, 더욱 바람직하게는 상기 제 1 용체화 열처리 온도는 465 내지 470℃ 온도에서 1시간 이내로 수행될 수 있다. 상기 1단 용체화 열처리 온도가 460℃ 미만일 경우 용체화 효과가 떨어지고, 475℃를 초과하는 경우 내부 생성상의 용융이 발생할 수 있어 특성이 좋지 않다.

[0070] 상기 제 2 용체화 열처리는, 상기 제 1 용체화 열처리 온도와 다른 온도 대역에서 수행한다. 이때 제 2 용체화 열처리를 수행 온도에 도달하기 위한 승온 속도는 0.3 내지 1℃/분으로 한다. 상기 승온 속도가 0.3℃/분 미만일 때에는 가열 시간 증가로 인하여 내부 용융이 가속화하고 1℃/분 초과 시에는 과열 효과에 의하여 용융이 가속화되어 특성이 좋지 않다. 더욱 바람직하게는 상기 승온 온도는 0.5℃/분 내지 0.7℃/분일 수 있다.

[0071] 상기 승온 단계 이후, 상기 제 2 용체화 열처리는 470 내지 482℃ 이내의 온도에서 1분 내지 2시간 동안 이내로 수행될 수 있다. 상기 제 2 용체화 열처리 온도가 470℃ 미만인 경우, 기지로 고용되는 합금 원소의 양이 충분하지 않아서 강화 효과가 감소하고, 상기 제 2 용체화 열처리 온도가 482℃를 초과하는 경우 내부 생성상의 용융이 심하게 발생하여, 더 이상 강화효과가 증가하지 않는다.

[0072] 상기 다단 용체화 열처리가 완료된 상기 알루미늄 합금 중간재를 퀜칭(워터 퀜칭, 수냉)하여 용체화 열처리 단계(S140)를 마무리한다.

[0073] **냉간 압연 단계(S150)**

[0074] 상기 냉간 압연 단계(S150)를 수행하여 상기 알루미늄 합금 판재를 형성할 수 있다. 또, 상기 냉간 압연 단계(S150)에서는 상기 용체화 열처리 단계(S140)에서의 부분 용융에 의하여 발생할 수 있는 내부 결함을 없애고 상기 판재의 두께를 균일하게 할 수 있다. 상기 냉간 압연 단계(S150)에서 압하량은 15 내지 30%가 바람직하다. 더욱 바람직하게는 상기 압하량은 20% 내지 28%일 수 있다. 상기 압하량이 15% 미만인 경우, 냉간 압연 시 내부 결함을 충분히 제거하지 못하며, 30% 초과하는 경우 압연 시 균열이 발생할 수 있다.

[0075] **시효 단계(S160)**

[0076] 상기 시효 단계(S160)는 90 내지 110℃에서 24시간 내지 10일 동안 유지하는 인공 시효가 바람직하다. 110℃를 초과하는 경우 과시효에 의하여 강도 증가효과가 감소하고, 90℃ 미만에서는 시효 단계(S160)의 열처리 시간이 증가하여 실용적인 측면에서 불리하다.

[0077] 또한, 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 공정 흐름도(S200)이며, 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법을 나타낸 모식도이다.

[0078] 또한, 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 초고강도 알루미늄 합금 판재의 투과전자현미경 사진으로서 미세한 석출상인 h'(MgZn2) 및 L12 (Al3(Sc,Zr))을 관찰할 수 있다. 이러한 석출상이 내부에 존재함으로써 강도를 향상시킬 수 있다.

[0079] 이하에서 도 1 및 2를 참조하여 상술한 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법(S100)과 동일한 부분에 대해서는 생략한다.

[0080] 도 3을 참조하면, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법(S200)은, 용해주조 단계(S210); 균질화 열처리 단계(S220); 열간 압연 단계(S230); 다단 용체화 열처리 단계(S240); 표면 면삭 단계(S250); 냉간 압연 단계(S260); 및 시효 단계(S270)를 포함한다.

[0081] 구체적으로, 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재의 제조방법(S200)은, 상기 냉간 압연 단계(S260) 전에, 상기 용체화 처리된 알루미늄 합금 중간재를 표면 면삭하는 단계(S250);를 더 포함할 수 있다.

[0082] **표면 면삭 단계(S250)**

[0083] 용체화 열처리 단계(S240)가 완료된 판재를 30분 이내로 유지하여 자연 시효 처리를 진행 후, 상기 중간재의 표면 면삭 단계(S250)를 수행한다. 상기 표면 면삭 단계(S250)를 수행하는 이유는, 용체화 열처리 시 상기 중간재에 발생할 수 있는 표면 산화막을 제거하기 위함이다. 표면 면삭을 거치지 않으면 상기 중간재 표면의 산화막이 존재하게 되어 최종 제조되는 판재의 기계적 성질이 불량해질 수 있다. 상기 표면 면삭 단계(S250) 후에 상기 냉간 압연 단계(S260)를 실시한다.

[0084] 상술한 제조방법들(S100 내지 S200)을 수행하여, 대량생산이 가능하고 기존의 알루미늄 합금 압연 판재에 비하여 강도가 현저히 높은 초고강도 알루미늄 합금 판재를 형성할 수 있다.

[0085] **실험예**

[0086] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해 바람직한 실험예를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0087] 하기의 표 1의 합금 조성(단위: 중량%)으로 고강도 알루미늄 합금 판재를 제조하였다. 표 1에서 잔부는 알루미늄(Al) 및 기타 불가피한 불순물이다. 실시예와 비교예 모두 표 1의 합금 조성을 포함하였다.

표 1

[0088]

합금종	합금 조성 (중량%)						
	아연	마그네슘	구리	망간	지르코늄	스칸듐	알루미늄
A	10.5	3.49	1.02	0.09	0.11	0.21	Bal
B	11.1	3.32	0.98	0.092	0.11	0.22	Bal
C	12.7	3.56	1.06	0.091	0.11	0.21	Bal

D	13.3	3.72	1.04	0.058	0.11	0.22	Bal
E	14.3	3.71	1.01	0.057	0.12	0.21	Bal

[0089] 표 1을 참조하면, 합금종 A 내지 합금종 C는 아연의 함량이 13% 미만으로, 본 발명의 조성 범위를 벗어난 것을 알 수 있다. 한편, 합금종 D 및 E는 본 발명의 조성 범위를 만족한다.표 2는 비교예와 실시예의 상기 고강도 알루미늄 합금 판재를 형성하는 공정 조건 값들을 나타낸다.

표 2

[0090]

구분	합금종	판재 제조공정													
		균질화처리		열간압연			냉간 압연	용체화열처리				자연 시효 (분)	냉간 압연	인공시효	
		온도 (℃)	시간 (h)	시작 온도 (℃)	종료 온도 (℃)	압하량 (%)	압하량 (%)	제 1 용체화 열처리	승온 (℃/분)	제 2 용체화 열처리	냉각		압하량 (%)	시효 시작	시효 종료
비교예1	A	450	4	400	300	75	60	470℃ 1시간	0.5	477℃ 1.5시간	수랭	40	-	100℃ 12시간	120℃ 3시간
비교예2	B														
비교예3	C														
비교예4	D	450	4	430	300	90	-	470℃ 1시간	0.5	477℃ 1.5시간	수랭	40	-	100℃ 12시간	120℃ 3시간
비교예5	E														
비교예6	A	450	4	400	300	75	60	470℃ 1시간	0.5	477℃ 1.5시간	수랭	30	-	100℃ 53시간	
비교예7	B														
비교예8	C														
비교예9	D	450	4	430	300	90	-	470℃ 1시간	0.5	477℃ 1.5시간	수랭	30	-	100℃ 53시간	
비교예10	E														
비교예11	A	450	4	400	300	75	60	470℃ 1시간	0.5	475℃ 1.5시간	수랭	30	-	100℃ 51시간	
비교예12	B														
비교예13	C														
비교예14	D	450	4	430	300	90	-	470℃ 1시간	0.5	475℃ 1.5시간	수랭	30	-	100℃ 51시간	
비교예15	E														
비교예16	D	450	4	430	300	90	-	470℃ 1시간	0.5	482℃ 1.5시간	수랭	30	18	100℃ 12시간	120℃ 24시간
비교예17	E														
실시예1	D	450	4	430	300	90	-	470℃ 1시간	0.5	482℃ 1.5시간	수랭	30	28	100℃ 40시간	
실시예2	E														

[0091] 표 2를 참조하면, 본 발명의 실시예 1 및 2는, 열간 압연 후, 2단 용체화 열처리를 수행한 후, 냉간 압연을 수행하는 것을 알 수 있다.

[0092] 한편, 비교예 1 내지 3, 비교예 6 내지 8 및 비교예 11 내지 13은 열간 압연 후 바로 냉간 압연을 수행했다. 이때, 스칸듐, 지르코늄 및 망간이 첨가된 알루미늄 합금 판재는 열간 압연 이후 매우 높은 강도를 가지므로, 용체화 열처리 이전에 냉간 압연을 수행하면 상기 알루미늄 합금 판재가 파괴될 위험이 있다.

[0093] 또, 비교예 4 및 5, 비교예 14 및 15는 냉간 압연을 수행하지 않아, 본 발명의 실시예 알루미늄 합금 판재를 형성하기 위한 공정과는 차이점이 있다.

[0094] 비교예 16 및 17의 경우, 시효 종료 조건이 120℃ 24시간이므로 본 발명에서의 공정 조건을 만족하지 못한다.

[0095] 표 3은 비교예와 실시예의 상기 초고강도 알루미늄 합금 판재에 대한 기계적 특성을 나타낸다.

표 3

[0096]

구분	합금종	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
비교예1	A	677	739	8.7
비교예2	B	673	720	4.2
비교예3	C	700	742	3.4
비교예4	D	713	736	2.0
비교예5	E	721	750	2.3
비교예6	A	704	755	5.0
비교예7	B	707	739	2.9
비교예8	C	734	764	2.9
비교예9	D	738	763	2.7
비교예10	E	740	768	2.0

비교예11	A	702	749	5.5
비교예12	B	703	743	3.4
비교예13	C	713	749	2.5
비교예14	D	728	749	2.8
비교예15	E	740	767	2.1
비교예16	D	699	735	4.5
비교예17	E	715	736	4.5
실시예1	D	765	787	3.5
실시예2	E	772	788	1.7

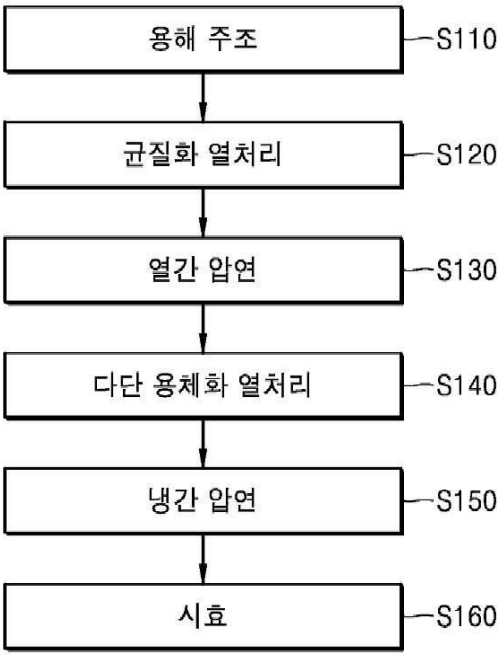
[0097] 표 3을 참조하면, 본 발명 합금 조성 및 공정을 만족한 실시예 1 및 2는 비교예들에 비하여 상대적으로 인장강도와 항복강도가 더 높게 나타났다. 또, 실시예 1 및 2는 항복강도 750MPa 이상, 인장강도 770MPa 이상을 모두 만족한다. 한편, 비교예 1 내지 17과 같이 본 발명의 합금 조성 및 공정 중 어느 하나라도 만족하지 못하는 경우, 실시예들에 비해 항복강도와 인장강도 값이 낮은 것으로 나타났다. 연신율의 경우에는, 실시예가 비교예에 비하여 약간 낮게 나타났다.

[0098] 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.

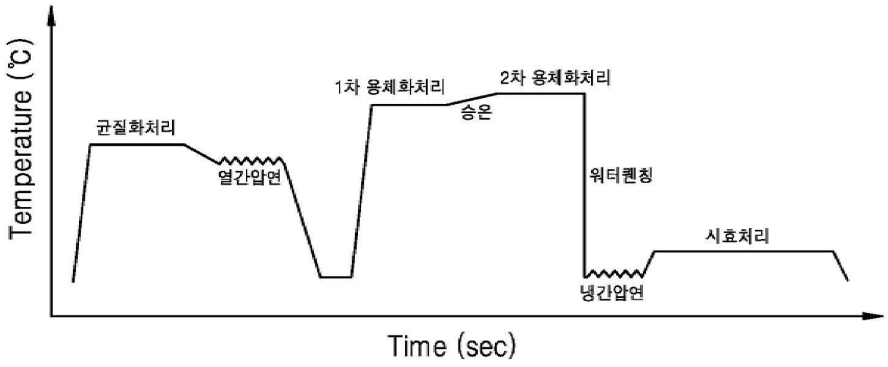
도면

도면1

S100

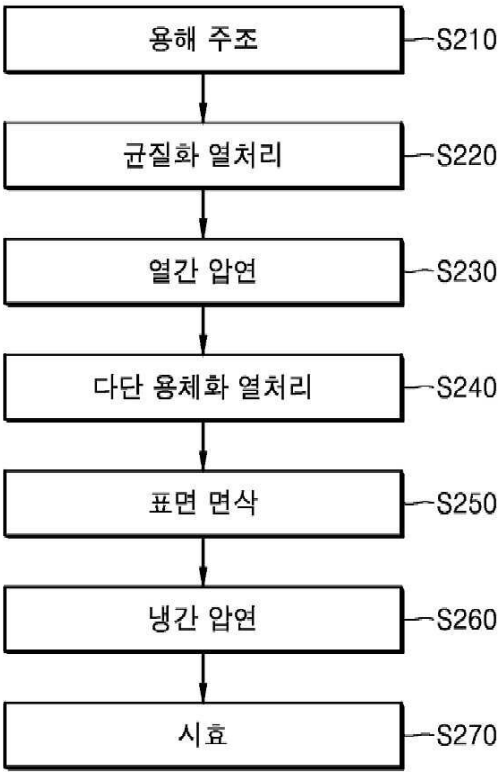


도면2

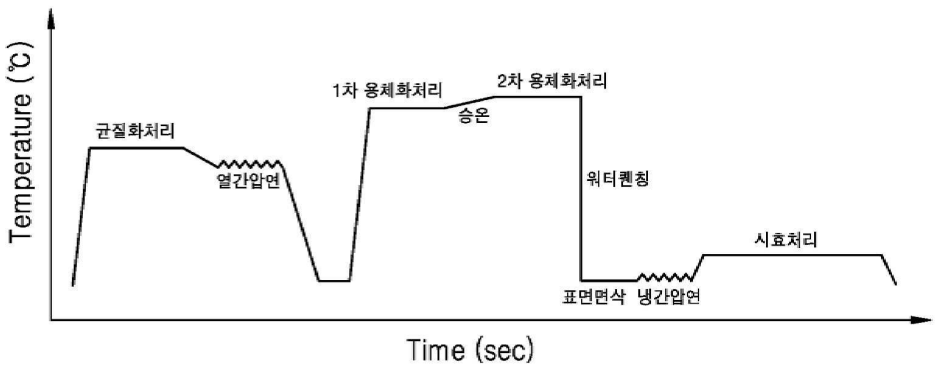


도면3

S200



도면4



도면5

