(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0075143
(43) 공개일자 2016년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 23/02 (2006.01) *B21C 23/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0184757
(22) 출원일자 2014년12월19일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
김영민
경상남도 창원시 진해구 해원로 45, 102동 1503호
김하식
경상남도 창원시 마산회원구 구암북7길 3-1(구암동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김정수

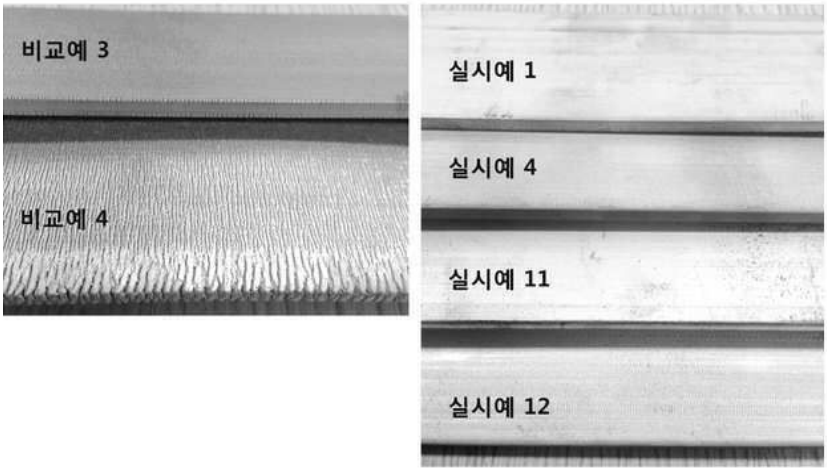
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **고속압출용 난연성 마그네슘 합금 및 이를 이용하여 제조한 마그네슘 합금 압출재의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 고강도, 고연성의 기계적 특성을 보유하면서 발화저항성이 우수한 마그네슘 합금, 더욱 상세하게는 용탕 표면에 안정한 보호 피막을 형성하여 대기 중 혹은 일반적인 불활성 분위기 하에서도 용해 및 주조가 가능하고, 발화 저항성이 매우 우수하여 칩의 자연발화를 억제할 수 있을 뿐 아니라 우수한 강도와 연성을 동시에 갖는 마그네슘 합금에 대한 것으로서, 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 1.0 ~ 7.0 중량%의 Al; 0.05 ~ 0.3 중량%의 Mn; 0.05 ~ 2.0 중량%의 Ca; 0.05 ~ 1.0 중량%의 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상; 잔부인 Mg; 및 기타 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도3



(72) 발명자

유봉선

경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 트리비앙 204-1003

임창동

서울특별시 마포구 성암로 11길 60, 104동 901호

박성혁

경상남도 창원시 성산구 가음정로23번길 10-21, 102-502(한림풀에버)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	PNK3630
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	산업기술연구회
연구사업명	재료연구소 연구운영비지원사업
연구과제명	부식환경 대응 마그네슘 소재 개발
기 여 율	1/1
주관기관	재료연구소
연구기간	2014.01.01 ~ 2014.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

1.0 ~ 7.0 중량%의 Al; 0.05 ~ 0.3 중량%의 Mn; 0.05 ~ 2.0 중량%의 Ca; 0.05 ~ 1.0 중량%의 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상; 잔부인 Mg; 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 Al의 함량은 2.5 ~ 6.5 중량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

청구항 3

제1항에 있어서, 1.0 중량% 이하의 Zn을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

청구항 4

제3항에 있어서, 아래 관계식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금:

$0.05 \leq W_{Ca} \leq 2.0 - 0.13 \times (W_{Al} + W_{Zn}/2)$

$0 < W_{Zn} \leq 1.4 - 0.13 \times W_{Al}$

(상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

청구항 5

제4항에 있어서, 아래 관계식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금:

$0.05 \leq W_{Ca} \leq 1.6 - 0.13 \times (W_{Al} + W_{Zn}/2)$

(상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

청구항 6

제4항에 있어서, 아래 관계식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금:

$0 < W_{Zn} \leq 1.2 - 0.13 \times W_{Al}$

(상기 식에서 W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)임).

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 Mn의 함량은 0.05 ~ 0.15 중량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 함량은 0.05 ~ 0.5 중량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

청구항 9

제1항에 있어서, 0.0005 ~ 0.002 중량%의 Be을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

청구항 10

(a) 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 마그네슘 합금으로 이루어진 빌렛을 준비하는 단계;

(b) 상기 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리(homogenizaton heat treatment)하는 단계; 및

(c) 상기 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 200 ~ 450 ℃의 압출 온도 및 10 m/min 이상의 출구속도의 압출 조건 하에서 압출하는 단계를 포함하는 마그네슘 합금 고속 압출방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 단계 (a)는 아래 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법:

(a-1) Mg, Al, Zn 및 Mn을 포함하는 마그네슘 합금 용탕을 형성하는 단계;

(a-2) 상기 마그네슘 합금 용탕에, (i) Ca 및 (ii) Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 순금속 또는 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상을 투입하는 단계; 및

(a-3) 상기 단계 (a-2)에서 얻어진 마그네슘 합금 용탕을 금속 몰드에 주입하여 빌렛을 형성하는 단계.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 단계 (b)는 360 ~ 465℃의 온도에서 0.5 ~ 96 시간 동안 수행하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법.

청구항 13

제10항에 있어서, 상기 단계 (c)는 간접 압출법(indirect extrusion process), 직접 압출법(direct extrusion process), 정수압 압출법(hydrostatic extrusion process) 또는 충격 압출법(impact extrusion process)을 이용해 수행하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법.

청구항 14

제10항에 있어서, 아래 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법:

(d) 상기 단계 (c)에서 제조된 압출재를 150 ~ 250℃의 온도에서 1 ~ 100 시간 동안 시효처리하는 단계.

청구항 15

제10항의 마그네슘 합금 고속 압출방법에 의해 제조된 마그네슘 합금 압출재.

청구항 16

제15항에 있어서, 봉상(rod), 파이프(pipe), 각재, 판재 또는 이형류의 형상을 가지는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 압출재.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 난연성과 기계적 특성이 우수하면서 압출성과 내식성이 크게 향상된 마그네슘 합금, 더욱 상세하게는 용탕 표면에 안정한 보호 피막을 형성하여 대기 중 혹은 일반적인 불활성 분위기 하에서도 용해 및 주조가 가능하고, 발화 저항성이 매우 우수하여 칩의 자연발화를 억제할 수 있을 뿐 아니라 열간가공성이 우수하여 복잡형상의 압출재를 고속으로 제조 가능하고 부식 저항성이 우수한 난연성 마그네슘 합금에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 마그네슘 합금은 높은 비강도를 갖는 최경량의 합금으로서 다양한 주조 및 가공 공정에 적용이 가능하며 자동차, 철도, 항공용 부품이나 전자기 부품 등 경량화가 요구되는 거의 모든 분야에 적용 가능하고 응용범위가 넓다. 하지만 마그네슘 합금은 전기화학적으로 전위가 낮고 상당히 활성적인 금속으로서 산소 혹은 물과 접촉 시 강한 활성반응을 보이며 상용 합금의 경우 발화온도가 대부분 550℃를 넘지 않아 때로는 화재를 일으키기도 하는 등 재료의 안정성 및 신뢰성 측면에서 아직 한계를 가진다. 이 때문에 그 용용 잠재력에 비해서 아직 응용범위가 제한적이며, 특히 안전성을 요구하는 철도 혹은 항공ㅇ우주 분야에는 기존 상용 마그네슘 합금이 사용될

수 없다.

[0003] 마그네슘 합금의 이러한 활성반응으로 인해 용해 시에는 플럭스(flux)나 CO_2 + SF_6 등의 불활성 혼합가스를 사용하여 비활성 분위기를 만들어 주어야 한다. 용해 및 정련 시 사용되는 플럭스는 염화계이기 때문에, 용탕 처리 조건이 맞지 않을 경우 잔류 염소가 소재 내부에 잔존하여 내식성을 크게 떨어뜨리는 문제가 있었다. 이러한 단점을 해결하기 위해 플럭스를 사용하는 대신, SF_6, CO_2 및 Air를 혼합한 분위기에서 용해 및 주조하는 방법이 효과적이다. 하지만 플럭스나 혼합가스의 사용은 용해, 주조 공정에서 마그네슘의 활성반응을 제어하는데 효과적인 반면, 사용 환경에서 마그네슘 제품 자체의 난연성을 향상시키지는 못하므로 근본적인 한계가 있다. 특히 혼합가스로 사용되는 SF_6는 지구온실효과가 CO_2의 23,900배나 되는 지구온실유발 물질로 분류되어 향후 사용규제가 될 것으로 예상된다.

[0004] 이러한 문제를 보다 근본적으로 해결하기 위하여 마그네슘 합금 자체의 내산화성을 향상시키기 위한 연구로서 특히 Ca, Be 등 희토류금속 첨가를 통한 마그네슘 합금의 발화온도를 향상시키고자 하는 연구들이 진행되어 왔다[특허문헌 0001]. 종래에는 내산화 마그네슘 합금에 첨가되는 합금원소 가운데 Ca이 주로 이용되었는데, 그 이유는 Ca 원소의 가격이 다른 희토류금속에 비해 저렴하고, 독성이 없으며 첨가량 대비 발화온도 상승이 크기 때문이다.

[0005] Ca을 포함하는 마그네슘 합금과 관련된 기존의 연구결과에 따르면, 2 중량% 이상의 Ca를 마그네슘합금에 첨가할 경우 발화온도가 700~900℃까지 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서 보호가스 없이 대기노출 주조가 가능하기 위해서는 마그네슘 합금의 발화온도가 융점보다 30℃ 이상, 더 바람직하게는 50℃ 이상 높아야 한다. 하지만 Ca이 2 중량%를 초과하여 첨가되면 마그네슘 합금의 인장특성은 일반적으로 저하되며, 특히 연신율의 감소가 두드러지는데, 이는 조대한 경질의 공정상이 다량 형성되어 크랙 발생을 유발하기 때문이다. 이처럼 Ca 첨가량의 증가는 발화저항성을 증가시키는 장점이 있지만, 기계적 특성, 특히 연성이 급격히 나빠진다는 단점이 있다. 이에 반해 마그네슘 합금에 희토류 금속원소를 3중량% 이상 다량 첨가할 경우 연성이 크게 저하되지 않으면서 발화저항성이 함께 향상될 수 있으나 고가의 희토류 금속원소를 다량 첨가할 경우 소재 가격 상승이 커서 경제성이 떨어진다는 단점이 있다. 따라서, 고가의 희토류 금속원소의 사용을 최소화 하면서 발화저항성과 인장특성을 동시에 만족시키는 마그네슘 합금의 개발이 필요하다.

[0006] 한편, 마그네슘 합금의 압출성은 최대 압출속도와 더불어 복잡한 제품 형상을 정밀하게 제조할 수 있는 능력으로 평가할 수 있으며, 특히 압출속도의 경우 생산성 및 제품단가와 직접적인 관련이 있다. 현재 상용 마그네슘 합금으로 사용되고 있는 AZ61, AZ80, ZK60 등의 합금의 경우 알루미늄 합금 대비 매우 낮은 압출속도를 가지고 있어 마그네슘 압출재 시장 확대에 주요한 장애물로 여겨지고 있다[비특허문헌 0001 및 0002]. 이러한 상용 마그네슘 합금이 낮은 최대 압출속도를 가지는 이유는 압출속도가 증가하면 표면온도가 급격하게 증가하는데 이러한 높은 표면온도로 인해 낮은 초기융점(incipient melting temperature)을 가지는 $Mg_{17}Al_{12}$와 같은 이차상(secondary phase)에서 국부적인 용해가 발생하여 표면 균열을 일으키기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 이차상의 열적안정성을 향상시키기 위한 연구가 진행되었으며[비특허문헌 0003 및 0004], 그 가운데 Mg-8Sn-1Al-1Zn (중량%) 합금의 경우 열적으로 매우 안정한 Mg_2Sn 상을 형성시켜 항복강도를 향상시킴과 동시에 압출 시 표면균열 생성을 억제함으로써 10 m/min 이상의 높은 압출속도에서도 결함 없이 압출이 가능한 것으로 알려져 있다. 하지만 Mg-Sn계 합금은 발화저항성이 매우 열악한데, 예를 들어 Mg-8Sn 합금의 발화온도는 280℃이며 이는 순 마그네슘의 발화온도인 400℃에도 미치지 못하는 수준이다.

[0007] 일본 구마모토 대학에서 개발한 압출용 난연 마그네슘 합금(KUMADAI)의 경우 항복강도(410~460MPa)와 발화온도(~1091℃)가 매우 높은 반면, 연신율이 3.5%로 매우 낮고 압출속도가 0.2 m/min 이하로 매우 낮은 문제점이 있다. 또한, 나가오카 대학의 Kamado 교수 연구진은 48 m/min의 매우 높은 압출속도를 가지는 마그네슘 합금을 개발한 바 있으나 강도가 낮고, 특히 난연성이 매우 낮은 문제점이 있다. 이처럼 난연성, 기계적 특성 및 고속 압출성이 모두 만족되는 마그네슘 합금은 현재까지 개발된 바 없으며 마그네슘 소재의 응용분야 확대 및 경제성 확보를 위해서는 고속 압출이 가능한 난연성 마그네슘 합금의 개발이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 제2006-257478호 (2006. 9. 28)

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) C.J. Bettles and M.A. GibsonY, JOM 57, 46 (2005)

(비특허문헌 0002) C.J. Bettles and M.R. Barnett, Advance in wrought magnesium alloys, Woodhead Publishing, London, UK (2012)

(비특허문헌 0003) S.H. Park, H. Yu, J.H. Bae, C.D. Yim, and B.S. You, J. Alloys Compd. 545, 139 (2012)

(비특허문헌 0004) 9. D. Zhang, F. Qi, W. Lan, G. Shi, and X. Zhao, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 21, 703 (2011)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상기 종래의 문제점을 해결함으로써 발화저항성과 인장특성, 고속 압출성 및 부식저항성이 모두 우수한 마그네슘 합금을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 또한, 본 발명은 SF_6와 같은 환경오염 유발 물질인 보호가스를 사용하지 않아 친환경적 제조공정을 통해 제조가능한 마그네슘 합금을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은 1.0 ~ 7.0 중량%의 Al; 0.05 ~ 0.3 중량%의 Mn; 0.05 ~ 2.0 중량%의 Ca; 0.05 ~ 1.0 중량%의 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상; 잔부인 Mg; 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다.

[0013] 또한, 제1항에 있어서, 상기 Al의 함량은 2.5 ~ 6.5 중량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다.

[0014] 또한, 1.0 중량% 이하의 Zn을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다.

[0015] 또한, 아래 관계식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다:

[0016] $0.05 \leq W_{Ca} \leq 2.0 - 0.13 \times (W_{Al} + W_{Zn}/2)$

[0017] $0 < W_{Zn} \leq 1.4 - 0.13 \times W_{Al}$

[0018] (상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

[0019] 또한, 아래 관계식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다:

[0020] $0.05 \leq W_{Ca} \leq 1.6 - 0.13 \times (W_{Al} + W_{Zn}/2)$

[0021] (상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

[0022] 또한, 아래 관계식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다:

[0023] $0 < W_{Zn} \leq 1.2 - 0.13 \times W_{Al}$

[0024] (상기 식에서 W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)임).

[0025] 또한, 상기 Mn의 함량은 0.05 ~ 0.15 중량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다.

[0026] 또한, 상기 Y, Gd, Sm, Nd, Dy, Er로부터 선택되는 1종 이상의 함량은 0.05 ~ 0.5 중량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다.

[0027] 또한, 0.0005 ~ 0.002 중량%의 Be을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금을 제안한다.

[0028] 그리고, 본 발명은 발명의 다른 측면에서, (a) 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 마그네슘 합금으로 이루어진 빌렛을 준비하는 단계; (b) 상기 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리(homogenizaton heat treatment)하는 단계; 및 (c) 상기 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 200 ~ 450 ℃의 압출 온도 및 10 m/min 이상의 출구속도의 압출 조건 하에서 압출하는 단계를 포함하는 마그네슘 합금 고속 압출방법을 제안한다.

[0029] 또한, 상기 단계 (a)는 아래 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법을 제안한다:

[0030] (a-1) Mg, Al, Zn 및 Mn을 포함하는 마그네슘 합금 용탕을 형성하는 단계;

[0031] (a-2) 상기 마그네슘 합금 용탕에, (i) Ca 및 (ii) Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 순금속 또는 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상을 투입하는 단계; 및

[0032] (a-3) 상기 단계 (a-2)에서 얻어진 마그네슘 합금 용탕을 금속 몰드에 주입하여 빌렛을 형성하는 단계.

[0033] 또한, 상기 단계 (b)는 360 ~ 465℃의 온도에서 0.5 ~ 96 시간 동안 수행하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법을 제안한다.

[0034] 또한, 상기 단계 (c)는 간접 압출법(indirect extrusion process), 직접 압출법(direct extrusion process), 정수압 압출법(hydrostatic extrusion process) 또는 충격 압출법(impact extrusion process)을 이용해 수행하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 고속 압출방법을 제안한다.

[0035] 또한, (d) 상기 단계 (c)에서 제조된 압출재를 150 ~ 250℃의 온도에서 1 ~ 100 시간 동안 시효처리하는 단계를 더 포함하는 마그네슘 합금 고속 압출방법을 제안한다.

[0036] 나아가, 본 발명은 발명의 또 다른 측면에서 상기 마그네슘 합금 고속 압출방법에 의해 제조된 마그네슘 합금 압출재를 제안한다.

[0037] 또한, 상기 마그네슘 합금 압출재는 봉상(rod), 파이프(pipe), 각재, 판재 또는 이형류의 형상을 가지는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 압출재를 제안한다.

발명의 효과

[0038] 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 열간가공성이 우수하여 10 m/min 이상의 고속으로 압출이 가능할 뿐만 아니라 치밀한 복합 산화층이 합금 표면에 형성됨으로써 기존 상용 합금 대비 현저히 향상된 난연성과 내식성을 가지면서도 기계적 특성이 우수한 특성을 가진다.

[0039] 또한 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 보호피막으로 작용하는 치밀한 복합 산화층을 형성함으로써 내산화성 및 발화저항성이 매우 우수하여 대기 중이나 일반적인 불활성분위기(Ar, N_2)에서 용해, 주조 및 가공이 가능하고, 기계가공 공정에서 쌓이는 칩의 자연발화를 억제할 수 있다.

[0040] 또한, 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 SF_6 등의 가스를 사용하지 않아 비용감소, 작업자 건강보호, 환경오염방지에 적합하다.

[0041] 또한, 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 발화온도가 대기 중에서 녹는점 이상으로 높고, 특히 일반적인 불활성 분위기(Ar, N_2)에서는 발화온도가 녹는점+50℃ 이상으로 높아 상용 합금 대비 월등히 우수한 발화저항성을 가지면서도 이차상의 조대화를 억제함으로써 강도 및 연성도 우수하여 구조용 부품 소재로 적용가능하다.

[0042] 또한, 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 발화저항성이 우수함과 동시에 열간가공성도 우수하여 다양한 형상의 가공재로 이용될 수 있으며, 특히 고강도 고연성 및 안정성 특성을 요구하는 차세대 자동차, 고속철도, 도심철도 등에 실제적 적용이 가능한 압출재, 판재, 단조재 등으로 제조될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0043] 도 1은 이원계 마그네슘 합금의 발화온도에 대한 합금원소의 영향을 보여주는 도면이다.

도 2는 Y과 유사한 발화저항성 향상 효과를 가지는 Gd, Sm, Dy, Er의 첨가량에 따른 발화온도의 변화를 보여주는 도면이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 제조한 실시예 및 비교예에서 고속압출 후 압출재 표면상태를 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0044] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.

[0045] 본 발명의 개념에 따른 실시예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0046] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0047] 이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0048] 본 발명에 따른 마그네슘 합금은, 1.0 ~ 7.0 중량%의 Al; 0.05 ~ 0.3 중량%의 Mn; 0.05 ~ 2.0 중량%의 Ca; 0.05 ~ 1.0 중량%의 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상; 마그네슘(Mg) 잔부; 및 기타 불가피한 불순물을 포함하여 이루어지며, 각 합금 성분의 함량을 상기와 같이 한정한 이유는 각각 다음

과 같다.

[0049] 알루미늄(Al)

[0050] 알루미늄은 마그네슘 합금의 강도 증가 및 유동성을 향상시키며 응고 범위를 증가시켜 주조성을 개선시키는 원소로서, 일반적으로 알루미늄 첨가량이 증가함에 따라 공정상인 $Mg_{17}Al_{12}$ 상의 분율이 증가하여 강도가 증가한다. 또한, 알루미늄이 다른 합금원소와 함께 첨가될 경우, 알루미늄의 함량이 증가할수록 발화저항성이 향상된다. 특히 소량의 Ca 및 Y, Sm, Gd, Dy, Er로부터 선택되는 적어도 1개의 원소와 함께 알루미늄이 포함될 경우 $MgAl_2O_4$, CaO 및 Y(또는 Sm, Gd, Dy, Er로부터 선택되는 1개의 원소)$_2O_3$의 복합산화층이 표면에 형성되어 발화저항성과 부식저항성이 동시에 향상된다. 한편, 알루미늄의 함량이 1.0 중량% 미만일 경우 강도 증가 및 발화저항성 향상 효과가 나타나지 않고, 알루미늄의 함량이 7.0 중량% 이상에서는 압출 과정에서 열적안정성이 열악한 경질의 $Mg_{17}Al_{12}$ 상의 형성으로 인해 표면 균열 발생이 발생하므로, 알루미늄은 1.0 중량% 이상 7.0 중량% 미만의 범위로 포함되는 것이 바람직하다. 또한 발화저항성, 기계적 특성과 열간 가공성을 모두 고려할 경우 알루미늄의 함량은 2.5 중량 이상 6.5 중량% 미만의 범위로 포함되는 것이 더욱 바람직하다.

[0051] 아연(Zn)

[0052] 아연은 일반적으로 알루미늄과 함께 첨가될 때 결정립을 미세화하고 고용강화와 석출강화를 통해 강도를 증가시키는 효과를 갖는다. 하지만, 일반적으로 알루미늄이 함유된 마그네슘 합금에서 아연의 함량이 증가할수록 압출속도에 큰 영향을 주는 이차상의 초기융점(incipient melting temperature)이 크게 낮아지기 때문에 최대 압출속도가 크게 저하된다. 특히 알루미늄의 함량이 증가할수록 표면 크랙이 발생하지 않는 압출 조건 범위가 좁아지기 때문에 아연의 최대 첨가량은 더욱 낮아지게 된다. 따라서 본 발명에서 아연의 첨가 범위는 Al 함량에 따라 달라지며 아래의 계산식을 따르는 것이 바람직하며,

[0053] $0 < W_{Zn} \leq 1.4 - 0.13 \times W_{Al}$

[0054] (상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

[0055] 나아가, 아래의 계산식을 따르는 것이 보다 바람직하다.

[0056] $0 < W_{Zn} \leq 1.2 - 0.13 \times W_{Al}$

[0057] (상기 식에서 W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)임).

[0058] 망간(Mn)

[0059] 망간은 Mg-Al계 합금에서 내식성에 유해한 불순물원소인 Fe와 결합하여 내식성을 향상시키며, 빠른 냉각 속도에서 Al-Mn 금속간화합물을 형성하여 강도를 향상시키는 역할을 하며, 본 발명에 다른 마그네슘 합금은 상기와 같은 망간을 0.05 ~ 0.3 중량%으로 포함할 수 있다.

[0060] 하지만, 알루미늄과 이트륨이 포함된 마그네슘 합금에 0.15 중량%를 초과하는 망간을 첨가할 경우 다각형 형상을 가지는 Al-Mn-Y 상이 마그네슘 합금 용탕에서 형성되어 용탕 하부로 가라앉기 때문에 마그네슘 합금 주조재에서 알루미늄, 망간 및 이트륨 함량의 감소가 현저하고, 일부 Al-Mn-Y 상이 주조재에 포함되어 내식성의 저하를 유발할 수 있어 망간의 함량은 0.15 중량% 이하로 첨가하는 것이 바람직하다. 또한 0.05 중량% 미만의 망간이 포함될 경우 마그네슘 합금의 내식성이 크게 저하되는 문제가 있으므로 망간의 첨가량은 0.05 중량% 내지 0.15 중량% 범위로 포함되는 것이 더욱 바람직하다.

[0061] 칼슘(Ca)

[0062] 칼슘은 알루미늄이 함유된 마그네슘 합금에서 Mg-Al-Ca 금속간 화합물을 형성하여 강도 및 내열특성을 향상시킬 뿐만 아니라 용탕 표면에 얇고 치밀한 CaO 산화층을 형성시켜 용탕의 산화를 억제함으로써 마그네슘 합금의 발

화 저항성을 향상시킨다. 또한 칼슘은 Mg-Al계 합금에서 주로 형성되는 열적으로 불안정한 $Mg_{17}Al_{12}$ 상에 일부 고용되어 $Mg_{17}Al_{12}$ 상의 열적안정성을 크게 향상시켜주어서 열간가공성을 향상시켜 준다. 예를 들어, 열분석 결과에 따르면 AZ61합금의 초기 용융온도(incipient melting temperature)는 425℃로 측정되지만, 칼슘이 0.6중량% 첨가될 경우 초기 용융온도가 465℃까지 증가한다. 하지만 칼슘의 함량이 0.05 중량% 미만인 경우 발화저항성 및 $Mg_{17}Al_{12}$ 상의 열적안정성 향상 효과가 크지 않고, 2.0 중량%를 초과할 경우 용탕의 주조성이 떨어지고 열간균열(hot cracking)이 발생하며, 금형과의 점착성(die sticking)이 증가하며 연신율이 크게 떨어지는 등의 문제가 있고, 압출 공정의 경우 압출하중이 크게 증가하여 표면 균열 발생하는 문제가 있다.

[0063] 알루미늄(Al) 및 아연(Zn)과 칼슘(Ca)의 합산 함량

[0064] 알루미늄과 아연이 칼슘과 함께 첨가된 합금에서 알루미늄과 아연의 첨가량이 증가함에 따라 일반적으로 마그네슘 합금의 발화온도와 내식성은 증가한다. 동일한 알루미늄과 아연이 첨가된 합금에서 연성의 저하를 가져오지 않는 최대 칼슘 첨가량은 알루미늄과 아연의 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 예컨대, 3 중량%의 알루미늄과 1 중량%의 아연이 포함된 AZ31합금에서 주조품의 연성은 칼슘 첨가량이 1 중량% 이상에서 감소하며(가공재의 경우, 칼슘 첨가량이 2 중량% 이상에서 연성이 감소함), 6 중량%의 알루미늄과 1 중량%의 아연이 포함된 AZ61합금의 경우 칼슘 첨가량이 1.0 중량% 이상에서 연성이 감소하는 경향을 보인다. 특히 압출 공정을 고려할 경우 칼슘 함량이 1.3 중량% 첨가된 AZXW3110(Mg-3Al-0.7Zn-0.15Mn-1.3Ca-0.3Y) 합금을 압출할 경우 1.3 중량% 미만의 칼슘을 함유한 합금 대비 압출하중이 급격히 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 경질의 Mg-Al-Ca 상이 균질화 열처리 이후에도 마그네슘 기지(matrix) 내로 고용되지 않고 다량 잔존하고 있기 때문이다. 특히 칼슘의 함량이 2.0중량%까지 증가하게 되면 압출하중의 급격한 증가로 인해 압출이 되지 않는 문제가 발생한다. 이처럼 압출 하중의 증가는 압출재의 온도를 증가시켜 압출재의 표면 균열을 발생시킬 가능성이 높아지기 때문에 적절한 칼슘 함량 이하로 제어할 필요가 있으며, 상기 마그네슘 합금의 경우 칼슘의 첨가량을 2.0 중량% 미만으로 제한하는 것이 바람직하다. 따라서 마그네슘 합금에 첨가되는 알루미늄과 아연의 함량에 따라서 최대로 첨가할 수 있는 칼슘이 함량은 다르게 설계되어야 한다. 한편, 알루미늄과 아연이 포함된 마그네슘 합금에서 각 원소의 발화온도에 대한 기여도는 아연이 알루미늄의 50% 수준으로 평가되었다. 따라서, 본 발명에 따른 마그네슘 합금에서 알루미늄 및 아연과 칼슘의 함량은 아래의 계산식을 따르는 범위 내에서 포함되는 것이 바람직하며,

[0065] $0.05 \leq W_{Ca} \leq 2.0 - 0.13 \times (W_{Al} + W_{Zn}/2)$

[0066] (상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

[0067] 더욱 바람직하게는 아래의 범위 내에서 포함되는 것이 바람직하다.

[0068] $0.05 \leq W_{Ca} \leq 1.6 - 0.13 \times (W_{Al} + W_{Zn}/2)$

[0069] (상기 식에서 W_{Ca}은 Ca의 함량(중량%)이고, W_{Al}은 Al의 함량(중량%)이고, W_{Zn}은 Zn의 함량(중량%)임).

[0070] 이트륨(Y)

[0071] 이트륨은 원래 마그네슘에 대하여 큰 고용한을 가지고 있어 주로 석출강화 효과에 의한 고온 내크리프 향상원소로 사용된다. 또한, **도 1**에서 이트륨을 2 중량% 첨가 시 용탕 표면에 Y_2O_3 산화층을 형성하여 발화온도가 크게 향상되며, 특히 소량의 이트륨을 칼슘과 함께 마그네슘 합금에 첨가하면, $MgAl_2O_4$, CaO와 Y_2O_3의 혼합층이 형성되어 발화 저항성이 더욱 증가된다. 또한 소량의 칼슘과 이트륨이 복합 첨가된 합금은 수소 발생 속도가 현저히 저하되어 내식성이 크게 향상될 수 있다. 한편, 마그네슘 합금에 이트륨이 0.05 중량% 미만으로 포함되는 경우 발화온도 및 내식성 증가가 크지 않고, 이트륨이 1.0 중량%를 초과하여 포함되는 경우 합금의 가격이 상승하고, 알루미늄, 망간과의 반응으로 Al-Mn-Y 입자가 다량 형성되어 연성 감소와 더불어 내식성이 저하되는 문제가 있다. 따라서, 본 발명에 따른 마그네슘 합금에서 이트륨은 0.05 중량% 내지 1.0 중량%의 범위로, 더욱 바람직하게는 0.05 중량% 내지 0.5 중량%의 범위로 포함되어야 한다.

[0072] 일부 희토류 금속 원소(Gd, Sm, Nd, Dy, Er)

[0073] 희토류 금속은 일반적으로 고온강도와 내크리프 특성을 향상시키기 위해 첨가된다. 알루미늄의 함량이 낮을 때 희토류 금속을 첨가하면 고온에서 안정한 Al-RE 금속간화합물을 형성, 응고시 정출되어 고온 강도 및 내열특성을 향상시킨다. 하지만, 발화저항성 측면에서 희토류 금속의 첨가는 **도 1**에서 볼 수 있듯이 첨가되는 원소에 따라 상이한 결과를 나타낸다. 일반적으로 발화저항성을 설명하는데 사용되는 인자인 PBR(Pilling-Bedworth Ratio) 및 산화물 형성에 대한 자유에너지(Gibbs energy) 변화 값과 각 원소의 마그네슘 기지(matrix) 내 고용한(solubility limit) 등을 종합적으로 고려하면, Nd, Gd, Sm, Dy, Er 등의 원소가 발화저항성을 향상시키는데 효과적인 것으로 나타난다. 특히 **도 2**에서 마그네슘 기지 내 고용한이 큰 Sm(3.5 중량%), Gd(23.5 중량%), Dy(25.3 중량%), Er(33.8 중량%) 원소의 첨가량에 따른 마그네슘 이원계 합금의 발화온도 변화를 보면, 첨가량이 증가함에 따라 발화저항성은 직선적으로 증가함을 알 수 있으며, 3원계 이상의 합금에서도 이 원소들이 첨가됨에 따라 유사한 발화저항성 향상 효과를 가져 올 것으로 판단된다. 따라서 본 발명에서는 희토류 금속원소 가운데 이트륨과 유사하게 발화저항성을 향상시킬 수 있는 원소로 Gd, Sm, Nd, Dy, Er을 선택하였으며, 희토류 원소가 대부분 고가의 원소임을 감안하여 경제성을 고려할 때 0.05 중량% 내지 1.0 중량%의 범위로, 더욱 바람직하게는 0.05 중량% 내지 0.5 중량%의 범위로 포함되는 것이 좋다.

[0074] 베릴륨(Be)

[0075] 베릴륨은 일반적으로 소량 첨가에 의해서도 용융 마그네슘의 산화를 억제하고 발화온도를 향상시키는데 효과적인 원소이나, 인체 유독성으로 인해 향후 사용 규제가 예상된다. 대부분의 상용 순마그네슘(pure magnesium)에는 0.0001 중량% 이하의 베릴륨이 불순물 수준으로 포함되어 있으며, 0.0005 중량% 미만의 베릴륨이 첨가될 경우 베릴륨의 산화억제 효과가 나타나지 않게 되고, 0.002 중량%를 초과하여 첨가될 경우 결정립을 조대화 시켜 마그네슘 합금의 물성을 저하시킨다. 따라서 본 발명에 따른 마그네슘 합금에서 베릴륨은 0.0005 중량% 내지 0.002 중량% 범위로 포함되는 것이 바람직하다.

[0076] 기타 불가피한 불순물

[0077] 본 발명에 따른 마그네슘 합금에는 합금의 원료 또는 제조과정에서 불가피하게 혼입되는 불순물을 포함할 수 있으며, 본 발명에 따른 마그네슘 합금에 포함될 수 있는 불순물 중에서 특히 철(Fe), 구리(Cu) 및 니켈(Ni)은 마그네슘 합금의 내식성을 악화시키는 역할을 하는 성분이다. 따라서 Fe의 함량은 0.005 중량% 이하, Cu의 함량은 0.03 중량% 이하, Ni의 함량은 0.001 중량% 이하를 유지하도록 하는 것이 바람직하다.

[0078] 다음으로, 앞서 상세히 설명한 본 발명에 따른 마그네슘 합금을 이용한 고속 압출방법에 대해 이하에서 설명한다.

[0079] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 고속 압출방법은, (a) 전술한 마그네슘 합금으로 이루어진 빌렛을 준비하는 단계; (b) 상기 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리(homogenizaton heat treatment)하는 단계; 및 (c) 상기 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 200 ~ 450 ℃의 압출 온도 및 10 m/min 이상의 출구속도의 압출 조건 하에서 압출하는 단계를 포함하며, 아래에서 상기 각 단계에 대해 상세히 설명한다.

[0080] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 고속 압출방법에 있어서, 상기 마그네슘 합금 빌렛을 준비하는 단계인 단계 (a)는 (a-1) Mg, Al, Zn 및 Mn을 포함하는 마그네슘 합금 용탕을 형성하는 단계; (a-2) 상기 마그네슘 합금 용탕에, (i) Ca 및 (ii) Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 순금속 또는 Y, Gd, Sm, Nd, Dy 및 Er으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상을 투입하는 단계; 및 (a-3) 상기 단계 (a-2)에서 얻어진 마그네슘 합금 용탕을 금속 몰드에 주입하여 빌렛을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0081] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 고속 압출방법에 있어서, 상기 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리(homogenizaton heat treatment)하는 단계, 즉 단계 (b)는 이전 단계에서 제조된 마그네슘 합금 빌렛의 마그네슘 기재 내에 존재하는 조성적 편석을 균질화하기 위해 열처리하는 단계로서, 본 단계를 수행함으로써 이후에

수행되는 압출 공정에서 이차상(second phase)의 동적석출(dynamic precipitation)을 통한 압출재의 강도 강화를 꾀할 수 있으며, 이를 위해 본 단계는 360 ~ 465℃의 온도에서 0.5 ~ 96 시간 동안 수행될 수 있다.

[0082]

[0083] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 고속 압출방법에 있어서, 상기 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 압출하는 단계인 단계 (c)는, 360 ~ 465℃의 온도에서 0.5 ~ 96 시간 동안의 출구속도로 수행될 수 있다.

[0084] 본 단계에 있어서 압출 공정을 수행하기 위한 구체적인 방법은 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어, 간접 압출법(indirect extrusion process), 직접 압출법(direct extrusion process), 정수압 압출법(hydrostatic extrusion process) 또는 충격 압출법(impact extrusion process)을 이용해 본 단계의 압출을 행할 수 있다.

[0085] 또한, 본 단계를 통해 제조되는 압출재의 형상은 특별히 제한되지 않으며, 봉재(rod), 파이프(pipe), 각재, 판재, 이형류 등 다양한 형상을 가질 수 있다.

[0086] 다음으로, 상기 단계 (c)를 실시한 후에는 제조된 압출재를 150 ~ 250℃의 온도에서 1 ~ 100 시간 동안 시효처리하는 단계를 추가적으로 수행할 수 있다.

[0087] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 마그네슘 합금 및 그 제조방법을 이하에서 상세히 설명한다. 그러나 하기의 실시예는 단지 예시적인 것으로 본 발명을 한정하는 것이 아니다.

[0088] **<실시예>**

[0089] 본 발명의 발명자들은 전술한 종래기술의 문제점을 해결하고 본 발명의 목적을 달성하기 위해 다양한 조성을 갖는 마그네슘 합금을 제조하였는데, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 마그네슘 합금의 제조방법은 아래와 같다.

[0090] 먼저, Mg(99.9%), Al(99.9%), Zn(99.99%), Ca(99.9%), Mn(99.9%) 및 선택적으로 Y(99.9%), Gd(99.9%), MM(Misch metal, 99.9%)의 원료 물질을 준비한 후, 상기 원료를 용해하고 중력 주조방법을 이용하여 하기 표 1의 실시예 1 내지 실시예 16 및 비교예 1 내지 비교예 13에 기재된 합금조성을 가지는 마그네슘 합금 주조재를 형성하였다. 특히, 융점이 상대적으로 높은 Ca, Y, Gd, MM을 직접 용탕에 투입하여 합금화시키기 위해서, 800 내지 900까지 용탕의 온도를 올려서 이들 원소를 완전 용해시킨 후, 주조온도까지 서서히 냉각한 후 주조하여 마그네슘 합금 주조재를 형성하였다. 한편, Sm, Dy, Er를 첨가한 합금에 대한 실시예는 발화저항성, 내식성 및 고속압출성 측면에서 Y 및 Gd를 첨가한 실시예 15와 실시예 16의 결과와 유사할 것으로 예상되기 때문에 표 1에 추가하지 않았다.

[0091] 또는, 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, Mg, Al, Zn, Ca, Mn 및 선택적으로 Y, Gd, MM의 원료 물질을 용해시켜 용탕을 형성한 후 주조하는 방법 외에 다양한 방법에 따라서 마그네슘 합금을 제조하는 것이 가능하다. 예컨대, Mg, Al, Zn 및 Mn의 원료 물질 또는 이들의 합금을 이용하여 마그네슘 합금 용탕을 먼저 형성하고, Ca, Y, Gd, MM을 함유하는 화합물을 상기 마그네슘 합금 용탕에 투입한 후 적절한 주조 방법을 이용하여 마그네슘 합금 주조재를 형성하는 것도 가능하다. 또는, Mg의 원료 물질과 선택적으로 Ca, Y, Gd, MM의 원료 물질을 목표 조성보다 많이 첨가하여 용해시켜서 700 내지 750℃ 온도에서도 마그네슘 합금 용탕에 용해가 가능한 모합금(master alloy)을 제조하고, 이와 별도로 Mg, Al, Zn 및 Mn의 원료 물질 또는 이들의 합금을 이용하여 마그네슘 합금 용탕을 형성한 후 상기 모합금을 상기 마그네슘 합금 용탕에 투입하여 마그네슘 합금 주조재를 형성할 수도 있다. 상기 방법에 따르면 모합금의 녹는점은 Ca, Y, Gd, MM 원료 물질의 녹는점보다 낮으므로 원료물질을 직접 마그네슘 합금 용탕에 투입할 때보다 낮은 온도에서 모합금을 투입할 수 있다는 점에서 특히 유용하다. 그 외에도, 본 발명에 따른 마그네슘 합금의 형성은 다양한 방법을 통해서 구현 가능하며, 본 발명이 속한 기술분야에서 이미 널리 알려진 마그네슘 합금의 형성 방법은 모두 본 발명에 일체로 합체된다.

표 1

[0092]

	Mg	Al	Zn	Mn	Ca	Y
비교예1	bal.	3.0	0.8	0.15	2.0	0.3
비교예2	bal.	3.0	0.8	0.15	2.0	0.5
비교예3	bal.	8.0	0.3	0.15	0.6	0.2
비교예4	bal.	1.0	4.0	0.10	0.3	0.3
실시예1	bal.	3.0	0.3	0.15	0.8	0.3
실시예2	bal.	3.0	0.8	0.15	0.4	0.3
실시예3	bal.	3.0	0.8	0.15	0.4	0.5
실시예4	bal.	3.0	0.8	0.15	0.7	0.2
실시예5	bal.	3.0	0.8	0.15	0.7	0.3
실시예6	bal.	3.0	0.8	0.15	0.7	0.5
실시예7	bal.	3.0	0.8	0.15	1.0	0.3
실시예8	bal.	3.0	0.8	0.15	1.0	0.5
실시예9	bal.	3.0	0.8	0.15	1.3	0.3
실시예10	bal.	3.0	0.8	0.15	1.3	0.5
실시예11	bal.	6.0	0.3	0.15	0.6	0.2
실시예12	bal.	6.0	0.8	0.13	0.5	0.2

[0093] 한편, 본 실시예에서 유도 용해는 흑연 도가니(graphite crucible)를 사용하였으며, 합금화가 마무리되기 전까지는 용탕의 산화를 방지하기 위해 SF_6와 CO_2 혼합가스를 소량 용탕 상부에 도포하여 용탕과 대기가 접촉하는 것을 차단하였다. 또한, 용해가 완료된 후에는 철계 금형 몰드(steel mould)를 사용하여 보호가스를 사용하지 않고 금형 주조하였으며, 압출 실험을 위해 직경 89mm, 길이 150mm의 원통형 빌렛(billet)을 제조하였다. 또한, 본 실시예는 금형주조법을 사용하여 마그네슘 합금을 주조하였으나, 사형주조, 중력주조, 가압주조, 연속주조, 정밀주조, 분무주조 등 다양한 주조법이 사용될 수 있으며, 본 발명에 따른 마그네슘 합금은 반드시 어떠한 특정한 주조 방식에 한정되지는 않는다.

[0094] 마그네슘 합금의 고속압출성 평가

[0095] 앞에서 형성한 마그네슘 합금 빌렛를 400 내지 430℃에서 15 내지 24시간 동안 균질화 열처리를 실시하였으며, 균질화 열처리 완료 후 곧바로 수냉(water quenching)을 실시하였다. 이어서, 균질화 열처리된 재료는 직경 80mm, 길이 150mm의 원통형 빌렛으로 절삭 가공되며, 이 후 압출 실험을 위해 열처리 노(furnace)에서 300℃로 예열한다. 예열된 빌렛은 압출 온도 300℃에서 11 m/min의 압출 속도(출구 기준) 및 25:1의 압출비로 직접압출(direct extrusion)하여 최종적으로 폭 50mm, 두께 4mm의 판상 압출재를 제조하였다.

[0096] 한편, 본 발명의 실시예에서는 주조 및 균질화 열처리 후 직접압출 가공을 실시하였으나, 간접압출 및 정수압 압출과 같은 방법에 의해 제조될 수 있으며, 반드시 어떠한 특정한 압출 방식에 한정되지는 않는다.

[0097] 본 발명의 실시예에서 고속압출성에 대한 평가는 압출 온도 300℃에서 11 m/min의 압출 속도 및 25:1의 압출비로 직접압출(direct extrusion)한 후 제조된 압출 판재의 표면 열간균열(hot-cracking) 유무를 통해 판단하였으며, 이 외에도 압출재의 형상이 제대로 만들어지지 않거나 압출하중이 너무 높아 압출이 되지 않는 것도 압출성이 낮은 것으로 판단하여 불량으로 결정하였다.

[0098] **도 3은** 앞에서 설명한 압출 조건으로 압출한 비교예 3 내지 비교예 4와 실시예 1, 실시예 4, 실시예 11 및 실시예 12의 압출판재 표면 상태를 보여준다. **도 3**에서 알루미늄 함량이 1 중량%로 낮지만 아연의 함량이 4 중량%로 높은 비교예 4의 경우 표면에 심한 열간균열이 발생하여 가장 좋지 않은 표면상태를 보여준다. 반면 아연의 함량이 0.3 중량%로 낮은 반면 알루미늄의 함량이 8 중량%로 높을 경우에도 압출 판재 표면에 열간균열 발생이 심한 것을 확인 할 수 있다. 이에 반해, 알루미늄 함량이 3 중량% 혹은 6 중량%이면서 아연의 함량이 0.3 중량% 및 0.8 중량%로 낮게 유지된 실시예 1, 실시예 4, 실시예 11 및 실시예 12의 경우 표면에 열간균열이 전혀 발생하지 않은 양호한 표면상태를 보여준다.

[0099] **표 2**는 3중량%의 알루미늄과 0.8중량%의 아연이 첨가된 마그네슘 합금(실시예 2과 실시예 3, 실시예 5 내지 실시예 10, 및 비교예 1과 비교예 2)에서 칼슘 함량에 따른 압출하중의 변화를 보여준다. 일반적인 압출공정에서 압출하중은 압출 초기에 급격히 증가하다가 최대 하중에서 정점(peak)을 만들며 감소하다 특정 하중에서 일정하게 유지된다. 표 2에서 칼슘 함량이 증가함에 따라 경질의 Mg-Al-Ca 이차상의 분율이 증가하고 이로 인해 압출하중이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 칼슘의 함량이 1.3중량% 이상으로 증가할 경우 압출하중이, 특히 안정 상태(steady state)에서의 압출하중이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 칼슘 함량이 2.0 중량%로 증가한 비교예 1과 비교예 2의 경우 압출 하중이 500톤을 초과하여 증가하였기 때문에 압출이 되지 않았다. 이처럼 압출 하중이 급격히 증가하게 되면 압출재의 온도가 급격히 증가하여 표면균열 발생 가능성이 증가하게 될 뿐만 아니라 경우에 따라서는 압출이 불가능할 수도 있게 된다. 따라서, 압출성 측면에서 3중량% 알루미늄과 0.8중량% 아연이 첨가된 마그네슘 합금에서 칼슘의 함량은 2.0중량% 미만으로 제어하는 것이 바람직하다.

표 2

[0100]

(Y: 0.3중량%)	압출하중 (peak) [톤]	압출하중 (steady) [톤]	(Y: 0.5중량%)	압출하중 (peak) [톤]	압출하중 (steady) [톤]
실시예2	414	336	실시예3	410	350
실시예5	424	350	실시예6	418	342
실시예7	433	373	실시예8	424	374
실시예9	477	470	실시예10	460	429
비교예1	압출 안됨		비교예2	압출 안됨	

[0101] 마그네슘 합금의 발화온도 및 기계적 특성 평가

[0102] 상기 마그네슘 합금의 발화온도를 측정하기 위하여, 앞에서 균질화 열처리된 원통형 빌렛의 외각을 깊이 0.5mm, 피치 0.1mm, 350rpm의 일정한 속도로 칩 가공하여 일정한 크기의 칩을 얻었다. 상기 방법으로 얻은 칩 0.1g을 1000℃로 유지되는 가열로 안으로 일정한 속도로 넣어서 승온시켰다. 그 과정에서 발화로 인해 급격한 온도 상승이 시작되는 온도를 발화온도로 측정하고, 그 결과를 **표 3**에 나타내었다.

표 3

[0103]

	발화온도(대기분위기)[℃]
비교예1	775
비교예2	784
비교예3	781
실시예2	703
실시예3	711
실시예5	729
실시예6	735
실시예7	738
실시예8	747
실시예9	745
실시예10	766

[0104] 또한, 앞에서 설명한 방법에 의하여 제조된 주조재 및 압출재를 게이지부 길이가 25 mm인 ASTM-E-8M 규격의 sub-size 시편을 제조하였고, 통상의 인장시험기를 사용하여 1×10^{-3} s^{-1}의 변형률로 상온 인장시험을 실시하였으며, 그 결과를 표 4에 나타내었다.

표 4

[0105]

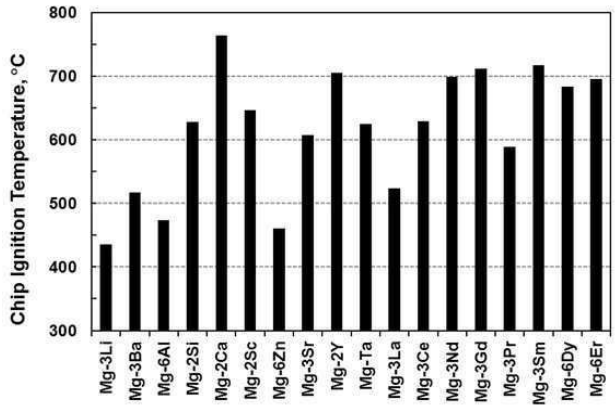
	항복강도 [MPa]	인장강도 [MPa]	연신율 [%]	균일연신율 [%]	인장강도x연신율 [MPa · %]
실시예1	139.2	245.3	20.2	15.7	3851
실시예4	160.1	252.1	16.3	12.9	3252
실시예11	142.0	273.0	15.5	15.1	4122
실시예12	154.0	280.0	16.0	15.7	4480

[0106] 표 3에서 볼 수 있듯이 본 발명의 실시예로 제시된 마그네슘 합금은 마그네슘의 융점보다 높은 700℃이상의 발화온도를 가지며, 특히 칼슘과 이트륨의 합산 함량이 증가할수록, 또한 알루미늄의 함량이 증가할수록 발화온도가 더욱 증가하는 것을 알 수 있다. 표 4는 실시예 1, 실시예 4, 실시예 11 및 실시예 12의 압출판재의 인장특성을 보여주며, 일반적으로 압출속도가 빠를수록 결정립 조대화가 현저하게 일어나기 때문에 기계적 특성이 저하되는 문제가 있지만, 본 발명의 실시예로 제시된 마그네슘 합금의 압출판재는 강도저하가 크지 않으면서 높은 연신율을 가짐을 확인할 수 있다.

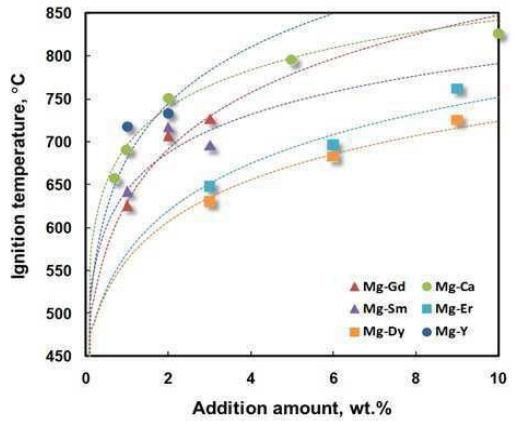
[0107] 이상으로 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 마그네슘 합금 및 그 제조방법을 첨부한 도면을 참고로 상세하게 설명하였다. 하지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기 실시예가 본 발명의 일례를 예시하는 것에 불과하고 다른 다양한 수정 및 변형이 가능하다는 것을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 오직 뒤에서 설명할 특허청구범위에 의해서만 한정된다.

도면

도면1



도면2



도면3

