



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0136832
 (43) 공개일자 2016년11월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22C 23/02 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
 C22F 1/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류
 C22C 23/02 (2013.01)
 C22C 1/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0070918
 (22) 출원일자 2015년05월21일
 심사청구일자 2015년05월21일

(71) 출원인
 한국기계연구원
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)

(72) 발명자
 박성혁
 경상남도 창원시 성산구 가음정로23번길 10-21,
 102-502(한림폴에버)
 김영민
 경상남도 창원시 진해구 해원로 45, 102동 1503호
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인
 김정수

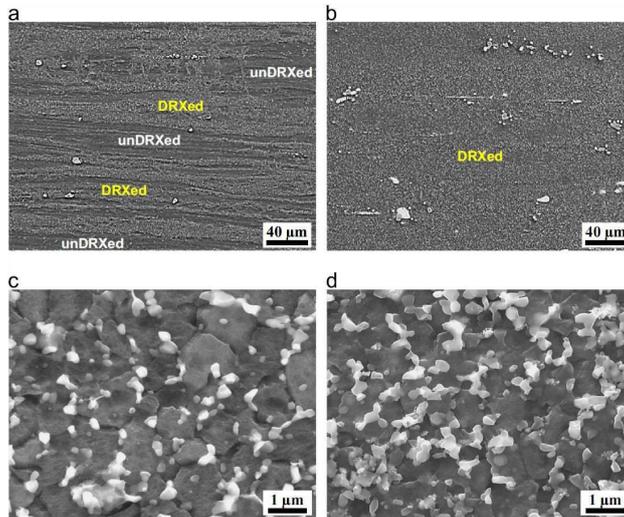
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **고강도 마그네슘 합금 가공재 및 이의 제조방법**

(57) 요약

본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재는, 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al); 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn); 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn); 마그네슘(Mg) 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하고, AZ80 등과 같은 상용 AZ계 마그네슘 합금(Mg-Al-Zn)과 비교해 보다 미세한 구조 결정립을 가지며, 주석(Sn)의 첨가를 통해 형성되는 Mg₂Sn 등과 같은 다량의 이차상 입자를 가짐으로써, 열간 또는 온간 가공 중에 동적 재결정화를 통해 형성된 미세한 결정립의 분율이 현저히 증가될 뿐만 아니라, 보다 많은 이차상 석출 입자 및 보다 높은 아연(Zn) 함량을 가지기 때문에, 결정립 미세화, 석출 강화 및 고용 강화를 통해 크게 향상된 강도를 가진다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

C22F 1/06 (2013.01)

(72) 발명자

유봉선

경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 트리비앙
204-1003

임창동

서울특별시 마포구 성암로 11길 60, 104동 901호

문병기

경상남도 창원시 진해구 풍호로35번길 11, 108동
1301호(자은동, 협성DS.이아이존빌)

배준호

경상남도 김해시 율하2로 125, 1006동 201호(율하
동, 율현마을 동원로알듀크아파트)

김하식

경상남도 창원시 마산회원구 구암북7길 3-1(
구암동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10037928

부처명 지식경제부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 WPM 사업

연구과제명 수송기기용 고강도 Mg 벌크재 개발

기여율 80/100

주관기관 (주) 동양강철

연구기간 2010.09.01 ~ 2019.03.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PNK4240

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 주요사업

연구과제명 친환경 자동차용 저비용/고특성 경량금속소재 기술 개발

기여율 20/100

주관기관 국가과학기술연구회

연구기간 2015.01.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al); 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn); 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn); 마그네슘(Mg) 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함하는 마그네슘 합금 가공재.

청구항 2

제 1항에 있어서,

0.05 내지 1.5 중량%의 망간(Mn) 또는 0.05 내지 1.5 중량%의 희토류 금속(rare-earth metal)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재.

청구항 3

제 1항에 있어서,

이차상(secondary phase)으로서 $Mg_{17}Al_{12}$ 및 Mg_2Sn 을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재.

청구항 4

제 1항에 있어서,

압출(extrusion), 압연(rolling) 또는 단조(forging)를 통해 가공된 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상용 AZ계 마그네슘 합금(Mg-Al-Zn)에 비해 고강도인 것인 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재.

청구항 6

(a) 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al), 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn), 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn), 마그네슘(Mg) 잔부 및 불가피한 불순물을 포함하는 마그네슘 합금의 용탕을 주조하여 마그네슘 합금 빌렛을 제조하는 단계;

(b) 상기 단계 (a)에서 제조된 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리하는 단계; 및

(c) 상기 단계 (b)에서 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 열간 또는 온간 가공하는 단계를 포함하는 마그네슘 합금 가공재의 제조방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 단계 (a)의 마그네슘 합금의 용탕은 0.05 내지 1.5 중량%의 망간(Mn) 또는 0.05 내지 1.5 중량%의 희토류 금속(rare-earth metal)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재의 제조방법.

청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 단계 (b)에서 350 내지 550℃에서 균질화 열처리하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재의 제조방법.

청구항 9

제 6항에 있어서,

상기 단계 (c)에서 열간 또는 온간 가공은 압연, 압출 또는 단조로부터 선택되는 1종 이상의 방법을 이용하여 수행하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 가공재의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고강도 마그네슘 합금 가공재 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 마그네슘 합금은 밀도가 1.8 g/cm³ 정도이고, 실용 구조재료 중 가장 낮은 비중, 우수한 비강도 및 비강성을 갖고 있어, 초경량 구조용 재료로서 연비향상 요구가 증대되는 차량 산업 및 운반성 향상 요구가 증대되는 전자제품에서 수요가 증대되고 있다. 특히, 차량 부품에 사용되는 마그네슘 합금은 구조적 안전성 확보를 위하여 구조용 재료로서의 일정 수준 이상의 고강도를 가져야 한다.

[0003] 이와 같은 마그네슘 합금에 대한 기존의 연구는 마그네슘의 우수한 주조성에 기초해 자동차 엔진이나 기어부품 등에 적용하기 위한 주조용 마그네슘 합금에 치중되어 있었으나, 마그네슘 합금 주조재는 주조결함을 가짐에 따라 보다 우수한 기계적 성질을 얻기 위해 압출, 압연 또는 단조 등의 가공 공정을 통하여 얻어지는 마그네슘 합금 가공재에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 상황이다.

[0004] 하지만, 상용 AZ31, AZ80 합금과 같은 AZ계 합금(Mg-Al-Zn)을 비롯한 기존의 상용 마그네슘 합금 가공재의 경우 일반적으로 상용 알루미늄 합금 및 철강소재에 비해 여전히 낮은 강도를 가진다.

[0005] 따라서, 마그네슘 합금 가공재의 활용범위를 확대하고 기존 알루미늄 합금 및 철강소재를 대체하기 위해서는 보다 고강도의 마그네슘 합금 가공재를 제조하는 방법에 관한 요구가 증대되고 있다.

[0006] 또한, 현재 이용되고 있는 구조용 금속재료 중 가장 가벼운 소재인 마그네슘의 경량화 효과를 극대화 시키기 위해서는 현재 상용 마그네슘 합금 보다 높은 강도를 가지는 새로운 합금이 요구된다. 이와 같은 마그네슘 합금 가공재의 경쟁력 향상 및 응용 분야 확대를 위해서는 고강도 가공재 합금이 절실히 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1277297호 (공개일 : 2012.08.28)
- (특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-0452263호 (공개일 : 2003.12.03)
- (특허문헌 0003) 한국등록특허 제10-1191438호 (공개일 : 2011.10.12)
- (특허문헌 0004) 한국등록특허 제10-0671196호 (공개일 : 2006.10.12)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 기계적 물성이 우수한 고강도의 마그네슘 합금 가공재 및 이의 제조방법에 관한 기술 내용을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 바와 같은 기술적 과제를 달성하기 위해서 본 발명은, 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al); 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn); 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn); 마그네슘(Mg) 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함하는 마그네슘 합금 가공재를 제공한다.

[0010] 또한, 상기 마그네슘 합금 가공재는 0.05 내지 1.5 중량%의 망간(Mn) 또는 0.05 내지 1.5 중량%의 희토류 금속

(rare-earth metal)을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0011] 또한, 상기 마그네슘 합금 가공재는 이차상(secondary phase)으로서 $Mg_{17}Al_{12}$ 및 Mg_2Sn 을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 상기 마그네슘 합금 가공재는 압출(extrusion), 압연(rolling) 또는 단조(forging)를 통해 가공된 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 상기 마그네슘 합금 가공재는 상용 AZ계 마그네슘 합금(Mg-Al-Zn)에 비해 고강도인 것인 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 본 발명은 (a) 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al), 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn), 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn), 마그네슘(Mg) 잔부 및 불가피한 불순물을 포함하는 마그네슘 합금의 용탕을 주조하여 마그네슘 합금 빌렛을 제조하는 단계; (b) 상기 단계 (a)에서 제조된 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리하는 단계; 및 (c) 상기 단계 (b)에서 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 열간 또는 온간 가공하는 단계를 포함하는 마그네슘 합금 가공재의 제조방법을 제공한다.
- [0015] 또한, 상기 단계 (a)의 마그네슘 합금의 용탕은 0.05 내지 1.5 중량%의 망간(Mn) 또는 0.05 내지 1.5 중량%의 희토류 금속(rare-earth metal)을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 상기 단계 (b)에서 350 내지 550℃에서 균질화 열처리하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 단계 (c)에서 열간 또는 온간 가공은 압연, 압출 또는 단조로부터 선택되는 1종 이상의 방법을 이용하여 수행하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재는, AZ80 등과 같은 상용 AZ계 마그네슘 합금(Mg-Al-Zn)과 비교해 보다 미세한 주조 결정립을 가지며, 주석(Sn)의 첨가를 통해 형성되는 Mg_2Sn 등과 같은 다량의 이차상 입자를 가짐으로써, 열간 또는 온간 가공 중에 동적 재결정화를 통해 형성된 미세한 결정립의 분율이 현저히 증가될 뿐만 아니라, 보다 많은 이차상 석출 입자 및 보다 높은 아연(Zn) 함량을 가지기 때문에, 결정립 미세화, 석출 강화 및 고용 강화를 통해 크게 향상된 강도를 가지므로, 기존 알루미늄 합금이나 철강이 사용되던 부품 또는 완제품의 대체 소재로서 사용되거나 마그네슘 합금의 적용 범위를 보다 확장시킬 수 있을 것으로 기대된다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명에 따른 마그네슘 합금 압출재의 제조방법을 나타낸 공정도이다.
 도 2는, (a) 비교예 3에서 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛의 광학현미경 이미지, (b) 실시예 2-1에서 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛의 광학현미경 이미지, (c) 비교예 3에서 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛의 SEM 이미지 및 (d) 실시예 2-1에서 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛의 SEM 이미지이다.
 도 3은 (a) 비교예 3에서 제조된 마그네슘 합금 압출재의 SEM 이미지, (b) 실시예 2-1에서 제조된 마그네슘 합금 압출재의 SEM 이미지, (c) 비교예 3에서 제조된 마그네슘 합금 압출재의 동적 재결정 영역에 대한 SEM 이미지 및 (d) 실시예 2-1에서 제조된 마그네슘 합금 압출재의 동적 재결정 영역에 대한 SEM 이미지이다.
 도 4는 실시예 2-1에서 제조된 마그네슘 합금 압출재의 (a) TEM 이미지, (b) Sn에 대한 EDXS 분석결과 및 (c) Al에 대한 EDXS 분석결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명을 상세히 설명하도록 한다.
- [0021] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재는 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al); 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn); 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn); 마그네슘(Mg) 잔부; 및 불가피한 불순물을 포함한 조성을 가지는 마그네슘 합금을 소성 가공하여 제조할 수 있다.

[0022] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재에 있어서 상기와 같이 합금 조성을 제한한 이유는 다음과 같다.

[0023] 알루미늄(Al)

[0024] Al은 Mg 기지(matrix) 내에서 최대 고용한이 437 °C에서 12.6 중량%로서, 7.0 중량% 이상 첨가시 열처리를 통하여 미세한 Mg₁₇Al₁₂ 석출상을 형성시켜 시효강화 거동을 나타낸다. 마그네슘 합금에 Al을 7.0 중량% 미만으로 첨가할 경우, 석출 강화 현상을 감소하여 높은 강도를 기대할 수 없으며, 9.5 중량%를 초과하여 첨가할 경우에는 주조시 형성된 조대한 Mg₁₇Al₁₂ 상의 분율이 과도하여 이를 열처리를 통해 충분히 제거하기 어려우며 가공열처리 이후에도 이러한 조대한 입자가 상당량 조직 내부에 존재하여 기계적 성질의 저하를 초래할 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 Al을 7.0 내지 9.5 중량%의 범위로 첨가하는 것이 바람직하다.

[0025] 주석(Sn)

[0026] Sn은 Mg 기지(matrix) 내에서의 최대 고용한이 561 °C에서 14.5중량%로서, 1.0 중량% 이상 첨가시 열처리를 통하여 미세한 Mg₂Sn 석출상을 형성시켜 시효강화 거동을 나타낸다. 마그네슘 합금에 Sn을 1.0 중량% 미만으로 첨가할 경우, 석출 강화 현상을 거의 기대할 수 없으며, 7.0 중량%를 초과하여 첨가할 경우에는 주조시 형성된 조대한 Mg₂Sn 상의 분율이 과도하여 이를 열처리를 통해 충분히 제거하기 어려우며 가공열처리 이후에도 이러한 조대한 입자가 상당량 조직 내부에 존재하여 기계적 성질의 저하를 초래할 수 있다. 따라서, 본 발명에서의 Sn은 1.0 내지 7.0 중량%의 범위로 첨가하는 것이 바람직하다.

[0027] 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재는 주석(Sn)을 상기한 함량으로 포함함에 따라 가공 중에 열적으로 안정하고 미세한 Mg₂Sn 석출상을 합금 조직 내에 균일하게 다량 형성시킴으로써 석출상에 의해 강한 피닝 효과(pinning effect)가 유도되어 새롭게 생성되는 재결정립의 성장을 억제하는 역할을 할 수 있다. 이렇게 결정립의 성장이 억제되어 마그네슘 합금 조직에 미세한 동적 재결정립이 형성되는데, 이러한 결정립 미세화로 인한 강화 효과가 발생하고, 석출상에 의한 고용 강화 효과로 인해 Mg-Al계 마그네슘 합금 등 기존의 합금에 비해 우수한 기계적 물성을 나타낼 수 있다.

[0028] 아연(Zn)

[0029] Zn는 마그네슘-주석계 합금에 첨가될 때 Mg₂Sn 상을 미세화하여 석출강화 효과를 증대시키고, 또한, 고용강화를 통해 합금의 강도 증가에 기여하는 것으로 알려져 있다. 마그네슘 합금에 Zn을 1.0 중량% 미만으로 첨가할 경우에는 이러한 효과를 충분히 기대하기 힘들며, 5.0 중량%를 초과하여 첨가할 경우 마그네슘 합금의 고상선 급격히 감소하여 균질화 열처리 후에도 조직 내 조대한 Mg₁₇Al₁₂ 또는 Mg₂Sn 상의 분율이 증가하여 합금의 기계적 성질의 저하를 초래할 수 있다. 따라서, 본 발명에서의 Zn은 1.0 내지 5.0 중량%의 범위로 첨가하는 것이 바람직하며, 나아가 1.5 내지 5.0 중량%의 범위로 첨가하는 것이 더욱 바람직하다.

[0030] 기타 불가피한 불순물

[0031] 본 발명에 따른 마그네슘 합금에는 합금의 원료 또는 제조과정에서 불가피하게 혼입되는 불순물을 포함할 수 있으며, 본 발명에 따른 마그네슘 합금에 포함될 수 있는 불순물 중에서도 특히, Fe, Cu 및 Ni은 마그네슘 합금의 내식성을 악화시키는 역할을 하는 성분이다. 따라서, Fe의 함량은 0.004 중량% 이하, Cu의 함량은 0.005 중량% 이하, Ni의 함량은 0.001 중량% 이하를 유지하도록 하는 것이 바람직하다.

[0032] 한편, 상기한 마그네슘 합금 가공재는 마그네슘 합금 가공재의 강도 및 내식성을 개선할 수 있도록 아래와 같이 특정 함량의 망간(Mn) 또는 희토류 금속을 더 포함하도록 구성할 수 있다.

- [0033] 망간(Mn)
- [0034] Mn은 고용강화 뿐 아니라 Al과 결합하여 다양한 분산입자를 형성하여 합금의 강도 증가에 기여하며 또한 합금의 내식성을 향상시키는 효과도 얻을 수 있다. 마그네슘 합금에 Mn을 0.05 중량% 미만으로 첨가할 경우 이러한 효과를 기대하기 힘들며, 1.5 중량%를 초과하여 첨가할 경우 750 ℃이하의 온도에서 용탕 내 조대한 Mn 입자가 형성되어 합금의 기계적 성질의 저하를 초래하게 된다. 따라서, 본 발명에서는 Mn을 0.05 내지 1.5 중량%의 범위로 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0035] 희토류 금속(rare-earth metal)
- [0036] 희토류 금속은 이트륨(Y), 네오디뮴(Nd), 사마륨(Sm), 디스프로슘(Dy), 홀뮴(Ho), 어븀(Er) 또는 토륨(Th) 등을 구체적인 예로 들 수 있으며, 상기한 희토류 금속은 마그네슘 합금의 조직을 미세화시키고 비저면 슬립계를 활성화시켜 제조되는 마그네슘 합금 가공재의 강도 및 연성을 향상시킬 수 있다. 마그네슘 합금에 희토류 금속을 0.05 중량% 미만으로 첨가할 경우 합금의 항복강도가 저하될 수 있으며 가공 경화 효과 및 내식성이 충분하지 않은 문제가 있고, 마그네슘 합금에 희토류 금속이 1.5 중량%를 초과해 첨가할 경우, 금속간 화합물이 과다하여 기계적 성질의 저하를 초래할 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 희토류 금속을 0.05 내지 1.5 중량%의 범위로 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0037] 상기한 바와 같은 고강도 마그네슘 합금 가공재를 제조하기 위해서, 본 발명에서는 (a) 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al), 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn), 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn), 마그네슘(Mg) 잔부 및 불가피한 불순물을 포함하는 마그네슘 합금의 용탕을 주조하여 마그네슘 합금 빌렛을 제조하는 단계; (b) 상기 단계 (a)에서 제조된 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리한 후 냉각하는 단계; 및 (c) 상기 단계 (b)에서 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 열간 또는 온간 가공하는 단계를 포함하는 마그네슘 합금 가공재의 제조방법을 제공한다(도 1).
- [0038] 상기 단계 (a)는 7.0 내지 9.5 중량%의 알루미늄(Al), 1.0 내지 7.0 중량%의 주석(Sn), 1.0 내지 5.0 중량%의 아연(Zn), 나머지 마그네슘(Mg) 및 불가피한 불순물을 포함하는 마그네슘 합금의 용탕을 주조하여 마그네슘 합금 빌렛을 제조하는 단계로서, 마그네슘 합금의 용탕을 제조한 후 이를 금속 몰드에 주입하여 빌렛을 주조할 수 있으며, 상기 단계 (a)의 주조는 상기 마그네슘 합금 용탕은 650℃ 내지 750℃로 열처리하여 주조하는 것이 바람직하다. 마그네슘 합금 용탕을 650℃ 미만에서 주조하는 경우에는 마그네슘 합금 용탕의 유동도가 낮아 주조가 어려운 문제가 있다. 또한, 마그네슘 합금 용탕을 750℃를 초과하여 주조하는 경우에는 마그네슘 합금 용탕이 급격하게 산화되어 주조시 불순물이 혼합될 수 있어 이로부터 제조된 마그네슘 합금 빌렛의 순도가 낮아지는 문제가 있다.
- [0039] 또한, 마그네슘 합금의 용탕은 마그네슘 합금의 원료를 용융하여 제조할 수 있는데, 상기 마그네슘 합금 용탕을 제조하는 방법은 당업에서 통상적으로 사용하는 방법이라면 이에 한정되지 않으며, 예를 들면, 중력주조, 연속주조, 사형주조 또는 가압주조 등을 사용할 수 있다.
- [0040] 또한, 본 단계에서는 마그네슘 합금 가공재의 강도 및 내식성을 개선하기 위해서, 마그네슘 합금의 용탕 제조시 전술한 바와 같이 0.05 내지 1.5중량%의 망간 또는 0.05 내지 1.5중량%의 희토류 금속을 더 포함하도록 구성할 수 있다.
- [0041] 상기 단계 (b)는 제조된 마그네슘 합금 빌렛을 균질화 열처리한 후 냉각하는 단계로서, 균질화 처리는 마그네슘 합금 용탕을 주조하는 과정에서 발생하는 합금원소의 편석으로 인한 불균질한 조직을 개선하고, 등축정 a-Mg 입자를 형성시켜 마그네슘 합금의 고온 가공성 및 기계적 특성을 향상시킬 수 있다.
- [0042] 균질화 처리 온도의 범위는 마그네슘 합금 빌렛을 구성하는 구성원소의 종류에 따라 당업자가 적절하게 선택할 수 있는데, 상기 마그네슘 합금 빌렛의 균질화 처리는 바람직하게는 350 내지 550℃에서 0.5 내지 96 시간 동안 열처리 공정을 수행할 수 있으며, 균질화 처리온도가 350℃ 미만인 경우에는 온도가 낮아 균질화 처리가 충분히

이루어지지 않고, 550℃를 초과하는 경우에는 마그네슘 합금 빌렛의 국부적인 용해가 발생하여 물성이 저하될 수 있는 문제가 있다.

- [0043] 그리고, 균질화 처리시간이 0.5시간 미만인 경우에는 마그네슘 합금 빌렛의 합금원소의 확산이 충분히 일어나지 않아 균질화 처리의 효과가 나타나지 않을 수 있고, 균질화 처리를 96 시간을 초과하여 수행되는 경우에는 수행 시간 대비 효과의 상승 폭이 크지 않아 경제적이지 않다.
- [0044] 또한, 균질화 처리를 통해 마그네슘 합금 빌렛의 조직을 과고용체 상태로 만들기 위해서 마그네슘 합금 빌렛을 급속냉각시킬 수 있도록 구성하는 것이 바람직하며, 이를 위해 마그네슘 합금 빌렛을 물로 냉각하는 수냉처리공정을 대표적인 예로 들 수 있다.
- [0045]
- [0046] 상기 단계 (c)는 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 열간 또는 온간 가공하는 단계로서, 본 단계에서는 상기 마그네슘 합금 빌렛을 압연, 압출 또는 단조 등으로부터 선택되는 1종 이상의 공지의 소성 가공 방법을 이용하여 열간 또는 온간 가공을 실시한다. 그리고, 마그네슘 합금 빌렛을 압연, 압출 또는 단조로 소성 가공 방법을 제한하지 않으며, 당업에서 통상적으로 사용하는 방법이라면 이에 한정되지 않는다.
- [0047] 예를 들어, 마그네슘 합금을 직접 압출 또는 간접 압출하여 마그네슘 합금 가공재를 제조할 수 있으며, 이와 같이 압출 공정을 실시할 경우에는 보다 미세한 결정립의 형성을 위해 균질화 열처리된 마그네슘 합금 빌렛을 250 내지 350 ℃의 온도로 0.5 내지 2시간 동안 예열한 후 압출하는 것이 바람직하다.
- [0048] 앞서 상세히 설명한 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재는, AZ80 등과 같은 상용 AZ계 마그네슘 합금(Mg-Al-Zn)과 비교해 보다 미세한 구조 결정립을 가지며, Sn의 첨가를 통해 형성되는 Mg₂Sn 등과 같은 다량의 이차상 입자를 가짐으로써, 열간 또는 온간 가공 중에 동적 재결정을 통해 형성된 미세한 결정립의 분율이 현저히 증가될 뿐만 아니라, 보다 많은 이차상 석출 입자 및 보다 높은 아연(Zn) 함량을 가지기 때문에, 결정립 미세화, 석출 강화 및 고용 강화를 통해 크게 향상된 강도를 가지므로, 기존 알루미늄 합금이나 철강이 사용되던 부품 또는 완제품의 대체 소재로서 사용되거나 마그네슘 합금의 적용 범위를 보다 확장시킬 수 있을 것으로 기대된다.
- [0049] 이하, 본 발명을 실시예를 들어 더욱 상세히 설명하도록 한다.
- [0050] 제시된 실시예는 본 발명의 구체적인 예시일 뿐이며, 본 발명의 범위를 제한하기 위한 것은 아니다.
- [0051] <실시예 1-1 내지 실시예 1-3>
- [0052] 단계 1: 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재를 제조하기 위해서 하기 표 1의 조성을 갖는 마그네슘 합금 주조 빌렛을 아래와 같이 제조하였다.
- [0053] 우선, 도가니에 순수 마그네슘을 장입한 후 CO₂와 SF₆ 혼합보호 가스 주입하에 730℃ 내지 750℃까지 가열하여 용해시킨 후, 하기 표 1에 기재된 바와 같이 합금원소들을 첨가하여 약 20분간 유지하여 용탕을 안정화시키고, 용탕의 온도가 720 ℃ 내지 730 ℃ 가 되었을 때 210 ℃로 예열된 스틸몰드에 부어 마그네슘 합금 주조 빌렛을 주조하였다.
- [0054] 단계 2: 상기 단계 1에서 주조된 빌렛을 하기 표 1과 같은 조건에서 균질화 열처리하고 수냉시켰다.
- [0055] 단계 3: 상기 단계 2에서 균질화 처리된 빌렛은 직경 50mm, 길이 200mm로 가공한 후 250 ℃의 저항로에서 1시간 동안 예열처리한 후, 압출기를 이용하여 250 ℃의 압출 온도, 1.2 m/분의 압출속도 및 20:1의 압출비로 간접압출(indirect extrusion)하여 마그네슘 합금 압출재를 제조하였다.

[0056] [표 1]

비고	합금명	합금조성(중량%)					균질화 처리 조건		압출재 물성	
		Al	Sn	Zn	Mn	Mg	온도 (°C)	시간 (h)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
비교예 1	AZ31	3	-	1	-	Bal.	400	24	179	268
비교예 2	AZ80	8	-	0.5	0.2	Bal.	400	24	205	324
실시예 1-1	ATZ822	8	2	2	0.2	Bal.	390	24	258	361
실시예 1-2	ATZ842	8	4	2	0.2	Bal.	390	24	280	370
실시예 1-3	ATZ862	8	6	2	0.2	Bal.	390	24	287	354

[0057]

[0058] <실시예 2-1 및 실시예 2-2>

[0059] 단계 1: 본 발명에 따른 마그네슘 합금 가공재를 제조하기 위해서 하기 표 2의 조성을 갖는 마그네슘 합금 주조 빌렛을 제조하였다.

[0060] 우선, 도가니에 순수 마그네슘을 장입한 후 CO₂와 SF₆ 혼합보호 가스 주입하에 730 °C 내지 750 °C까지 가열하여 용해시킨 후, 하기 표 2에 기재된 바와 같이 합금원소들을 첨가하여 약 20분간 유지하여 용탕을 안정화시키고, 용탕의 온도가 720 °C 내지 730 °C가 되었을 때 210 °C로 예열된 스틸몰드에 부어 마그네슘 합금 주조 빌렛을 주조하였다.

[0061] 단계 2: 상기 단계 1에서 주조된 빌렛을 하기 표 2와 같은 조건에서 균질화 열처리하고 수냉시켰다.

[0062] 단계 3: 단계 3: 상기 단계 2에서 균질화 처리된 빌렛은 직경 50mm, 길이 200mm로 가공한 후 250 °C의 저항로에서 1시간 동안 예열처리한 후, 20:1의 압출비, 250 °C의 압출 온도 및 0.12 m/분의 압출속도로 직접압출(direct extrusion)하여 마그네슘 합금 압출재를 제조하였다.

[0063] [표 2]

비고	합금명	합금조성(중량%)					균질화 처리 조건		압출재 물성	
		Al	Sn	Zn	Mn	Mg	온도 (°C)	시간 (h)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
비교예 3	AZ80	8	-	0.5	0.2	Bal.	400	24	328	369
실시예 2-1	ATZ842	8	4	2	0.2	Bal.	390	24	371	415
실시예 2-2	ATZ844	8	4	4	0.2	Bal.	370	24	371	408

[0064]

[0065] <비교예 1>

[0066] 상기 표 1의 합금조성, 균질화 처리조건을 갖는 것을 제외하고는 실시예 1-1과 동일한 방법을 사용하여 마그네슘 합금 압출재를 제조하였다.

[0067] <비교예 2>

[0068] 상기 표 1의 합금조성, 균질화 처리조건을 갖는 것을 제외하고는 실시예 1-1과 동일한 방법을 사용하여 마그네슘 합금 압출재를 제조하였다.

[0069] <비교예 3>

[0070] 상기 표 2의 합금조성, 균질화 처리조건을 갖는 것을 제외하고는 실시예 2-1과 동일한 방법을 사용하여 마그네슘 합금 압출재를 제조하였다.

[0071] <실험예 1> 마그네슘 합금 압출재의 미세조직 분석

[0072] (1) 실시예 2-1 및 비교예 3에서 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛의 미세조직 관찰

[0073] 도 2a 및 도 2b는 광학 현미경(OM)을 이용해 촬영된 이미지로서, 도 2a 및 도 2b를 참조하면 본원 실시예 2-1에

서 제조된 균질화 처리 후의 마그네슘 합금 빌렛(도 2b)은 용해되지 않은 다수의 이차상 입자를 포함할 뿐만 아니라, 등축정(equiaxed) a-Mg 평균 결정립 크기가 약 140 μm 으로서, 약 380 μm 의 평균 결정립 크기를 가지는 비교예 3에서 제조된 상용 마그네슘 합금 빌렛(도 2a)에 비해 결정립 크기가 현저히 크기가 감소한 것을 확인할 수 있다.

[0074] 도 2c 및 도 2d는 전계방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM)을 이용해 촬영된 이미지로서, 도 2c 및 도 2d를 참조하면 비교예 3의 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛(도 2c)에서는 소량의 Al_8Mn_5 이차상을 포함하는 것으로 나타난 반면, 실시예 2-1에서 균질화 처리된 마그네슘 합금 빌렛(도 2d)에서는 Al_8Mn_5 입자는 물론, 직경 3 내지 20 μm 의 상대적으로 큰 Mg_2Sn 입자 및 직경 0.5 내지 0.8 μm 의 상대적으로 작은 Mg_2Sn 입자를 다량 포함하고 있는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 이차상 입자의 부피 분율은 약 1.5%에 이르는 것을 알 수 있다.

[0075] (2) 실시예 2-1 및 비교예 3에서 제조된 마그네슘 합금 압출재의 미세조직 관찰

[0076] 도 3a 및 도 3b는 전계방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM)을 이용해 촬영된 이미지로서, 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 비교예 3의 마그네슘 합금 압출재(도 3a)는 부분적으로 동적 재결정이 이루어짐(dynamically recrystallized, DRXed)에 따라 동적 재결정되지 않은(unDRXed) 조대한 결정립을 약 36 %의 부피 분율로 포함하는 반면에, 실시예 2-1의 마그네슘 합금 압출재(도 3b)의 경우에는 합금 조직이 전체적으로 동적 재결정화된 것을 확인할 수 있다.

[0077] 상기와 같은 동적 재결정화 정도의 차이는, 실시예 2-1의 마그네슘 합금 압출재의 경우에는, 압출 전의 크기 3 내지 20 μm 인 Mg_2Sn 입자들이 압출과정 중에 부분적으로 파괴되더라도 여전히 1 μm 를 초과하는 크기를 유지해 제2상 입자 야기 재결정 핵형성(particle stimulated nucleation, PSN) 현상으로 알려진 바와 같이 재결정을 위한 핵생성 자리(nucleation site)로서 역할을 함으로써 동적 재결정이 이루어지는 정도가 현저히 향상되기 때문이다. 또한, 실시예 2-1의 마그네슘 합금의 경우에는 비교예 3의 마그네슘 합금과 비교해 압출 전의 결정립 크기가 상대적으로 작기 때문에 핵생성 자리로서 역할을 하는 결정립계의 밀도가 높아 보다 증가된 동적 재결정 분율을 형성하게 된다.

[0078] 도 3c 및 도 3d는 전계방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM)을 이용해 동적 재결정 영역을 대상으로 촬영된 이미지로서, 도 3c 및 도 3d를 참조하면, 실시예 2-1 및 비교예 3의 마그네슘 합금 압출재의 모두에서 미세한 재결정립과 많은 석출상 입자가 관찰된다. 그러나, 실시예 2-1의 마그네슘 합금 압출재(도 3d)의 경우에는 재결정립의 크기가 약 0.8 μm 로서 비교예 3의 마그네슘 합금 압출재(도 3c)의 재결정립 크기(약 1 μm)보다 미세한 결정립을 가질 뿐만 아니라, 석출 입자의 개수나 전체 부피 분율도 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

[0079] 또한, 실시예 2-1의 마그네슘 합금 압출재에 대한 투과 전자 현미경(TEM) 이미지(도 4a) 및 도 4a의 녹색 직사각형 구획 내의 영역에 대한 에너지 분산 X-선 분광분석(energy dispersive X-ray spectroscopy, EDXS) 결과(도 4b 및 도 4c)에 따르면, 실시예 2-1의 마그네슘 합금 압출재는 열간 압출 중 과고용체로부터 동적 석출에 의해 형성된 다량의 100 내지 200 nm 크기의 미세한 막대형 또는 구형의 Mg_2Sn 입자 및 200 내지 400 nm 크기의 미세한 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 입자를 가진다. 또한, 균질화 처리에 의해 고용되지 않은 0.5 내지 0.8 μm 크기의 Mg_2Sn 입자가 압출 후에도 그대로 포함하는 것으로 나타났는데, 이러한 수많은 입자들은 소성 변형 동안 전위의 이동을 방해하는 석출 강화 또는 분산 강화 효과를 가져온다. 또한, 마그네슘 고용체의 저면 슬립계(basal slip system)의 임계 분해 전단 응력(critical resolved shear stress) 증가에 있어서, 아연(Zn)이 알루미늄(Al)보다 효과적이라는 것을 고려할 때, 비교예 3의 마그네슘 합금 압출재에 비해 보다 높은 아연 함량을 가지는 실시예 2-1의 마그네슘 합금 압출재가 보다 향상된 고용 강화 효과를 가질 것으로 예상할 수 있다.

[0080] <실험예 2> 마그네슘 합금 압출재의 기계적 특성 분석

[0081] 마그네슘 합금 압출재의 기계적 특성을 분석하기 위해서, 제조된 마그네슘 합금 압출재를 가공하여 얻어진 게이

지 직경 6 mm, 게이지 길이 25 mm를 가지는 인장 시험편에 대해 INSTRON 4206 시험기를 이용하여 상온에서 0.001/초의 변형률 속도로 인장 시험을 수행하였으며 그 결과를 상기 표 1 및 표 2에 나타내었다.

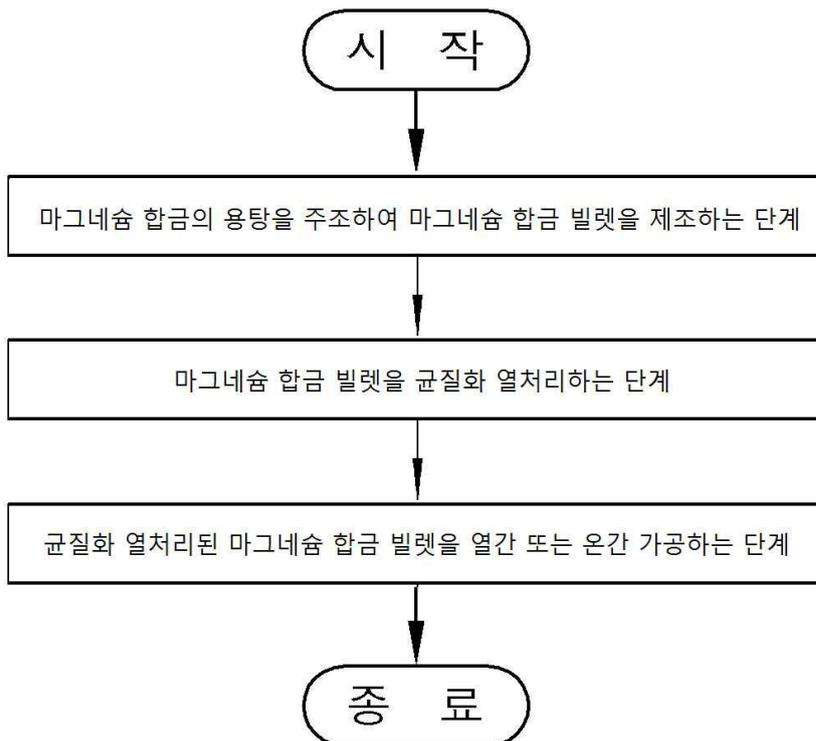
[0082] 표 1에서 알 수 있는 바와 같이, 비교예 1 및 비교예 2의 마그네슘 합금 압출재에 비해 실시예 1-1 내지 실시예 1-3의 마그네슘 합금 압출재의 인장강도 및 항복강도가 크게 향상된 것으로 나타났으며, 실시예 1-2의 ATZ842 마그네슘 합금 압출재는 비교예 1의 AZ31 상용 마그네슘 합금 압출재에 비해 항복강도는 56%, 인장강도는 38% 향상된 물성을 보인다.

[0083] 그리고, 표 2에서도 마찬가지로 실시예 2-1 및 2-2의 마그네슘 합금 압출재의 경우에도 비교예 3의 마그네슘 합금 압출재에 비해 인장강도 및 항복강도가 향상된 것을 확인할 수 있으며, 실시예 2-1의 ATZ842 마그네슘 합금 압출재는 비교예 3의 AZ80 상용 고강도 마그네슘 합금 압출재에 비해 항복강도는 13%, 인장강도는 12% 향상된 물성을 보인다.

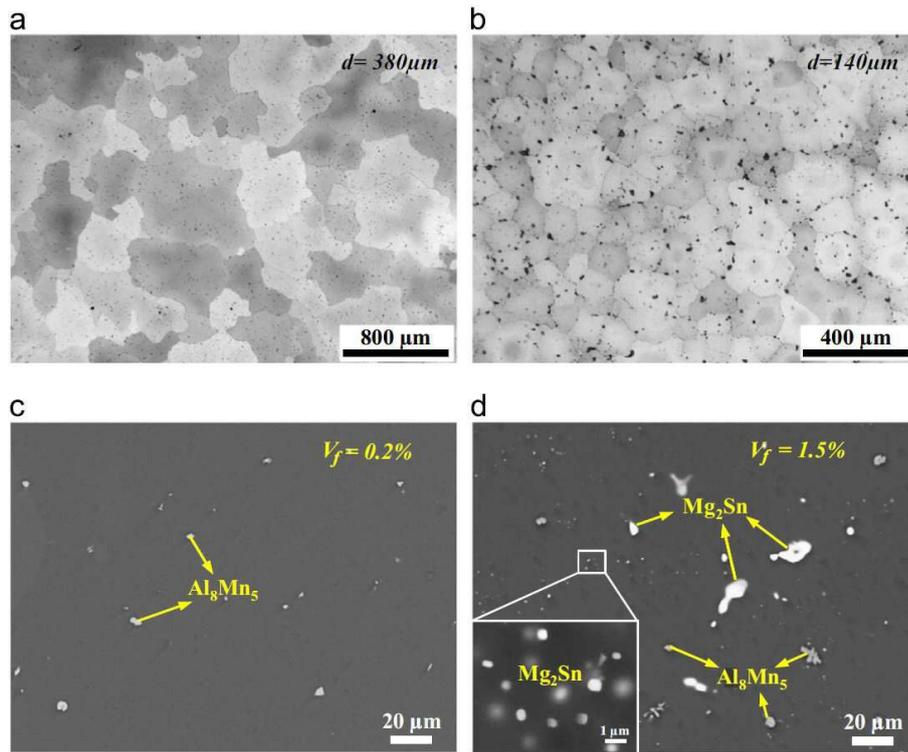
[0084] 상기의 결과로부터, 본 발명에 따른 마그네슘 합금 압출재는 종래의 마그네슘 합금 압출재에 비해 우수한 강도를 가짐을 알 수 있으며, 이러한 고강도 압출재는 수송기기 분야 등 산업 전반에 부품의 경량화를 위해 사용될 수 있다.

도면

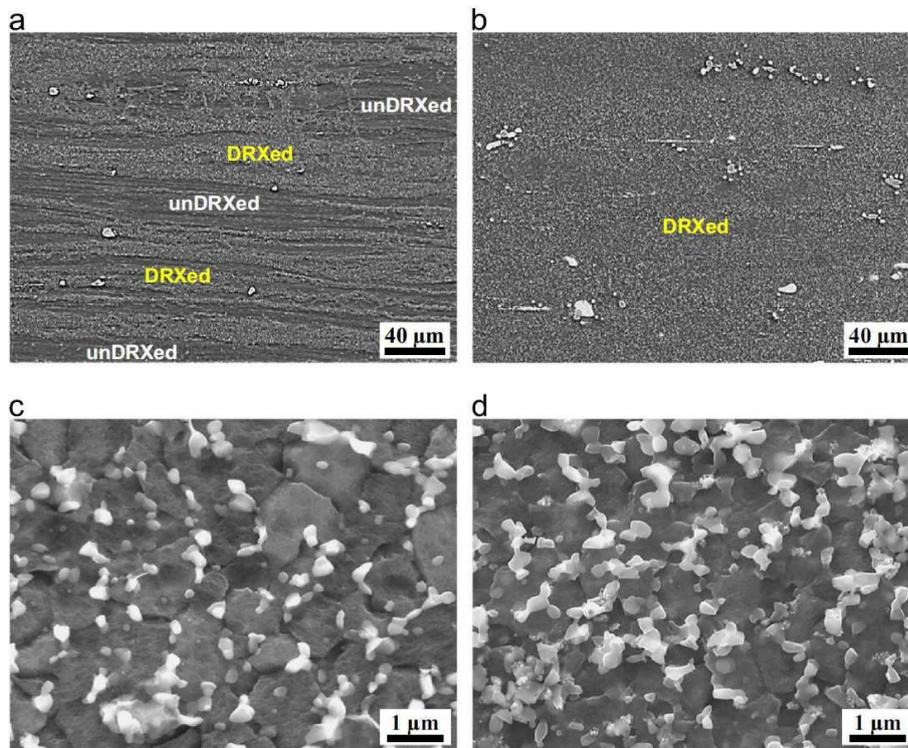
도면1



도면2



도면3



도면4

