(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년05월09일
(11) 등록번호 10-2803978
(24) 등록일자 2025년04월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*C22C 23/00* (2006.01) *B21C 23/00* (2006.01)
*C22F 1/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*C22C 23/00* (2013.01)
*B21C 23/005* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7036337
(22) 출원일자(국제) 2021년04월06일
심사청구일자 2022년12월05일
(85) 번역문제출일자 2022년10월19일
(65) 공개번호 10-2022-0162137
(43) 공개일자 2022년12월07일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2021/014666
(87) 국제공개번호 WO 2021/215241
국제공개일자 2021년10월28일
(30) 우선권주장
JP-P-2020-075667 2020년04월21일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP5146767 B2*
JP2011219820 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
**고쿠리츠켄큐카이하츠호진 상교기쥬츠 소고켄큐쇼**
일본 도쿄도 치요다쿠 카스미가세키 1-3-1
(72) 발명자
**비안 밍제**
일본 아이치켄 나고야시 모리야마쿠 오아자시모시다미 아자아나가호라 2266반치 98 고쿠리츠켄큐카이하츠호진 상교기쥬츠 소고켄큐쇼 츄부 센터 나이
**후앙 진셍**
일본 아이치켄 나고야시 모리야마쿠 오아자시모시다미 아자아나가호라 2266반치 98 고쿠리츠켄큐카이하츠호진 상교기쥬츠 소고켄큐쇼 츄부 센터 나이
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**하영욱**

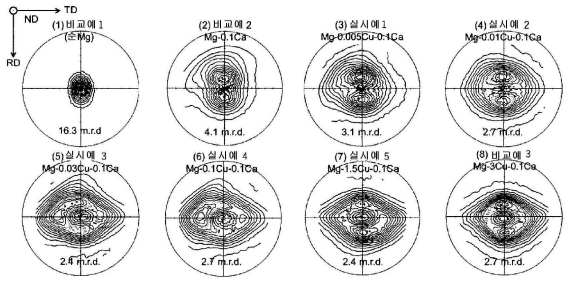
전체 청구항 수 : 총 14 항 심사관 : 이상훈

(54) 발명의 명칭 **마그네슘 합금, 마그네슘 합금판, 마그네슘 합금봉 및 이들의 제조 방법, 마그네슘 합금 부재**

## (57) 요 약

Cu의 함유량이 0~1.5질량%, Ni의 함유량이 0~0.5질량%, Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%, Al의 함유량이 0~0.5질량%, Zn의 함유량이 0~0.3질량%, Mn의 함유량이 0~0.3질량%, Zr의 함유량이 0~0.3질량%이며, 상기 Cu와 상기 Ni의 총량이 0.005질량%~2.0질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물인 마그네슘 합금으로 한다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*C22F 1/06* (2013.01)
(72) 발명자
**치노 야스마사**
일본 아이치켄 나고야시 모리야마쿠 오아자시모시다미 아자아나가호라 2266반치 98 고쿠리츠켄큐카이하츠호진 상교기쥬츠 소고켄큐쇼 츄부 센터 나이
**나카츠가와 이사오**
일본 아이치켄 나고야시 모리야마쿠 오아자시모시다미 아자아나가호라 2266반치 98 고쿠리츠켄큐카이하츠호진 상교기쥬츠 소고켄큐쇼 츄부 센터 나이

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

Cu의 함유량이 0~1.5질량%,

Ni의 함유량이 0.01~0.5질량%,

Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%,

Al의 함유량이 0~0.5질량%,

Zn의 함유량이 0~0.3질량%,

Mn의 함유량이 0~0.3질량%,

Zr의 함유량이 0~0.3질량%이며,

상기 Cu와 상기 Ni의 총량이 0.01~2.0질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 Cu의 함유량이 0.005~1.5질량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

### 청구항 3

삭제

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 Cu의 함유량이 0.03~0.3질량%이며,

상기 Ca의 함유량이 0.1~0.5질량%이며,

상기 Al의 함유량이 0.1~0.5질량%인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

JIS H0541(2003)에 의한 염수 침지 시험에 의해 측정되는 부식 속도가 4mg/㎠/day 이하인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금.

### 청구항 6

제 1 항에 기재된 마그네슘 합금을 포함하는 마그네슘 합금판으로서, 모상(Mg상)에 있어서의 조밀 육방정의 (0001)면의 집적도가 3.8 이하인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금판.

### 청구항 7

제 1 항에 기재된 마그네슘 합금을 포함하는 마그네슘 합금봉으로서, 모상(Mg상)에 있어서의 조밀 육방정의 (0001)면의 집적도가 6.8 이하인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금봉.

### 청구항 8

제 1 항에 기재된 마그네슘 합금을 제작하는 주조 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금의 제조

방법.

**청구항 9**

제 1 항에 기재된 마그네슘 합금으로 이루어지는 마그네슘 합금 빌릿을 제작하는 주조 공정;

상기 마그네슘 합금 빌릿 또는 그 가공물을, 200℃~500℃에서 압연하는 압연 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금판의 제조 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 압연 공정 후에, 200℃~500℃에서 행하는 어닐링 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금판의 제조 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 어닐링 공정 후에, 150~250℃에서 열처리하는 시효 처리 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금판의 제조 방법.

**청구항 12**

제 1 항에 기재된 마그네슘 합금으로 이루어지는 마그네슘 합금 빌릿을 제작하는 주조 공정;

상기 마그네슘 합금 또는 그 가공물을, 200℃~500℃에서 압출 가공하는 압출 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금봉의 제조 방법.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 압출 공정 후에, 200℃~500℃에서 행하는 어닐링 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금봉의 제조 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 어닐링 공정 후에, 150~250℃에서 열처리하는 시효 처리 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금봉의 제조 방법.

**청구항 15**

제 1 항에 기재된 마그네슘 합금을 포함하는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 부재.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은, 우수한 실온 성형성과 열전도 특성을 갖는 마그네슘 합금, 마그네슘 합금판, 마그네슘 합금봉 및 이들의 제조 방법, 마그네슘 합금 부재에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 마그네슘 합금은, 실용 금속 중에서 가장 비중이 작기 때문에, 항공기, 자동차, 전자 기기의 분야에 있어서 경량화 재료로서 그 적용이 기대되고 있지만, 결정 구조는 조밀 육방 구조를 갖고, 실온 부근에서의 미끄러짐계의 수가 적고, 실온에서의 성형성이 낮은 것이 알려져 있다. 이것은, 마그네슘 합금판, 모상(Mg상)의 결정 집합 조직에 있어서, 조밀 육방 구조의 (0001)면이 가공 방향에 대하여 평행하게 배열되어 있는 것에 의한다. 이 (0001)면의 배향을 극력 랜덤으로 하면 성형성이 향상되는 것으로 생각되고 있다.

[0003] 특허문헌 1에는, 롤러레벨러에 의해 실온에서 전단 변형을 가하고, 그 후, 재결정 열처리를 복수회 행함으로써 모상(Mg상)의 (0001)면의 배향을 랜덤화하는 기술이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 2에는, 고상선 근방에서 압연 가공을 행하고, 그 후, 재결정 열처리를 행함으로써 (0001)면의 배향을 랜덤화하는 기술이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 3에는, Mg-Zn계 합금에 희토류 원소나 칼슘 등의 특정 원소를 미량 첨가함으로써, (0001)면의 배향을 랜덤화하는 기술이 기재되어 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 2005-298885호 공보

(특허문헌 0002) 일본 특허 공개 2010-133005호 공보

(특허문헌 0003) 일본 특허 공개 2010-13725호 공보

### 비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) 알루미늄 핸드북(제4판), 경금속 협회 표준화 종합 위원회편, 경금속 협회(1990), 25쪽

(비특허문헌 0002) 마그네슘 기술 편람, 일본 마그네슘 협회 마그네슘 기술 편람 편집 위원회편, 카로스 출판(2000), 58쪽

(비특허문헌 0003) G.Y. Oh, Y.G. Jung, W. Yang, S.K. Kim, H.K. Lim, Y.J. Kim: Mater. Trans. Vol.56(2015), pp.1887-1892.

(비특허문헌 0004) Z.H. Li, T.T. Sasaki, T. Shiroyama, A. Miura, K. Uchida, K. Hono: Materials Research Letters Vol.8(2020), pp.335-340.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 그렇지만, 특허문헌 1-3의 방법에 의해 마그네슘 합금의 실온 성형성은 개선했지만, 마그네슘 합금 판재나 마그네슘 합금봉으로서의 실용화는 이루어지지 않고 있는 것이 현상이다. 특허문헌 1-3의 방법에 의한 마그네슘 합금의 실용화를 저해하고 있는 요인의 하나로서는, 마그네슘 합금판이나 마그네슘 합금봉과 경합 관계에 있는 알루미늄 합금판 및 봉재와 비교하여, 각종 기능 특성(예를 들면, 열전도 특성)이 뒤떨어지는 점을 들 수 있다.

[0007] 예를 들면, 열전도 특성에 주목하면, 구조 용도에 사용되는 알루미늄 합금 판재 및 봉재의 실온(25℃)에 있어서의 열전도율은, 2000계 합금(2024 합금-T6)으로 150(W/m·K), 3000계 합금(3004 합금:전체 질별 평균)으로 160(W/m·K), 5000계 합금(5083 합금:전체 질별 평균)으로 120(W/m·K), 6000계 합금(6061 합금-T6)으로 170(W/m·K), 7000계 합금(7075-T6)으로 130(W/m·K)이다(비특허문헌 1).

[0008] 한편, 범용 마그네슘 합금 판재나 마그네슘 합금봉(AZ31 합금: Mg-3질량% Al-1질량% Zn 합금)의 실온(20℃)에 있어서의 열전도율은 75(W/m·K)(비특허문헌 2)이며, 높은 방열 특성이 필요로 되는 수송 기기의 전자 부품용 하우징이나, 노트 PC, 스마트폰 등의 소형 정보기 용기 하우징에의 적용이 어려운 것이 문제가 되고 있다.

[0009] 또한, AZ31 합금의 모상(Mg)상에는, 가공한 재료의 표면에 평행하게 조밀 육방정의 (0001)면이 존재하고, 그 (0001)면의 집적도가 매우 높고, 실온에서는 (0001)면에서만 미끄럼 변형을 할 수 없기 때문에, 일반적인 AZ31 합금판 및 봉은 실온에서의 성형이 곤란하다.

[0010] 이러한 상황에 있어서, 마그네슘 합금의 실온에 있어서의 열전도 특성을 개선하는 연구가 정력적으로 이루어지고, 실온(25~30℃)에 있어서 우수한 열전도 특성을 갖는 합금으로서, Mg-Zn-Ca계 합금(110~120(W/m·K))이 주목받고 있다(비특허문헌 3, 4). 그렇지만, Mg-Zn-Ca계 합금은 범용 마그네슘 합금과 비교하여 약 50% 높은 열전도율(110~120(W/m·K))을 갖고 있지만, 구조용 알루미늄 합금의 실온(25℃)의 열전도율(120~170(W/m·K))과 비교하면 낮고, 방열 특성이 필요로 되는 부재에 마그네슘 합금 부재를 채용하기 위해서는, 더욱 높은 열전도율

을 갖는 마그네슘 합금(합금판이나 합금봉)의 개발이 요망되고 있다.

[0011] 본 발명은, 이상과 같은 사정에 비추어 보아 이루어진 것이며, 실온에서의 성형이 용이하며, 또한 높은 열전도율(방열 특성)을 갖는 마그네슘 합금, 마그네슘 합금판, 마그네슘 합금봉 및 이들의 제조 방법, 마그네슘 합금 부재를 제공하는 것을 과제로 하고 있다.

## 과제의 해결 수단

[0012] 상기의 과제를 해결하기 위해서, 본 발명의 마그네슘 합금은,

[0013] Cu의 함유량이 0~1.5질량%,

[0014] Ni의 함유량이 0~0.5질량%,

[0015] Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%,

[0016] Al의 함유량이 0~0.5질량%,

[0017] Zn의 함유량이 0~0.3질량%,

[0018] Mn의 함유량이 0~0.3질량%,

[0019] Zr의 함유량이 0~0.3질량%이며,

[0020] 상기 Cu와 상기 Ni의 총량이 0.005~2.0질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물인 것을 특징으로 하고 있다.

[0021] 본 발명의 마그네슘 합금판은, 상기의 본 발명의 마그네슘 합금을 포함하는 마그네슘 합금판으로서, 모상(Mg상)에 있어서의 조밀 육방정의 (0001)면의 집적도가 3.8 이하인 것을 특징으로 하고 있다.

[0022] 본 발명의 마그네슘 합금봉은, 상기의 본 발명의 마그네슘 합금을 포함하는 마그네슘 합금봉으로서, 모상(Mg상)에 있어서의 조밀 육방정의 (0001)면의 집적도가 6.8 이하인 것을 특징으로 하고 있다.

[0023] 본 발명의 마그네슘 합금의 제조 방법은, 상기의 마그네슘 합금을 제작하는 주조 공정을 포함하는 것을 특징으로 하고 있다.

[0024] 본 발명의 마그네슘 합금판의 제조 방법은, 상기의 마그네슘 합금으로 이루어지는 마그네슘 합금 빌릿을 제작하는 주조 공정;

[0025] 상기 마그네슘 합금 빌릿 또는 그 가공물을, 200℃~500℃에서 압연하는 압연 공정을 포함하는 것을 특징으로 하고 있다.

[0026] 본 발명의 마그네슘 합금봉의 제조 방법은, 상기의 마그네슘 합금으로 이루어지는 마그네슘 합금 빌릿을 제작하는 주조 공정;

[0027] 상기 마그네슘 합금 또는 그 가공물을, 200℃~500℃에서 압출 가공하는 압출 공정을 포함하는 것을 특징으로 하고 있다.

[0028] 본 발명의 마그네슘 합금 부재는, 상기의 마그네슘 합금을 포함하는 것을 특징으로 하고 있다.

## 발명의 효과

[0029] 본 발명의 마그네슘 합금, 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 실온 성형이 용이하며, 또한 우수한 열전도율(방열 특성)을 갖는다. 따라서, 예를 들면 방열 특성이 필요로 되는 수송 기기용 전자 부품용 하우징(PCU 케이스 등)이나, 스마트폰이나 노트 PC 등의 정보 기기 하우징 등의 부재로서 사용한 경우에, 우수한 방열성과 실온 성형성을 발휘한다. 본 발명의 제조 방법에서는, 실온 성형이 용이하며, 또한 우수한 방열 특성을 갖는 마그네슘 합금 및 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉을 확실하게 얻을 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 실시예 1~5와 비교예 1~3의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직을 X선 회절에 의해 분석한 결과를 나타내는 도이다.

도 2는 실시예 1~5와 비교예 2, 3의 조직을 X선 회절에 의해 정성적으로 분석한 결과를 나타내는 도이다.

도 3은 실시예 3, 6~8과 비교예 4, 5, 7의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직을 X선 회절에 의해 분석한 결과를 나타내는 도이다.

도 4는 실시예 3, 7, 8과 비교예 7의 조직을 X선 회절에 의해 정성적으로 분석한 결과를 나타내는 도이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0031] 순 마그네슘의 실온(20℃)에 있어서의 열전도율은 167(W/m·K)이며, 구조용 알루미늄 합금과 거의 동등한 열전도율을 갖는 것이 알려져 있다(비특허문헌 2). 그렇지만, 마그네슘 합금의 열전도율은, 마그네슘에 고용하는 원소를 첨가하면 저하하는 경향이 있으며, 마그네슘에 가장 많이 고용하는 경향이 있는 Al을 첨가하면, 현저하게 열전도율은 저하한다. 예를 들면, AZ31 합금(Mg-3질량% Al-1질량% Zn 합금)의 실온(20℃)의 열전도율은 75(W/m·K)까지 저하한다(비특허문헌 2). Zn이나 Ca는 Al과 비교하여 마그네슘에는 고용하지 않기 때문에, Mg-Zn-Ca계 합금의 실온(25~30℃)의 열전도율(110~120(W/m·K))은 AZ31 합금보다 높은 열전도율을 나타낸다(비특허문헌 3, 비특허문헌 4).

[0032] 또한, 상술한 바와 같이, Mg-Zn계 합금에 Ca를 미량 첨가하면, 모상(Mg상)의 (0001)면의 배향을 랜덤화할 수 있고, 마그네슘 합금의 실온 성형성을 비약적으로 개선할 수 있다. 한편, 마그네슘 중에 Al은 437℃에서 최대 13%, Zn은 340℃에서 최대 6.2%, Ca는 516.5℃에서 최대 1.34% 고용한다(마그네슘 기술 편람, 일본 마그네슘 협회 마그네슘 기술 편람 편집 위원회편, 카로스 출판(2000), 78~78쪽). 따라서, Al이나 Zn이나 Ca보다, 마그네슘 중에 고용하지 않는 원소를 첨가하여, 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 모상(Mg상)의 (0001)면의 집적도를 약화시킬 수 있으면, 높은 실온 성형성과 높은 열전도도 특성의 양방을 갖는 마그네슘 합금 및 이것을 사용한 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉을 개발할 수 있는 것으로 생각되었다.

[0033] 본 발명자들은, Zn이나 Ca보다 마그네슘에 고용하지 않는 원소에 의해 구성되어, 모상(Mg상)의 (0001)면의 배향을 랜덤화할 수 있는 원소군을 계통적으로 탐색한 결과, 마그네슘에의 최대 고용도가 0.035%(485℃)(마그네슘 기술 편람, 일본 마그네슘 협회 마그네슘 기술 편람 편집 위원회편, 카로스 출판(2000), 78~78쪽)인 Cu와 Ca에 착목했다. Cu와 Ca를 첨가한, Mg-Cu-Ca계 합금을 대상으로 하여 최적인 합금 첨가 농도를 검토하고, 또한 특정 압연 조건 및 압출 조건을 선택함으로써 재결정시의 집합 조직이 (0001)면의 집적이 약해지는 방향으로 작용시킬 수 있음과 아울러, 높은 열전도율을 동시에 부여할 수 있는 것을 발견하고, 본 발명을 완성시키기에 이르렀다.

[0034] 또한, 또 하나의 합금계로서, 마그네슘에의 최대 고용도가 Cu보다 적은(마그네슘 기술 편람, 일본 마그네슘 협회 마그네슘 기술 편람 편집 위원회편, 카로스 출판(2000), 84~84쪽) Ni와 Ca에 착목하고, Mg-Ni-Ca계 합금에 관해서도, Mg-Cu-Ca계 합금과 같은 특성을 부여할 수 있는 것을 발견하고, 본 발명을 완성시키기에 이르렀다.

[0035] 이하, 본 발명의 마그네슘 합금과, 이것을 사용한 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 일실시형태에 대해서 설명한다.

[0036] (마그네슘 합금의 성분)

[0037] 본 발명의 마그네슘 합금은,

[0038] Cu의 함유량이 0~1.5질량%,

[0039] Ni의 함유량이 0~0.5질량%,

[0040] Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%,

[0041] Al의 함유량이 0~0.5질량%,

[0042] Zn의 함유량이 0~0.3질량%,

[0043] Mn의 함유량이 0~0.3질량%,

[0044] Zr의 함유량이 0~0.3질량%이며,

[0045] Cu와 Ni의 총량이 0.005~2.0질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물이다.

[0046] 본 발명의 마그네슘 합금은, Cu의 함유량이 0~1.5질량%이다. 또한, Mg-Cu-Ca 합금에서는, Cu의 함유량은 0.005

~1.5질량%인 것이 바람직하고, 0.03질량%~1.0질량%인 것이 보다 바람직하고, 0.03질량%~0.3질량%인 것이 더욱 바람직하다. Cu의 함유량이 이 범위이면, 마그네슘(모상) 내부에 고용하는 Cu가 충분한 양이 되고, 입계에 Cu가 편석하게 되어 유효하게 (0001)면의 배향을 랜덤화할 수 있다. 한편, Cu의 함유량이 1.5질량%를 초과하면, 허용할 수 없는 양의 $Mg_2Cu$ 정출물이 생성되어 높은 성형성을 얻을 수 없게 된다. 또한, Cu의 함유량이 0.005질량% 미만이면, 모상(Mg상)의 (0001)면의 집적도를 충분히 약화시킬 수 없기 때문이다.

[0047] 한편, Mg과 Cu의 부식 전위(포화 칼로멜(SCE) 전극 기준)는 각각 -1.65V와 -0.12V이며, 비교적 큰 차이가 있기 때문에, Mg 중에 과도한 Cu가 혼입하면, 그 부식 특성은 현저하게 열화한다(G. Song and A. Atrens: Adv. Eng. Mater. Vol.5(2003) pp.837-858.). 따라서, 본 발명의 마그네슘 합금에 있어서는 부식 특성의 관점에서도 1.5질량%를 초과하는 구리의 첨가는 삼가해야 한다. 한편, Cu의 농도를 0.1% 이하, Ca의 농도를 1% 이하로 설정하면, 범용 마그네슘 합금(AZ31 합금)과 동등 이상의 높은 내식성(부식 속도: 4mg/㎠/day 이하)이 발현된다.

[0048] 본 발명의 마그네슘 합금은, Ni의 함유량이 0~0.5질량%이다. 또한, Mg-Ni-Ca 합금에서는, Ni의 함유량이 0.01~0.5질량%인 것이 바람직하고, 0.05질량%~0.3질량%인 것이 보다 바람직하다. Ni의 함유량이 이 범위이면, 마그네슘(모상) 내부에 고용하는 Ni가 충분한 양이 되고, 입계에 Ni가 편석하게 되어, 유효하게 (0001)면의 배향을 랜덤화할 수 있다. 한편, Ni의 함유량이 0.5질량%를 초과하면, 허용할 수 없는 양의 $Mg_2Ni$ 정출물이 생성되어 높은 성형성을 얻을 수 없게 된다. 또한, Ni의 함유량이 0.01질량% 미만이면, 모상(Mg상)의 (0001)면의 집적도를 충분히 약화시키는 것이 어렵다.

[0049] 또한, Mg과 Ni의 부식 전위(포화 칼로멜(SCE) 전극 기준)는 각각 -1.65V와 +0.01V이며, Mg과 Cu와 마찬가지로, 비교적 큰 차이가 있기 때문에, Mg 중에 과도 한 Ni가 혼입하면, 그 부식 특성은 크게 열화한다(G. Song and A. Atrens: Adv. Eng. Mater. Vol.5(2003) pp.837-858.). 따라서, 본 발명의 마그네슘 합금에 있어서도, 부식 특성의 관점에서도 0.5질량%를 초과하는 Ni의 첨가는 삼가해야 한다. 구체적으로는, 예를 들면 Ni의 농도를 0.01% 정도, Ca의 농도를 0.1% 정도로 설정하면, 범용 마그네슘 합금(AZ31 합금)과 동 정도의 내식성(부식 속도: 4mg/㎠/day 이하)이 발현된다.

[0050] 또한, Mg-Ni-Ca 합금에서는, Ca의 첨가량은 0.05%~0.5%인 것이 바람직하다.

[0051] 본 발명의 마그네슘 합금은, Cu와 Ni의 총량이 0.005질량%~2.0질량%이며, 0.01~1.0질량%인 것이 보다 바람직하다. 본 발명의 마그네슘 합금에 있어서는, Cu와 Ni가 공존하는 것에 의한 폐해는 없다.

[0052] 본 발명의 마그네슘 합금은, Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%이다. Ca의 함유량은 0.1~0.5질량%인 것이 바람직하다. Ca의 함유량이 이 범위이면, Mg(모상) 내부에 고용하는 Ca가 충분한 양이 되고, 입계에 Ca가 편석하게 되어, 유효하게 (0001)면의 배향을 랜덤화할 수 있다. 한편, Ca의 함유량이 1.0질량%를 초과하면, 허용할 수 없는 양의 $Mg_2Ca$ 정출상이 생성되어 높은 성형성을 얻을 수 없게 된다. 또한, Ca의 함유량이 0.05질량% 미만이면, 모상(Mg상)의 (0001)면의 집적도를 충분히 약화시킬 수 없기 때문이다.

[0053] 본 발명의 마그네슘 합금에서는, 잉곳을 제조할 때의 주조의 용이함으로부터 Al을 0~0.5질량% 함유할 수 있다. Al은 0.5질량%를 초과하는 농도로 포함되면 열전도도 연성이 저하하기 때문에, Al의 함유량은 0.5% 이하이다.

[0054] 또한, 본 발명의 마그네슘 합금은, 상기 합금 성분에 추가해서 Zn, Mn, Zr를 0~0.3질량% 함유할 수 있다. Zn 및 Zr는 고용 강화나 석출 강화에 의해 재료의 강도를 올리기 위해서이며, Mn은 불순물인 미량한 철과 화합물을 형성하여 내식성을 올리기 위해서이다. 어느 원소도 0.3질량% 이하이면, 열전도율을 그만큼 저하시키는 경우는 없다.

[0055] 상술한 성분 이외의 잔부는, 마그네슘 및 불가피적 불순물이다. 불가피적 불순물로서는, 예를 들면 Fe, C 등을 예시할 수 있다.

[0056] 또한, 본 발명의 마그네슘 합금 중, 예를 들면 Cu의 함유량이 0.03~0.3질량%이며, Ca의 함유량이 0.1~0.5질량%이며, Al의 함유량이 0.1~0.5질량%이며, Mn의 함유량이 0~0.3질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물인 합금에 의해 구성되는 합금에 관해서는, 마그네슘 합금판 또는 마그네슘 합금봉을 제작하고, 200℃~500℃에서 어닐링 공정을 행한 후에, 150~250℃의 열처리를 실시함으로써 시효 석출에 따른 재료를 경도나 항복 응력을 높일 수 있다. 이것은 Al 및 Ca에 의해 구성되는 미세한 금속간 화합물이, 열처리 중에 석출하기 때문이다.

[0057] (마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 특성)

[0058] 상술한 본 발명의 마그네슘 합금을 사용하여, 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉을 제조할 수 있다. 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 제조 방법에 대해서는 후술한다.

[0059] 본 발명의 마그네슘 합금판은, 모상(Mg상)에 있어서의 조밀 육방정의 (0001)면의 집적도가 3.8 이하이다. 또한, 마그네슘 합금봉은 모상(Mg상)에 있어서의 조밀 육방정의 (0001)면의 집적도가 6.8 이하이다. (0001)면의 배향이 억제되어 있음으로써, 마그네슘 합금판 및 봉은 우수한 실온 성형성을 갖고 있다. (0001)면의 집적도는, 실시예에도 기재한 바와 같이, XRD법(슐츠의 반사법)에 의해 측정할 수 있고, 측정 데이터를 랜덤 데이터(내부 규격 데이터 등)로 규격화한 값을 가리킨다.

[0060] 또한, 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 실온에서의 프레스 성형이 용이하다.

[0061] 마그네슘 합금판은, 알루미늄 합금에 준하는 성형성(에릭슨값으로 6.5 이상), 혹은 알루미늄 합금에 필적하는 성형성(에릭슨값으로 7.5 이상)을 나타낸다. 에릭슨 시험은 JIS B7729 1995 및 JIS Z2247 1998에 준하는 시험이다.

[0062] 마그네슘 합금봉은, 알루미늄 합금에 준하는 성형성(실온 인장 시험으로 15% 이상의 파단 신도), 혹은 알루미늄 합금에 필적하는 성형성(실온 인장 시험으로 20%의 파단 신도)을 나타낸다. 인장 시험은 JIS Z22412011에 준하는 시험이다.

[0063] 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 염수 침지 시험에 있어서, 일부의 합금을 제외하고 범용 마그네슘 합금(AZ31 합금: 2~5(mg/㎠/day))과 동등 이상의 부식 속도를 나타낸다. 염수 침지 시험은 JIS H05412003에 준하는 시험이다.

[0064] 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 봉의 일부의 조성에 관해서는, 시효 경화 특성을 갖는다. 구체적으로는, 소정의 열처리를 행한 후에, JIS Z2244에 준거하는 비커스 경도에 의해 경도의 상승이 확인되는 특성을 나타낸다.

[0065] 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 실온(10~35℃)에 있어서 구조용 알루미늄 합금에 필적하는 열전도율(120(W/m·K)이상)을 갖고 있다.

[0066] 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 실온에 있어서의 열전도율(λ: W/m·K)의 측정 값은, 열확산율(α: ㎡/s), 비열(Cp: J/kg·K), 밀도(ρ: kg/㎥)를 측정하고, 이하의 (1)식에 대입하여 구한 값을 가리킨다.

[0067] $$\lambda = \alpha \cdot Cp \cdot \rho \qquad (1)$$

[0068] 또한, 열확산율(α)은 직경 10.0㎜, 두께 1.5~2.5㎜의 시료를 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉으로 잘라내고, 레이저 플래시법(진공 중, 측정 온도 10~35℃)에 의해 측정을 행한 값을 가리키고, 비열(Cp)은 DSC법(Ar 가스 플로우(20mL/분), 승온 속도 10℃/분, 측정 온도 10~35℃)에 의해 측정한 값을 가리키고, 밀도(ρ)는 치수 측정법(측정 온도 10~35℃)으로 측정한 값을 가리킨다. 또한, 상기의 열전도율 측정은 JIS R16112010에 준거하는 것이다. 측정 온도에 관해서는, 10~35℃의 범위이면, 열전도율에는 유의의 변동은 관찰되지 않는다. 보다 정밀하게 측정을 실시하는 경우는 25℃±2℃의 범위에서 실시하는 것이 바람직하다.

[0069] 열전도율의 산출에 있어서는, 상기한 바와 같이, 열확산율, 비열, 밀도를 개별로 구할 필요가 있고, 종종 측정값의 도출에 많은 시간을 필요로 하는 경우가 있다. 또한, 금속의 열전도율(λ)과, 전기 전도율(σ)은, 동일 온도에 있어서는 비례 관계가 되는 경향이 있는 것이 알려져 있고(비데만·프란츠의 법칙), 마그네슘도 대략 그 관계를 따르는 것이 보고되어 있다(마그네슘 기술 편람, 일본 마그네슘 협회 마그네슘 기술 편람 편집 위원회편, 카로스 출판(2000), 63쪽). 그 때문에, 열전도율의 대소를 파악하는 지표로서, 전기 전도율을 사용할 수도 있다.

[0070] 그리고, 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 전기 전도율은, 실온(10~35℃)에 있어서 $1.3\times10^7$(S/m) 이상의 값을 나타낸다. 따라서, $1.3\times10^7$(S/m) 이상의 전기 전도율을 나타내는 것도, 우수한 열전도율을 나타내는 재료로서의 지표로 할 수 있다.

[0071] 후술의 실시예에서 나타내는 전기 전도율(σ)은, 실온(10~35℃)에 있어서 4단자(전극)법에 의해 측정한 값을 가리킨다. 상기의 전기 전도율의 측정 방법은 JIS K71941994에 준거하는 것이다. 측정 온도에 관해서는 10~35℃의 범위이면, 전기 전도율에는 유의의 변동은 관찰되지 않는다. 보다 정밀하게 측정을 실시하는 경우는 25℃±2℃의 범위에서 실시하는 것이 바람직하다.

[0072] 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 실온에서의 우수한 성형성을 갖고, 또한 우수한 열전도 특성을 갖기 때문에, 자동차의 전자 부품 하우징이나 정보 기기 하우징을 제조할 때에 필요한 성형성, 및 방열 특성으로서 필요한 높은 열전도율의 밸런스를 갖는다.

[0073] 본 발명의 마그네슘 합금 부재는, 상술한 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉에 의해 작성된다. 마그네슘 합금 부재의 형태는, 특별히 한정되지 않고, 예를 들면 자동차의 전자 부품 하우징, 정보 기기 하우징 등을 예시할 수 있다.

[0074] 이어서, 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉을 얻기 위한 제조 방법의 일실시형태에 대해서 설명한다.

[0075] (마그네슘 합금, 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 제조 방법)

[0076] 본 발명의 마그네슘 합금(마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉)의 제조 방법에서는, 상술한 본 발명의 마그네슘 합금으로 이루어지는 빌릿을 제작하는 주조 공정을 포함한다.

[0077] 구체적으로는,

[0078] Cu의 함유량이 0~1.5질량%, 또는 0.005~1.5질량%

[0079] Ni의 함유량이 0~0.5질량%, 또는 0.01~0.5질량%

[0080] Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%,

[0081] Al의 함유량이 0~0.5질량%,

[0082] Zn의 함유량이 0~0.3질량%,

[0083] Mn의 함유량이 0~0.3질량%,

[0084] Zr의 함유량이 0~0.3질량%이며,

[0085] Cu와 Ni의 총량이 0.005~2.0질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물인 마그네슘 합금(마그네슘 합금 빌릿)을 제작하는 주조 공정을 포함한다. 주조 공정에서는, 종래 알려진 방법, 조건을 적당히 채용할 수 있고, 마그네슘 합금의 형상 등은 특별히 한정되지 않는다.

[0086] 이어서, 마그네슘 합금판을 제작하는 경우는, 마그네슘 합금으로 이루어지는 마그네슘 합금 빌릿 또는 그 가공물을, 200℃~500℃에서 압연하는 압연 공정을 포함한다.

[0087] 구체적으로는, 온간에 있어서의 압출, 및/또는 조압연을 실시하고, 예를 들면 판 두께 4㎜~10㎜ 정도의 압연용 소재를 제조한다. 그 후에, 소망의 판 두께까지 온간(약 200℃~350℃) 혹은 열간 압연(350℃~500℃)을 실시할 수 있다. 통상은, 전자 기기, 자동차 등에 적용되는 판 두께인 0.5㎜로부터 2.0㎜ 정도까지 압연할 수 있다.

[0088] 그리고, 압연 공정 후에, 200℃~500℃에서 어닐링할 수 있다(어닐링(재결정 열처리) 공정). 어닐링 공정의 시간은 적당히 설정할 수 있지만, 예를 들면 30분~6시간 정도를 예시할 수 있다. 소재의 재결정이 진행되고 있는 경우는 어닐링 공정을 생략할 수 있다.

[0089] 또한, 마그네슘 합금봉을 제작하는 경우는, 주조 공정 후, 마그네슘 합금 빌릿 또는 그 가공물을, 200℃~500℃에서 압출 가공하는 압출 공정을 포함한다. 구체적으로는, 빌릿 및 금형을 미리 200℃~500℃로 가열한 뒤에, 압출 가공을 행함으로써 봉재를 제작한다.

[0090] 그리고, 압출 공정 후에, 필요에 따라서 200℃~500℃에서 어닐링할 수 있다(어닐링(재결정 열처리) 공정). 어닐링 공정의 시간은, 적당히 설정할 수 있지만, 예를 들면 30분~24시간 정도를 예시할 수 있다. 압출 공정시에 소재의 재결정이 진행되고 있는 경우는 어닐링 공정을 생략할 수 있다.

[0091] 또한, 예를 들면 Cu의 함유량이 0.03~0.3질량%이며, Ca의 함유량이 0.1~0.5질량%이며, Al의 함유량이 0.1~0.5질량%이며, Mn의 함유량이 0~0.3질량%이며, 잔부가 마그네슘 및 불가피적 불순물인 마그네슘 합금 빌릿을 이용하여 제작한 마그네슘 합금 판재 및 마그네슘 합금봉은, 150~250℃에서 열처리를 행함으로써 시효 석출 경화에 수반하여, 재료의 경도 및 항복 응력을 개선할 수 있다(시효 처리 공정). 시효 처리 공정의 열처리 시간으로서는, 예를 들면 0.5~100시간을 예시할 수 있다. 시효 석출 경화의 성능은, 주로 합금의 조성에 의해 결정되기 때문에, 소정의 합금 조성으로 설정함으로써, 마그네슘 합금 판재 및 마그네슘 합금봉 중 어느 것에 있어서

도 같은 효과가 발현된다.

[0092] 또한, 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 제조 방법에서는, 상기 공정 이외에, 예를 들면 압출 가공, 단조 가공, 인발 가공 등의 공지의 소성 가공 등을 포함하고 있어도 좋다.

[0093] 또한, 예를 들면 본 발명의 마그네슘 합금봉은, 내부가 공중 형상인 관 형상이어도 좋다. 또한, 예를 들면 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 두께에 특별히 제한되지 않고, 박재, 선재, 조재 등의 형태이어도 좋다.

[0094] 본 발명의 마그네슘 합금, 마그네슘 합금판, 마그네슘 합금봉 및 이들의 제조 방법, 마그네슘 합금 부재는, 이상의 실시형태에 한정되는 것은 아니다.

[0095] **실시예**

[0096] 본 발명의 마그네슘 합금, 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉 및 그 제조 방법 등에 대해서, 실시예와 함께 더욱 자세하게 설명하지만, 이하의 실시예에 조금도 한정되는 것은 아니다.

[0097] <1> 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 제작

[0098] 용해 주조법에 의해 표 1에 나타내는 화학 성분을 갖는 마그네슘 합금 빌릿을 제작했다(주조 공정). 용해는 고주파 유도 용해로를 사용하고, 아르곤 분위기 하에서 소정 온도(주조 온도로서 표 1에 기재)로 용해를 행했다. 그 후, 두께 30㎜의 금형, 혹은 직경 40㎜의 금형에 주조하고, 압출 가공용의 마그네슘 합금 빌릿(잉곳)을 제작했다. 이어서, 판재에 관해서는, 상기 두께 30㎜의 마그네슘 합금 빌릿(잉곳)을, 소정 온도(압출 온도로서 표 1에 기재)에서 압출 가공을 행하여 판 두께 5㎜의 판으로 하고, 이어서 시료 온도 350℃의 압연을 실시하여, 판 두께 1.0㎜의 마그네슘 합금판을 얻었다(압연 공정). 일부의 마그네슘 합금판에 대해서는, 압연을 행하기 전에 소정 온도·소정 시간의 균질화 처리를 행했다(압연전 균질화 처리 조건으로서 표 1에 기재). 이들의 마그네슘 합금판을 사용하여, 종래의 제조 공정에 따라서 압연 후 300℃에서 2시간의 어닐링(재결정 열처리)을 실시했다(어닐링 공정). 일부의 마그네슘 합금판에 대해서는, 170℃에서 8시간의 어닐링을 실시했다(시효 처리 공정).

[0099] 마그네슘 합금봉에 관해서는, 상기 직경 40㎜의 마그네슘 합금 빌릿(잉곳)을, 소정 온도(압출 온도로서 표 1에 기재)에서 압출비 40의 압출 가공을 행하여, 직경 6㎜의 봉재를 제작했다(압출 공정). 압출 가공 후의 어닐링(재결정 열처리)에 대해서는, 행하지 않는 시료와, 450℃에서 24시간의 어닐링을 실시한 시료를 제작했다(어닐링 공정).

표 1

[0100]

| | 합금 | Cu (wt.%) | Ca (wt.%) | Al (wt.%) | Mn (wt.%) | Zn (wt.%) | Zr (wt.%) | Ni (wt.%) | 주조온도 (℃) | 압출온도 (℃) | 압연온도 (℃) | 압연전균질화 처리조건 | 시효처리 조건 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 실시예 1 | Mg-0.005Cu-0.1Ca | 0.005 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 2 | Mg-0.01Cu-0.1Ca | 0.01 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 3 | Mg-0.03Cu-0.1Ca | 0.03 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 4 | Mg-0.1Cu-0.1Ca | 0.1 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 5 | Mg-1.5Cu-0.1Ca | 1.5 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 6 | Mg-0.03Cu-0.05Ca | 0.03 | 0.05 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 7 | Mg-0.03Cu-0.5Ca | 0.03 | 0.5 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 450℃/24h | 없음 |
| 실시예 8 | Mg-0.03Cu-1Ca | 0.03 | 1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 450℃/24h | 없음 |
| 실시예 9 | Mg-0.02Cu-0.05Ca | 0.02 | 0.05 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 실시예 10 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Al | 0.03 | 0.1 | 0.1 | – | – | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 11 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Mn | 0.03 | 0.1 | – | 0.1 | – | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 12 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Al-0.1Mn | 0.03 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | – | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 170℃/8h |
| 실시예 13 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Al | 0.03 | 0.1 | 0.3 | – | – | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 14 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Mn | 0.03 | 0.1 | – | 0.3 | – | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 15 | Mg-0.03Cu-0.5Ca-0.5Al-0.3Mn | 0.03 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | – | – | – | 820 | 400 | 200 | 없음 | 170℃/8h |
| 실시예 16 | Mg-0.1Cu-0.5Ca-0.5Al-0.3Mn | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | – | – | – | 820 | 400 | 200 | 없음 | 170℃/8h |
| 실시예 17 | Mg-0.3Cu-0.5Ca-0.5Al-0.3Mn | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | – | – | – | 820 | 400 | 200 | 없음 | 170℃/8h |
| 실시예 18 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Zn | 0.03 | 0.1 | – | – | 0.1 | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 19 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Zr | 0.03 | 0.1 | – | – | – | 0.1 | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 20 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Zn-0.1Zr | 0.03 | 0.1 | – | – | 0.1 | 0.1 | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 21 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Zn | 0.03 | 0.1 | – | – | 0.3 | – | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 22 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Zr | 0.03 | 0.1 | – | – | – | 0.3 | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 23 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Zn-0.3Zr | 0.03 | 0.1 | – | – | 0.3 | 0.3 | – | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 24 | Mg-0.01Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 0.01 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 25 | Mg-0.0238Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 0.0238 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 26 | Mg-0.1Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 0.1 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 27 | Mg-0.5Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 0.5 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 28 | Mg-0.1Ni-0.05Ca | – | 0.05 | – | – | – | – | 0.1 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 실시예 29 | Mg-0.03Cu-0.05Ca | 0.03 | 0.05 | – | – | – | – | – | 820 | 350 | – | 없음 | 없음 |
| 실시예 30 | Mg-0.03Cu-0.1Ca | 0.03 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 350 | – | 없음 | 없음 |
| 실시예 31 | Mg-0.1Cu-0.1Ca | 0.1 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 350 | – | 없음 | 없음 |
| 실시예 32 | Mg-1.5Cu-0.1Ca | 1.5 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 350 | – | 없음 | 없음 |
| 실시예 33 | Mg-0.1Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 0.1 | 820 | 350 | – | 없음 | 없음 |
| 비교예 1 | Mg | – | – | – | – | – | – | – | 740 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 2 | Mg-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | – | 740 | 380 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 3 | Mg-3Cu-0.1Ca | 3 | 0.1 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 4 | Mg-0.03Cu | 0.03 | – | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 5 | Mg-0.03Cu-0.01Ca | 0.03 | 0.01 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 6 | Mg-0.03Cu-0.03Ca | 0.03 | 0.03 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 7 | Mg-0.03Cu-2Ca | 0.03 | 2 | – | – | – | – | – | 820 | 400 | 350 | 450℃/24h | 없음 |
| 비교예 8 | Mg-0.1Ni | – | – | – | – | – | – | 0.1 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 비교예 9 | Mg-1.5Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 1.5 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 비교예 10 | Mg-3Ni-0.1Ca | – | 0.1 | – | – | – | – | 3 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 비교예 11 | Mg-0.1Ni-0.01Ca | – | 0.01 | – | – | – | – | 0.1 | 820 | 400 | 400 | 없음 | 없음 |
| 비교예 12 | Mg-0.1Ni-2Ca | – | 2 | – | – | – | – | 0.1 | 820 | 400 | 400 | 450℃/24h | 없음 |
| 비교예 13 | AZ31 (Mg-3Al-1Zn in wt.%) | – | – | – | – | – | – | – | 740 | 400 | 350 | 없음 | 없음 |
| 비교예 14 | Mg-0.03Cu-2Ca | 0.03 | 2 | – | – | – | – | – | 820 | 350 | – | 없음 | 없음 |

[0101] <2> X선 회절

[0102] 실시예 1-28 및 비교예 1-13의 마그네슘 합금판의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직을 XRD법(슐츠의 반사법)에 의해 측정했다. 측정에 있어서는, 압연재보다 φ33㎜×1㎜의 원반을 잘라내고, RD-TD면을 두께 0.5㎜까지 면삭한 뒤에, #4000의 SiC 연마지로 표면 연마를 실시한 시료를 이용했다.

[0103] 또한, 실시예 29~33 및 비교예 14의 마그네슘 합금봉의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직을 XRD법(슐츠의 반사법)에 의해 측정했다. 측정에 있어서는, 압출재를 ED-TD 단면으로 절단하고, 6㎜×10㎜의 절단면을, #4000의 SiC 연마지로 표면 연마를 실시한 시료를 이용했다.

[0104] 측정시의 관전압은 40kV이며, 전류값은 40mA로 했다(이용한 관구는 Cu 관구임). α각의 측정 범위는 15~90° 로 하고, 측정의 스텝 각도는 2.5° 로 했다. β각의 측정 범위는 0~360° 로 하고, 측정의 스텝 각도는 2.5° 로 했다. 또한, 백그라운드의 측정은 실시하지 않았다. 측정 후의 데이터를, 랜덤 데이터(내부 규격 데이터)로 규격화한 후에, 판재(합금판)에 관해서는 상하 방향을 RD 방향, 좌우 방향을 TD 방향으로 하여 극점도로서 그렸다. 봉재(합금봉)에 관해서는, 상하 방향을 ED 방향, 좌우 방향을 TD 방향으로 하여 극점도로서 그렸다. 측정은 실온(25℃)에서 실시했다.

[0105] (1) 실시예 1-5 및 비교예 1, 2, 3

[0106] X선 회절에 의한 (0001)면 집합 조직의 측정 결과를 도 1에 나타낸다. 도1(1)~(8)은 비교예 1, 2, 3 및 실시예 1-5에 대해서 나타내고 있다. 집적도(m.r.d.: multiples of random density)는 극점도의 최대 강도를 나타낸다. 도 1에 나타내는 극점도에 나타내어지는 등고선은 상대 강도이며, 집적도를 최대값으로 하여 등고선

을 그리고 있다.

[0107] 구체적으로는, 도 1의 (2)~(8)은 Mg-0.1% Ca 합금에 0~3%의 Cu를 첨가한 합금을, 시료 온도 350℃에서 두께 5㎜로부터 1㎜까지 압연하고, 어닐링을 행함으로써 제작한 판재의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직이다.

[0108] 도 1(1)은 순 Mg, (2)는 Mg-0.1% Ca 합금의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직이며, 범용 마그네슘 합금 압연재 특유의 (0001)면이 판면에 대하여 평행하여 배열되는 집합 조직이 관찰된다. 즉, ND 방향(수직 방향)에 대하여 평행한 위치에 (0001)면의 피크가 나타난다. 또한, 순 Mg와 비교하여 Ca를 첨가한 Mg-0.1% Ca 합금은 순 Mg와 비교하여, 상대적으로 낮은 집적도(4.1)를 나타내고, Ca 첨가에 의해 (0001)면의 배향이 어느 정도 랜덤화되어 있는 것을 확인할 수 있다.

[0109] 이어서, Mg-0.1% Ca 합금에 Cu를 첨가한 Mg-Cu-Ca계 합금에 대해서 주목하면, 실시예 1-5에 나타내어져 있는 바와 같이, Cu의 첨가 농도의 증가와 함께 집적도는 저하하고, Cu를 0.005% 이상 첨가하면 집적도는 3.8 이하가 되고, 배향이 랜덤화되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, Cu를 0.03% 이상 첨가하면, ND 방향으로부터 TD 혹은 RD 방향으로 30° 이상 경사한 부근에, (0001)면의 극이 나타난다. 이와 같이, (0001)면의 배향이 억제된 Mg-Cu-Ca계 합금은, 결과로서 우수한 실온 성형성을 나타낸다.

[0110] 현재, Mg-Zn-Ca계 합금을 중심으로 하고, 압연·어닐링 후의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 배향 랜덤화되는 메커니즘에 관한 조사가 추진되고 있다. 예를 들면 Griffiths는, 마그네슘 중에 고용하는 Zn이나 Ca가 입계 중에 편석하고, 그 결과 드랙 효과에 의해 동적 재결정을 억제하여, 그 결과 (0001)면의 배향이 억제되는 것을 지적하고 있다(D. Griffiths: Mater. Sci. Technol., Vol.31(2015), pp.10-24.). Mg-Cu-Ca계 합금에 관해서도, 같은 메커니즘으로부터 마그네슘 중에 고용하는 Cu나 Ca가 입계 중에 편석하고, 그 결과 드랙 효과에 의해 동적 재결정을 억제하여, 그 결과 (0001)면의 배향이 억제되었다고 생각할 수 있다.

[0111] 또한, 비교예 2, 3 및 실시예 1-5의 마그네슘 합금판에 대해서 X선 회절에 의해 정출물의 동정을 행했다. 측정 시의 관전압은 40kV이며, 전류값은 40mA로 했다(이용한 관구는 Cu관구임). 측정은 0.01° 마다 실시하고, 스캔 속도는 1° /분으로 했다. 측정은 실온(25℃)에서 실시했다.

[0112] X선 회절에 의한 정출물의 동정의 결과를 도 2에 나타낸다.

[0113] 도 2의 (1)~(7)은, 비교예 2, 3 및 실시예 1-5에 대해서 나타내고 있다. Mg-0.1% Ca 합금에 0% 내지 3%의 Cu를 첨가한 합금을, 시료 온도 350℃에서 1패스당의 압하율을 20%/패스로 하고, 두께 5㎜로부터 1㎜까지 압연한 시료의 어닐링을 행함으로써 제작한 판재의 XRD에 의한 조성의 정성 분석 결과이다.

[0114] 도 2의 (1)~(7)에 주목하면, Cu 농도가 0.1%까지는 Mg 단상의 조직을 나타내고 있지만, Cu 농도가 1.5%까지 상승하면 $Mg_2Cu$의 정출물의 피크가 나타난다. Cu 농도가 3%까지 상승하면, 그 피크가 상승하여 상기의 정출물이 상대적으로 많이 정출하고 있는 것을 알았다. 이와 같이, Cu를 과도하게 첨가하면 상기의 정출물이 상대적으로 많이 정출되어 정출물이 파괴의 기점이 되어버리기 때문에, 비록 (0001)면의 배향이 랜덤화해도, 높은 실온 성형성이 얻을 수 없게 된다. 예를 들면, 비교예 3에 나타내어져 있는 바와 같이, Mg-3% Cu-0.1% Ca 합금의 모상(Mg상)은 도 1의 (8)에 나타내는 바와 같이 집적도 3.8 이하의 (0001)면 집합 조직을 갖지만, 도 2의 (7)에 나타내는 바와 같이 $Mg_2Cu$ 등의 정출물의 존재에 의해, 높은 실온 성형성은 얻을 수 없다.

[0115] (2) 실시예 3, 6-8 및 비교예 4, 5, 7

[0116] X선 회절에 의한 (0001)면 집합 조직의 측정 결과를 도 3에 나타낸다. 도 3(1)~(7)은 비교예 4, 5, 7 및 실시예 3, 6, 7, 8에 대해서 나타내고 있다. 측정 조건은, 상술한 도 1(비교예 1, 2, 3 및 실시예 1-5)과 같다.

[0117] 구체적으로는, 도 3(1)은 Mg-0.03% Cu 합금(비교예 3), (2)는 Mg-0.03% Cu-0.01Ca 합금(비교예 5)의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직이며, 범용 마그네슘 합금 압연재 특유의 (0001)면이 판면에 대하여 평행하게 배열되는 집합 조직이 관찰된다. 즉, ND 방향(수직 방향)에 대하여 평행한 위치에 (0001)면의 피크가 나타난다.

[0118] 이어서, Mg-0.03% Cu 합금에 0.05%~2%의 Ca를 첨가한 Mg-Cu-Ca계 합금에 대해서 주목하면, Ca의 첨가 농도의 증가와 함께 집적도는 저하하고, Ca를 0.05% 이상 첨가하면 집적도는 3.8 이하가 되고, 배향이 랜덤화되어 있는 것을 확인할 수 있다(실시예 3, 6, 7, 8). 또한, Ca를 0.05% 이상 첨가하면, ND 방향으로부터 TD 혹은 RD 방향으로 30° 이상 경사한 부근에 (0001)면의 극이 나타난다. 이와 같이, (0001)면의 배향이 억제된 Mg-Cu-Ca계 합금은, 결과로서 우수한 실온 성형성을 나타낸다.

[0119] X선 회절에 의한 정출물의 동정의 결과를 도 4에 나타낸다.

[0120] 도 4의 (1)~(4)는, 비교예 7 및 실시예 3, 7, 8에 대해서 나타내고 있다. Mg-0.03% Cu 합금에 0.1% 내지 2%의 Ca를 첨가한 합금을, 시료 온도 350℃에서 1패스당의 압하율을 20%/패스로 하여, 두께 5㎜로부터 1㎜까지 압연한 시료의 어닐링을 행함으로써 제작한 판재의 XRD에 의한 조성의 정성 분석 결과이다. 측정시의 관전압은 40kV이며, 전류값은 40mA로 했다(이용한 관구는 Cu관구임). 측정은 0.01° 마다 실시하고, 스캔 속도는 1°/분으로 했다.

[0121] 도 4의 (1)~(4)에 주목하면, Ca 농도가 0.1%까지는 Mg 단상의 조직을 나타내고 있지만, Ca 농도가 0.5%까지 상승하면 $Mg_2Ca$의 정출물의 피크가 드러난다. Ca 농도가 2%까지 상승하면, 그 피크가 상승하고 상기의 정출물이 상대적으로 많이 정출되고 있는 것을 알았다. 이와 같이, Ca를 과도에 첨가하면 상기의 정출물이 상대적으로 많이 정출되고, 정출물이 파괴의 기점이 되어버리기 때문에, 비록 (0001)면의 배향이 랜덤화되어도 높은 실온 성형성을 얻을 수 없게 된다. 예를 들면, Mg-0.03% Cu-2% Ca 합금(비교예 7)의 모상(Mg상)은, 도 3의 (7)에 나타내는 바와 같이 집적도 3.8 이하의 (0001)면 집합 조직을 갖지만, 도 4의 (4)에 나타내는 바와 같이 $Mg_2Ca$ 등의 정출물의 존재에 의해, 높은 실온 성형성은 얻을 수 없다.

[0122] <3> 기타 특성 시험

[0123] (1) 시험 방법

[0124] (에릭슨 시험)

[0125] 실시예 1-28 및 비교예 1-13의 마그네슘 합금판의 실온 성형성을 평가하기 위해서, 에릭슨 시험을 실시했다. 에릭슨 시험은 JIS B7729 1995 및 JIS Z2247 1998에 준거한다. 또한, 블랭크 형상은 판재 형상의 형편상 φ60㎜(두께 1㎜)로 했다. 금형(시료) 온도는 30℃로 하고, 성형 속도는 5㎜/min으로 하고, 주름 누름력은 10kN로 했다. 윤활제에는 그래파이트 그리스를 이용했다.

[0126] (인장 시험)

[0127] 실시예 29~33 및 비교예 14의 마그네슘 합금봉의 실온 성형성을 평가하기 위해서, 인장 시험을 실시했다. 인장 시험은 JIS Z2241 2011에 준거한다. 또한, 시험편의 평행부 길이는 14㎜이며, 평행부 직경은 2.5㎜로 했다. 시험 온도는 실온(20±10℃)으로 하고, 초기 변형 속도는 $2.4\times10^{-3}s^{-1}$로 했다.

[0128] (염수 침지 시험)

[0129] 실시예 1~4, 6~8, 24, 26 및 비교예 4~8, 11~13의 마그네슘 합금판의 부식 속도를 평가하기 위해서, JIS H0541 2003에 준거한 염수 침지 시험을 실시했다. 거기에서는, 두께 1.0㎜, 표면적 13~14㎠의 시험편을 판재로부터 잘라내고, SiC 연마지를 사용하여 시험편의 표면을 #1000까지 습식 연마한 시험편을 사용했다. 이용한 부식액은 미리 $Mg(OH)_2$ 분말을 첨가하고, pH를 9~10로 조정한 5wt% NaCl 수용액이며, 35℃의 시험 용액에 시험편을 72시간 침지했다(실시예 26, 비교예 8, 비교예 11, 비교예 12는 6시간 침지로 했다). 침지 시험 후, 10mass% $CrO_3$ 수용액을 사용하여 부식 생성물을 제거하고, 시험편의 질량 측정을 행했다. 그리고, 시험 전후의 중량 손실로부터 부식 속도(㎎/㎠/day)를 산출했다.

[0130] (열전도율의 측정)

[0131] 상기 마그네슘 합금 판재의 일부(실시예 3, 5, 9~23, 26, 27 및 비교예 1, 3, 7, 8, 10, 12, 13)를 대상으로 하여, 열전도율을 측정했다. 측정에 있어서는, 실온에 있어서의 열전도율, 비열, 밀도를 각각 측정하고, 상술의 (1)식에 대입함으로써 측정했다. 열확산율의 측정에 있어서는, 직경 10.0㎜, 두께 1.5~2.5㎜의 시료를 판재로 잘라내고, 레이저 플래시법(진공 중, 25℃)에 의해 측정을 행했다. 비열의 측정에 있어서는, DSC법(Ar 가스 플로우(20mL/분), 승온 속도 10℃/분, 측정 온도 25℃)에 의해 측정을 행했다. 밀도의 측정에 있어서는, 치수 측정법(23℃)으로 측정을 행했다. 또한, 상기의 열전도율 측정은 JIS R1611 2010에 준거하는 것이다.

[0132] (전기 전도율의 측정)

[0133] 실시예 1-33 및 비교예 1-14의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉의 전기 전도율을 측정했다. 판의 측정에 있어서는, 시료 표면을 #4000의 SiC 연마지로 표면 연마한 후, 실온(25℃)에 있어서 4단자(전극)법에 의해 측정을 실시했다. 봉의 측정에 있어서는, 압출재를 ED-TD 단면으로 절단하고, #4000의 SiC 연마지로 표면연마를 실시한 시료를 이용했다. 또한, 상기의 전기 전도율의 측정 방법은 JIS K7194 1994에 준거하는 것이다.

[0134] (시효 석출 경화의 유무의 측정)

[0135] 상기 마그네슘 합금판의 일부(실시예 12, 15~17)를 대상으로 하여, 시효 석출 경화 특성의 유무를 조사했다. 조사에 있어서는, 소정 온도(170℃)로 유지한 전기로 중에, 판재를 8시간 유지한 후에 그 비커스 경도를 평가했다. 비커스 경도 시험은 JIS Z2244에 준거한다. 시험시의 하중은 0.2kgf, 유지 시간은 10초로 하고, 얻어진 10점의 시험값으로부터 최대값과 최소값을 제거하여 8점의 평균값을 비커스 경도로 했다.

[0136] (2) 결과

[0137] 결과를 표 2 및 표 3에 나타낸다.

표 2

| | 합금 | 실온에칙슨값 (mm) | (0001)면 집합조직의 집적도 (m.r.d) | 열전도율 (W/(m.K)) | 전기전도율 (S/m) | 조대정출물의 유무 | 시효경화의 유무 | 부식속도 (mg/cm2/day) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 실시예 1 | Mg-0.005Cu-0.1Ca | 6.5 | 3.1 | - | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 1.51 |
| 실시예 2 | Mg-0.01Cu-0.1Ca | 7.3 | 2.7 | - | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 1.36 |
| 실시예 3 | Mg-0.03Cu-0.1Ca | 7.7 | 2.4 | 157 | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 1.47 |
| 실시예 4 | Mg-0.1Cu-0.1Ca | 7.6 | 2.7 | - | $1.9 \times 10^7$ | 무 | - | 2.36 |
| 실시예 5 | Mg-1.5Cu-0.1Ca | 7.2 | 2.4 | 158 | $1.7 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 6 | Mg-0.03Cu-0.05Ca | 7.7 | 2.6 | - | $1.9 \times 10^7$ | 무 | - | 1.41 |
| 실시예 7 | Mg-0.03Cu-0.5Ca | 7.2 | 2.5 | - | $1.9 \times 10^7$ | 무 | - | 0.96 |
| 실시예 8 | Mg-0.03Cu-1Ca | 6.6 | 2.5 | - | $1.5 \times 10^7$ | 무 | - | 1.45 |
| 실시예 9 | Mg-0.02Cu-0.05Ca | 8 | 2.9 | 158 | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 10 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Al | 8.2 | 2.4 | 150 | $1.5 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 11 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Mn | 7.6 | 2.6 | 148 | $1.6 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 12 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Al-0.1Mn | 7.6 | 2.3 | 153 | $1.5 \times 10^7$ | 무 | 유 | |
| 실시예 13 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Al | 7 | 2.7 | 145 | $1.5 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 14 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Mn | 8 | 2.7 | 146 | $1.7 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 15 | Mg-0.03Cu-0.5Ca-0.5Al-0.3Mn | 7.4 | 2.2 | 131 | $1.4 \times 10^7$ | 무 | 유 | |
| 실시예 16 | Mg-0.1Cu-0.5Ca-0.5Al-0.3Mn | 6.9 | 2.3 | 128 | $1.4 \times 10^7$ | 무 | 유 | |
| 실시예 17 | Mg-0.3Cu-0.5Ca-0.5Al-0.3Mn | 7.2 | 2.4 | 129 | $1.4 \times 10^7$ | 무 | 유 | |
| 실시예 18 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Zn | 8.3 | 2.6 | 150 | $1.6 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 19 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Zr | 8 | 2.3 | 151 | $1.6 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 20 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.1Zn-0.1Zr | 8.6 | 2.4 | 152 | $1.5 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 21 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Zn | 8.4 | 2.8 | 151 | $1.7 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 22 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Zr | 8 | 2.6 | 142 | $1.4 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 23 | Mg-0.03Cu-0.1Ca-0.3Zn-0.3Zr | 8.3 | 2.3 | 150 | $1.4 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 24 | Mg-0.01Ni-0.1Ca | 6.6 | 2.8 | - | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 3.28 |
| 실시예 25 | Mg-0.0238Ni-0.1Ca | 7.5 | 2.3 | - | $1.5 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 26 | Mg-0.1Ni-0.1Ca | 8.5 | 2.9 | 154 | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 73.00 |
| 실시예 27 | Mg-0.5Ni-0.1Ca | 7.2 | 2.9 | 151 | $1.7 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 실시예 28 | Mg-0.1Ni-0.05Ca | 6.8 | 3.8 | - | $1.6 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 비교예 1 | Mg | 3 | 16.3 | 167 | $2.0 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 비교예 2 | Mg-0.1Ca | 4.3 | 4.1 | - | $1.9 \times 10^7$ | 무 | - | |
| 비교예 3 | Mg-3Cu-0.1Ca | 6.4 | 2.7 | 156 | $1.6 \times 10^7$ | 유 | - | |
| 비교예 4 | Mg-0.03Cu | 3.3 | 8.2 | - | $2.0 \times 10^7$ | 무 | - | 6.00 |
| 비교예 5 | Mg-0.03Cu-0.01Ca | 3.6 | 6.4 | - | $2.0 \times 10^7$ | 무 | - | 3.71 |
| 비교예 6 | Mg-0.03Cu-0.03Ca | 6.4 | 3.1 | - | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 1.81 |
| 비교예 7 | Mg-0.03Cu-2Ca | 6.2 | 2.2 | 147 | $1.4 \times 10^7$ | 유 | - | 3.51 |
| 비교예 8 | Mg-0.1Ni | 3.3 | 9.4 | 167 | $1.7 \times 10^7$ | 무 | - | 66.00 |
| 비교예 9 | Mg-1.5Ni-0.1Ca | 3.4 | 7.7 | - | $1.6 \times 10^7$ | 유 | - | |
| 비교예 10 | Mg-3Ni-0.1Ca | 3.4 | 6.3 | 149 | $1.6 \times 10^7$ | 유 | - | |
| 비교예 11 | Mg-0.1Ni-0.01Ca | 3.3 | 9.3 | - | $1.8 \times 10^7$ | 무 | - | 65.00 |
| 비교예 12 | Mg-0.1Ni-2Ca | 3.7 | 3.5 | 147 | $1.4 \times 10^7$ | 유 | - | 64.00 |
| 비교예 13 | AZ31 (Mg-3Al-1Zn in wt.%) | 2.2 | 8.3 | 86.8 | $1.13 \times 10^7$ | 무 | - | 2.40 |

[0138]

표 3

[0139]

| | 합금 | 항복응력 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 파단신도 (%) | (0001)면 집합조직의 집적도 (m.r.d) | 전기 전도율 (S/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 실시예29 | Mg-0.03Cu-0.05Ca | 194 | 243 | 20 | 6.8 | $1.9 \times 10^7$ |
| 실시예30 | Mg-0.03Cu-0.1Ca | 217 | 253 | 24 | 4.0 | $1.8 \times 10^7$ |
| 실시예31 | Mg-0.1Cu-0.1Ca | 219 | 251 | 17 | 5.5 | $1.9 \times 10^7$ |
| 실시예32 | Mg-1.5Cu-0.1Ca | 236 | 166 | 17 | 4.0 | $1.7 \times 10^7$ |
| 실시예33 | Mg-0.1Ni-0.1Ca | 238 | 261 | 16 | 5.8 | $1.8 \times 10^7$ |
| 비교예14 | Mg-0.03Cu-2Ca | 294 | 308 | 10 | 4.8 | $1.4 \times 10^7$ |

[0140] (2-1) Mg-Cu-Ca계 합금판

[0141] 표 2에 있어서, 소정량의 Cu 혹은 Ca를 첨가하지 않은 비교예 1, 비교예 2, 비교예 4, 비교예 5의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도는 3.8보다 높은 값을 나타내고, 결과로서 6.5 미만의 실온 에릭슨값을 나타내는 것이 확인되었다.

[0142] 한편, 소정 농도의 Cu 및 Ca(Cu: 0.005~1.5질량%, Ca: 0.05~1.0질량%) 및 Al, Zn, Mn, Zr(Al: 0~0.5질량%, Zn, Mn, Zr: 0~0.3질량%)을 첨가한 실시예 1~23의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도는 3.8 이하의 값을 나타내고, 결과로서 6.5 이상의 실온 에릭슨값을 나타내는 것이 확인되었다. 또한, 실시예 3, 실시예 4, 실시예 6, 실시예 9, 실시예 10~12, 실시예 14, 실시예 18~23에 관해서는, 7.5 이상의 실온 에릭슨값을 나타내고, 알루미늄 합금에 필적하는 실온 돌출 성형성을 나타내는 것이 확인되었다.

[0143] 또한, 실시예 3, 5, 9~23과 비교예 1, 13을 비교하면, 실시예 3, 5, 9~23과 같이 소정 농도의 Cu 및 Ca, 또한 Al, Zn, Mn, Zr를 첨가함으로써, 120(W/m·K)보다 높은 열전도율을 나타내고, 구조용 알루미늄 합금에 필적하는 실온(25℃)에 있어서의 열전도율(120~170(W/m·K))을 나타내는 것을 알았다.

[0144] 또한, 실시예 1~23의 마그네슘 합금판은 $1.3\times10^7$(S/m) 이상의 높은 전기 저항율을 나타냈다. 상술한 바와 같이, 열전도율과 전기 전도율은 동일 온도에서는 비례 관계에 있고, $1.3\times10^7$(S/m)보다 높은 전기 전도율을 갖는 Mg-Cu-Ca계 합금은 구조용 알루미늄 합금에 필적하는 열전도율을 갖는다고 할 수 있다.

[0145] 이상과 같이, 도 1, 도 3 및 표 2로부터, Cu의 함유량이 0.005~1.5질량%이며, Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%이며, Al의 함유량이 0~0.5질량%이며, Zn, Mn, Zr가 0~0.3질량%인 마그네슘 합금판에서는, 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도가 3.8 이하가 되는 것을 알았다. 또한, 도 2, 도 4, 표 2로부터, 상기 범위를 초과하는 Cu 및/또는 Ca를 첨가하면, 비교예 3 및 비교예 7에 나타내는 바와 같이, 성형 중의 파괴의 기점이 되는, $Mg_2Cu$, $Mg_2Ca$ 등의 정출물의 생성량이 증가하고, 조대한 정출물이 생성되어 있는 것을 알았다.

[0146] 또한, 부식 특성에 주목하면, 실시예 1~4, 실시예 6~8의 마그네슘 합금판은 3.0 이하의 부식 속도를 나타내고, 특히 실시예 1~3, 6~8에 있어서는 AZ31 합금(비교예 13)보다 우수한 내식성을 나타냈다. 이와 같이, Mg-Cu-Ca계 합금은 구조 부재로서 필요한 우수한 내식성도 겸비하고 있다고 할 수 있다.

[0147] 또한, 실시예 12, 15~17을 대상으로 하여 실시한 시효 석출 경화 특성의 평가 결과에 주목하면, 합금 조성을 소정 농도로 설정함으로써 비커스 경도의 상승을 확인할 수 있고, 시효 석출 경화에 의해 재료의 경도 및 항복 응력을 개선할 수 있는 것을 알았다.

[0148] (2-2) Mg-Ni-Ca계 합금판

[0149] 표 2에 있어서, 소정량의 Ni 혹은 Ca를 첨가하지 않은 비교예 1, 비교예 2, 비교예 8~11의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도는 3.8보다 높은 값을 나타내고, 결과로서 6.5 미만의 실온 에릭슨값을 나타내는 것이 확인되었다.

[0150] 한편, 소정 농도의 Ni 및 Ca(Ni: 0.01~0.5질량%, Ca: 0.05~1.0질량%)을 첨가한 실시예 24~28의 모상(Mg상)

의 (0001)면 집합 조직의 집적도는 3.8 이하의 값을 나타내고, 결과로서 6.5 이상의 실온 에릭슨값을 나타내는 것이 확인되었다. 또한, 실시예 25, 실시예 26에 관해서는 7.5 이상의 실온 에릭슨값을 나타내고, 알루미늄 합금에 필적하는 실온 돌출 성형성을 나타내는 것이 확인되었다.

[0151] 또한, 실시예 26, 27에 의하면, 소정 농도의 Ni 및 Ca를 첨가함으로써 120(W/m·K)보다 높은 열전도율을 나타내고, 구조용 알루미늄 합금에 필적하는 실온(25℃)에 있어서의 열전도율(120~170(W/m·K))을 나타내는 것을 알았다.

[0152] 또한, 실시예 24~28의 마그네슘 합금판은 $1.3\times10^{7}$(S/m) 이상의 높은 전기 저항율을 나타냈다. 상술한 바와 같이, 열전도율과 전기 전도율은 동일 온도에서는 비례 관계에 있고, $1.3\times10^{7}$(S/m)보다 높은 전기 전도율을 갖는 Mg-Ni-Ca계 합금은 구조용 알루미늄 합금에 필적하는 열전도율을 갖는다고 할 수 있다.

[0153] 이상과 같이, Ni의 함유량이 0.01~0.5질량%이며, Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%이며, Al의 함유량이 0~0.5질량%이며, Zn, Mn, Zr가 0~0.3질량%인 마그네슘 합금판에서는, 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도가 3.8 이하가 되는 것을 알았다. 또한, 비교예 9, 비교예 10, 비교예 12로부터, 상기 범위를 초과하는 Ni 및/또는 Ca를 첨가하면, 성형 중의 파괴의 기점이 되는, $Mg_2Ni$, $Mg_2Ca$ 등의 정출물의 생성량이 증가하여 높은 성형성을 얻을 수 없는 것을 알았다.

[0154] 또한, 부식 특성에 주목하면, 실시예 26의 마그네슘 합금 판재는 높은 부식 속도를 나타내지만, 실시예 24에 있어서는 AZ31 합금(비교예 13)과 동 정도의 내식성을 나타냈다. 이와 같이, Mg-Ni-Ca계 합금에 관해서도, 합금의 조성을 최적화하면, Mg-Cu-Ca계 합금과 마찬가지로 구조 부재로서 필요한 내식성도 겸비할 수 있다고 할 수 있다.

[0155] (2-3) Mg-Cu-Ca계 합금봉 및 Mg-Ni-Ca계 합금봉

[0156] 표 3에 있어서, 소정 농도의 Cu 및 Ca(Cu: 0.005~1.5질량%, Ca: 0.05~1.0질량%), 혹은 소정 농도의 Ni 및 Ca(Ni: 0.01~0.5질량%, Ca: 0.05~1.0질량%)을 첨가한 실시예 29~33의 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도는 6.8 이하의 값을 나타내고, 결과로서 15% 이상의 파단 신도를 나타내는 것이 확인되었다. 또한, 실시예 29, 실시예 30에 관해서는 20% 이상의 파단 신도를 나타내고, 알루미늄 합금에 필적하는 성형성을 나타내는 것이 확인되었다.

[0157] 또한, 실시예 29~33의 마그네슘 합금봉은 $1.3\times10^{7}$(S/m) 이상의 높은 전기 저항율을 나타냈다. 상술한 바와 같이, 열전도율과 전기 전도율은 동일 온도에서는 비례 관계에 있고, $1.3\times10^{7}$(S/m)보다 높은 전기 전도율을 갖는 Mg-Cu-Ca계 합금 및 Mg-Ni-Ca계 합금은, 구조용 알루미늄 합금에 필적하는 열전도율을 갖는다고 할 수 있다.

[0158] 이상과 같이, Cu의 함유량이 0.005~1.5질량%이며, Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%이며, Al의 함유량이 0~0.5질량%이며, Zn, Mn, Zr가 0~0.3질량%인 마그네슘 합금봉(Mg-Cu-Ca계 합금봉)에서는, 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도가 6.8 이하가 되어 높은 성형성과 열전도성이 동시에 얻어지는 것을 알았다.

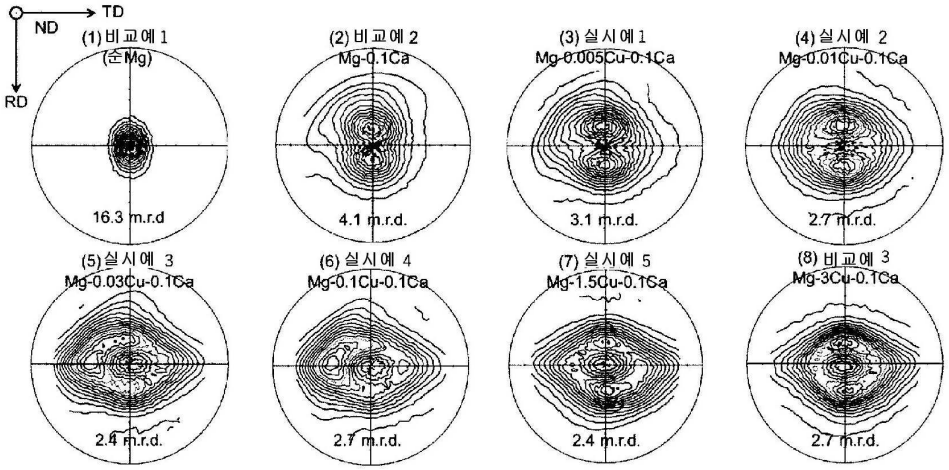
[0159] 또한, Ni의 함유량이 0.01~0.5질량%이며, Ca의 함유량이 0.05~1.0질량%이며, Al의 함유량이 0~0.5질량%이며, Zn, Mn, Zr가 0~0.3질량%인 마그네슘 합금봉(Mg-Ni-Ca계 합금봉)에서는, 모상(Mg상)의 (0001)면 집합 조직의 집적도가 6.8 이하가 되어 높은 성형성과 열전도성이 동시에 얻어지는 것을 알았다.

[0160] (산업상의 이용가능성)

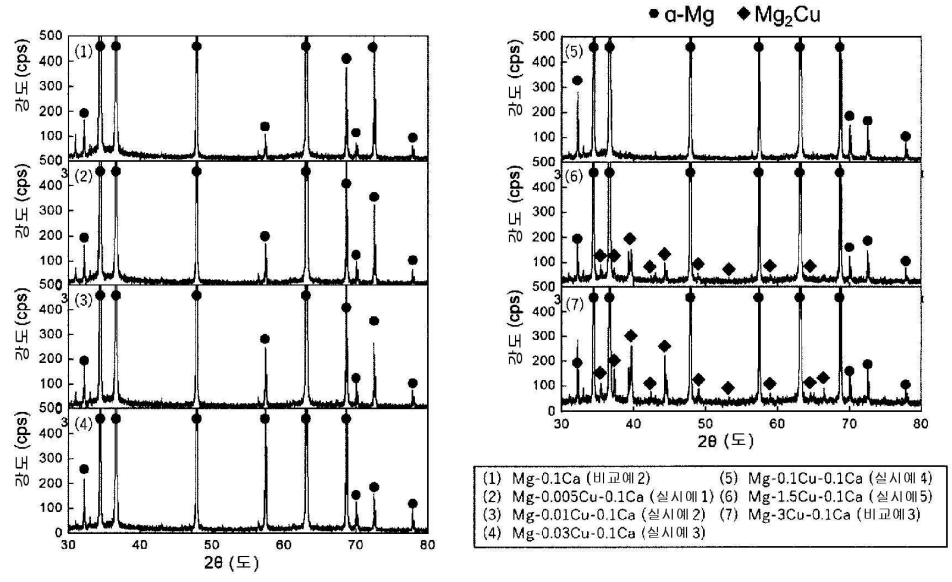
[0161] 본 발명의 마그네슘 합금판 및 마그네슘 합금봉은, 우수한 열전도율을 갖는 Mg-Cu-Ca계 합금 및 Mg-Ni-Ca계 합금을 대상으로 하여, 실온에서의 가공성 혹은 성형성을 개선하는 것이다. 또한, 구조 용도에 필요한 내식성을 가짐과 아울러, 일부의 합금에 대해서는 경도도 개선하는 것이며, 종래의 실온 성형이 가능한 마그네슘 합금이 가지고 있었던 과제, 즉 방열 특성이 낮다고 하는 과제를 해결한다. 이것에 의해, 실온에 있어서 보다 복잡한 가공이 가능하며, 또한 우수한 방열 특성을 갖는 부품을 얻을 수 있고, 전자 기기, 자동차 부품의 경량화·고기능화에 기여할 수 있는 소재이다.

## 도면

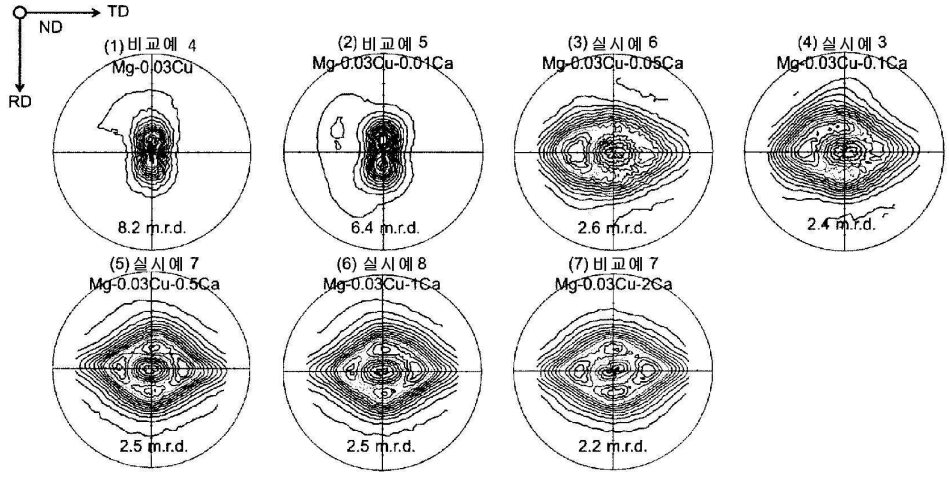
### 도면1


TD
ND
RD
(1) 비교예 1
(순Mg)
16.3 m.r.d
(2) 비교예 2
Mg-0.1Ca
4.1 m.r.d.
(3) 실시예 1
Mg-0.005Cu-0.1Ca
3.1 m.r.d.
(4) 실시예 2
Mg-0.01Cu-0.1Ca
2.7 m.r.d.
(5) 실시예 3
Mg-0.03Cu-0.1Ca
2.4 m.r.d.
(6) 실시예 4
Mg-0.1Cu-0.1Ca
2.7 m.r.d.
(7) 실시예 5
Mg-1.5Cu-0.1Ca
2.4 m.r.d.
(8) 비교예 3
Mg-3Cu-0.1Ca
2.7 m.r.d.

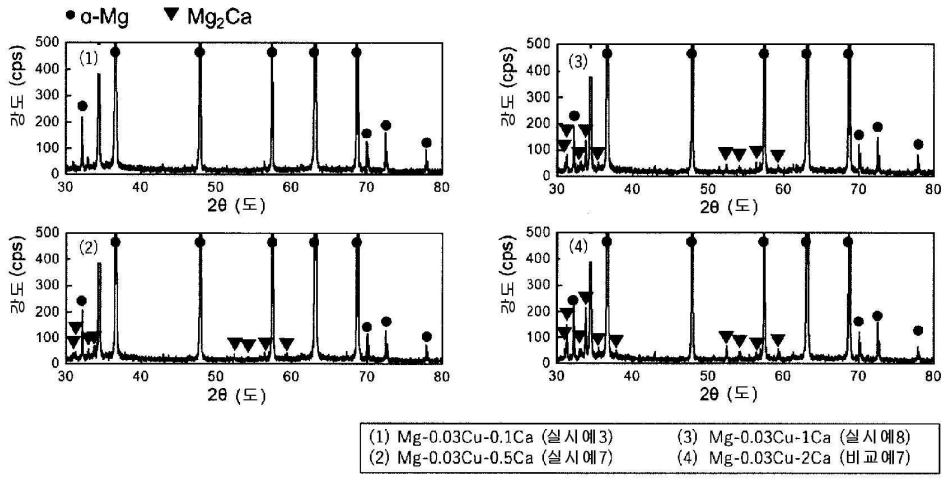
### 도면2


● α-Mg ◆ Mg2Cu
강도 (cps)
2θ (도)
(1) Mg-0.1Ca (비교예 2)
(2) Mg-0.005Cu-0.1Ca (실시예 1)
(3) Mg-0.01Cu-0.1Ca (실시예 2)
(4) Mg-0.03Cu-0.1Ca (실시예 3)
(5) Mg-0.1Cu-0.1Ca (실시예 4)
(6) Mg-1.5Cu-0.1Ca (실시예 5)
(7) Mg-3Cu-0.1Ca (비교예 3)

도면3


TD
ND
RD
(1) 비교예 4
Mg-0.03Cu
8.2 m.r.d.
(2) 비교예 5
Mg-0.03Cu-0.01Ca
6.4 m.r.d.
(3) 실시예 6
Mg-0.03Cu-0.05Ca
2.6 m.r.d.
(4) 실시예 3
Mg-0.03Cu-0.1Ca
2.4 m.r.d.
(5) 실시예 7
Mg-0.03Cu-0.5Ca
2.5 m.r.d.
(6) 실시예 8
Mg-0.03Cu-1Ca
2.5 m.r.d.
(7) 비교예 7
Mg-0.03Cu-2Ca
2.2 m.r.d.

도면4


● α-Mg ▼ Mg2Ca
(1)
(2)
(3)
(4)
강도 (cps)
2θ (도)
(1) Mg-0.03Cu-0.1Ca (실시예3)
(2) Mg-0.03Cu-0.5Ca (실시예7)
(3) Mg-0.03Cu-1Ca (실시예8)
(4) Mg-0.03Cu-2Ca (비교예7)