



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0085664
(43) 공개일자 2008년09월24일

(51) Int. Cl.

C22C 23/00 (2006.01) *C22C 1/02* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0139845

(22) 출원일자 2007년12월28일

심사청구일자 2007년12월28일

(30) 우선권주장

JP-P-2007-00071403 2007년03월19일 일본(JP)

JP-P-2007-00102585 2007년04월10일 일본(JP)

(71) 출원인

미츠이 긴조쿠 교교 가부시카가이샤

일본 도쿄도 시나카와쿠 오오사키 1쥬메 11반 1고

(72) 발명자

쿠보타 코헤이

일본 407-8555 야마나시 니라사키시 오쿠사마치
시모조-니시와리1200 미츠이 긴조쿠 교교 가부시
카가이샤 다이카스토 지교부나이

노사카 요이치

일본 407-8555 야마나시 니라사키시 오쿠사마치
시모조-니시와리1200 미츠이 긴조쿠 교교 가부시
카가이샤 다이카스토 지교부나이

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

최규팔

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 소성 가공용 마그네슘 합금 및 마그네슘 합금 소성가공부재

(57) 요약

본 발명은 주조에 의해 얻을 수 있고, 낮은 온도에서의 소성 변형성, 기계적 강도 및 내크리프성이 우수한 소성 가공용 마그네슘 합금 및 마그네슘 합금 소성가공 부재를 제공하는 것으로, 마그네슘과, 알루미늄과, 응고과정의 공정(共晶)반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소로 이루어지는 용탕을 주조하여 얻은 마그네슘 합금으로서, 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량이 2~10질량%이고, 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도가 4.5질량% 이하이며, 또한 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량보다도 0.5질량% 이상 낮게 되어 있고, 나머지의 알루미늄이 금속간 화합물로서 존재하고 있으며, 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소의 양이 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도를 저하시키는 양인 소성 가공용 마그네슘 합금, 및 마그네슘 합금 소성가공 부재.

(72) 발명자

호리 타카유키

일본 407-8555 야마나시 나라사키시 오키사마치 시
모조-니시와리1200 미즈이 긴조쿠 교교 가부시키
가이샤 다이카스토 지교부나이

후토리 노리히토

일본 407-8555 야마나시 나라사키시 오키사마치 시
모조-니시와리1200 미즈이 긴조쿠 교교 가부시키
가이샤 다이카스토 지교부나이

노모토 카즈유키

일본국 362-0021 사이타마 아게오시 하라이치
1333-2 미즈이긴조쿠 교교 가부시키가이샤 소고 겐
큐쇼나이

특허청구의 범위

청구항 1

마그네슘과, 알루미늄과, 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소로 이루어지는 용탕을 주조하여 얻은 마그네슘 합금으로서, 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량이 2~10질량%이고, 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도가 4.5질량% 이하이며, 또한 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량보다도 0.5질량% 이상 낮게 되어 있고, 나머지의 알루미늄이 금속간 화합물로서 존재하고 있으며, 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소의 양이 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도를 저하시키는 양인 것을 특징으로 하는 소성 가공용 마그네슘 합금.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소가 회토류금속, 칼슘 및 스트론튬의 적어도 1종인 것을 특징으로 하는 소성 가공용 마그네슘 합금.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

면적분석법에 의해 산출한 금속간 화합물의 면적비율이 5% 이상인 것을 특징으로 하는 소성 가공용 마그네슘 합금.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

은 0.1~3질량%, 동 0.1~4질량%, 아연 0.1~2 질량% 및 망간 0.1~1질량%의 적어도 1종을 추가 함유하는 것을 특징으로 하는 소성 가공용 마그네슘 합금.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

마그네슘 합금의 금속조직의 결정입도가 평균 50 μ m 이하인 것을 특징으로 하는 소성 가공용 마그네슘 합금.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

용탕을 다이캐스팅 주조하여 얻은 마그네슘 합금인 것을 특징으로 하는 소성 가공용 마그네슘 합금.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 소성 가공용 마그네슘 합금의 압출, 압연, 단조 및 프레스 중 어느 하나의 소성 가공에 의해 수득된 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 소성가공 부재.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

473K에서의 인장강도가 150MPa이상이고, 423K, 50MPa에서의 크리프 속도가 1×10^{-3} %/h 이하인 내크리프성을 가지는 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 소성가공 부재.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

소성가공이 단조성형인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 단조성형 부재.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

단조성형을 가공온도 573K 이하에서 실시하여 수득된, 실온에서의 인장강도가 300MPa이상인 것을 특징으로 하는 마그네슘 합금 단조성형 부재.

청구항 11

제 9 항에 기재된 마그네슘 합금 단조성형 부재를 사용한 수송기기, 정보가전, 산업기계의 부품.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 주조에 의해 용이하게 얻을 수 있고, 마그네슘 합금의 재결정 온도보다도 낮은 온도에서의 소성 변형성, 기계적 강도 및 내크리프성이 우수한 소성 가공용 마그네슘 합금 및 마그네슘 합금 소성가공 부재에 관한 것으로, 구체적으로는 경량화를 필요로 하는 자동차, 휴대전화, 노트북 컴퓨터 등의 민생전기·정보기기, 전동공구, 범용엔진 등의 산업기계 등의 마그네슘 합금제 부재의 제조에 사용할 수 있는 소성 가공용 마그네슘 합금 및 마그네슘 합금 소성가공 부재에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 상기와 같은 산업분야의 마그네슘 합금제 부재의 제조에 사용되는 합금의 대부분은 마그네슘-알루미늄계 합금이고, 주조성 및 강도를 필요로 하는 경우에는 알루미늄 함유량이 많은 합금, 예를 들면 마그네슘-9질량% 알루미늄(AZ91) 합금이 범용으로 인정되고 있다. 한편, 단조 등 소성 변형성을 필요로 하는 경우에는 알루미늄 함유량을 적게 할 필요가 있으며, 예를 들면 마그네슘-3질량% 알루미늄(AZ31) 합금이 범용으로 인정되고 있다. 또한, 주조용 합금에서도 자동차의 엔진부품 등과 같이 423K 전후에서 사용되는 내열 마그네슘 합금도 알루미늄 함유량을 억제할 필요가 있으며, 예를 들면 마그네슘-2질량% 알루미늄-2질량% 규소(AS22) 합금이나 마그네슘-4질량% 알루미늄-2질량% 희토류금속(AE42) 합금이 제안되고 있다(비특허문헌 1 참조).
- <3> 비특허문헌 1; ASTM AZ91, AZ31, AS22, AE42

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <4> 그러나, 알루미늄 함유량이 적으면 기계적 강도가 낮아지게 되고, 부품설계상, 두께를 크게 해야 할 필요가 발생하여, 경량화 효과가 작아지게 된다. 또한 내열 마그네슘 합금에 있어서도 주조성이 나쁘고, 기계적 강도가 낮아지게 된다는 과제가 있다.
- <5> 또, 마그네슘 합금은 일반적으로 소성 변형성이 부족하기 때문에, 일반적으로 573K 이상으로 가열해서 소성가공을 실시하고 있다. 그 때문에 금형의 수명이 짧고, 운환체의 선정이 어렵고, 성형 정밀도에 과제가 있는 등 많은 문제가 있다. 특히 마그네슘 합금의 단조에 있어서, 단조를 573K 이상에서 실시하는 것은, 마그네슘 합금의 재결정 온도를 넘고 있으므로 단조가공 후의 강도향상을 얻을 수 없거나, 혹은 반대로 경도가 저하되는 경우조차도 있다. 한편, 소성 가공온도를 573K 미만으로 하면, 낮은 가공율에서도 크랙이 발생하기 쉬워, 다양한 성형에 대응할 수 없다는 문제가 있었다.
- <6> 본 발명은 주조, 특히 다이캐스팅 주조에 의해 용이하게 얻을 수 있고, 마그네슘 합금의 재결정 온도보다도 낮은 온도에서의 소성 변형성, 기계적 강도 및 내크리프성이 우수하며, 특히 단조성형에 적합한 소성 가공용 마그네슘 합금 및 마그네슘 합금 소성가공 부재를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

과제 해결수단

- <7> 본 발명자들은 상기의 목적을 달성하기 위한 방책을 여러 가지로 검토한 결과, 다음 지견을 얻기에 이르렀다. 즉, 주조성, 특히 다이캐스팅 주조성을 고려하면, 마그네슘 합금 중의 알루미늄 함유량이 5질량% 이상, 바람직

하계는 6질량% 이상인 것이 바람직하다. 그러나, 이러한 알루미늄 함유량의 범위에서는 소성가공성 및 내크리프성이 저하되는 영역에 들어와 있다. 그 요인은 마그네슘상의 격자정수의 변화나 마그네슘-알루미늄상의 생성으로부터 설명되는 경우가 많다. 마그네슘 합금 중의 알루미늄 양이 저하됨으로써, 소성가공성은 향상하며, 마그네슘상 중의 알루미늄 농도가 4.5질량% 이하, 바람직하게는 4.3질량% 이하, 더욱 바람직하게는 3.5질량% 이하의 영역에서 소성가공성, 내크리프성이 개선된다. 이렇게, 주조성, 특히 다이캐스팅 주조성을 고려하였을 경우와, 소성가공성, 특히 단조성형성 및 내크리프성을 고려하였을 경우에서는, 마그네슘 합금 중의 알루미늄 함유량으로서는 0.5질량% 이상, 바람직하게는 1.0질량% 이상, 더 바람직하게는 1.5질량% 이상의 차이가 발생한다. 또, 용탕을 주조, 특히 다이캐스팅 주조하여 얻은 마그네슘 합금은 결정조직이 미세화하고 있으므로 가능한 단조가공율은 향상되어 있다. 이것들의 조합에 의해, 단조온도 473K 이하에서 압축 가공율 50% 이상의 단조가공이 가능하게 되는 것이 밝혀졌다. 한편, 마그네슘 합금 중의 알루미늄 함유량의 저하는 합금강도의 저하를 초래하지만, 단조온도 473K 이하에서의 단조가공에 의한 가공경화에 의해 보충할 수 있다.

<8> 그래서, 본 발명자들은 마그네슘 합금 용탕 중의 알루미늄과 금속간 화합물을 형성하는 금속원소를 첨가하는 것을 검토하였다. 그러나, 그 금속원소가 용탕 중에서 알루미늄과 금속간 화합물을 형성하는 경우에는, 용탕 중의 알루미늄 함유량을 실질적으로 낮추어 버리어, 주조성의 향상에는 기여하지 않고, 또 금속간 화합물이 조대화되기 때문에 용탕 중에서 침전하여 강도향상에도 기여하지 않는다. 그러나, 응고과정의 공정(共晶)반응에서 알루미늄과 금속간 화합물을 형성하는 금속원소라면, 그 금속간 화합물은 응고과정에서 생성하여 결정립 주위에 미세하고 균일하게 분산되므로, 주조 시에는 비교적 고알루미늄 함유량이지만, 응고 후의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도를 낮게 하는 것이 가능하다. 또, 응고된 금속조직 중에 미세한 금속간 화합물이 균일하게 분산되기 때문에, 소성가공성, 내크리프성에 부가하여 합금의 고강도화가 가능하게 된다.

<9> 즉, 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 마그네슘과, 알루미늄과, 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소로 이루어지는 용탕을 주조하여 얻은 마그네슘 합금으로서, 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량이 2~10질량%이고, 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도가 4.5질량% 이하이며, 또한 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량보다도 0.5질량% 낮게 되어 있고, 나머지의 알루미늄이 금속간 화합물로서 존재하고 있으며, 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소의 양이 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상(相) 중의 알루미늄 농도를 저하시키는 양인 것을 특징으로 한다.

효 과

<10> 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 마그네슘 합금의 재결정 온도보다도 낮은 온도에서의 소성가공성, 내크리프성, 기계적 특성이 우수하고, 단조온도 473K이하, 특히 373K 이하에서의 단조 성형성이 우수하여, 자동차, 휴대전화, 노트북 컴퓨터 등의 민생전·정보기기, 전동공구, 범용엔진 등의 산업기계 등의 경량화의 진전이 가능하게 된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<11> 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 마그네슘과, 알루미늄과, 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소로 이루어지는 용탕을 주조하여 얻은 마그네슘 합금으로서, 각 합금원소를 순금속으로서 또는 모합금으로서 사용하거나, 또는 각 성분 포함하는 합금으로서 사용하고, 용해시켜서 얻은 용탕을 주조하는 것에 의해 수득된다. 이 용탕 중의 알루미늄 함유량이 2~10 질량%이다.

<12> 주조 후의 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과 상기의 금속원소가 금속간 화합물을 형성하므로, 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도가 4.5질량% 이하이며, 또한 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량보다도 0.5질량% 이상, 바람직하게는 1질량% 이상 낮아지고, 나머지의 알루미늄이 응고한 금속조직 중에 미세한 금속간 화합물로서 균일하게 분산되므로, 마그네슘 합금의 재결정 온도보다도 낮은 온도에서의 소성가공성, 내크리프성에 부가하여 합금의 고강도화가 가능하게 된다.

<13> 응고과정의 공정반응에서 알루미늄과의 금속간 화합물을 형성하는 금속원소로서는 란탄, 세륨 등의 희토류금속, 혹은 그 혼합물인 미슈메탈, 칼슘, 스트론튬 등이 있고, 코스트면에서 미슈메탈, 칼슘, 스트론튬이 유리하다. 이것들의 금속원소의 함유량은 일률적으로 결정되는 것이 아니라, 마그네슘 합금의 금속조직에 있어서의 마그네슘상 중의 알루미늄 농도를 4.5질량% 이하, 바람직하게는 4.3질량% 이하, 더 바람직하게는 3.5질량% 이하로 저하시키며, 또한 그 마그네슘 합금 중의 전체 알루미늄 함유량보다도 0.5질량% 이상, 바람직하게는 1질량% 이상 낮추게 하는 양이다. 마그네슘상 중의 알루미늄 농도는 예를 들면 EPMA(Electron Probe

Micro-Analyzer)에 의해 분석할 수 있다. 또는, 각 금속원소가 형성하는 금속간 화합물은 예를 들면 Al_2Ca , Al_4Ce , 혹은 Mg-Al-Ca계 등의 복합 화합물 등이고, 이 원자비로부터 산출할 수도 있다.

- <14> 또, 생성하는 금속간 화합물에 의한 강도향상을 기대하는 것이라면, 면적분석법에 의해 산출한 금속조직 중의 금속간 화합물의 면적비율이 5%이상 바람직하게는 10% 이상인 것이 바람직하다.
- <15> 또, 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금에 있어서, 마그네슘 합금에서 일반적으로 사용되고 있는 은, 동, 아연, 망간의 적어도 1종을 각각 은 0.1~3질량%, 동 0.1~4질량%, 아연 0.1~2질량% 및 망간 0.1~1질량%의 양으로 추가 첨가하여도 상기의 메커니즘은 유효하다.
- <16> 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 금속조직이 미세화되어 있으므로 마그네슘 합금의 재결정 온도보다도 낮은 온도에서의 소성 변형성, 기계적 강도의 양면에서 유용하며, 또한 주조, 특히 다이캐스팅 주조의 급랭 응고에 의해 결정입도가 $50\mu m$ 이하, 바람직하게는 $30\mu m$ 이하가 되어 소성 가공용, 특히 단조성형용 합금소재로서 특히 적합하다. 또, 이러한 미세조직의 마그네슘 합금은 내식성이 우수하다는 것도 알려져 있다. 따라서 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 압출, 압연, 단조 또는 프레스의 소성가공이 가능하고, 마그네슘 합금의 재결정 온도보다도 낮은 온도, 구체적으로는 473K 이하, 특히 373K 이하의 온도에서의 압출, 압연, 단조 또는 프레스의 소성가공, 특히 단조성형이 가능한 것도 있어, 본 발명은 이러한 소성가공에 의해 수득된 마그네슘 합금 소성가공 부재도 포함한다.
- <17> 또, 본 발명의 소성가공에 의해 수득된 마그네슘 합금 소성가공 부재는 내크리프성이 우수하고, 473K에서의 인장강도가 150MPa이상, 423K, 50MPa에서의 크리프 속도가 $1 \times 10^{-3} \% / h$ 이하인 내크리프성을 가지고 있어, 엔진오일의 온도인 423K에서의 내크리프성이 필요한 자동차 엔진부품 등으로 사용되고 있는 알루미늄(ADC12)합금수준이다.
- <18> 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 소성가공의 가공온도·가공비를 제어하는 것에 의해 재결정이나 동적 재결정을 발생시켜, 마그네슘 합금 소성가공 부재의 금속조직을 $50\mu m$ 이하, 바람직하게는 $30\mu m$ 이하로 미세화시킬 수 있다. 미세조직의 유효성은 상기한 바와 같다. 이러한 조직제어를 실시하는 소성가공으로서의 가공온도·가공비의 자유도로부터 단조가공이 유리하다. 이렇게 본 발명의 마그네슘 합금 단조가공부재에 있어서는, 마그네슘 합금의 금속조직의 결정입도가 다른 제법에서는 곤란한 평균 $50\mu m$ 이하로 할 수가 있으며, $30\mu m$ 이하인 것이 바람직하다. 또, 예를 들면 AZ61, AZ91에서는 곤란한 573K 이하에서의 단조성형이 가능하고, 단조성형을 가공온도 573K 이하에서 실시하여, 실온에서의 인장강도가 300MPa이상인 마그네슘 합금 단조성형 부재를 얻을 수 있다. 또, 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금은 473K 이하, 특히 373K 이하의 온도에서의 단조성형, 엷단조에서, 압축율 30% 정도, 특히 조건의 제어에 의해 압축율 50% 정도에서도 크랙이 발생하지 않고, 단조 후의 경도를 가공 경화에 의해 30% 이상, 조건에 따라 50% 이상 향상시킬 수 있다. 본 발명은 이러한 단조성형에 의해 수득된 마그네슘 합금 단조성형 부재도 포함한다.
- <19> 또, 마그네슘 합금 소성가공 부재의 성형형상 또는 강도가 필요한 부위가 한정되어 있는 경우에는, 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금을 573K 이상의 열간단조로 성형하고, 강도가 필요한 부위를 473K 이하에서 냉간단조를 부여하는 것도 가능하다. 이러한 방법을 자유롭게 조합시킴으로써 본 발명의 소성 가공용 마그네슘 합금의 단조방법의 폭이 확대되어, 단조에 의한 강도·신뢰성의 향상을 얻을 수도 있다.
- <20> 이하에 실시예 및 비교예에 의거하여 본 발명을 구체적으로 설명한다.
- <21> **실시예 1~8 및 비교예 1**
- <22> 실시예 1~8 및 비교예 1의 소성 가공용 마그네슘 합금을 제조하기 위해서 사용한 원료 합금조성을 표 1에 나타낸다. 또, 표 1 중의 Mm은 미슈메탈이다.

표 1

원료합금 기호	원료합금 조성(질량%)
A	Mg-12%A1-2%C a-2%Mm-0.2%Mn
B	Mg-5%A1-2%C a-2%Mm-0.2%Mn
C	Mg-7%A1-2%C a-2%Mm-2%Sr-0.2%Mn
D	Mg-9%A1-2%C a-2%Mm-2%Sr-0.2%Mn
E	Mg-10%A1-2%C a-2%Mm-0.2%Mn
F	Mg-6%A1-2%C a-0.7%Zn-0.2%Mn
G	Mg-6%A1-1%C a-2%Mm-0.2%Mn-1%Ag
H	Mg-6%A1-1%C a-2%Sr-0.2%Mn-1%Cu

<23>

<24>

주강주물체의 도가니에 상기한 어느 하나의 마그네슘 원료합금을 장입하여 용해시키고, 합금의 내식성을 개선하기 위해서 그 용탕에 0.2 질량%의 미슈메탈을 첨가하며, 또한 Ar가스를 버블링시키고, 또, 그 용탕의 표면에 회석 SF₆을 유동시켰다. 용탕온도를 873~973K로 유지하고, 금형온도 473K에서 표 2에 나타내는 주조방법에 의해 주조하였다. 다이캐스팅 주조의 경우에는 □100mm×100mm, 두께 4mm의 판재를 제작하고, 금형주조의 경우에는 □100mm×100mm, 두께 50mm의 판재를 제작하였다. 또, 이 금형주조에서 얻은 두께 50mm의 판재에 대해서는, 두께 4mm로 절단한 것을 후술하는 단조성 시험 및 크리프시험에 사용하였다.

<25>

제작한 각각의 판재에 대해서, 금속조직의 평균 결정입도는 JIS G 0551의 정의에 의한 결정입도이고, 마그네슘 상 중의 알루미늄 농도는 EDX판 정량분석에 의한 값이고, 금속간 화합물의 면적비율은 현미경조직의 화상해석에 의한 값이다. 그것들의 값은 표 2에 나타내는 바와 같다.

표 2

	원료합금 기호	주조방법	평균결정입도	Mg상 중의 Al 농도	금속간 화합물의 면적비율
비교예 1	A	다이캐스팅	40 μm	6.5 질량%	8%
실시예 1	B	다이캐스팅	10 μm	3 질량%	6%
실시예 2	B	금형주조	40 μm	3 질량%	7%
실시예 3	C	다이캐스팅	10 μm	3 질량%	8%
실시예 4	D	다이캐스팅	30 μm	3.5 질량%	8%
실시예 5	E	다이캐스팅	25 μm	4.5 질량%	12%
실시예 6	F	다이캐스팅	20 μm	4 질량%	6%
실시예 7	G	다이캐스팅	25 μm	4.3 질량%	5%
실시예 8	H	다이캐스팅	25 μm	4.2 질량%	5%

<26>

<27>

상기 실시예 및 비교예의 각각의 마그네슘 합금의 두께 4mm의 판재를 사용하여, 각각 표 3에 나타내는 단조온도에서, 저면직경 20mm, 높이 30mm이상, 측면의 드래프트각 5도의 컵형상의 시작품을 후방 압출로 제작하였다. 이때, 단편은 처리하지 않았다. 단조성을 상기의 기준에 의해 평가하였다. 그것들의 평가결과는 표 3에 나타내는 바와 같다.

<28>

<단조성>

<29> ○: 시작품에 크랙 등의 결함이 없다

<30> △: 시작품 표면에 미세한 크랙이 있다

<31> ×: 시작품에 크랙이 있다

<32> 또, 상기 실시예 및 비교예의 각각의 마그네슘 합금의 두께 4mm의 판재를 업셋가공에 의해 두께 2mm로 가공하여 JIS13B 시험편을 제작하고, 이 시험편을 사용해서 시험온도 423K, 부하 50MPa로 크리프시험을 실시하고, 크리프 속도를 산출하였다. 그 시험 결과는 표 3에 나타내는 바와 같다.

<33> 또, 일부의 마그네슘 합금 판재에 대해서 인장강도를 측정하였다. 그 결과는 표 3에 나타내는 바와 같다.

표 3

마그네슘 합금	주조온도	주조법	크리프속도, %/h	인장강도
비교예 1-1	723K	○	3.3×10^{-3}	260MPa
비교예 1-2	623K	×	—	—
실시예 1	523K	○	0.25×10^{-4}	340MPa
실시예 2	573K	○	0.20×10^{-4}	280MPa
실시예 3	523K	○	0.18×10^{-4}	360MPa
실시예 4	573K	○	9.5×10^{-4}	320MPa
실시예 5	573K	○	4.5×10^{-4}	265MPa
실시예 6	523K	○	1.7×10^{-4}	—
실시예 7	523K	○	1.5×10^{-4}	—
실시예 8	573K	○	1.8×10^{-4}	—

<34>

<35> 실시예 9~12 및 비교예 2

<36> 실시예 9~12 및 비교예 2의 소성 가공용 마그네슘 합금을 제조하기 위해서 사용한 원료합금 조성을 표 4에 나타낸다. 또, 표 4 중의 Mm은 미슈메탈이다.

표 4

원료합금 기호	원료합금 조성 (질량%)
I	Mg-8%Al-2%Ca-2%Mm-0.2%Mn
J	Mg-5%Al-2%Ca-2%Mm-2%Sr-0.2%Mn
K	Mg-4%Al-1%Ca-2%Mm-0.2%Mn
L	Mg-3%Al-2%Ca-1%Mm-0.5%Sr-0.2%Mn
M	Mg-2%Al-1%Ca-1%Mm-0.5%Sr-0.2%Mn

<37>

<38> 표 4에 나타내는 원료 마그네슘 합금 I, J, K, L 및 M에 대해서는, 주강주물체의 도가니에 우선 마그네슘과 알루미늄을 장입하여 용해시키고, 그 용탕에 칼슘, 미슈메탈 및 스트론튬을 첨가(원료 마그네슘 합금 A 및 C의 경우에는 스트론튬 무첨가)하고, 용해를 확인한 후에 마그네슘-망간 모합금을 첨가하고, 교반을 실시한 후, Ar가스를 10분간 버블링시키고, 그 후 10분간 정치하고, 표면의 드로스를 제거하여 각각 원료합금 I, J, K, L 및 M의 용탕을 제작하였다.

<39> 용탕온도를 873~973K로 유지하고, 용탕 표면에 회석 SF₆을 유동시키면서 주조를 실시하였다. 금형온도 473K에

서 표 5에 나타내는 주조방법에 의해 주조하였다. 다이캐스팅 주조의 경우에는 $\phi 70\text{mm} \times 100\text{mm}$ 의 둥근 봉을 제작하고, 금형주조의 경우에는 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 의 둥근 봉을 제작하였다. 각각의 둥근 봉을 각각 높이 50mm로 절단하여 시험편을 제작하였다.

<40> 제작한 각각의 시험편에 관한 금속조직의 평균 결정입도는 JIS G 0551의 정의에 의한 결정입도이고, 마그네슘 상 중의 알루미늄 농도는 EDX판 정량분석에 의한 값이다. 그것들의 값은 표 5에 나타내는 바와 같다.

표 5

	원료합금 기호	주조방법	평균결정 입도	Mg상 중의 Al 농도
비교예 2	I	금형주조	50 μm	6.5질량% (Δ 1.5질량%)
실시예 9	J	금형주조	50 μm	3.0질량% (Δ 2.0질량%)
실시예 10	K	다이캐스팅	15 μm	3.0질량% (Δ 1.0질량%)
실시예 11	L	다이캐스팅	25 μm	2.0질량% (Δ 1.0질량%)
실시예 12	M	다이캐스팅	30 μm	1.5질량% (Δ 0.5질량%)

<41>

<42> Mg상 중의 Al농도란의 Δ 의 수치는 원료합금 조성의 Al의 농도와 차이(감소량)을 나타내고 있다.

<43> 상기 실시예 및 비교예의 각각의 시험편에 대해서, 각각 표 6에 나타내는 단조온도로 업셋 단조가공을 실시하였다. 압축율을 10% 단위로 상승시켜서 실시하고, 크랙이 발생한 시점에서 그 시험편에 대해서 시험을 종료하였다. 표 6에는 각각의 시험편, 단조온도에 대해 크랙이 발생하지 않은 최대의 압축율을 나타낸다. 또, 경도는 단조전의 시험편의 경도와 최대 압축율을 나타낸 단조후의 시험편의 경도를 마이크로 비커스 시험(300g, 30초)으로 측정하였다. 측정결과는 표 6에 나타내는 바와 같다.

표 6

시험편	주조온도	압축율	단조전의 경도 → 단조후의 경도	경도 증가율
비교예 2	473 K	10%	53 → 62	17%
실시예 9	373 K	20%	47 → 66	40%
실시예 9	473 K	50%	47 → 61	30%
실시예 10	373 K	30%	65 → 91	40%
실시예 10	473 K	50%	65 → 87	34%
실시예 11	373 K	30%	62 → 95	53%
실시예 11	423 K	40%	62 → 95	53%
실시예 11	473 K	60%	62 → 85	37%
실시예 12	373 K	40%	56 → 88	57%
실시예 12	423 K	50%	56 → 91	63%
실시예 12	473 K	70%	56 → 82	46%

<44>