(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0053038
(43) 공개일자 2021년05월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 1/08 (2006.01) *C22C 21/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 1/08 (2013.01)
C22C 21/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0138825
(22) 출원일자 2019년11월01일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
김수현
경상남도 창원시 성산구 토월로27번길 18, 105동 902호
임차용
경상남도 창원시 마산합포구 노산북3길 9, 513동 1102호
정제기
부산광역시 동래구 연안로 74
(74) 대리인
이인행

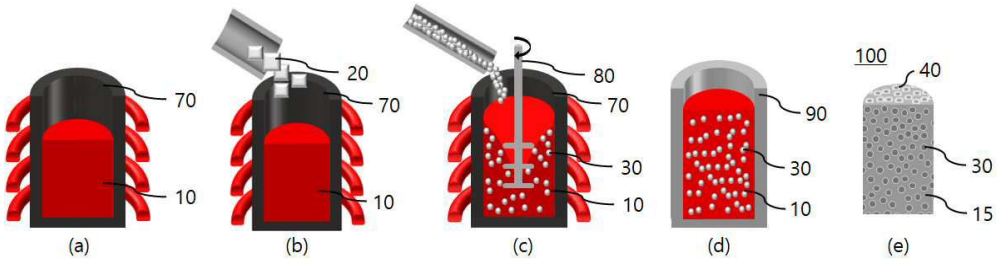
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **알루미늄 합금 폼 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 관점에 따르면, 알루미늄 합금 폼을 제공한다. 상기 알루미늄 합금 폼은 마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지; 및 상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하되, 상기 알루미늄 합금 기지 및 상기 세라믹 중공 소재가 서로 접하는 계면에는 마그네슘-알루미늄 복합 산화물을 포함하는 반응층이 형성되되, 상기 알루미늄 합금 폼의 밀도는 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 높다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C22C 2001/081 (2013.01)
C22C 2001/083 (2013.01)
C22C 2001/088 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	PNK6140
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	재료연구소 운영비지원사업
연구과제명	고충격흡수능 알루미늄 소재개발 및 안전소재 평가기반구축(3/5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	국가과학기술연구회
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지; 및

상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하는 알루미늄 합금 폼이며,

상기 알루미늄 합금 기지 및 상기 세라믹 중공 소재가 서로 접하는 계면에는 마그네슘-알루미늄 복합 산화물을 포함하는 반응층이 형성되되,

상기 알루미늄 합금 폼의 밀도는 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 높은 것을 특징으로 하는,

알루미늄 합금 폼.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄 합금 폼의 경도는 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 높은 것을 특징으로 하는,

알루미늄 합금 폼.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 세라믹 중공 소재의 장폭와 단폭의 비율인 형상비는 상기 알루미늄 합금 폼의 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 큰 것을 특징으로 하는,

알루미늄 합금 폼.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 마그네슘의 함량은 2.0 wt% 내지 8.0 wt% 인,

알루미늄 합금 폼.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 세라믹 중공 소재는 125 ㎛ 내지 500 ㎛의 입도 범위를 가지며,

상기 세라믹 중공 소재의 함량은 20 Vol.% 내지 50 Vol.% 인,

알루미늄 합금 폼.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄 합금 기지는 실리콘을 더 함유하되,

상기 알루미늄 합금 기지 내의 실리콘의 함량은 1.0 wt% 미만인,

알루미늄 합금 폼.

청구항 7

마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지; 및 상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하며, 상기 알루미늄 합금 기지 및 상기 세라믹 중공 소재가 서로 접하는 계면에는 마그네슘-알루미늄 복합 산화물을 포함하는 반응층이 형성된, 제 1 알루미늄 합금 폼을 제공하는 단계;

상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 가열하여 표면부가 중심부 보다 온도가 더 높도록 유지한 상태에서 압연하여 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계;

를 포함하는,

알루미늄 합금 폼의 제조방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계는 상기 알루미늄 합금 기지의 고액 공존 온도까지 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 가열한 상태에서 압연하는 단계를 포함하는,

알루미늄 합금 폼의 제조방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 알루미늄 합금 폼은 마그네슘: 2.0 wt% 내지 8.0 wt%, 실리콘: 0 초과 1 wt% 이하 및 잔부가 알루미늄으로 이루어지며,

상기 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계는 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 530 내지 630℃ 범위에서 가열한 상태에서 압연하는 단계를 포함하는,

알루미늄 합금 폼의 제조방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계는 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 5 ~ 25%의 압하율로 압연하는 단계를 포함하는,

알루미늄 합금 폼의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 알루미늄 합금 폼 및 이의 제조방법에 대한 것으로서, 더 상세하게는 충격흡수능, 흡차음 특성, 방폭 특성이 우수할 뿐만 아니라, 종래의 알루미늄 폼 대비 기계적 성질이 우수하여 자동차 범퍼시스템, 건물 방음시설, 방탄판 등에 사용가능한 마그네슘이 첨가된 알루미늄 합금 폼 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 마이크로스피어, 세노스피어 등 중공체를 내부에 분산시킨 폼의 경우 고분자 기지를 이용한 폼의 제조기술이 보고된 바 있다. 이 방법은 중공체와 고분자 간의 결합력이 우수하여 중공체를 고분자에 함침시키는 방법이 사용된다. 그러나 고분자 기지 폼의 경우 기계적 성질이 불량하여 구조용 소재로 사용되기에는 부적합하다.

[0003] 한편, 금속기지로 구성된 폼의 경우 분말야금법, 용탕가압함침법, 교반주조법 등이 사용되고 있으며 수송기기, 건축물 등 경량성이 요구되는 용도로는 알루미늄 폼이 주로 사용되고 있다. 알루미늄 폼은 경량성이 우수할 뿐만 아니라 충격흡수능, 흡차음 특성, 진동감쇠능, 방폭특성이 우수하여 자동차 범퍼시스템, 건물 방음 시설, 방탄판 등에 사용된다.

[0004] 주조법은 주로 용탕 내부에 증점제와 발포제를 첨가하여 발포시키는 발포법이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 발

포주조법은 고가의 발포제를 사용함으로써 제조비용이 상승할 뿐만 아니라 발포 공정 변수의 제어가 용이하지 않아서 불량율이 높다는 단점이 있다.

[0005] 한편, 금속 기지 내에 중공체를 분산시켜서 제조하는 알루미늄 폼 제조방법은 증점제와 발포제를 사용하지 않으므로 발포법에 비하여 제조 비용 및 원소재 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 알루미늄 내부에 중공체를 분산시키는 기술은 분말야금법, 용탕가압함침법 등이 보고되고 있다. 알루미늄 분말과 중공체 분말을 혼합하여 제조하는 분말야금법은 우수한 분산성을 보이고 있으나, 분말야금법의 특성상 제조비용이 증가한다. 용탕가압함침법은 중공체 분말을 몰드 안에 넣은 후 알루미늄 용탕을 가압하여 충진시키는 방법으로서 균일분산과 우수한 계면특성을 얻을 수 있으나 배치형 제조방식으로 인하여 생산성이 낮고 시편 크기의 제한을 받는다는 단점이 있다.

[0006] 최근에 알루미늄 합금 내부에 중공체를 분산시키는 방법으로서 주조법이 제안된 바 있다. 그러나 이 방법은 최종적으로 금형에 주입하여 가압하는 방식으로서 단순히 용탕에서 분산시키는 방법이 아님을 알 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 제조단가를 획기적으로 감소시킬 수 있으며, 충격흡수능, 흡차음 특성, 방폭 특성이 우수할 뿐만 아니라, 종래의 알루미늄 폼 대비 기계적 성질이 우수하여 자동차 범퍼시스템, 건물 방음시설, 방탄판 등에 사용이 가능한 마그네슘이 첨가된 알루미늄 합금 폼 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한, 본 발명은 경량성, 에너지흡수능, 방폭 특성, 내마모 특성이 우수하며 합금 폼의 내부는 낮은 밀도를, 표면은 높은 밀도를 부여함으로써 에너지흡수능을 극대화하면서 표면특성을 향상시킬 수 있어서 방탄특성 및 내마모특성을 필요로 하는 방탄판 및 브레이크 디스크 등에 사용가능한 알루미늄 합금 폼 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 알루미늄 합금 폼을 제공한다.

[0009] 상기 알루미늄 합금 폼은 마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지; 및 상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하되, 상기 알루미늄 합금 기지 및 상기 세라믹 중공 소재가 서로 접하는 계면에는 마그네슘-알루미늄 복합 산화물을 포함하는 반응층이 형성되며, 상기 알루미늄 합금 폼의 밀도는 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 높다.

[0010] 상기 알루미늄 합금 폼의 경도는 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 높을 수 있다.

[0011] 상기 세라믹 중공 소재의 장폭와 단폭의 비율인 형상비는 상기 알루미늄 합금 폼의 중심부 보다 표면부에서 상대적으로 더 클 수 있다.

[0012] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 관점에 따르면, 알루미늄 합금 폼의 제조방법을 제공한다.

[0013] 상기 알루미늄 합금 폼의 제조방법은 마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지; 및 상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하며, 상기 알루미늄 합금 기지 및 상기 세라믹 중공 소재가 서로 접하는 계면에는 마그네슘-알루미늄 복합 산화물을 포함하는 반응층이 형성된, 제 1 알루미늄 합금 폼을 제공하는 단계; 및 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 가열하여 상기 제 1 알루미늄 합금 폼의 표면부가 상기 제 1 알루미늄 합금 폼의 중심부 보다 온도가 더 높도록 유지한 상태에서 압연하여 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0014] 상기 알루미늄 합금 폼의 제조방법에서, 상기 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계는 상기 알루미늄 합금 기지의 고액 공존 온도까지 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 가열한 상태에서 압연하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 알루미늄 합금 폼의 제조방법에서, 상기 제 1 알루미늄 합금 폼은 마그네슘: 2.0 wt% 내지 8.0 wt%, 실리콘: 0 초과 1 wt% 이하 및 잔부가 알루미늄으로 이루어지며, 상기 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계는 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 530 내지 630℃ 범위에서 가열한 상태에서 압연하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 알루미늄 합금 폼의 제조방법에서, 상기 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성하는 단계는 상기 제 1 알루미늄 합금 폼을 5 ~ 25%의 압하율로 압연하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 실시예에 따르면, 교반주조법을 사용함으로써 종래의 분말야금법에 비하여 제조공정 비용을 획기적으로 낮출 수 있는 알루미늄 합금 폼을 제공한다. 또한, 본 발명의 알루미늄 합금 폼은 폐기물로 처리되던 석탄회 중 일부 경량 미립자인 세노스피어를 이용함으로써 자원 재활용 효과와 제조공정 비용 감소의 효과가 현저하다. 또, 종래의 발포주조법과 비교할 때 증점제와 발포제를 첨가하지 않기 때문에 제조 비용 감소효과가 현저하며, 용탕 가압함침법에 대비 제조공정이 단순하고 주조시 가압 공정을 포함하지 않으므로 제조비용 감소효과가 우수한 알루미늄 합금 폼의 제조방법을 제공할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법을 순서대로 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실험예에 따른 세라믹 중공 소재의 미세구조를 주사전자현미경으로 분석한 사진이다.

도 3은 본 발명의 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 미세구조를 광학현미경으로 분석한 사진이다.

도 4는 본 발명의 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 미세구조를 광학현미경으로 분석한 사진이다.

도 5는 본 발명의 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 분산도를 비교분석한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 계면 미세구조를 주사전자현미경 및 에너지분산분광법을 이용하여 분석한 사진이다.

도 7은 본 발명의 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플을 마이크로 CT(micro-computed tomography)로 분석한 사진이다.

도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법을 도해하는 순서도이다.

도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법을 도해하는 단면도이다.

도 10은 본 발명의 실험예 중에서 실시예의 샘플에서 표면부(As)와 중심부(Ac)에서의 조직을 확대하여 촬영한 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법을 순서대로 도시한 도면이다.

[0021] 먼저, 도 1의 (a)를 참조하면, 용해로(70)에 알루미늄을 장입하고 용해하여 알루미늄 용탕(10)을 준비한다. 이후 도 1의 (b)와 같이, 준비된 알루미늄 용탕(10)에 마그네슘(20)을 첨가하여 마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 용탕(10)을 제조한다.

[0022] 도 1의 (c)와 같이, 교반기(80)를 회전시켜 마그네슘이 함유된 알루미늄 합금 용탕(10)에 와류(vortex)를 형성하고, 상기 와류가 형성된 마그네슘이 함유된 알루미늄 합금 용탕(10)에 세라믹 중공 소재(30)를 첨가한다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 교반기(80)을 이용하여 알루미늄 합금 용탕(10)에 와류를 형성하면서, 용탕(80)에 와류에 세라믹 중공 소재(30)를 투입함으로써, 교반 중에 알루미늄 합금 용탕(10)과 세라믹 중공 소재(30)간의 활발한 반응을 유도한다.

[0024] 이러한 교반을 거친 후 주조된 알루미늄 합금 폼은 알루미늄 합금 기지와 세라믹 중공 소재간의 우수한 결합력을 보이며. 이러한 결합력은 알루미늄 합금 기지와 세라믹 중공 소재가 접하는 계면에 결합력을 향상시키는 마그네슘-알루미늄 복합산화물 반응층이 형성되었기 때문으로 판단된다. 이에 대한 자세한 내용은 후술하기로 한다.

[0025] 여기서, 상기 와류를 형성하는 단계는, 교반기(80)를 500 rpm 내지 1200 rpm의 범위의 회전속도로 회전시켜 알루미늄 합금 용탕(10)을 교반할 수 있다. 이 때, 알루미늄 합금 용탕(10)의 온도가 750 ℃ 내지 850 ℃의 범위에서 수행된다. 또, 세라믹 중공 소재(30)를 첨가하기 전에 세라믹 중공 소재(30)를 100 ℃ 내지 180 ℃의 온도 범위로 예열한 후 알루미늄 합금 용탕(10)에 첨가한다.

[0026] 도 1의 (d)에 도시된 바와 같이, 마그네슘이 함유된 알루미늄 합금 용탕(10) 내에 세라믹 중공 소재(30)가 균일하게 분산된 것을 몰드(90)에 장입하고 냉각시킨다. 이후에 도 1의 (e)에 도시된 것과 같이, 몰드(90)를 제거하면 본 발명의 일 실시예에 의한 알루미늄 합금 폼(100)이 제조된다.

[0027] 도 1의 (e)에 의하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 알루미늄 합금 폼(100)은 마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지(15), 알루미늄 합금 기지(15) 내에 분산된 세라믹 중공 소재(30)를 포함한다. 이때 알루미늄 합금 기지(15) 및 세라믹 중공 소재(30)가 서로 접하는 계면에는 반응층(40)이 형성된다. 여기서, 알루미늄 합금(15) 내에 첨가되는 마그네슘의 함량은 2.0 wt% 내지 8.0 wt% 일 수 있으며, 세라믹 중공 소재(30)의 함량은 20 Vol.% 내지 50 Vol.% 일 수 있다. 또한, 알루미늄 합금 내에 포함되는 실리콘의 함량은 1.0 wt% 미만일 수 있다.

[0028] 세라믹 중공 소재(30)는, 예를 들어, 화력발전소에서 대량으로 발생되어 폐기물로 처리되던 석탄회 중 경량 미립자인 세노스피어(Cenosphere)를 포함할 수 있다. 이 경우, 자원 재활용 효과가 뛰어나, 제조공정 비용의 감소 효과를 얻을 수 있다. 세라믹 중공 소재(30)는 예를 들어, 125 ㎛ 내지 500 ㎛의 입도 범위를 가질 수 있다.

[0029] 또한, 알루미늄 합금(15) 내에 분산된 세라믹 중공 소재(30)의 분산균일도는 하기 수학식 1로 정의되는 분산균일도(%)가 82% 내지 96%를 만족한다.

[0030] [수학식 1]

[0031] 분산균일도(%)={1-(세라믹 중공 소재의 분율에 대한 표준편차/세라믹 중공 소재의 평균 분율)}×100

[0032] 한편, 알루미늄 합금(15) 내에 분산된 세라믹 중공 소재(30) 및 알루미늄 합금(15) 및 세라믹 중공 소재(30)가 서로 접하는 계면에 형성된 반응층(40)에 의해서 결합력을 향상시킨다. 반응층(40)은 예를 들어, 알루민산마그네슘($MgAl_2O_4$) 이차상을 포함한다.

[0033] 본 발명에서 반응층(40)의 형성은 매우 중요한 요소인데, 상술한 세노스피어를 세라믹 중공 소재(30)로 사용할 경우, 알루미늄 합금 기지와 세노스피어와의 결합력이 형성되려면 마그네슘의 첨가량이 중요하다. 만약, 마그네슘을 첨가하지 않는다면, 알루미늄 합금은 세노스피어와 반응이 일어나지 않으므로 계면 접합력이 현저히 떨어지게 되어 세노스피어가 알루미늄 합금 내부로 균일하게 분산되지 않는다.

[0034] 한편, 마그네슘을 첨가한 알루미늄 합금 용탕(10)과 세노스피어는 교반 중에 화학반응이 일어난다. 세노스피어는 SiO_2 및 Al_2O_3의 화합물 또는 복합 산화물로서 마그네슘을 함유한 알루미늄 용탕(10)과 하기 화학식 (1) 내지 (3)과 같은 반응이 일어난다.

[0035] 화학식 (1) : $2Al(l)+Mg(l)+2SiO_2(s) \rightarrow 2MgAl_2O_4(S)+2Si(S)$

[0036] 화학식 (2) : $Mg(l)+4/3Al_2O_3(s) \rightarrow MgAl_2O_4(s)+2/3Al(l)$

[0037] 화학식 (3) : $3Mg(l)+Al_2O_3 \rightarrow 3MgO(s)+2Al(l)$

[0038] 상기 화학식 (1) 내지 (3)과 같은 화학반응이 일어남으로써, 알루미늄 합금 기지와 세노스피어와의 결합력이 증가한다. 여기서, 알루미늄 합금에서 마그네슘의 함량이 증가할수록 용탕 내에서의 마그네슘의 활동도가 증가하므로 세노스피어와의 반응성을 증가시키기 위해서는 알루미늄 합금에서의 마그네슘의 함량을 증가시키는 것이 유리하다.

[0039] 그러나 일정량 이상의 마그네슘을 첨가하면 알루미늄 합금 용탕 내에서 마그네슘의 산화반응이 증가하고 세노스피어와의 반응성 또한 급격히 증가한다. 그러므로 본 발명에서는 알루미늄 합금(15) 내에 첨가되는 마그네슘의 함량은 2.0 wt% 내지 8.0 wt%로 제어한다. 만약, 마그네슘 함량이 2.0 wt% 미만일 때는 세라믹 중공 소재(30)와의 반응성이 부족하게 되어 세라믹 중공 소재(30)가 알루미늄 합금 기지 내에 균일하게 분산되기 어렵다. 반면, 마그네슘 함량이 8.0 wt% 초과일 때에는 알루미늄 합금 용탕의 산화도 증가 및 세라믹 중공 소재(30)와 과도한 반응성이 일어난다.

[0040] 또한, 알루미늄 합금 용탕(10) 내에서 실리콘은 마그네슘과 하기 화학식 (4)와 같은 화학반응이 일어나 마그네

슘실리사이드(Mg_2Si) 이차상이 알루미늄 합금 기지 내에 정출된다.

[0041] 화학식 (4) : $2Mg(l)+Si(l) \rightarrow Mg_2Si(s)$

[0042] 만약, 알루미늄 합금 기지 내 실리콘의 첨가량이 증가한다면, 기지 내 마그네슘의 함량이 감소함으로 화학식 (1) 내지 (3)과 같은 화학반응을 저해한다. 따라서, 실리콘을 첨가하지 않거나, 첨가하더라도 함량을 1.0 wt% 미만의 범위로 한정하여 알루미늄 합금 용탕과 세노스피어의 화학반응을 우선적으로 유도하여 알루미늄 합금 폼만의 고유한 특성이 충분히 나타날 수 있도록 한다.

[0043] 한편, 알루미늄 합금 용탕(10)을 강하게 교반하여 와류를 생성시킴으로써 세라믹 중공 소재(30)가 알루미늄 합금 용탕(10) 내부로 침투시킬 수 있게 된다. 이 때, 알루미늄 합금 용탕(10)의 교반속도가 일정 이하일 경우, 세라믹 중공 소재(30)의 낮은 밀도로 인하여 알루미늄 합금 용탕(10) 내부로 침투하지 못한다. 반면에, 알루미늄 합금 용탕(10)의 교반속도가 일정 이상일 경우 알루미늄 합금 용탕(10)이 원심력에 의하여 외부로 흘러내리는 현상이 발생한다. 따라서, 적절한 교반기(80)의 회전속도는 500 rpm 내지 1200 rpm이 되는 것이 바람직하다. 여기서, 교반기(80)의 형상은 알루미늄 합금 용탕(10)의 와류 형성과 세라믹 중공 소재(30)의 균일 분산을 위하여 다양한 형태를 가질 수 있다.

[0044] 또한, 알루미늄 합금 용탕(10)의 교반시 알루미늄 합금 용탕(10)의 온도는 750 ℃ 내지 850 ℃가 되는 것이 바람직하다. 만약, 750 ℃ 미만이 되면 알루미늄 합금 용탕(10)과 세라믹 중공 소재(30)와의 반응성이 떨어져서 균일한 분산이 이루어지지 않을 뿐만 아니라 알루미늄 합금 용탕(10)의 점도가 증가하여 교반이 용이하지 않게 된다. 반면에, 850 ℃ 초과시에는 알루미늄 합금 용탕(10)과 세라믹 중공 소재(30)의 과도한 반응으로 인하여 반응생성물이 불필요하게 많이 생성되고 알루미늄 합금 용탕(10) 내부의 마그네슘의 산화가 심해지게 된다.

[0045] 또한, 알루미늄 합금 용탕(10)의 교반시간은 알루미늄 합금 용탕과 세라믹 중공 소재와의 반응과 분산균일도에 영향을 미친다. 알루미늄 합금과 용탕과 세라믹 중공 소재와의 반응을 유도하고 균일분산이 이루어지기 위해서는 일정 시간 이상의 용탕 교반시간을 필요로 한다. 반면 알루미늄 합금 용탕(10)의 교반시간이 증가하면 반응물의 과도한 생성으로 인하여 용탕의 유동도가 급격히 감소하여 바람직하지 않다. 따라서 본 발명에서는 알루미늄 합금 용탕(10)의 교반시간을 1분 이상 5분 이내로 한정한다.

[0046] 한편, 세라믹 중공 소재(30)는 알루미늄 합금 용탕(10)에 주입시 용탕 온도의 급격한 저하를 방지하기 위하여, 알루미늄 합금 용탕(10)에 주입하기 이전에 100 ℃ 내지 180 ℃ 온도에서 예열함으로써 세라믹 중공 소재(30)의 수분을 제거한 후 첨가한다.

[0047] 세라믹 중공 소재(30)는 125 ㎛ 내지 500 ㎛의 입도 범위를 갖는다. 이는 세라믹 중공 소재(30)의 입도가 감소하게 되면 세라믹 중공 소재(30) 입자의 표면적이 증가하게 되고, 이를 알루미늄 합금 용탕(10)에 주입시 용탕과 접촉되는 면적의 증가로 인하여 용탕 온도의 저하를 촉진하고 알루미늄 합금 용탕과 세라믹 중공 소재 간의 표면장력의 영향이 현저하게 된다. 따라서, 세라믹 중공 소재(30)의 입도가 125 ㎛ 미만이 되는 경우 용탕 온도의 저하와 표면장력의 영향으로 인하여 알루미늄 합금 용탕(10) 내에 세라믹 중공 소재(30)가 균일분산이 되지 않는다.

[0048] 한편, 세라믹 중공 소재(30)의 입도가 500 ㎛를 초과하면 입도가 500 ㎛ 미만인 경우보다 세라믹 중공 소재 내부의 불활성 기체에 의한 부력의 영향이 현저하므로 알루미늄 합금 용탕 내부로 침투시켜 교반이 용이하지 않게 된다.

[0049] 또한, 본 발명에서는 세라믹 중공 소재(30)의 함량이 20 Vol.% 내지 50 Vol.%를 첨가한다. 만약, 세라믹 중공 소재(30)의 함량이 20 Vol.% 미만일 경우, 알루미늄 합금 폼만의 고유한 특성을 충분히 나타내기 어렵게 된다. 반면에, 50 Vol.% 초과할 경우, 알루미늄 합금 용탕(10) 내부로 완전히 침투하지 못한 세라믹 중공 소재(30) 분말이 용탕의 상부로 떠오르게 될 뿐만 아니라 용탕의 유동도가 급격히 감소하여 주조가 불가능하게 된다.

[0050] 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼(100)은 알루미늄 합금(15) 내에 고르게 분산된 세라믹 중공 소재(30)를 포함하며, 우수한 에너지흡수능 및 기계적 성질을 갖게 되며 자동차 충돌부재, 건축물의 방음소재 및 방탄판 등에 사용될 수 있다.

[0051] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법을 도해하는 순서도이고, 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법을 도해하는 단면도이다.

[0052] 도 8 및 도 9를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조방법은 마그네슘을 함유

하는 알루미늄 합금 기지; 및 상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하며, 상기 알루미늄 합금 기지 및 상기 세라믹 중공 소재가 서로 접하는 계면에는 마그네슘-알루미늄 복합 산화물을 포함하는 반응층이 형성된, 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 제공하는 단계(S100); 및 상기 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 가열하여 표면부(As)가 중심부(Ac) 보다 온도가 더 높도록 유지한 상태에서 압연하여 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 형성하는 단계(S200);를 포함한다.

[0053] 제 1 알루미늄 합금 폼(100)은 도 1 내지 도 7을 참조하여 앞에서 설명한 알루미늄 합금 폼에 해당한다. 따라서, 제 1 알루미늄 합금 폼(100)에 대한 상세한 설명은 중복되므로 여기에서는 생략한다.

[0054] 제 2 알루미늄 합금 폼(200)은 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 가열하여 표면부(As)가 중심부(Ac) 보다 온도가 더 높도록 유지한 상태에서 압연롤(150)을 이용하여 압연하여 구현된다. 상기 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 형성하는 단계(S200)는 상기 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 5 ~ 25%의 압하율로 압연하는 단계를 포함할 수 있다.

[0055] 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 형성하는 단계(S200)를 수행함에 있어서 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 가열하는 공정이 선행되어야 하는 바, 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 가열하여 표면부(As)가 중심부(Ac) 보다 온도가 더 높도록 유지한 상태에서 압연하는 것이 중요하다. 가령, 도 1에 개시된 (d) 단계와 (e) 단계 사이에 존재하는 상태의 알루미늄 합금 폼을 압연하는 경우, 상기 알루미늄 합금 폼의 표면부는 중심부 보다 온도가 더 낮으므로 상술한 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 구현할 수 없다. 즉, 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 구현하기 위하여 선행되는 압연 대상물은 도 1에 개시된 (e) 단계 이후에 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 가열하여 표면부(As)가 중심부(Ac) 보다 온도가 더 높도록 유지하여야 한다.

[0056] 구체적으로, 상기 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 형성하는 단계(S200)는 상기 알루미늄 합금 기지의 고액 공존 온도까지 상기 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 가열한 상태에서 압연하는 단계를 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로, 상기 제 1 알루미늄 합금 폼(100)은 마그네슘: 2.0 wt% 내지 8.0 wt%, 실리콘: 0 초과 1 wt% 이하 및 잔부가 알루미늄으로 이루어지며, 이 경우, 상기 제 2 알루미늄 합금 폼(200)을 형성하는 단계(S200)는 상기 제 1 알루미늄 합금 폼(100)을 530 내지 630℃ 범위에서 가열한 상태에서 압연하는 단계를 포함할 수 있다.

[0057] 상술한 제조방법으로 형성된 제 2 알루미늄 합금 폼(200)은 경사밀도(density-graded) 알루미늄 합금 폼을 구현할 수 있다. 이 경우, 제 2 알루미늄 합금 폼(200)의 표면부(As)에서의 밀도는 제 2 알루미늄 합금 폼(200)의 중심부(Ac)에서의 밀도보다 상대적으로 더 높을 수 있다.

[0058] 이러한 경사밀도(density-graded) 알루미늄 합금 폼으로서 제 2 알루미늄 합금 폼(200)의 경도는 중심부(Ac) 보다 표면부(As)에서 상대적으로 더 높을 수 있다. 또한, 상기 경사밀도(density-graded) 알루미늄 합금 폼으로서 제 2 알루미늄 합금 폼(200)에서, 세라믹 중공 소재의 장폭와 단폭의 비율인 형상비는 제 2 알루미늄 합금 폼(200)의 중심부(Ac) 보다 제 2 알루미늄 합금 폼(200)의 표면부(As)에서 상대적으로 더 클 수 있다.

[0059] 나아가, 제 2 알루미늄 합금 폼(200)은 표면과 내부의 밀도가 연속적으로 변하는 경사밀도를 가질 수도 있다. 이를 구현하기 위하여, 압연공정에 투입하는 피압연체인 제 1 알루미늄 합금 폼(100)은 표면부(As)에서 중심부(Ac)에 이르기까지 온도가 점점 낮아지는 양상을 가지도록 가열될 수 있다.

[0060] 이러한 특성을 가지는 제 2 알루미늄 합금 폼(200)은 경량성, 에너지흡수능, 방폭 특성, 내마모 특성이 우수하며 합금 폼의 내부는 낮은 밀도를, 표면은 높은 밀도를 부여함으로써 에너지흡수능을 극대화하면서 표면특성을 향상시킬 수 있어서 방탄특성 및 내마모특성을 필요로 하는 방탄판 및 브레이크 디스크 등에 사용가능하다.

[0061] 경사기능(functionally graded) 재료와 같이 재료 내부의 성질을 위치에 따라서 변화시킴으로써 기능성을 극대화할 수 있으며, 금속 폼의 경우에도 내부에 존재하는 기공의 부피분율을 위치에 따라서 변화시킨 경사 밀도(density-graded) 폼이 에너지흡수능 및 방탄특성 측면에서 유리하다. 그러나, 이러한 경사 밀도 폼을 구현함에 있어서, 별도로 제작한 전구체를 이용한 가압함침법으로 제조하거나 여러 종류의 기공 밀도를 갖는 폼을 접합시켜 제조하는 방법을 사용하거나, 3D 프린팅법을 이용하여 경사 밀도 폼을 제조하는 경우, 특정한 금속 분말을 사용해야하며, 공정의 복잡성으로 인하여 생산 단가가 높고 대량생산이 어렵다는 단점이 예상된다. 상술한 본 발명의 실시예에 의하면, 교반주조법을 이용하여 알루미늄-마그네슘 계 합금 폼을 제조하여 제조공정 비용을 획기적으로 낮출 수 있으며 재료 내부에 경사밀도를 부여함으로써 에너지흡수능을 극대화하고 표면특성을 향상시킬 수 있다. 특히 분말야금법, 가압함침법, 3D프린팅법 등을 사용하지 않으므로 제조공정 비용을 낮추고 대량생산이 가능한 장점이 있다.

[0062] 이하에서는, 본 발명의 이해를 돕기 위한 실험예들을 설명한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕

기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실시예들만으로 한정되는 것은 아니다.

[0063] <제 1 실험예>

[0064] 본 발명의 제 1 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼의 제조방법을 이용하여 알루미늄 합금 폼 샘플을 제조하였다. 표 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조조건 및 분산여부, 분산균일도를 나타낸 것이다. 표 2는 본 발명의 비교예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 제조조건 및 분산여부, 분산균일도를 나타낸 것이다. 표 1 및 표 2의 분산여부 항목에서 'O'항목은 분산이 양호함을 의미하며, 'X'항목은 분산이 불량함을 의미하며, '△'항목은 분산이 보통임을 의미한다.

표 1

[0065]

실시예	Mg함량(Wt.%)	Si 함량(Wt.%)	세노스피어종류	세노스피어주입함량(Vol.%)	세노스피어평균입도(μm)	Aspect ratio(쉘직경:쉘두께)	세노스피어예열온도(℃)	교반온도(℃)	용탕온도(℃)	출탕온도(℃)	분산여부(O/△/X)	분산균일도(%)
1	3	<1	C1	30	475	28:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	O	96
2	3	<1	C2	30	136	25:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	O	83
3	3	<1	C2	40	136	25:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	O	82
4	3	<1	C2	50	136	25:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	O	85
5	4.5	<1	C2	30	136	25:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	O	88

표 2

[0066]

비교예	Mg 함량(Wt.%)	Si 함량(Wt.%)	세노스피어종류	세노스피어주입함량(Vol.%)	세노스피어평균입도(μm)	Aspect ratio(쉘직경:쉘두께)	세노스피어예열온도(℃)	교반온도(℃)	용탕온도(℃)	출탕온도(℃)	분산여부(O/△/X)	분산균일도(%)
1	0	0	C2	30	136	25:1	100 ~ 200	-	750	800	X	0
2	0	10	C2	30	136	25:1	100 ~ 200	750 ~ 850	750	800	X	0
3	0.5	<1	C2	30	136	25:1	100 ~ 200	750 ~ 850	750	800	X	0
4	1	<1	C3	50	117	31:1	100 ~ 200	750 ~ 850	750	800	X	0
5	2.5	<1	C3	50	117	31:1	100 ~ 200	750 ~ 850	750	800	X	0
6	3	<1	C3	30	117	31:1	100 ~ 200	750 ~ 850	750	800	X	0
7	3	<1	C1	15	475	28:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	<800	△	13
8	3	<1	C2	15	136	25:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	△	12
9	3	<1	C3	15	117	31:1	100 ~ 180	750 ~ 850	750 ~ 800	>800	X	0
10	7	<1	C3	50	117	31:1	100 ~ 200	750 ~ 850	750	800	X	0

[0067] 도 2에 의하면, 본 발명의 제 1 실험예에 사용된 세라믹 중공 소재인 세노스피어의 종류별로 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 표면 미세구조를 분석한 것이다. 세노스피어의 종류에 따른 입자의 크기를 측정하였으며, 하기 표 3에 정리하였다.

표 3

[0068]

Sample	Average particle size (㎛)	Measured particle size (㎛)
C1	450	475
C2	180	136
C3	100	117

[0069] 먼저, 표 1과 표 3을 참조하면, 본 제 1 실험예 중에서 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플은 마그네슘을 함유하는 알루미늄 합금 기지; 및 상기 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재;를 포함하되, 상기 마그네슘의 함량은 2.0 wt% 내지 8.0 wt% 의 범위를 만족하고, 상기 세라믹 중공 소재의 함량은 20 Vol.% 내지 50 Vol.%의 범위를 만족하고, 상기 알루미늄 합금 기지 내 실리콘의 함량은 1.0 wt% 미만의 범위를 만족하며, 상기 세라믹 중공 소재는 125 ㎛ 내지 500 ㎛의 입도 범위를 만족한다. 또한, 본 제 1 실험예 중에서 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플을 제조하는 방법은 알루미늄 용탕에 2.0 wt% 내지 8.0 wt% 범위의 마그네슘을 첨가하는 단계; 및 교반기를 이용하여 상기 알루미늄 합금 용탕에 와류(vortex)를 형성하면서 상기 와류가 형성된 상기 알루미늄 합금 용탕에 세라믹 중공 소재를 첨가하는 단계;를 포함하되, 상기 알루미늄 합금 용탕을 교반하는 단계에서 상기 알루미늄 합금 용탕의 온도는 750 ℃ 내지 850 ℃의 범위를 만족하며, 상기 세라믹 중공 소재를 첨가하는 단계 이전에 상기 세라믹 중공 소재의 예열 온도는 100 ℃ 내지 180 ℃의 범위를 만족한다.

[0070] 상기 조건들을 모두 만족하는 본 발명의 일 실시예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플은 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재의 분산균일도가 82% 내지 96%의 범위를 만족하여 양호함을 확인할 수 있다.

[0071] 한편, 표 2와 표 3을 참조하면, 본 제 1 실험예 중에서 비교예 1 내지 비교예 4는, 실시예들과 달리, 상술한 공정조건 중에서 마그네슘의 함량이 2.0 wt% 내지 8.0 wt% 의 범위를 만족하지 못한다. 본 제 1 실험예 중에서 비교예 2는, 실시예들과 달리, 상술한 공정조건 중에서 알루미늄 합금 기지 내 실리콘의 함량이 1.0 wt% 미만의 범위를 만족하지 못한다. 본 제 1 실험예 중에서 비교예 4 내지 비교예 6과 비교예 9 내지 비교예10은, 실시예들과 달리, 상술한 공정조건 중에서 세라믹 중공 소재의 입도 범위가 125 ㎛ 내지 500 ㎛의 범위를 만족하지 못한다. 본 제 1 실험예 중에서 비교예 7 내지 비교예 9는, 실시예들과 달리, 상술한 공정조건 중에서 세라믹 중공 소재의 함량이 20 Vol.% 내지 50 Vol.%의 범위를 만족하지 못한다.

[0072] 이러한 본 발명의 비교예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플은 알루미늄 합금 기지 내에 분산된 세라믹 중공 소재의 분산균일도가 0% 내지 13%로서 분산 정도가 양호하지 못함을 확인할 수 있다.

[0073] 도 3은 본 발명의 제 1 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 미세구조를 광학현미경으로 분석한 사진이다.

[0074] 도 3의 (a)는 본 발명의 실시예 2 샘플이고, 도 3의 (b)는 비교예 3 샘플의 미세구조를 광학현미경으로 분석한 결과이다. 실시예 2 샘플의 경우, 세노스피어가 알루미늄 합금 기지 내에 고르게 분산된 것을 확인할 수 있었다. 반면, 비교예 3 샘플의 경우, 알루미늄 합금 기지의 어느 특정 부위에만 세노스피어가 배열되어 분산되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 동일한 세노스피어일 경우, 공정 조건이 동일하더라도 마그네슘의 함량에 따라서 분산 정도가 달라지는 것을 알 수 있으며, 세노스피어를 균일하게 분산시키기 위해서 적정량의 마그네슘이 필요한 것을 확인시켜준 결과이다.

[0075] 도 4는 비교예 8 샘플의 미세구조를 위치별로 분석한 것으로서, 도 4의 (a)는 주조된 알루미늄 폼 내부(inside)의 미세구조이며, 도 4의 (b)는 외부(outside)의 미세구조이다.

[0076] 비교예 8 샘플의 경우, 알루미늄 합금 폼의 외부 표면에 세노스피어가 일부 분산되었으나, 내부에는 세노스피어가 전혀 분산되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 도 3의 (a)에 도시된 실시예 2 샘플과 마그네슘의 함량은 동일하나, 세노스피어의 함량이 15 Vol.%로 낮기 때문에, 알루미늄 합금 폼의 고유한 특성을 나타내기 위해서는 적어도 이보다는 높아야 하는 것을 보여준다.

[0077] 도 5는 본 발명의 실시에 및 비교예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 분산도를 비교분석한 그래프이다.

[0078] 도 5의 (a)는 알루미늄 합금 폼 샘플들의 분산도를 비교하기 위해서 샘플 내 위치를 개략적으로 표시한 도면이고, 도 5의 (b)는 도 5의 (a)에 도시된 위치에서의 분산도를 샘플별로 비교분석한 그래프이다. 도 5는 폼의 위치별 세라믹 중공 소재의 분산도를 나타낸 결과이며, 상술한 분산균일도는 도 5의 분산도를 토대로 수학식 1로 산출된 결과이다.

[0079] 도 5의 (b)에 의하면, 본 발명의 실시예 1 샘플 내지 실시예 5 샘플의 경우, 정도의 차이는 있었으나, 비교예 7 샘플 및 비교예 8 샘플 대비 분산도가 높은 것을 보여준다. 비교예 7 샘플 및 비교예 8 샘플의 경우, 세노스피어의 함량이 15 Vol.%로 낮기 때문에, 다른 공정 조건이 같더라도 분산이 전체적으로 이루어지지 않은 것을 확인할 수 있었다. 반면, 실시예 1 샘플 내지 실시예 5 샘플의 경우, 세노스피어의 함량이 30 Vol.% 이상을 만족하고 있고, 알루미늄 합금의 내부에서의 분산균일도도 우수한 것으로 확인할 수 있었다.

[0080] 도 6은 본 발명의 제 1 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플의 계면 미세구조를 주사전자현미경 및 에너지분산 분광법을 이용하여 분석한 사진이다.

[0081] 도 6에 의하면, 실시예 2 샘플에서의 알루미늄 합금과 세노스피어가 서로 접하는 계면의 미세구조를 따라 라인 스캔(line scan)한 것으로서, 계면에 $MgAl_2O_4$ 이차상이 형성된 것을 확인할 수 있었다. 이는 알루미늄 합금 기지와 세노스피어와의 결합력이 형성되려면 적정량의 마그네슘을 첨가해야하는 것을 보여주며, 마그네슘을 첨가한 알루미늄 합금 용탕과 세노스피어가 서로 교반 중에 화학반응이 일어나게 되어 상기 $MgAl_2O_4$ 이차상이 형성된 것을 볼 수 있다.

[0082] 도 7은 본 발명의 제 1 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼 샘플을 마이크로 CT(micro-computed tomography)로 분석한 사진이다.

[0083] 도 7에 의하면, 본 발명의 실시예 2 샘플을 마이크로 CT로 분석한 것으로서, 알루미늄 합금 외부 표면 뿐만 아니라, 내부에도 균일하게 세노스피어가 분산된 것을 보여준다.

[0084] <제 2 실험예>

[0085] 표 4 및 표 5는 본 발명의 제 2 실험예의 샘플 조건과 이에 따른 물성을 나타낸다. 도 10은 본 발명의 제 2 실험예 중에서 실시예 8의 샘플에서 표면부(As)와 중심부(Ac)에서의 조직을 확대하여 촬영한 사진이다.

[0086] 본 발명의 제 2 실험예에서는, 알루미늄 기지와 세노스피어와의 결합력 형성 및 젖음성 개선을 위하여 마그네슘을 첨가하였다. 또한 경사밀도 부여를 위한 고액공존 온도영역 압연을 위하여 고액공존 온도 구간을 확장시키기 위하여 마그네슘의 첨가가 필요하다. 따라서, 본 발명에서는 2 내지 8wt%의 마그네슘을 첨가할 수 있다. 알루미늄 폼의 내부에 경사밀도를 부여하기 위하여 알루미늄 폼 판재를 고액공존 온도인 580℃에서 1시간 가열한 후 압연을 실시하였다. 이 때 판재의 가열 시간은 판재 표면의 온도가 고액공존 온도까지 충분히 도달하지만 내부로 이동할수록 온도가 감소하는 상태이어야 한다. 이를 위해서는 판재의 두께에 따라서 가열시간을 조절해야 한다. 본 제 2 실험예에서는 20mm 두께의 판재를 1시간 동안 가열하였다. 압연은 여러 패스로 실시하여 최종적으로 15 ~ 20%의 압하량을 가하였다. 판재의 마모특성을 Ball-on-disc 방식으로 50N의 수직하중, 0.5m/s의 선속도로 평가하였다.

표 4

[0087]

	Mg함량 (중량 %)	세노스피어 부피분율 (%)	압하량 (%)	밀도 (g/cm^3)	표면 밀도 (g/cm^3)	중심 밀도 (g/cm^3)	중공체의 형상비 (표면)	중공체의 형상비 (중심)
비교예 11	3	30	0%	2.265	2.27	2.27	1.1	1.1
실시예 6	3	30	15%	2.277	2.95	2.06	2.4	1.3
실시예 7	3	30	20%	2.257	2.95	2.06	3.4	1.3
비교예 12	7	30	0%	2.211	2.21	2.21	1.0	1.0
실시예 8	7	30	20% (1%/pass)	2.373	2.91	2.02	3.6	1.6
실시예 9	7	30	20% (5%/pass)	2.4	2.91	2.02	3.2	1.6

표 5

[0088]

	Mg함량 (중량 %)	세노스피어 부피분율 (%)	압하량 (%)	표면 경도 (HV)	중심 경도 (HV)	마모율 (mm^3/m)	마찰계수 (μ)
비교예 11	3	30	0%	51.2	51.2	0.00439	0.90745
실시예 6	3	30	15%	68.8	54.1	0.001695	0.063799

실시예 7	3	30	20%	70.5	67.4	0.001666	0.168995
비교예 12	7	30	0%	65.1	65.1	0.00382	0.37154
실시예 8	7	30	20% (1%/pass)	67.2	59.3	0.00558	0.1854
실시예 9	7	30	20% (5%/pass)	60.3	57.4	0.00237	0.04026

[0089] 본 발명의 제 2 실험예에 따른 알루미늄 합금 폼은 제 1 알루미늄 합금 폼(비교예)과 제 2 알루미늄 합금 폼(실시예)로 구분된다. 구체적으로, 비교예 11 및 비교예 12는 제 1 알루미늄 합금 폼으로서 도 8에서 단계(S200)를 적용하지 않은 알루미늄 합금 폼에 해당하며, 실시예 6 내지 실시예 9는 제 2 알루미늄 합금 폼으로서 도 8에서 단계(S200)를 적용하여 구현한 알루미늄 합금 폼에 해당한다. 나아가, 실시예 6 및 실시예 7은 도 8의 단계(S200)를 수행함에 있어서, 압연 공정을 단일 패스(1pass)만 수행하여 목표로 하는 압하율을 구현한 것이며, 실시예 8 및 실시예 9는 도 8의 단계(S200)를 수행함에 있어서, 압연 공정을 멀티 패스(multi-pass)로 수행하여 목표로 하는 압하율을 구현한 것이다.

[0090] 표 4 및 도 10을 참조하면, 비교예들은 제 1 알루미늄 합금 폼의 표면부(As)와 중심부(Ac)에서 밀도가 동일하며, 제 1 알루미늄 합금 폼의 표면부(As)와 중심부(Ac)에서 세라믹 중공 소재의 장폭와 단폭의 비율인 형상비가 동일함을 확인할 수 있다. 이에 반하여, 실시예들은 제 2 알루미늄 합금 폼의 표면부(As)와 중심부(Ac)에서 밀도가 서로 상이하며, 제 2 알루미늄 합금 폼의 표면부(As)와 중심부(Ac)에서 세라믹 중공 소재의 장폭와 단폭의 비율인 형상비도 서로 상이함을 확인할 수 있다. 구체적으로, 제 2 알루미늄 합금 폼의 밀도는 중심부(Ac) 보다 표면부(As)에서 상대적으로 더 높으며, 상기 세라믹 중공 소재의 장폭와 단폭의 비율인 형상비는 상기 제 2 알루미늄 합금 폼의 중심부(Ac) 보다 표면부(As)에서 상대적으로 더 큼을 확인할 수 있다.

[0091] 표 5를 참조하면, 비교예들은 제 1 알루미늄 합금 폼의 표면부(As)와 중심부(Ac)에서 경도가 동일함에 반하여, 실시예들은 제 2 알루미늄 합금 폼의 표면부(As)와 중심부(Ac)에서 경도가 서로 상이함을 확인할 수 있다. 구체적으로, 제 2 알루미늄 합금 폼의 경도는 중심부(Ac) 보다 표면부(As)에서 상대적으로 더 높음을 확인할 수 있다. 나아가, 동일한 마그네슘 함량과 세노스피어 부피 분율의 조건 하에서, 비교예에 따른 제 1 알루미늄 합금 폼 보다 실시예에 따른 제 2 알루미늄 합금 폼에서 마찰계수가 현저히 낮으며, 마모율도 대부분 낮음을 확인할 수 있다.

[0092] 요컨대, 표 4에 의하면 판재 내부는 밀도가 낮고 표면부는 밀도가 높은 경사밀도 알루미늄 합금 폼 제조가 가능함을 확인할 수 있으며, 표 5에 의하면 경사 밀도 알루미늄 합금 폼 판재는 우수한 표면경도와 낮은 마모율 및 월등히 낮은 마찰계수를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

[0093] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0094] 10 : 알루미늄 합금 용탕

15 : 알루미늄 합금 기지

20 : 마그네슘 합금

30 : 세라믹 중공 소재

40 : 반응층

70 : 용해로

80 : 교반기

90 : 몰드

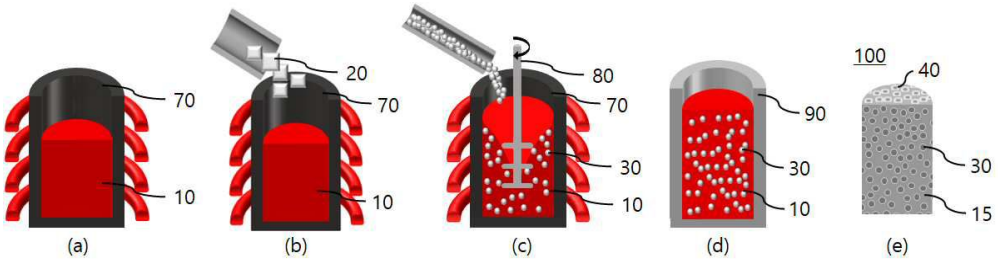
100 : 제 1 알루미늄 합금 폼

150 : 압연롤

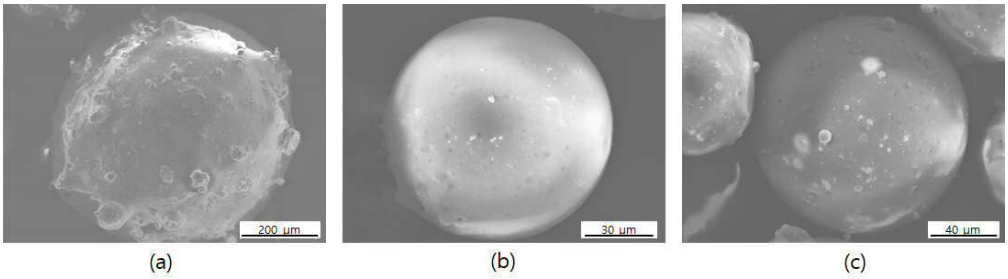
200 : 제 2 알루미늄 합금 폼

도면

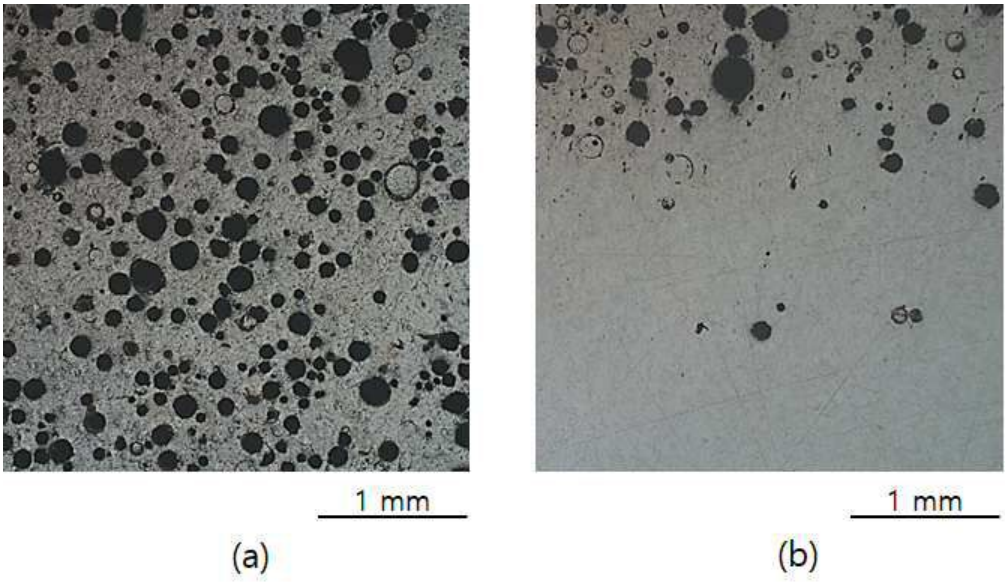
도면1



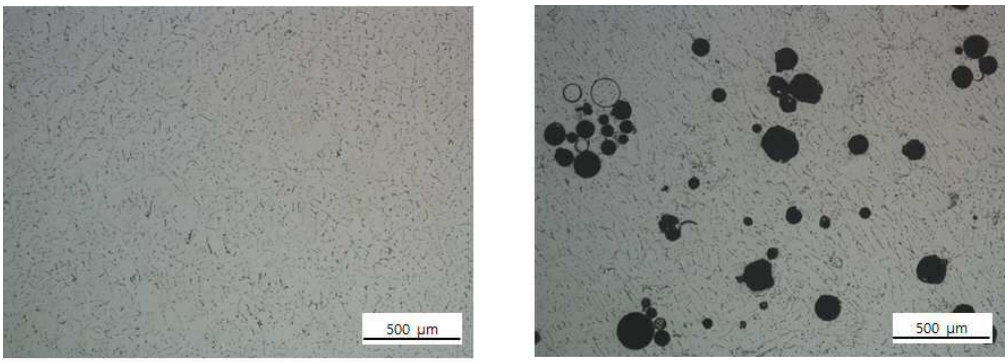
도면2



도면3

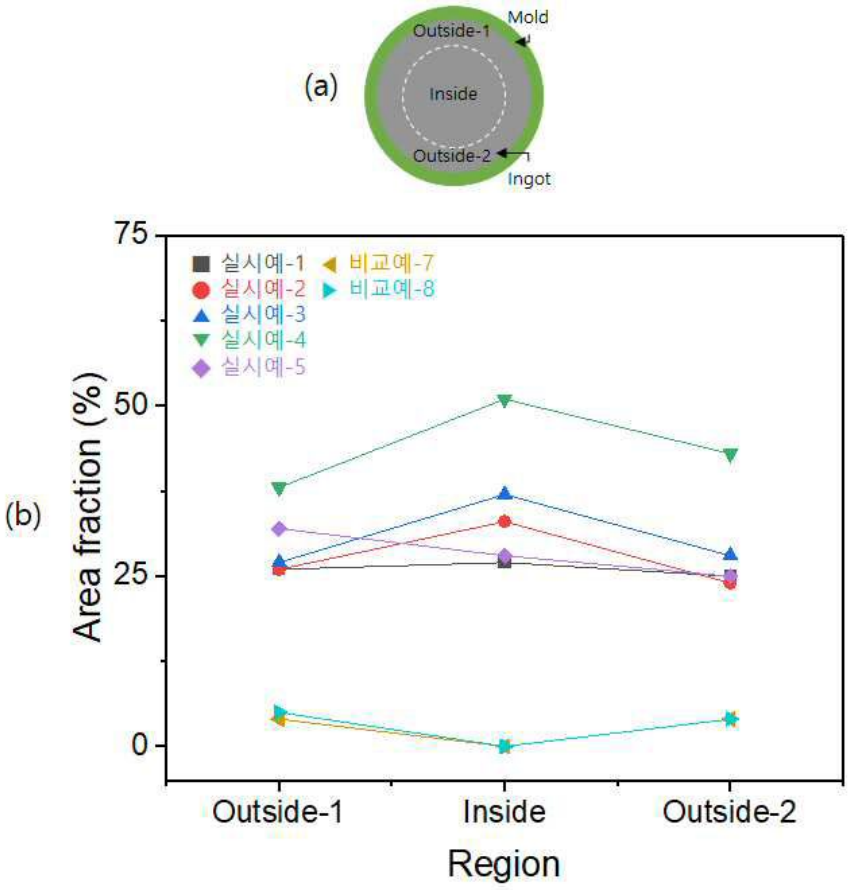


도면4

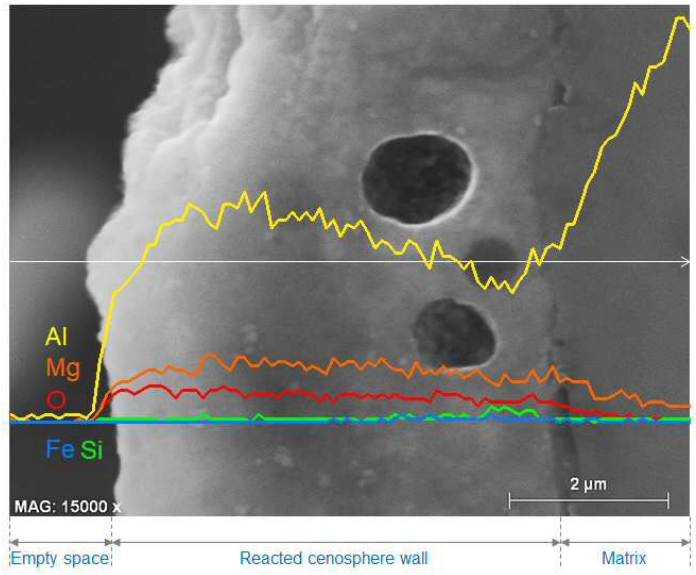

500 μm
500 μm

(a) (b)

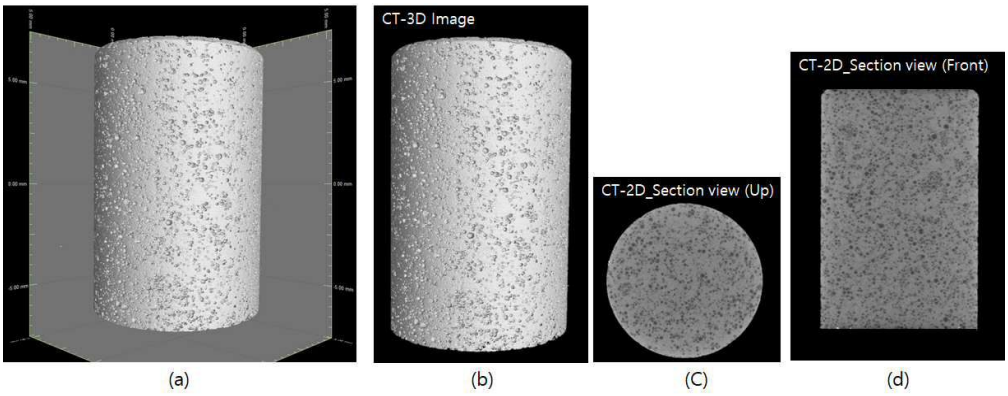
도면5


(a)
Outside-1
Mold
Inside
Outside-2
Ingot
(b)
실시예-1
실시예-2
실시예-3
실시예-4
실시예-5
비교예-7
비교예-8
Area fraction (%)
75
50
25
0
Outside-1
Inside
Outside-2
Region

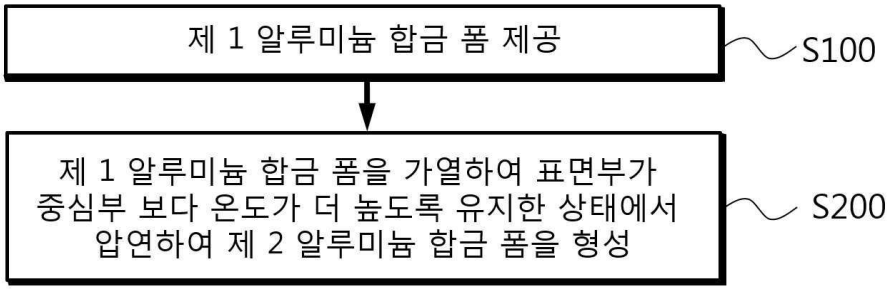
도면6


Al
Mg
O
Fe Si
MAG: 15000 x
2 μm
Empty space
Reacted cenosphere wall
Matrix

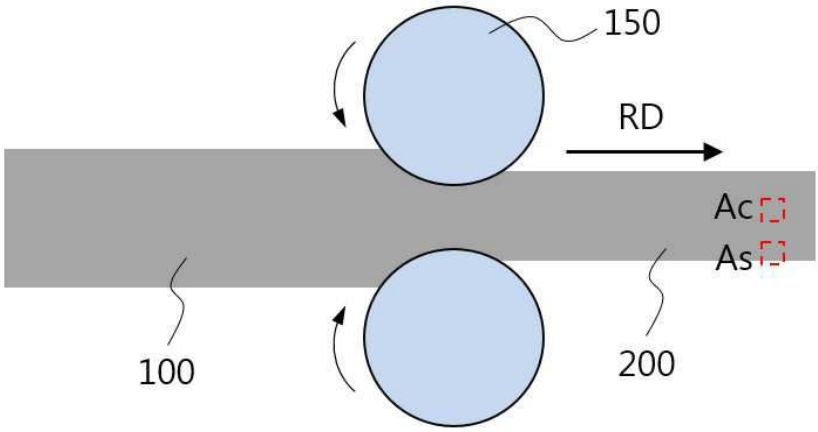
도면7


CT-3D Image
CT-2D_Section view (Up)
CT-2D_Section view (Front)
(a)
(b)
(C)
(d)

도면8


제 1 알루미늄 합금 폼 제공
S100
제 1 알루미늄 합금 폼을 가열하여 표면부가 중심부 보다 온도가 더 높도록 유지한 상태에서 압연하여 제 2 알루미늄 합금 폼을 형성
S200

도면9



도면10

