

(19)대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. B22D 11/06 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년03월23일 10-0562680 2006년03월14일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호	10-2003-7017247	(65) 공개번호	10-2004-0032117
(22) 출원일자	2003년12월30일	(43) 공개일자	2004년04월14일
번역문 제출일자	2003년12월30일		
(86) 국제출원번호	PCT/JP2003/008321	(87) 국제공개번호	WO 2004/014582
국제출원일자	2003년06월30일	국제공개일자	2004년02월19일

(30) 우선권주장	JP-P-2002-00230802	2002년08월08일	일본(JP)
	JP-P-2003-00044511	2003년02월21일	일본(JP)

(73) 특허권자 가부시키가이샤 네오맥스
 일본 오사카후 오사카시 줌오쿠 기타하마 4-7-19

(72) 발명자 카네키요히로가쓰
 일본국교토교토시니시교쿠키타카수가쵸,오아라노1602-2(610-1152)

(74) 대리인 특허법인우린

심사관 : 김종혁

(54) 마그네트용 급속 응고 합금 및 마그네트 분말 제조방법 및 그 장치

요약

다음의 일반식, $(\text{Fe}_{1-m}\text{T}_m)_{100-x-y-z}\text{Q}_x\text{R}_y\text{M}_z$, 여기서, T는 Co 또는 Ni중의 적어도 하나, Q는 B 또는 C 중의 적어도 하나, R은 희토류 물질중 적어도 어느 하나, M은 Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ag, Hf, Ta, W, Pt, Au 및 Pb로 이루어지는 그룹에서 선택되고; $10\text{ at\%} \leq x \leq 35\text{ at\%}$; $2\text{ at\%} \leq y \leq 10\text{ at\%}$; $0\text{ at\%} \leq z \leq 10\text{ at\%}$; $0\text{ at\%} \leq m \leq 0.5\text{ at\%}$, 으로 표현되는 조성을 갖는 합금 용탕을 준비한다. 그 다음, 상기 용탕을 회전하는 냉각롤러 표면에 용탕을 접촉되도록 하여 급속 냉각 및 응고시킨다. 상기 용탕은 가이드 표면이 수직면에 대해 경사각을 갖는 가이드부에 주입되어 가이드 표면을 따라 흐르고, 그 다음 적어도 하나의 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러 표면상의 접촉 영역으로 공급된다.

대표도

도 3

명세서

기술분야

본 발명은 용융 합금을 급속 냉각 및 응고시킴으로써 마그네트용 합금을 제조하는 방법에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 자동차, 계량기, 센서 및 확성기 등의 다양한 용도에 사용되는 나노복합재 마그네트용 합금재의 제조에 관한 것이다. 더욱 상세하게는, 본 발명은 철계 붕소, 철 등과 같은 연자상(soft magnetic phase)과 $R_2Fe_{14}B$ 화합물(여기서, R은 희토류 원소)과 같은 강자상(hard magnetic phase)을 자성을 가지도록 서로 결합시킨 나노복합재 마그네트 제조에 사용되는 급속 응고 합금의 제조방법에 관한 것이다. 그러나, 본 발명에 따른 방법으로 제조된 급속 응고 합금은 나노복합재 마그네트 뿐만 아니라 본드마그네트(bonded magnet)(고무마그네트 포함)와 소결마그네트에도 역시 효과적으로 사용될 수 있다. 본 발명은 또한 급속 응고 마그네트를 분쇄하여 얻은 마그네트 분말 및 상기 분말로 제조된 마그네트 성형품에 관한 것이다.

배경기술

나노복합재 마그네트는 $R_2Fe_{14}B$ 와 같은 강자상과 Fe_3B ($Fe_{3.5}B$ 포함) 와 같은 연자상 및 $\alpha-Fe$ 가 교환상호작용을 통하여 자기적으로 결합된 구조를 가지며, 현재 R-Fe-B계 마그네트가 개발중에 있다. 나노복합재 분말을 수지바인더로 소정 형상으로 충전하게 되면 등방성 본드마그네트가 형성된다.

나노복합재 마그네트의 제조에 있어서, 비정질 구조이거나 대부분이 비정질상으로 구성되는 구조를 갖는 급속 냉각 및 응고 합금(이하에서, '급속 응고 합금'이라 칭함)이 출발물질로 자주 사용된다. 열처리를 하게 되면, 이 급속 응고 합금은 결정화하고 최종적으로는 평균 결정립 크기가 대략 $10^{-9}m$ 에서 $10^{-6}m$ 인 나노복합재 구조를 갖는 영구자석물질이 된다.

열처리되어 결정화한 합금의 구조는 열처리될 급속 응고 합금의 구조에 크게 의존한다. 이러한 이유로 우수한 자기적 특성을 갖는 나노복합재 마그네트를 얻기 위해서는 용융 합금의 급속 냉각 및 응고 조건을 정하는 방법이 중요한데, 그러한 조건은 급속 응고된 합금의 특정 구조(예컨데, 비정질상의 함량)를 결정하기 때문이다.

도 1에 도시된 것과 같은 장치(즉, 용융방사장치)에 의해 수행되는 급속 냉각 과정이 비정질상을 보다 많이 포함하는 급속 응고 합금의 제조방법으로 알려져 있다. 이 방법에서는 밀쪽에 내경이 1mm 이하인 오리피스를 구비하는 노즐로부터 용융 합금을 회전하는 냉각 롤러에 분사하여 급속하게 냉각 및 응고시키고 이에 따라 얇은 스트립 형태의 비정질 응고 합금을 얻게 된다.

이와 같은 방법은 마그네트 물질의 연구에 관련된 대학과 기관들에서 연구 및 보고가 진행되어 왔다. 그러나, 그러한 연구 및 보고에 사용된 장치는 단지 실험적인 목적을 위하여 만들어져서 수 그램에서 수 백 그램의 합금을 노즐 내부에 녹이고 그것을 노즐 외부로 분사할 수 있는 정도에 불과하다. 즉, 이러한 처리 수준이 낮은 장치는 나노복합재용 합금 물질의 대량 생산을 할 수 없다.

특히 마그네트 합금 제조를 위하여 고안된 것은 아니지만, 용융 합금을 냉각롤러에 분사하기 위하여 다수의 노즐을 구비하는 장치가 일본공개공보 2-179803, 2-247304, 2-247305, 2-247306, 2-247307, 2-247308, 2-247309 및 2-247310 등에 예시되어 있다.

이러한 방법들에서는 도가니에서 용융된 용융 합금이 바닥에 분사노즐이 구비된 컨테이너로 담기게 되고, 그 다음 소정의 압력을 컨테이너의 용탕에 가하여 노즐로부터 회전하는 롤러 표면을 향하여 용탕을 분사한다(이와 같은 방법을 이하에서는 '용융방사방법'(melt spinning process)이라 칭한다). 이와 같이 용탕에 압력을 가하면서 노즐을 통해 용탕을 분사함으로써 비교적 높은 유속을 갖는 용융 분출물(또는 용융유출)이 회전 롤러의 상부 근방과 실질적으로 수직적인 방향으로 분사된다. 분사된 용탕은 고속으로(예를 들어, 롤러표면에서 20m/s의 속도로) 회전하는 냉각 롤러 표면상에 범벽(즉, 용탕범벽)을 형성한다. 이 범벽 부분은 롤러와 접촉하고 있으며 급속하게 냉각 및 응고되어 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금을 형성하게 된다.

상기 용융방사방법에서 용융 합금과 회전 롤러는 접촉거리가 매우 짧다. 따라서, 용탕은 회전 롤러 상에서 급속하게 냉각되어 완전히 응고되기 어려우며, 고온의(예컨데, $700^{\circ}C$ 에서 $900^{\circ}C$) 합금은 두께가 작기 때문에(통상적으로 $40\mu m$ 이하) 회전 롤러를 벗어나 공기중을 통과하는 동안에도 효과적으로 냉각되어 응고된다. 용융방사방법에서는 냉각 과정이 이런 식으로 수행되며 이에 따라 합금의 여러 형태의 비정질화가 이루어진다.

본 발명의 출원인도 스트립 캐스팅 방법(strip casting process)에 의한 나노복합재 마그네트의 제조 방법을 일본특허 제 3297676호 및 PCT 국제공개 WO 02/30595A1에 공개한 바 있다. 또한, 튜디시(tundish)를 사용한 공지된 스트립 캐스팅 장치 및 방법이 일본공개공보 11-333549 및 2000-79451에 제시되어 있다.

용융방사방법에서는 용융 합금은 내경이 작은 노즐을 통해 분사되며, 노즐로부터 강한 저항을 받게 된다. 따라서, 용융 합금에 충분한 고압을 지속적으로 인가할 필요가 있다. 그러한 고압은 보통은 용탕 자체의 중량(그리고 필요하다면 후방에서의 압력)을 조정함으로써 인가된다. 따라서, 다소 무거운 용탕을 항상 노즐위에 같은 높이로 유지하여야 한다.

또한, 용탕은 상당히 작은 내경의 노즐을 통해 분사된다. 따라서, 노즐의 일부가 용탕로 막혀버리게 되면 용탕은 노즐로부터 더욱 강한 저항을 받게 되어 용탕의 분사속도가 달라지게 될 것이다.

이러한 결과로 종래의 용융방사방법에서는 용탕 주입속도를 증가시킴으로써, 예컨대 1.5kg/min으로 하여, 급속 응고 합금의 생산성을 향상시키고자 할 때 용탕 주입속도를 일정한 값으로 조절하기가 어렵게 된다. 결국, 급속 냉각 속도는 상당히 변하게 되어 최종적인 마그네트의 특성에 심각한 영향을 주게 된다.

또한, 용융방사방법에서는 작은 양의 용탕을 비교적 고속으로(예컨대, 원주상의 속도가 20m/s 이상) 회전하는 냉각 롤러에 분사함으로써 비정질상의 체적분율이 매우 큰 급속 응고 합금을 얻는다. 따라서, 이렇게 얻어진 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금은 보통 40 μ m 이하의 두께를 갖는다. 이런 작은 두께의 스트립 합금을 모아서 탭밀도(tap density)를 충분한 양으로 증가시키기가 어렵다. 뿐만 아니라, 40 μ m 이하의 두께를 갖는 급속 응고 합금을 분쇄하여 얻어진 분말 입자는 납작한 형태를 갖는다. 따라서, 그런 분말 입자들은 유동성 및 적재성이 좋지 못하고 충전과정에서 마그네트 분말의 충전 밀도가 낮게 되어, 최종적인 본드마크네트에서 마그네트 분말의 함량을 떨어뜨리게 된다.

한편, 스트립 캐스팅 방법은 앞서의 급속 응고 합금을 제조하는 또 다른 공지 기술로 알려져 있다. 이 방법에서는 용융 합금이 용융 도가니로부터 슈트(shoot)(또는, 튜디시)로 공급되고 그 다음 냉각 롤러와 접촉하게 되어 급속 응고 합금을 제조한다.

이하에서는 일본특허 제3297676호 및 PCT 국제공개 WO 02/30595A1에 제시되어 있는 스트립 캐스팅 장치 및 방법을 도 2를 참조하여 설명한다.

도 2에 도시된 바와 같이, 스트립 캐스팅 장치는 용융도가니(11), 슈트(즉, 가이드부)(14) 및 냉각롤러(13)를 포함한다. 용융도가니(11)는 용융 합금을 녹이고 저장하기 위한 것이다. 슈트(14)는 용융도가니(11)로부터 흘러내리는 용융 합금(12)을 받아 소정의 위치로 안내한다. 그 다음, 용융합금(12)은 슈트(14)의 끝단에서 냉각롤러(13)로 흘러내려 급속히 냉각 및 응고된다.

상기 슈트(14)는 수평면에 대하여 β 의 각도로 경사져 있는 용융가이드표면이 있으며, 상기 가이드표면으로 흘러 내리는 용탕의 유속을 조절하고 용탕의 흐름을 조정하여 용탕을 냉각롤러(13)에 일정하고 지속적으로 공급한다.

용융합금(12)은 냉각롤러(13)의 외주면과 접촉하게 되며, 롤러의 회전에 의하여 그 외주면을 따라 이동하고 이 과정에서 냉각이 이루어진다. 이렇게 하여 얻어지는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금(15)이 냉각롤러(13)를 벗어나게 된다. 스트립 캐스팅 방법에서는 용융합금(12)과 냉각롤러(13) 사이의 접촉점(즉, 용융범벅의 위치)과 냉각롤러(13)의 회전축을 잇는 선과 수직면이 이루는 각도 α 가 중요한 파라미터이다. 각도 α 가 냉각롤러(13)의 회전 방향과 반대방향에서 양의 값으로 정의된다고 하자. 이러한 경우 각도 α 가 커질 수록 용융합금(12)과 냉각롤러(13) 사이의 접촉점의 길이는 길어진다. 스트립 캐스팅 방법에서 냉각롤러(13) 보통 매우 고속의 회전속도(peripheral velocity)를 갖는다. 따라서, 상기 α 가 실질적으로 0 도에 가깝지 않게 되면 용융합금(12)은 냉각롤러(13)에 의하여 튀어버리기 쉽다. 이러한 이유로 용융 방사방법에서는 상기 각도 α 를 보통은 거의 0 도에 가깝게 하며 용융합금과 냉각롤러 사이의 접촉점의 길이는 상당히 짧게 된다. 반면에, 스트립 캐스팅 방법에서는 상기 각도 α 가 비교적 크고, 용융합금과 냉각롤러의 외주면의 접촉부분이 롤러의 외주면 방향으로 측정할 때 상당히 길게 되며, 용융합금은 롤러상에서 거의 완벽하게 냉각될 수 있다.

위에서 언급한 바와 같이, 종래의 스트립 캐스팅 방법은 용융방사방법에서와 같은 분사노즐을 사용하지 않으며 용융합금(12)을 슈트(14)에 의해서 회전롤러(13)로 지속적으로 공급한다. 따라서, 스트립 캐스팅 방법은 대량 생산에 효과적이고 제조비용을 경감시킬 수 있다.

그러나 스트립 캐스팅 방법에서는 가이드부로부터 냉각롤러로 공급되는 용융합금의 운동량이 작다. 따라서, 냉각롤러가 비교적 고속으로 회전하게 되면 용융합금과 냉각롤러 표면의 접촉 정도가 너무 낮게 되어 냉각롤러 표면에 지속적으로 용융범벅을 형성할 수 없고 균일한 두께의 급속 응고 합금을 얻을 수 없게 된다. 따라서, 스트립 캐스팅 방법을 이용하여

나노복합재 마그네트용 나노 결정구조를 갖는 급속 응고 합금을 제조하고자 하려해도 최종적인 스트립 형태의 급속 응고 합금은 두께와 구조가 균일하지 못하게 될 것이다. 결국, 종래의 스트립 캐스팅 방법으로는 실제 사용 가능한 급속 응고 합금을 지속적으로 생산하기 어려웠다.

반면에, 일본공개공보 11-333549 및 2000-79451에 제시된 튜브를 포함하는 스트립 캐스팅 장치를 사용하면 튜브로 흐르는 용탕의 유동 속도가 낮게 되어 결과적으로 급속 냉각율도 낮아지는 경향이 있다. 따라서, 이런 장치는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조에는 효과적이지 못한 것으로 간주되어 왔다. 그 이유는 다음과 같다. 특히, 급속 냉각률이 낮게 되면 입자 크기가 비교적 큰 결정 구조를 많이 갖는 합금이 형성되기 쉽다. 또한, α -Fe 상과 같은 연자상의 결정립은 입자 크기가 과도하게 커지기 쉬어 많은 경우에 마그네틱 특성을 심각하게 열화시킨다.

상기와 같은 이유로 인하여 일본공개공보 11-333549 및 2000-79451에 제시된 스트립 캐스팅 장치는 완전히 결정화된 급속 주괴를 제조하는데 주로 사용되고 있다. 이러한 방법으로 얻어지는 급속 응고 합금은 주된 상으로서 $R_2Fe_{14}B$ 상을 포함하는 소결 마그네트용 합금물질로 사용되며, 매우 작은 크기의 강자상과 연자상이 동일 금속 구조내에 균일하게 분포되어 있는 나노복합재 마그네트용 합금물질로는 사용될 수 없다.

발명의 상세한 설명

앞서 언급된 문제점들을 해결하기 위하여 본 발명의 바람직한 실시예에는 우수한 마그네틱 특성을 보이는 나노복합재용 급속 응고 합금을 일정하게 대량으로 생산할 수 있는 장치 및 방법을 제공하며, 또한 기타 종류의 마그네트의 우수한 마그네틱 특성을 갖는 급속 응고 합금을 제조하는 장치 및 방법을 제공한다.

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노복합재용 급속 응고 합금을 제조하는 방법은 다음의 일반식으로 표현되는 조성을 갖는 합금 용탕을 준비하는 단계를 포함한다. 본 발명의 조성식은 $Fe_{100-x-y-z}Q_xR_y, (Fe_{1-m}T_m)_{100-x-y-z}Q_xR_y, Fe_{100-x-y-z}Q_xR_yM_z$, 또는 $(Fe_{1-m}T_m)_{100-x-y-z}Q_xR_yM_z$ 중의 어느 하나로 표현된다. 여기서, T는 Co 와 Ni 중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질이며; Q는 B와 C중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질이고, 항상 B를 포함하며; R은 희토류 물질중 적어도 어느 하나이며; M은 Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ag, Hf, Ta, W, Pt, Au 및 Pb로 이루어지는 그룹에서 선택되는 적어도 어느 하나의 금속원소이다. 상기 몰분율 x, y, z 및 m은 각각 다음의 범위를 만족한다: $10\text{ at}\% \leq x \leq 35\text{ at}\%$; $2\text{ at}\% \leq y \leq 10\text{ at}\%$; $0\text{ at}\% < z \leq 10\text{ at}\%$; $0\text{ at}\% < m \leq 0.5\text{ at}\%$. 상기 방법은 또한 용탕을 회전하는 냉각롤러 표면에 용탕을 접촉되도록 하여 급속 응고 합금을 형성하는 단계를 포함한다. 본 방법에서 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 가이드 표면이 수직면에 대해 경사각을 갖는 가이드부에 주입하고, 그 다음 가이드 표면에 흘러내리는 용탕을 적어도 하나의 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러 표면상의 접촉 영역으로 공급하는 단계를 포함한다.

본 발명의 바람직한 일실시예에서 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 가이드 표면이 수직면에 대하여 5 도에서 70도의 경사각을 유지하도록 하는 단계를 포함한다.

다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 용탕이 냉각롤러에 처음으로 접촉되는 냉각롤러 표면상의 한 점과 냉각롤러의 회전축을 잇는 선이 수직면에 대하여 냉각롤러의 회전 방향과 반대방향으로 0 도 에서 80도의 범위의 각도 α 가 정의되도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 다수의 튜브형 홀에 의하여 여러 흐름으로 분배하고 이러한 흐름들을 냉각롤러에 접촉되도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 개구면적이 0.02cm^2 에서 0.5cm^2 의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 길이가 0.5mm 에서 50mm의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 냉각롤러 표면과 튜브형 홀의 끝단 사이의 거리가 0.3mm 에서 50mm의 범위가 되도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 튜브형 홀로부터 막 방출되는 용탕의 흐름 방향에 대하여 튜브형 홀의 입구 중심과 냉각롤러의 회전축을 잇는 선이 이루는 각도 γ 가 -20도에서 40도의 범위로 정의되도록 하는 단계를 포함한다. 이 경우에 상기 각도 γ 는 용탕 흐름 방향이 냉각롤러의 회전 방향과 반대이면 양의 값으로 하며 용탕 흐름 방향이 냉각롤러의 회전 방향과 동일하면 음의 값으로 하는 것이 바람직하다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀을 포함하는 부재를 착탈가능하도록 지지하는 구조를 갖는 가이드부를 제공하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 가이드부 표면에 1.5kg/min의 속도로 주입하고 가이드 표면을 따라 용탕이 흘러내리면서 용탕 상부 표면이 공기중에 노출되도록 하여 평균 두께가 50 μ m 이상에서 150 μ m의 범위, 표준 편차가 10 μ m 이내인 급속 응고 합금을 얻는 단계를 포함한다.

특정 실시예에서 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 감압된 대기가스하에서 냉각롤러 표면에 접촉되도록 하는 단계를 포함한다.

보다 구체적으로, 용탕을 냉각롤러 표면에 접촉되도록 하는 단계는 대기가스의 압력을 0.13kPa 에서 100kPa의 범위로 조절하는 단계를 포함한다.

본 발명의 다른 바람직한 실시예에 따른 나노복합재 마그네트 분말 제조방법은 앞선 본 발명의 바람직한 실시예중의 어느 것에 의하여 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금을 준비하고 그것을 분쇄하는 단계를 포함한다.

바람직한 일실시예에서 상기 방법은 급속 응고 합금의 분쇄단계를 수행하기 이전 또는 이후, 또는 이전 및 이후에 결정화의 목적으로서 열처리 과정을 수행하는 단계를 더 포함한다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 나노복합재 마그네트 제조방법은 앞선 본 발명의 바람직한 실시예중의 어느 것에 의하여 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금을 준비하고 나노복합재 마그네트 분말을 마그네트 형태로 성형하는 단계를 포함한다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 슈트 어셈블리(shoot assembly)는 합금 용탕을 받아 용탕 냉각장치의 냉각롤러에 공급한다. 상기 슈트 어셈블리는 용탕의 온도 보다 용점이 높은 물질로 만들어지며 수직면에 대하여 경사각을 갖는 가이드 표면을 포함하는 것이 바람직하다. 상기 슈트 어셈블리는 가이드 표면상을 따라 흐르는 용탕이 통과하는 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 주입부(teeming member)를 포함한다. 상기 전달부는 슈트 어셈블리로부터 착탈가능한 것이 바람직하다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 주입부는 분리가능한 상태로 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 슈트 어셈블리에 보관되며 상기 슈트 어셈블리의 가이드 표면상을 따라 흐르는 용탕이 통과하는 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 것이 바람직하다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 용탕 냉각장치는 냉각롤러와 합금 용탕을 받아 냉각롤러에 공급하는 슈트 어셈블리를 포함한다. 상기 슈트 어셈블리는 용탕의 온도 보다 용점이 높은 물질로 만들어지며 수직면에 대하여 경사각을 갖는 가이드 표면과 가이드 표면상을 따라 흐르는 용탕이 통과하는 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 주입부를 포함하는 것이 바람직하다. 상기 튜브형 홀의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 1mm 에서 50mm의 범위가 되도록 하는 것이 바람직하다.

본 발명의 바람직한 일실시예에서 상기 전달부는 슈트 어셈블리에 착탈가능한 것이 바람직하다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법은 합금 용탕을 준비하고, 상기 용탕을 회전하는 냉각롤러 표면에 접촉시켜 급속 응고 합금을 형성하는 단계를 포함한다. 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드 표면이 수직면에 대하여 경사각을 갖는 가이드부로 용탕을 주입하고 그 다음 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕을 적어도 하나의 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러의 표면상의접촉 영역에 공급하는 단계를 포함한다. 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 튜브형 홀의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 1mm 에서 50mm의 범위가 되도록 하는 단계를 포함한다.

바람직한 일실시예에서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 가이드 표면이 수직면과 이루는 각도가 5도에서 70도의 범위가 되도록 하는 단계를 포함한다.

다른 바람직한 일실시예에서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는

용탕이 냉각롤러에 처음으로 접촉되는 냉각롤러 표면상의 한 점과 냉각롤러의 회전축을 잇는 선이 수직면에 대하여 냉각롤러의 회전 방향과 반대방향으로 5도에서 80도의 범위의 각도 α 가 정의되도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 다수의 튜브형 홀에 의하여 여러 흐름으로 분배하고 이러한 흐름들을 냉각롤러에 접촉되도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 개구면적이 0.03cm^2 에서 0.6cm^2 의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 길이가 5mm에서 50mm의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀을 빠져나오는 용탕 흐름의 표면이 급속히 냉각되고 응고되어 튜브형 홀이 용탕 흐름으로부터 연장되어 유효길이가 10mm 이상이 되도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕 표면이 대기중에 노출된 상태에서 가이드 표면을 따라 흐르고 튜브형 홀에 용탕 흐름이 채워지도록 하는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 가이드부 표면에 1.5kg/min 의 속도로 주입하여 평균 두께가 $50\mu\text{m}$ 이상에서 $150\mu\text{m}$ 의 범위, 표준 편차가 $10\mu\text{m}$ 이내인 급속 응고 합금을 얻는 단계를 포함한다.

또 다른 바람직한 실시예에서, 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕 표면상의 대기가스 압력과 튜브형 홀을 빠져나오는 용탕 표면의 대기가스 압력을 실질적으로 같도록 감압된 대기가스하에서 용탕을 냉각롤러 표면과 접촉시키는 단계를 포함한다.

본 발명의 다른 바람직한 실시예에 따른 마그네트 분말 제조방법은 앞선 본 발명의 바람직한 실시예중의 어느 것에 의하여 마그네트용 급속 응고 합금을 준비하고, 그것을 분쇄하는 단계를 포함한다.

바람직한 일실시예에서 상기 방법은 급속 응고 합금의 분쇄단계를 수행하기 이전 또는 이후, 또는 이전 및 이후에 결정화의 목적으로서 열처리 과정을 수행하는 단계를 추가로 포함한다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 마그네트 제조방법은 앞선 본 발명의 바람직한 실시예중의 어느 것에 의하여 마그네트 분말을 준비하고, 상기 마그네트 분말을 성형하여 본드마그네트를 얻는 단계를 포함한다.

본 발명의 또 다른 바람직한 실시예에 따른 마그네트 제조방법은 앞선 본 발명의 바람직한 실시예중의 어느 것에 의하여 마그네트 분말을 준비하고, 상기 마그네트 분말을 소결하여 소결마그네트를 얻는 단계를 포함한다.

본 발명의 기타 요지, 구성요소, 프로세스, 단계, 특징 및 이점 등은 이하의 상세한 설명에서 도면을 참조하여 더욱 분명하게 제시될 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 종래의 용융방사방법을 모식적으로 보여주는 측면도.

도 2는 종래의 스트립 캐스팅 장치를 모식적으로 보여주는 단면도.

도 3은 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에 사용되는 용탕 냉각 장치를 모식적으로 보여주는 단면도.

도 4a 및 4b는 도 3의 장치에서 사용되는 슈트를 보여주는 사시도 및 단면도.

도 4c는 본 발명의 다른 바람직한 실시예에 사용되는 또 다른 슈트를 보여주는 단면도.

도 5는 도 3의 슈트에 구비되는 튜브형 홀을 상세하게 보여주는 모식적 단면도.

도 6은 본 발명의 바람직한 실시예 및 비교예에 따른 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 두께 분포를 보여주는 그래프.

실시예

이하에서는 본 발명에 따른 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법을 기술한다.

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 방법에 의하여 얻어진 나노복합재용 급속 응고 합금은 다음의 일반식으로 표현되는 조성을 갖는다. 조성식은 조성식이 $Fe_{100-x-y-z}Q_xR_y$, $(Fe_{1-m}T_m)_{100-x-y-z}Q_xR_y$, $Fe_{100-x-y-z}Q_xR_yM_z$, 또는 $(Fe_{1-m}T_m)_{100-x-y-z}Q_xR_yM_z$ 중의 어느 하나로 표현된다. 여기서, T는 Co 와 Ni 중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질이며; Q는 B와 C중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질이고, 항상 B를 포함하며; R은 희토류 물질중 적어도 어느 하나이며; M은 Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ag, Hf, Ta, W, Pt, Au 및 Pb로 이루어지는 그룹에서 선택되는 적어도 어느 하나의 금속원소이다. 상기 물분율 x, y, z 및 m은 각각 다음의 범위를 만족한다: $10\text{ at\%} \leq x \leq 35\text{ at\%}$; $2\text{ at\%} \leq y \leq 10\text{ at\%}$; $0\text{ at\%} < z \leq 10\text{ at\%}$; $0\text{ at\%} < m \leq 0.5\text{ at\%}$.

본 발명의 바람직한 실시예에 있어서, 상기 조성을 갖는 합금 용탕은 회전하는 냉각롤러 표면에 접촉되어 급속히 냉각 및 응고된다. 이러한 급속 냉각 과정에서 가이드 표면이 수직면에 대해 경사각을 갖는 가이드부가 사용되며, 용탕이 상기 가이드부로 주입된다. 그 다음 가이드 표면에 흘러내리는 용탕은 적어도 하나의 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러로 공급한다.

상기 바람직한 실시예에서, 가이드부의 경사진 가이드 표면으로 주입되는 용탕은 가이드 표면을 흘러내리면서 적절하게 정류된다. 그 다음 정류된 용탕은 튜브형 홀을 지나는 동안 스로틀효과(throttling effect)에 의하여 유속이 증가한다. 그러나, 튜브형 홀을 지나는 동안 더 정류되고 냉각롤러의 표면에 도달하게 된다. 튜브형 홀로부터 분사된 용탕은 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕 보다 더 큰 운동량으로 냉각롤러에 충돌한다. 따라서, 용탕과 냉각롤러의 접촉 정도가 증가하며 이에 따라 균일한 냉각이 이루어진다.

이러한 방법으로 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면 종래의 용융방사방법에서의 용탕분사속도에 상응하는 속도로 용탕이 냉각롤러에 충돌한다. 따라서, 냉각롤러가 비교적 고속으로 회전하더라도 상당한 양의 용탕 범벅이 냉각롤러상에 일정하게 형성될 수 있다. 결과적으로 균일한 두께를 갖는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금이 일정한 냉각속도로 얻어질 수 있다.

급속 응고 합금을 열처리함으로써 얻어지는 나노복합재 마그네트의 물성은 열처리될 급속 응고 합금의 미세구조에 민감하게 좌우된다. 따라서, 급속 냉각 조건이 변하게 되면 급속 응고 합금은 균일하지 못한 구조를 갖게 되며 결과적으로 마그네틱 특성이 영향을 받게 된다. 더욱 특이하게는 냉각롤러의 회전속도와 용탕 공급속도가 일정하게 유지된다고 할지라도 급속 응고 합금의 일부분은 여전히 비정상적으로 낮은 속도로 냉각된다. 그러한 부분에는 입자 크기가 과도하게 큰 α -Fe 상이 형성될 수 있고, 따라서 마그네틱 특성을 악화시키게 된다.

또한, 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 평균 두께는 급속 응고 합금을 분쇄하여 얻어지는 분말 입자의 형태에 영향을 미친다. 특히, 급속 응고 합금이 얇으면 얇을 수록 분말 입자는 더 납작해진다. 이러한 분말 입자는 유동성 및 적재성을 감소시키게 되고, 결과적으로 성형물의 밀도 역시 감소하게 된다. 반면에 준비된 급속 응고 합금의 비교적 두꺼우면 분말 입자들은 동일한 형태를 갖게 되고 유동성과 적재성이 향상된다. 따라서, 이러한 입자는 원하는 형태로 충전시키기가 용이하다. 그런데 본 발명자들은 실험을 통하여 종래의 용융방사방법 또는 스트립 캐스팅방법에 의하여 급속 응고 합금을 준비하게 되면 훨씬 불균일한 두께를 얻게 된다는 것을 확인하였다. 따라서, 분말의 유동성을 향상시킬 목적으로 두께가 $50\mu\text{m}$ 를 초과하는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금을 얻는다면, 급속 응고 합금의 일부분은 입자크기가 과도하게 큰 결정 입자를 포함하게 되고 따라서 이온교환작용이 약해지며 마그네틱 특성이 악화된다.

이와 같은 특성을 갖는 종래의 나노복합재 마그네트와는 반대로, 단일상의 $R_2Fe_{14}B$ 구조를 갖는 급속 응고 합금은 그 두께 변화가 물성에 심각하게 영향을 주지 않는다. 특히, 용융 합금의 냉각 속도를 증가시켜 $50\mu m$ 이하의 두께를 갖는 급속 응고 합금을 실질적으로 완전히 비정질화된 합금으로서 준비하면 최종적인 마그네틱 특성은 급속 응고 합금의 두께 변화에 거의 영향을 받지 않는다.

본 발명자들은 실험을 통하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 조성을 갖는 용융 합금을 종래의 용융방사방법에 따라 분사하여 급냉 및 응고 시켰을 때 단위 시간당 용탕 공급속도는 일정하지 않고 가변적이었으며, 냉각 속도는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 위치에 따라 심하게 변하는 것을 확인하였다. 따라서, 그러한 급속 응고 합금은 불균일한 구조를 갖게 되었다. 이러한 경우, 그러한 합금을 분쇄하여 얻은 마그네트 분말 역시 마그네틱 특성이 불균일하였다. 그리고 그러한 분말로 제조된 마그네트는 마그네틱 특성이 떨어지는 분말 입자를 포함하였다. 결과적으로 최종적인 마그네트의 전체적인 특성은 그러한 분말 입자들에 의하여 떨어지게 된다.

따라서, 종래의 용융방사방법을 사용하여 본 발명의 다양한 바람직한 실시예의 조성을 갖는 급속 응고 합금을 제조한다면 매우 좁은 노즐 오리피스를 통과하게 될 용탕에 일정하게 고압을 인가하는 것이 바람직할 것이다. 그러나, 이러한 경우에는 인가되는 압력을 정확하게 제어하기가 어렵다. 또한, 용탕이 좁은 노즐 오리피스의 내벽으로부터 강한 저항을 받기 쉬워, 용탕 분사속도가 심하게 변화하게 된다.

이와 대조적으로, 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면 용탕은 경사진 용탕 가이드 표면 상에서 정류될 수 있고, 그 다음 밑쪽에 비교적 큰 개구영역을 가진 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러로 공급될 수 있다. 따라서, 후방에서 압력을 받지 않더라도 (즉, 중력만이 용탕이 흐르도록 하는 상황에서) 용탕은 종래의 스트립 캐스팅 방법과 비교할 때 더 큰 운동량으로 롤러의 표면에 공급될 수 있다. 결과적으로, 용탕과 롤러 표면의 접촉 정도는 증가하고 롤러 표면과 용탕 사이의 갭으로 가스가 흡수될 가능성이 극히 적어지게 되어, 용탕의 냉각은 더욱 균일하게 된다. 또한, 용탕의 운동량이 거의 일정하고 변하지 않으므로, 얻어진 급속 응고 합금은 두께가 균일하고 동질의 구조를 갖게 된다. 결국, 최종적인 마그네트 또한 향상된 특성을 보일 수 있다.

이하에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 도면을 참조하여 설명한다.

본 바람직한 실시예에서는 도 3에 도시된 바와 같은 용탕 냉각장치를 사용한다. 도 3의 용탕 냉각장치는 진공 분위기 또는 감압된 불활성 분위기가 형성될 수 있는 공간(예컨대, 챔버)에 마련된다.

도 3에 도시된 바와 같이, 상기 용탕 냉각장치는 내부에서 용탕을 녹이는 용탕 도가니(21), 상기 용탕 도가니(21)로부터 주입되는 용탕 합금(22)을 급속하게 냉각 및 응고시키는 냉각롤러(23), 및 상기 용탕 도가니(21)로부터 상기 냉각롤러(23)로 용탕 합금(22)을 안내하는 용탕 가이드부로서 슈트(또는 튜드시)(24)를 구비한다. 상기 슈트(24)는 그 끝단(또는 밑)에 다수의 튜브형 홀(24a)을 구비한다.

상기 용탕 도가니(21)는 합금물질을 녹여 준비된 용탕(22)을 실질적으로 일정한 속도로 상기 슈트(24)에 주입할 수 있다. 이 주입 속도는 예를 들어 상기 용탕 도가니(21)를 경사지게 하는 동작을 조절하여 임의로 조절할 수 있다.

냉각롤러(23)의 외주부는 양호한 열전도체(예컨대, 구리)로 만들어진다. 상기 롤러(23)는 외경이 20cm에서 100cm의 범위이며 폭이 15cm에서 100cm의 범위를 갖는다. 상기 롤러(23)는 모터(미도시)에 의해 소정의 속도로 회전 가능하다. 이 회전 속도를 조절하여 상기 냉각롤러(23) 외주부의 속도를 임의로 조정한다. 바람직한 일실시예에서 상기 냉각롤러(23)는 내부가 수냉(water-cooled)된다. 이 용탕 냉각장치에 의한 냉각속도는 예를 들어 냉각롤러(23)의 회전 속도를 적절히 선택함으로써 $10^2\text{ }^\circ\text{C/s}$ 에서 $8 \times 10^4\text{ }^\circ\text{C/s}$ 의 범위로 조절 가능하다.

상기 슈트(24)는 예컨대 세라믹물질로 만들어지며, 용탕을 일시적으로 저장할 수 있을 정도로 용탕의 유속을 감소시킴으로써 용탕 도가니(21)로부터 소정의 유동 속도로 지속적으로 주입되는 용탕(22)의 흐름을 정류할 수 있다. 상기 슈트(24)의 용탕 가이드 표면이 수직면에 대하여 이루는 경사로 정의되는 경사각 β 는 5도에서 50도의 범위에 있는 것이 바람직하다. 그 이유는 다음과 같다. 특히, 상기 경사각 β 가 대략 5도 보다 작을 때는 용탕(22)은 가이드 표면상에서 부드럽게 흐르는 것이 어려워 튜브형 홀(24a)을 통해 주입되는 용탕(22)의 운동량을 일정하게 할 수 없게 된다. 따라서, 원하는 균일한 급속 응고 합금을 얻을 수 없게 된다. 그러나, 경사각 β 이 대략 70도를 초과하게 되면 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕이

와류(turbulent flow)가 되어 냉각롤러(23)상에 일정하게 용탕 범벅을 형성하는 것이 불가능하며 오히려 용탕이 튀게 된다. 상기 경사각 β 는 10도에서 60도의 범위에 있는 것이 더 바람직하며, 15도에서 50도의 범위에 있는 것이 더욱더 바람직하다.

도 3에 도시된 바와 같이 용탕(22)이 처음으로 냉각롤러(23)와 접촉하는 냉각롤러상의 한 점(이하에서, '접촉시작점'이라 함)과 냉각롤러(23)의 회전축을 잇는 선과 수직면 사이에서 정의되는 각은 α 로 표기하기로 한다. α 가 0이면 접촉시작점은 롤러 표면의 최상에 위치한다. 이하에서는 상기 각도 α 는 롤러 회전 방향에서 볼 때 접촉시작점이 롤러 표면의 최상으로 향하고 있으면 양의 값으로 간주하고, 롤러 회전 방향에서 볼 때 접촉시작점이 롤러 표면의 최상에서 내려가는 방향으로 향하고 있으면 음의 값으로 간주한다. 상기 각도 α 가 음의 값이면 냉각롤러(23)상에 용탕 범벅이 형성될 수 없으며 그 대신 용탕이 튀어 버린다. 따라서, 용탕은 의도하는 대로 급속한 냉각 및 응고될 수 없다. 그럼에도 불구하고, 상기 각도 α 가 대략 80도를 넘어버리면 용탕은 냉각롤러(23)에 올라앉지 못하고 떨어져 버리고 만다. 따라서, 용탕은 역시 급속 냉각 및 응고될 수 없게 된다. 이러한 조건을 고려할 때, 상기 각도 α 는 0도에서 80도의 범위에 있는 것이 바람직하며, 2도에서 60도의 범위에 있는 것이 더 바람직하며, 더욱 바람직하게는 2도에서 45도의 범위가 적당하다. 이러한 바람직한 범위에서 상기 각도 α 를 정의함으로써 용탕이 냉각롤러와 접촉을 유지하는 접촉 영역의 길이(이하에서, '접촉길이'라 함)는 적어도 10mm 이상이 될 수 있다.

도 4a는 본 실시예에 사용되는 슈트(24)의 바람직한 구조를 보다 상세하게 보여준다. 도 4a에 도시된 바와 같이 상기 슈트(24)는 냉각롤러(23)의 외주부와 마주보도록 배열된 슈트(24) 끝단(또는 밑)에 착탈 가능한 주입부(240)를 포함하는 것이 바람직하다. 본 실시예에서 상기 주입부(240)는 규칙적인 간격 W로 배열된 세개의 튜브형 홀(24a)을 포함하는 것이 바람직하다. 이하에서 상기 간격 W는 두 인접한 튜브형 홀(24a)의 중심간의 거리로 정의된다. 튜브형 홀(24a) 사이의 간격 W는 10mm에서 50mm의 범위에 있는 것이 바람직하고, 15mm에서 40mm의 범위에 있는 것이 더욱 바람직하다. 본 실시예에서 상기 간격 W는 30mm이다.

도 4b는 도 4a에 도시된 슈트(24)의 단면도이다. 도 4b에 도시된 바와 같이 상기 주입부(240)는 가이드 표면위의 슈트(24)에 장착되며 탈착되도록 되어 있다. 본 실시예에서, 상기와 같은 착탈 가능한 슈트(24)에 튜브형 관(24a)이 마련되어 있다. 따라서, 상기 튜브형 관(24a)이 용탕로 막히게 되었을 때에도 슈트(24)를 전체적으로 교체할 필요가 없으며 단지 주입부(240)만 교체하면 된다.

본 발명은 상기와 같은 구조를 갖는 슈트에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 도 4c에 도시된 바와 같이 상기 슈트(24)는 상기 주입부(240)를 슬라이딩 시키기 위한 가이드부(24b)를 포함할 수도 있다. 도 4c에 도시된 바와 같은 슈트(24)를 사용할 경우에는 상기 주입부(240)가 용탕 흐름 방향과 실질적으로 수직인 방향(냉각롤러의 회전축에 실질적으로 평행한 방향)으로 슈트(24)에 장착되며 또한 탈착된다.

상기 튜브형 홀(24a)은 직선일 필요는 없으며 곡선일 수도 있다. 또한 튜브형 홀(24a)의 내경은 일정할 필요가 없으며, 용탕의 흐름 방향으로 점진적으로 작아질 수도 있다. 그러나 어떤 경우이건 상기 튜브형 홀(24a)은 난류를 최소화시키는 형태를 가질 필요가 있다.

상기 튜브형 홀(24a)은 바닥에 적당한 개구부를 갖는 것이 바람직하다. 앞서 기술된 조성물을 갖는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금을 준비함에 있어서 상기 튜브형 홀(24a)의 개구부가 0.5cm^2 를 초과하게 되면 용탕(22)은 과도하게 높은 속도로 분사되어 상기 냉각롤러(23)상에 용탕 범벅을 일정하게 형성하기가 어려워지며 오히려 용탕이 튀어버리게 된다. 그러한 경우에는 용탕이 의도했던대로 급속하게 냉각되어 응고되지 않을 수 있다. 이와 반대로, 상기 튜브형 홀(24a)의 개구부가 0.02cm^2 보다 작게 되면 단위 시간당 용탕 냉각속도는 1.5 kg/min 정도로 작아지게 된다. 이 경우에는 생산성이 상당히 저하될 뿐만 아니라 결과적으로 급속 응고 합금의 구조에 적어도 50vol%의 비정질상이 포함된다. 따라서 최종적인 영구자석 제품의 마그네트 특성이 입소 악화될 것이다. 이러한 점들을 고려할 때, 상기 튜브형 홀(즉, 주입구)(24a)는 0.02cm^2 에서 0.5cm^2 범위의 개구부를 갖는 것이 바람직하다. 최소 요구되는 개구부의 면적으로는 0.03cm^2 인 것이 더 바람직하며 0.05cm^2 인 것이 좀더 바람직하다. 한편, 최대 가능한 개구부 면적은 0.2cm^2 일 수 있고 또한 0.15cm^2 일 수도 있다.

단위 시간당 용탕 냉각속도를 더 증가시키기 위해서 네 개 이상의 튜브형 홀(24a)이 구비될 수도 있다. 어떤 경우이건 다중의 튜브형 홀(24a)이 구비되는 것이 바람직하다. 그 이유는 각각의 튜브형 홀(24a)이 상대적으로 작은 개구부를 가질 때

조차도 전체적인 처리속도는 여전히 충분히 높게 유지될 수 있기 때문이다. 바꿔말하면, 단지 하나 또는 두 개의 튜브형 홀(24a)이 구비된다면 각각의 튜브형 홀(24a)은 상대적으로 큰 개구부 면적을 갖도록 하는 것이 바람직하다(예를 들어 0.07cm^2 이상).

본 실시예에서 슈트(24)로 주입된 상기 용탕(22)은 세 개의 튜브형 홀(24a)을 통해 냉각롤러(23)와 접촉하게 된다. 따라서, 결과적으로 세 개의 용탕 흐름(22)이 냉각롤러(23)와 접촉하게 되고 회전하는 냉각롤러의 외주부를 따라 이동하며 급속하게 냉각 및 응고된다.

슈트(24)의 가이드 표면을 따라 흐름으로써 정류되는 용탕이 난류로 바뀌는 것을 방지하기 위하여 튜브형 홀(24a)의 길이는 적어도 0.5mm 정도인 것이 바람직하다. 그러나, 튜브형 홀(24a)이 너무 길게 되면 용탕(22)의 일부가 튜브형 홀(24a) 내부에서 냉각되고 응고되어 튜브형 홀(24a) 내부가 용탕로 막히게 될 가능성도 있다. 이런 이유로 상기 튜브형 홀(24a)은 최대 50mm 정도의 길이를 갖는 것이 바람직하다.

또한, 튜브형 홀(24a)의 바닥과 냉각롤러(23)의 표면간의 거리는 1mm에서 50mm 정도를 유지하는 것이 바람직하다. 그러나, 용탕이 튜브형 홀(24a)로부터 방출된 후에 냉각롤러(23)에 도달하기 전에 용탕(22)의 표면은 열의 일부가 공기중으로 발산되어 부분적으로 응고될 수도 있음을 인지하여야 한다. 그러한 경우에, 용탕 표면의 응고된 부분은 튜브형 홀을 가진 일종의 실린더부(이하에서는 "유사튜브형 멤버"로 언급될 것이다)로 작용할 것인데, 이것은 내부로 흐르는 용탕을 얇게 코팅하게 된다. 그러한 유사튜브형 멤버가 형성되면 마치 슈트(24)의 튜브형 홀(24a)이 연장된 길이를 갖는 것과 같은 효과를 얻게 된다. 이러한 이유로 튜브형 홀(24a)의 바닥과 냉각롤러(23)의 표면간의 거리는 3mm 정도가 되도록 하여 튜브형 홀(24a)의 실질적인 길이가 0.5mm에서 30mm의 범위 내에 있도록 하는 것이 바람직하다.

튜브형 홀을 가지는 상기 유사튜브형 멤버는 슈트(24)의 튜브형 홀(24a)로부터 방출되는 용탕의 표면을 대기중에 냉각되어 응고되도록 함으로써 형성된다. 그러나, 이러한 방식으로 형성된 유사튜브형 멤버는 용탕 흐름과 접촉하게 되고 그 접촉에 의해서 고온으로 변하게 되므로 결국 항상 응고상태를 유지할 수는 없으며 적어도 부분적으로 용융될 수 있다. 이러한 이유로 이하에서 상기 유사튜브형 멤버에 의해서 보여지는 '응고' 상태는 냉각롤러로 흐르는 용탕 흐름을 제어하기에 충분한 정도의 굳기를 갖는 상태를 언급한다. 따라서, 상기 튜브형 멤버가 '응고' 상태에 있더라도 완전하게 응고될 필요는 없는 것이다.

용탕의 자연적인 응고에 의해서 형성되는 상기 유사튜브형 멤버는 충분한 길이(예를 들어, 20mm 이상)를 갖는 튜브형 홀을 주입부로 대치될 수도 있다. 그러나, 이 경우에 튜브형 홀의 폭이 좁을 경우 상대적으로 길이가 긴 튜브형 홀은 용탕로 막힐 수 있다. 그럼에도 불구하고, 튜브형 홀의 끝과 냉각롤러의 표면 사이의 거리를 짧게 한 채로(즉, 용탕의 자연적인 응고에 의해서 형성되는 상기 유사튜브형 멤버가 충분한 길이로 연장되지 않도록 하여) 급속 냉각 방법을 수행한다면 용탕 범벽은 냉각롤러상에 일정하고 용이하게 형성되지 않을 수 있다. 이것은 아마도 추가적인 유사튜브형 멤버를 포함하는 튜브형 홀의 유효 길이가 충분치 않아 용탕 흐름이 흩어지게 되기 때문이다. 이러한 점들을 고려할 때 용융 냉각 방법은 적어도 5mm 정도의 거리(바람직하게는 적어도 10mm 정도)로 실제 튜브형 홀의 끝단과 냉각롤러의 표면사이를 유지하는 것이 바람직하다. 그럴 경우에 튜브형 홀의 유효 길이는 유사튜브형 멤버의 연장을 통하여 7mm에서 50mm 사이의 길이로 늘어나게 된다.

앞선 실시예에서 제시했던 다수의 튜브형 홀(24a)들을 제공함으로써 다중의 용탕 접촉영역(혹은 용탕 냉각영역)을 냉각롤러(23)의 외주부상에 정의한다면 용탕이 단위 시간당 증가된 속도로 냉각롤러(23)에 주입되면서도 각각의 용탕 흐름은 실질적으로 균일한 상태로 냉각될 수 있을 것이다. 용탕이 냉각롤러(23)상의 하나의 영역으로 높은 속도로 주입되는 상황과 비교해 볼 때 냉각롤러(23)의 온도 상승은 현저하게 감소될 수 있으며 냉각롤러의 냉각 성능도 충분히 높게 유지될 수 있다. 결과적으로 두께가 대략 $50\mu\text{m}$ 이상인 급속 응고 합금을 준비할 때에도 그 두께 변화가 최소화될 수 있다. 대안적으로는 각각이 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 다수의 슈트를 하나의 냉각롤러에 대해 배치하여 그 냉각롤러에 다중의 용탕 접촉영역을 정의할 수도 있을 것이다.

한편, 상기 슈트(24)는 냉각롤러(23)에 막 도달하려하는 용탕(22)의 온도를 조정할 수도 있다. 슈트(24)상의 용탕(22)의 온도는 그 액화온도 보다 100°C 정도 높은 것이 바람직하다. 이것은 용탕(22)의 온도가 너무 낮으면 최종 급속응고합금의 물성에 영향을 주는 초기 결정물이 부분적으로 핵을 형성하여 급속응고합금 내에 남아있게 되기 때문이다. 슈트(24)상의 용탕 온도는 용탕 도가니(21)로부터 슈트(24)로 주입되는 용탕의 온도를 조정함하거나 슈트(24)의 열용량을 조정함으로써 제어할 수 있다. 이를 위하여, 필요하다면, 슈트히터(미도시)를 설치할 수도 있을 것이다. 슈트(24)상의 용탕 온도의 감소를 최소화하기 위하여 슈트상의 용탕 흐름 영역은 비교적 길이가 짧다. 바람직한 실시예에서 그러한 길이는 3cm에서 20cm의 범위를 갖는다.

용융 합금은 냉각롤러(23)의 외주부상에서 응고되어 냉각롤러(23)를 벗어나면서 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금(25)이 된다.

다음으로 도 5를 참조하면, 튜브형 홀(24a)로부터 막 분사되는 용탕(22)의 흐름 방향 및, 튜브형 홀(24a)의 주입구 중심과 냉각롤러(23)의 회전축을 연결하는 선 사이에서 정의되는 각은 γ 로 나타낸다. 이하에서 상기 각 γ 는 용탕 흐름 방향이 냉각롤러(23)의 회전 방향과 반대이면 양의 값이고 용탕 흐름 방향이 냉각롤러 회전 방향과 동일하면 음의 값으로 정의한다. 바람직한 실시예에서 상기 각 γ 는 20도에서 40도의 범위를 갖는다. 그 이유는 다음과 같다. 상기 각 γ 가 20도 보다 작게 되면 용탕 범벽이 형성되지 않으며 오히려 용탕이 튀게 되어 냉각될 수 없게 된다. 반면에 상기 각 γ 가 40를 초과하게 되면 용탕이 롤러 상에 얹혀있지 못하고 떨어져 나가게 되어 역시 냉각되지 못하게 된다. 이러한 점들을 고려할 때 상기 각 γ 는 15도에서 30도의 범위, 더욱 바람직하게는 13도에서 25의 범위가 적당하다.

본 발명에 의하여 제조되는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 평균 두께는 $50\mu\text{m}$ 에서 $150\mu\text{m}$ 의 범위를 갖는 것이 바람직하다. 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면 급속 응고 합금 두께의 표준편차는 $20\mu\text{m}$ 정도로 조절될 수 있다. 결과적으로 급속 응고 합금은 균일한 구조를 가질 수 있으며 그 마그네틱 특성이 현저하게 향상될 수 있다. $50\mu\text{m}$ 보다 작은 평균두께를 갖는 급속 응고 합금을 1.5kg/min 정도의 높은 주입 속도로 얻게 되면 냉각롤러는 상당히 큰 선속도로 회전되어야 한다. 그러한 경우 실질적으로 완전히 비정질화된 합금이 얻어질 수 있다. 그러나 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 제조되는 나노복합재 마그네틱에 대해서 상기와 같이 실질적으로 완전히 비정질화된 급속 응고 합금을 열처리하게 되면 우수한 마그네틱 특성을 갖는 나노복합재 구조를 균일하게 형성할 수 없게 된다. 본 발명자들은 열처리된 합금의 마그네틱 특성을 평가하였다. 그 결과 본 발명자들은 급속 응고 합금에 요구되는 최소 평균 두께는 $55\mu\text{m}$ 정도가 바람직하며, 더욱더 바람직한 두께는 $60\mu\text{m}$ 이다.

반면에 냉각롤러(23)의 선속도를 조절하여 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 평균 두께가 $150\mu\text{m}$ 이상이 되도록 하게 되면 용융 합금이 냉각롤러(23)에서 충분히 냉각되지 않을 수 있다. 그러한 경우에 최종적인 급속 응고 합금에서 석출되는 철계 붕소화물은 평균 결정립 크기가 50nm 이상이 되고 100nm 이상의 과다한 입경을 갖는 $\alpha\text{-Fe}$ 상이 제조될 수 있다. 그러한 결정 구조를 갖는 급속 응고 합금을 열처리하여 마그네틱을 제조하면 감자곡선(demagnetization curve) 상의 루프 정방성(loop squareness)이 감소되는 결과를 보이게 된다. 이러한 이유로 급속 응고 합금은 평균 두께가 최대 $150\mu\text{m}$ 정도가 되도록 하는 것이 바람직하다.

일반적으로 볼 때, 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금이 두꺼워질 수록 냉각속도는 떨어지고 급속 응고 합금 내에 석출되는 결정 크기는 커지게 된다. 본 발명의 실시예에 따른 나노복합재 마그네틱이 되는 합금에 있어서, 급속 응고 합금 내에 포함되는 $\alpha\text{-Fe}$ 나 철계 붕소화물과 같은 연자상이 50nm 이상의 평균 결정립 크기를 갖게 되면 강자상 결정립 내부에 마그네틱구역벽(magnetic domain wall)이 형성될 수 있다. 그러한 경우에 연자상과 강자성 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상 사이의 교환커플링(exchange coupling)으로 인하여 매우 약한 외부의 감자력(demagnetizing field)에 의해서도 쉽게 자성의 반전이 야기되어 기대했던 강자성이 약화될 수 있다. 이러한 이유로 급속 응고 합금 내에 포함되는 연자상은 최대 50nm 정도의 평균 결정립 크기를 갖도록 하는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 최대 30nm , 더욱더 바람직하게는 최대 20nm 의 평균 결정립 크기를 갖도록 하는 것이 적당하다.

반면에, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상은 단일 마그네틱구역벽이 되는 평균 결정립 크기가 최대 300nm 정도가 하는 것이 바람직하다. 교환 상호작용을 통한 마그네틱 특성을 향상시키기 위해서는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 평균 결정립 크기는 최대 200nm 정도가 하는 것이 바람직하다. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 최적 평균 결정립 크기는 150nm 이며, 더욱 바람직하게는 100nm 정도가 적당하다.

본 발명의 다양한 실시예에 있어서 튜브형 홀(24a)의 내경 및 수, 용탕 주입속도와 냉각롤러(23)의 선속도 등을 적절히 조정함으로써 최종적인 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 두께와 폭을 바람직한 범위내에서 결정하는 것이 중요하다. 균일한 구조를 얻기 위해서는 또한 냉각속도를 폭 방향으로 균일하게 하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금은 튜브형 홀(24a)의 개구 면적을 조정함으로써 3mm 에서 20mm 범위의 폭을 갖도록 하는 것이 바람직하다. 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 폭이 넓을수록 상기 합금을 분쇄하기가 용이해진다. 따라서, 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 최소 폭은 5mm 가 되도록 하는 것이 바람직하다.

또한, 급속 냉각 분위기가 과도하게 고압이 되면 고속으로 회전하는 냉각롤러(23) 주위를 둘러싸고 있는 불활성가스가 냉각되는 용탕에 흡수될 것이다. 그러한 경우에 용탕은 일정하게 냉각될 수 없다. 반면에 분위기 가스의 압력이 너무 낮으면 냉각롤러(23)를 벗어나는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금은 불활성 가스에 의해 신속히 냉각되지 못하여 과다하게 결

정화가 진행될 수 있다. 그렇게 되면 많은 비정질상을 포함하여야 하는 합금을 얻지 못하게 될 수 있다. 이 경우에는 열처리된 합금이 열화된 마그네틱 특성을 보이게 된다. 이러한 점들을 고려하여 불활성 가스의 압력은 0.13kPa에서 10kPa 정도의 범위를 갖도록 하는 것이 바람직하다. 급속 냉각 분위기가 이러한 범위의 압력을 가질 때 용탕 흐름 표면 영역의 자연적인 응고에 의해 유사튜브형 멤버 역시 일정하게 형성될 수 있다.

바람직한 나노복합재 마그네트용 조성물

Q는 B(붕소) 및 C(탄소)중의 적어도 어느 하나이다. B는 나노복합재 영구자석 물질의 주요 상인 Fe_3B 또는 Fe_{23}B 연자상 및 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 강자상과 같은 철계 붕소화물의 필수 구성요소이다. B의 몰분율 x가 10 - 30at% 이외의 범위이면 영구자석의 특성이 얻어지지 않는다. 이러한 이유로, B의 몰분율 x는 $10\text{at}\% \leq x \leq 30\text{at}\%$ 의 범위를 만족하여야 한다. 여기서, " Fe_3B "는 Fe_3B 와 거의 구별이 불가능한 $\text{Fe}_{3.5}\text{B}$ 를 포함한다.

한편, B의 몰분율 x가 10at% 보다 낮게 되면 용탕의 비정질상 형성이 심각하게 저하된다. 이 경우에, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 방법으로 급속 응고 합금이 제조되면 용융 합금은 급속 응고 과정에서 과냉되지 않아 평탄성이 우수한 얇은 스트립 형태의 합금을 얻을 수 없다. 또한, 그런 얇은 스트립 형태의 합금은 열처리하여 결정화되더라도 원하는 균일한 나노복합재 마그네트 구조가 얻어질 수 없으며 우수한 마그네틱 특성을 얻을 수 없다. 반면에 B의 몰분율 x가 30at%를 초과하게 되면 강자상이 충분히 생성될 수 없다. 따라서, 바람직한 몰분율 x는 10at%에서 20at%의 범위이며, 더욱 바람직하게는 10.5at%에서 20at%의 범위이다. 마그네틱 특성이나 급속 구조는 치환에 의해 영향을 받지는 않기 때문에 C의 경우 50at% 정도까지는 B로 치환될 수 있다.

희토류 원소 R은 영구자석 특성을 가져오는데 필요한 강자상인 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 필수 성분이다. 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에서 R은 Pr, Nd, Dy 및 Tb로 이루어진 그룹에서 선택되는 적어도 하나의 원소를 포함하는 것이 바람직하다. 그러나 비정질상의 형성 및 결정화 온도를 조절하기 위해서 다른 희토류 원소가 R의 일부분을 치환할 수도 있다. R의 몰분율 y는 2at% 보다 낮으면 안되는데 그 이유는 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 결정구조를 갖는 강자상이 R의 몰분율 y가 2at% 미만일 때는 생성되지 않기 때문이다. 그러나 R의 몰분율 y가 10at% 이상이면 철 또는 철계 붕소화물이 생성되지 않으며 나노복합재 마그네트도 얻어질 수 없다. 이러한 점들을 고려할 때, R의 몰분율 y는 $2\text{at}\% \leq y < 10\text{at}\%$ 의 범위를 만족하는 것이 바람직하다. 더 바람직한 y의 범위는 3at%에서 9.5at%이며, 더욱더 바람직한 y의 범위는 4at%에서 9.2at%의 범위이다.

위에서 언급된 성분 이외에 급속 합금의 잔여성분은 Fe이며, 그나마도 일부분이 Co로 치환될 수 있다. 그렇게 되면 감자곡선의 루트정방성이 향상되고 최대에너지적(maximum energy product)(BH)max도 증가하게 된다.

나아가 Fe의 일부분은 Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ni, Hf, Ta, W, Pt, Pb, Au 및 Ag로 이루어지는 그룹에서 선택되는 적어도 하나의 금속원소 M으로 치환될 수 있다. 그러나 상기 적어도 하나의 금속원소 M의 총 몰분율 z가 10at%를 초과하게 되면 자화는 감소된다. 따라서 바람직한 z의 범위는 $0\text{at}\% \leq z \leq 10\text{at}\%$ 이며, 더 바람직하게는 $0.3\text{at}\% \leq z \leq 5\text{at}\%$ 의 범위가 적당하다.

이러한 급속 원소중에서 Ti는 특히 좋은 영향을 가져온다. 이것은 Ti가 첨가되면 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 결정구조를 갖는 화합물(즉, 강자상)이 핵을 형성하고 성장하여 급속 응고 과정에서 $\alpha\text{-Fe}$ 상이 최소화되기 때문이다. 또한, 매우 크기가 작은 철계 붕소화물이 강자상의 입계에 얇게 분포되는 구조가 얻어진다. 그러한 구조는 나노복합재 마그네트로서 우수한 특성을 보인다. 따라서, Ti가 첨가되는 것이 바람직하다. Ti는 0.5at%에서 7at%의 몰분율로 첨가되는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 1at%에서 6at%의 범위가 적당하다.

실시예

이하에서는 본 발명의 바람직한 실시예의 구체적인 예를 기술한다. 다음의 예에서는 도 3에 도시된 바와 같은 용탕 냉각 장치가 사용되었다. 먼저, 순도 99.5% 이상의 순도를 갖는 Nd, Fe, Co, B, C 각각을 칭량하여 전체 혼합물의 중량이 5kg이고 합금의 조성은 $\text{Nd}_{8.5}\text{Fe}_{75}\text{Co}_2\text{B}_{11}\text{C}_1\text{Ti}_{2.5}$ (여기서 하부첨자는 원자퍼센트)이 되도록 하였다. 그 다음 혼합물을 알루미늄이나 도가니에 주입하였다.

다음으로, 알루미늄이나 도가니에서 고주파 열처리로 상기 합금 물질을 용융하여 상기 조성물을 갖는 용융 합금을 얻었다. 용융 합금의 온도는 1,350℃였다. 그 다음에는 알루미늄 도가니의 경사를 기울여 용융 합금을 도 4a 및 4b에 도시된 바와 같은 슈트 어셈블리의 가이드 표면으로 주입하였다.

가이드 표면 밑에는 하나, 둘, 셋 또는 네 개의 튜브형 홀로 대체될 수 있는 부재가 설치되어 있다. 따라서, 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕은 튜브형 홀(들)에 의해 분류되어 회전하는 냉각롤러 표면으로 주입된다.

상기 슈트의 튜브형 홀(들)은 20mm의 길이를 갖는다. 튜브형 홀(들)의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 20mm이다. 튜브형 홀(들)로부터 방출된 용탕은 11.3kPa의 압력을 갖는 Ar 분위기하에 있는 냉각롤러와 접촉되어 급속히 냉각 및 응고된다. 냉각롤러는 15m/s의 선속도로 회전한다. 튜브형 홀들의 수 및 개구 면적을 포함하여 상기 급속 냉각 조건들이 다음의 표 1에 나타나 있다.

[표 1]

		홀의 갯수	개구면적 (cm ²)	α (deg)	β (deg)	γ (deg)	급속응고여부?	용융냉각속도 (kg/min)
실시예	1	2	0.03	10	32	10	YES	4.0
	2	2	0.07	20	40	3	YES	5.3
	3	3	0.07	30	35	5	YES	7.0
	4	3	0.13	30	35	5	YES	11.0
	5	1	0.18	10	25	0	YES	7.3
	6	4	0.07	30	25	5	YES	8.7
	7	3	0.07	10	35	10	YES	7.0
	8	2	0.13	30	35	-12	YES	7.2
비교예	9	-	-	30	25	-	YES	6.0
	10	-	-	10	25	-	YES	6.0
	11	-	-	30	35	-	NO	-

각각의 비교예 9, 10, 및 11에서는 튜브형 홀 없는 가이드부를 사용하는 스트립 캐스팅 방법에 의해서 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금을 준비하였다. 합금 물질은 본 발명의 바람직한 실시예에서 사용된 것과 같은 조성물을 사용하였다. 표 1에서 볼 수 있듯이 샘플 9 및 10의 조건에서는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금이 얻어질 수 있었지만 샘플 11의 조건에서는 얻어지지 않았다. 상기 비교예에서 용탕은 운동량이 작은 롤러 표면에 부딪혀 롤러 표면과 낮은 접촉정도를 유지하였다. 따라서, 최종 급속 응고 합금에서 롤러 표면과 접촉했던 부분은 낮은 평탄성을 보였으며 작은 오목부를 많이 갖고 있었다. 이것은 급속 응고 합금이 충분히 냉각되지 못한 부분이 국부적으로 많다는 것을 의미한다. 따라서, 그러한 합금으로 제조된 마그네트는 열화된 마그네틱 특성을 보이게 된다.

도 6은 표 1의 샘플 4의 조건하에서 본 발명의 바람직한 특정 실시예에 따라 얻어진 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 두께 분포 및 표 1의 샘플 9의 조건하의 비교에서 얻어진 얇은 스트립 급속 응고 합금의 두께 분포를 보여준다. 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금 100편의 두께를 구형 표면을 갖는 마이크로 게이지로 측정하였다. 각 편 길이는 20mm에서 50mm이었고 폭은 6mm였다.

도 6의 결과에서 볼 수 있듯이 본 발명의 바람직한 실시예의 특정예를 대표하는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금은 비교예에서 보다 더 균일한 두께를 갖는다. 샘플 4는 샘플 9에서보다 더 높은 용탕 주입속도로 얻어졌다. 따라서, 샘플 4의 최종적인 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 평균 두께는 샘플 9에서 보다 더 크다. 비교예에서는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금의 두께가 본 발명의 실시예에서 보다 더 넓은 범위에 걸쳐 분포되어 있다. 이것은 아마도 비교예에서는 용탕과 냉각롤러 표면과의 접촉정도가 낮기 때문일 것이다.

비교예를 대표하는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금은 본 발명의 바람직한 실시예의 특정예를 대표하는 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금 보다 작은 평균 두께를 갖는다. 그러나, 비교예에서의 스트립 캐스팅 장치에 의하여 용탕 주입 속도를 증가시켜 샘플 4의 급속 응고 합금에 대조될만한 평균 두께의 얇은 스트립을 얻는다고 하더라도 용탕 범벅은 일정하게 형성될 수 없었으며 요구되는 두께를 갖는 얇은 스트립 형태의 합금이 재생성있게 얻어지지 않았다.

이러한 결과로부터 분명하게 알 수 있듯이 본 발명의 바람직한 실시예의 특정예에 따르면 그 평균 두께는 80 μ m 이상일지라도 우수한 재생성과 두께의 표준편차를 최소화하여 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금을 얻을 수 있었다.

다음으로, 위 특정예의 조건하에서 얻어진 얇은 스트립 형태의 급속 응고 합금은 파우더밀로 거칠게 분쇄되어 850 μ m 이하 정도의 크기를 갖도록 하였다. 그 다음, 분쇄된 합금을 열처리를 하게 된다. 구체적으로는 후프형 벨트 열처리 로에서 Ar 분위기하에 상기 합금을 700 $^{\circ}$ C의 온도로 열처리하여 10분간 유지하였다. 이 열처리의 결과로 급속 응고 합금 내에 존재하였던 비정질상이 결정화되어 최종 나노복합재 마그네트 구조가 얻어졌다. 이와 같은 방법으로 얻어진 상기 나노복합재 마그네트 분말의 마그네틱 특성을 진동마그네토미터(vibrating sample magnetometer)로 측정하였다. 그 결과는 다음의 표 2에 나타나있다.

[표 2]

		B_r (mT)	$(BH)_{max}$ (kJ/m ³)	H_{cJ} (kA/m)
실 시 예	1	900	120	666
	2	863	116	672
	3	870	115	672
	4	862	112	661
	5	853	110	681
	6	866	115	675
	7	882	117	669
	8	873	115	683
비 교 예	9	834	104	684
	10	843	103	652
	11	827	98	671

본 발명의 바람직한 실시예와 위에 기술된 특정예는 나노복합재 마그네트에 관련된다. 그러나 본 발명자들은 실험을 통하여 도 3에 도시된 장치로 수행되는 제조 프로세스는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 뿐만 아니라 본드마그네트 및 소결마그네트를 포함하는 다른 타입의 마그네트용 급속 응고 합금의 제조에도 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다. 즉, 본 발명은 합금이 용융되어 급속 냉각 및 응고된다면 특정 조성을 갖는 합금에 한정되지 않는다. 바꿔 말하면, 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에 따른 급속 응고 합금 제조방법 및 장치는 어떤 타입의 마그네트용 급속 응고 합금을 제조하는데에도 폭넓게 사용될 수 있다.

이하에서는 본 발명의 다른 바람직한 실시예에 따른 소결 마그네트용 급속 응고 합금의 제조방법에 대하여 기술한다.

도 3에 도시된 장치를 소결 마그네트용 급속 응고 합금에 사용하더라도 경사진 슈트의 가이드 표면을 흐르는 용탕은 튜브형 홀(들)에 분류되어 흐르며, 매우 큰 운동량으로 방출되어 층류(laminar flow) 상태를 유지한다. 따라서, 용탕은 또한 냉각롤러 표면에 큰 운동량으로 부딪히게 된다. 결과적으로 용융합금과 냉각롤러 표면간의 접촉정도가 증가하고, 용탕 범벅이 회전하는 냉각롤러 표면에서도 일정하게 형성될 수 있다.

종래의 스트립 캐스터 장치에서는 용탕이 일시적으로 용탕을 담을 수 있도록 설치되는 튠디시(tundish)에 의하여 냉각롤러상에 주입되며, 형성된 용탕 범벅의 크기는 튠디시의 용탕 주입부와 냉각롤러 표면간의 갭으로 정의된다. 따라서, 종래의 방법에서는 튠디시의 용탕 주입부와 냉각롤러 표면간의 갭이 0.5mm 보다 클 수 없었다. 또한, 종래 기술에서는 아무도 튠디시의 용탕 가이드 표면을 경사지게 하여 용탕 흐름을 가속시키려는 생각을 수행하지 않았으며, 따라서 용탕은 보통 튠디시의 용탕 주입부를 통해 냉각롤러 표면상에 낮은 속도로 주입되었다. 결과적으로 종래의 스트립 캐스터 장치는 용탕과 롤러 표면사이의 충분한 접촉을 얻을 수 없었다.

위에서 기술한 바와 같이, 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에 따르면, 용탕과 냉각롤러 표면간의 접촉 정도는 현저하게 증가하며, 따라서 분위기 가스가 용탕과 냉각롤러 사이의 갭으로 불필요하게 흡수되는 것을 최소화시키며 나아가 용탕의 운동량을 안정화시킨다. 그 결과, 최종적인 급속 응고 합금의 두께 및 냉각속도는 균일해질 수 있다. 이에 따라 종래의 스트립 캐스팅 방법과 비교해볼 때 더 균일한 품질의 급속 응고 합금 구조를 얻을 수 있게 된다. 종래 기술에서는 소결 마그네트용 급속 응고 합금이 본 발명의 바람직한 실시예에 의하여 얻어진 급속 응고 합금 만큼 균일하게 조직될 수 없었다. 그러나 본 발명자들은 소결 마그네트용 합금 물질이라도 매우 균일한 합금 구조를 갖게 되어 우수한 마그네틱 특성(예를 들어, 높은 보자력)을 얻게 된다.

소결 마그네트용 급속 응고 합금을 제조함에 있어서, 튜브형 홀(들)의 출구가 0.6cm^2 를 초과하는 면적을 갖게 되면 용탕 주입속도가 너무 높아 냉각 롤러상에 용탕 범벅이 일정하게 형성되기 어렵다. 이 경우에는 용탕이 튀어 의도한 대로 냉각될 수 없게 된다. 그러나, 튜브형 홀(들)의 출구가 0.03cm^2 미만의 면적을 갖게 되면 단위 시간당 용탕 처리율이 $1.5\text{kg}/\text{min}$ 정도로 줄어들어 생산성이 현저히 떨어지게 된다.

이러한 점들을 고려하여 소결 마그네트용 급속 응고 합금을 제조함에 있어서, 튜브형 홀(들)의 출구 면적은 0.03cm^2 에서 0.6cm^2 의 범위, 바람직하게는 0.07cm^2 에서 0.4cm^2 의 범위가 적당하다.

슈트 끝단에 다수의 튜브형 홀들을 설치함으로써 단위 시간당 용탕 처리율을 증가시킬 수 있다.

용탕 냉각 장치에서 특정 배치(예컨데, 각도 α , β , γ 의 바람직한 범위)에 대해서는 나노복합재 마그네트용으로 이미 기술한 조건들을 역시 소결 마그네트용 급속 응고 합금에도 적용한다.

앞서 기술된 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에 따른 장치와 방법은 용융 합금과 냉각롤러 표면간의 접촉정도를 현저하게 증가시키고 용탕을 매우 균일하게 냉각시켜 어떤 타입의 마그네트에 대해서도 매우 균일한 구조의 급속 응고 합금을 제공한다. 이러한 이점은 처리되는 합금 물질의 특정 조성에 상관없이 또는 얻어지는 마그네트가 본드 마그네트인지 소결 마그네트인지에 상관없이 얻어진다.

또한, 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에 따른 장치와 방법에 있어서, 슈트 끝단과 냉각롤러 표면과의 거리는 증가될 수 있는데, 용탕 범벅은 종래의 스트립 캐스터 장치와 비교할 때 여전히 더욱 일정하게 형성될 수 있다. 따라서, 비교적 두꺼운 급속 응고 합금이라도 일정하게 형성될 수 있다.

또한, 슈트 끝단과 냉각롤러 표면과의 거리가 증가될 수 있기 때문에 슈트 끝단과 냉각롤러 표면과의 갭이 슈트 끝단 주변에 용탕의 응고된 부분으로 막히게 됨으로 인하여 용탕 냉각 과정이 예기치 않게 중단되는 것을 피할 수 있게 된다. 특히, 적어도 하나의 튜브형 홀을 갖는 주입부가 도 4a 내지 4c에 도시된 바와 같이 배치할 수 있을 때 용탕 냉각장치는 슈트(24) 전체가 아닌 주입부(240)만을 교체함으로써 오랫동안 정상적으로 작동시킬 수 있다.

또한, 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면 용탕이 경사진 슈트의 가이드 표면에 비교적 높은 속도로 (예를 들어, 0.2 m/s 이상) 흘러내린다. 따라서, 슈트로 주입된 뒤에도 종래의 스트립 캐스팅 방법에서 보다 더 짧은 시간에 용탕이 냉각롤러상에 도달할 수 있다. 그래서, 슈트상의 용탕의 온도 감도가 현저하게 줄어들 수 있다. 따라서, 용탕의 온도가 비교적 낮더라도 용탕은 여전히 소정의 원하는 온도로 냉각롤러상에 주입될 수 있다. 또한, 용탕이 슈트상에 빠르게 흐르기 때문에 용탕의 원치 않는 산화를 최소화하고 슬래그(slag)나 부스러기들이 슈트에 잘 쌓이지 않는다. 용탕이 산화되면 점성이 증가하여 튜브형 홀을 막아버릴 가능성이 크다. 그러나 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면 용탕이 경사진 가이드 표면을 빠르게 흘러내려 산화로 인한 용탕의 원치 않는 점성 증가를 최소화할 수 있고, 튜브형 홀이 막히는 것도 잘 발생되지 않는다.

이하에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 소결 마그네트의 제조방법에 관한 특정실시예를 기술한다.

실시예

다음의 본 발명에 다른 바람직한 실시예에서는 도 3에 도시된 바와 같은 용탕 냉각 장치가 역시 사용되었다. 구체적으로는 먼저, 순도 99.5% 이상의 순도를 갖는 Nd, Dy, B, C 및 Fe 각각을 칭량하여 전체 혼합물의 중량이 4kg이고 합금의 조성은 $\text{Nd}_{31.1}\text{Dy}_{1.0}\text{B}_{1.1}\text{C}_{3.0}\text{Fe}_{63.9}$ (여기서 하부첨자는 원자퍼센트)이 되도록 하였다. 그 다음 혼합물을 알루미늄 도가니에 주입하였다.

다음으로, 알루미늄 도가니에서 고주파 열처리로 상기 합금 물질을 용융하여 상기 조성물을 갖는 용융 합금을 얻었다. 용융 합금의 온도는 1,500℃ 정도였다. 그 다음에는 알루미늄 도가니의 경사를 기울여 용융 합금을 슈트 어셈블리의 가이드 표면으로 주입하였다.

가이드 표면 밑에는 세 개의 튜브형 홀(각각의 직경은 4mm 정도)을 갖는 대치될 수 있는 부재가 설치되어 있다. 따라서, 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕은 튜브형 홀에 의해 분류되어 회전하는 냉각롤러 표면으로 주입된다.

유사튜브형 멤버가 성장되기 이전에, 상기 슈트의 튜브형 홀은 10mm의 길이를 가졌다. 튜브형 홀의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 최초에 10mm이었다. 튜브형 홀로부터 방출된 용탕은 50kPa의 압력을 갖는 Ar 분위기하에 있는 냉각롤러와 접촉되어 급속히 냉각 및 응고된다. 냉각롤러는 2m/s의 선속도로 회전한다. 각도 α , β , γ 는 각각 5도, 20도, 2도였다. 용탕 냉각과정이 정상상태에 도달하면 유사튜브형 멤버가 7mm의 길이로 성장하였다. 그 결과 튜브형 홀의 유효 길이는 17mm가 되었다. 이에 따라 유사튜브형 멤버의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 1.5mm에서 3.0mm의 범위가 되었다.

이 특정 실시예에서는, 세 개의 튜브형 홀이 구비되었다. 따라서, 세 개의 용탕 흐름이 냉각롤러상에 주입되고 세 개의 급속 응고 합금이 동시에 형성된다. 이러한 방법으로 얻어진 급속 응고 합금 박편은 폭이 6mm에서 10mm 정도이고 길이는 10mm에서 300mm의 범위에 있었다.

그 다음에, 얻어진 급속 응고 합금으로부터 100개의 박편을 임의로 선정하여 그 두께를 측정하였다. 그 결과, 그 박편들은 표준편차가 20 μm 로서 230 μm 의 평균 두께를 보였다. 상기 박편에서 결정립은 단축이 0.5 μm 에서 7 μm 의 크기이며 장축은 3 μm 에서 70 μm 의 크기를 보였다. 상기 박편은 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 메인 상이 0.5 μm 에서 7 μm 의 두께로 R-과다 상에 둘러싸여있는 합금 구조를 갖는다. R-과다 상의 균일한 분포는 전자빔마이크로분석기 EPM-810 (Shimadzu Corp. 제품)로 확인하였다.

상기 박편은 공지의 방법에 의하여 거칠게 분쇄한 후, 다시 미분하여, 평균 입자 크기가 3.0 μm 의 미분 분말을 얻었다. 상기 미분 분말을 1.20MA/m의 강도를 갖는 자기장하에서 충전하고, 그 다음 소결하였다. 충전 압력은 100MPa이었고 소결 온도는 1,060℃에서 대략 3시간 정도 수행되었다. 소결된 충전물은 600℃에서 대략 한 시간 정도 에이징(aging)하였다. 이와 같은 방법으로 얻어진 영구자석의 마그네틱 특성은 표 3에 나타난 바와 같다.

비교예

앞서 기술된 특정예와 동일한 합금 조성을 갖는 급속 응고 합금을 도 2에 도시된 장치를 이용하여 용탕이 슈트로부터 튜브형 홀 없이 곧바로 냉각롤러에 주입된다는 점만을 제외하고는 거의 동일한 조건하에 준비하였다. 이 비교예에서는 슈트의 끝단과 냉각롤러 표면간의 거리가 10mm였고, 각도 α 및 β 는 각각 20도 및 10도 이었다.

이러한 방법으로 폭이 20mm에서 30mm이고 길이가 10mm에서 300mm인 급속 응고 합금 박편을 얻었다. 그 다음에 이렇게 얻어진 급속 응고 합금으로부터 임의로 선정된 100개의 박편의 두께를 측정하였다. 그 결과, 상기 박편들은 표준편차 64 μm 로서 평균 두께가 240 μm 임을 보였다.

상기 박편의 결정립은 단축이 0.5 μm 에서 20 μm 의 크기이며 장축은 10 μm 에서 300 μm 의 크기를 보였다. 상기 박편은 $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 메인 상이 2.0 μm 이하의 두께로 R-과다 상에 둘러싸여있는 합금 구조를 갖는다.

상기 박편은 분쇄된 다음 앞선 실시예에서와 동일한 조건하에 소결되어, 소결 마그네트를 얻었다. 최종적인 영구자석의 마그네틱 특성은 다음의 표 3에 나타난 바와 같다.

[표 3]

	B_r (T)	$(BH)_{\max}$ (kJ/m ³)	H_{cJ} (kA/m)
실시예	1.28	353.2	1.61
비교예	1.27	335.4	1.24

표 3의 결과로부터 알 수 있듯이, 본 발명의 바람직한 실시예의 특정예들의 최대에너지적 및 보자력이 비교예에서 보다 매우 높았다. 이러한 결과는 본 발명에 따른 실시예의 특정예들에서 매우 균일한 마그네틱 합금 구조가 얻어진 것을 보여주고 있는데 그 이유는 용융합금과 냉각롤러간의 접촉 정도가 매우 증가되어 용융합금이 충분히 균일하게 냉각되었기 때문일 것으로 판단된다.

이상과 같이 본 발명의 다양한 바람직한 실시예에 따르면 용탕 범벅은 비교적 고속으로 회전하는 냉각롤러 상에서도 일정하게 형성될 수 있다. 따라서, 본 발명은 나노복합재 마그네트는 물론 다른 타입의 마그네트용으로도 사용될 수 있는 급속 응고 합금의 대량생산에 크게 이바지한다.

산업상 이용 가능성

본 발명은 바람직한 실시예에 대하여 설명되었지만 개시된 발명은 다양한 방법으로 변형될 수 있고 앞에서 기재된 것과 다른 많은 실시예가 있음은 당업자에게 명백할 것이다. 따라서, 첨부하는 청구범위는 본 발명의 요지와 범주 내에 포함되는 모든 변형을 커버한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

조성식이 $Fe_{100-x-y-z}Q_xR_y$, $(Fe_{1-m}T_m)_{100-x-y-z}Q_xR_y$, $Fe_{100-x-y-z}Q_xR_yM_z$, 또는 $(Fe_{1-m}T_m)_{100-x-y-z}Q_xR_yM_z$ (T는 Co와 Ni 중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질이며; Q는 B와 C중에서 선택되는 적어도 어느 하나의 물질이고, 항상 B를 포함하며; R은 희토류 물질중 적어도 어느 하나이며; M은 Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb, Mo, Ag, Hf, Ta, W, Pt, Au 및 Pb로 이루어지는 그룹에서 선택되는 적어도 어느 하나의 금속원소) 중의 어느 하나로 표현되고, 상기 물분율 x, y, z 및 m은 각각,

$$10 \text{ at\%} \leq x \leq 35 \text{ at\%},$$

$$2 \text{ at\%} \leq y \leq 10 \text{ at\%},$$

$$0 \text{ at\%} < z \leq 10 \text{ at\%},$$

$0 \text{ at\%} < m \leq 0.5 \text{ at\%}$ 를 만족하는 합금의 용탕을 준비하는 공정과;

상기 용탕을 회전하는 냉각롤러 표면에 접촉되도록 하여 급속 응고 합금을 형성하는 단계를 포함하여 구성되고;

상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 가이드 표면이 수직면에 대해 경사각을 갖는 가이드부에 주입하고, 그 다음 가이드 표면에 흘러내리는 용탕을 적어도 하나의 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러 표면상의 접촉 영역으로 공급하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 가이드 표면이 수직면에 대하여 5 도에서 70도의 경사각을 유지하도록 하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 용탕이 냉각롤러에 처음으로 접촉되는 냉각롤러 표면상의 한 점과 냉각롤러의 회전축을 잇는 선이 수직면에 대하여 냉각롤러의 회전 방향과 반대방향으로 0도에서 80도의 범위의 각도(α)가 설정되도록 하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 다수의 튜브형 홀에 의하여 여러 흐름으로 분배하고 이러한 흐름들을 냉각롤러에 접촉되도록 하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 5.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 개구면적이 0.02cm^2 에서 0.5cm^2 의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 6.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 길이가 0.5mm에서 50mm의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 7.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 냉각롤러 표면과 튜브형 홀의 끝단 사이의 거리가 0.3mm에서 50mm의 범위가 되도록 하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 8.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 튜브형 홀로부터 막 방출되는 용탕의 흐름 방향에 대하여 튜브형 홀의 입구 중심과 냉각롤러의 회전축을 잇는 선이 이루는 각도 γ 가 -20도에서 40도의 범위로 정의되도록 하는 단계를 포함하며, 상기 각도 γ 는 용탕 흐름 방향이 냉각롤러의 회전 방향과 반대이면 양의 값으로 하며 용탕 흐름 방향이 냉각롤러의 회전 방향과 동일하면 음의 값으로 하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 9.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀을 포함하는 부재를 착탈가능하도록 지지하는 구조를 갖는 가이드부를 제공하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 10.

제1항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 가이드부 표면에 1.5kg/min 의 속도로 주입하고 가이드 표면을 따라 용탕이 흘러내리면서 용탕 상부 표면이 공기중에 노출되도록 하여 평균 두께가 $50\mu\text{m}$ 이상에서 $150\mu\text{m}$ 의 범위, 표준 편차가 $10\mu\text{m}$ 이내인 급속 응고 합금을 얻는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 11.

제10항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 감압된 대기가스하에서 냉각롤러 표면에 접촉되도록 하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 12.

제11항에 있어서, 상기 용탕을 냉각롤러 표면에 접촉되도록 하는 단계는 대기가스의 압력을 0.13kPa 에서 100kPa의 범위로 조절하는 단계를 포함하는 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 13.

제1항에 기재된 방법에 의한 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금을 준비하고; 상기 급속 응고 합금을 분쇄하는 단계를 포함하여 구성되는 나노복합재 마그네트 분말 제조방법.

청구항 14.

제13항에 있어서, 급속 응고 합금의 분쇄단계를 수행하기 이전 또는 이후 또는 이전 및 이후에 결정화의 목적으로서 열처리 과정을 수행하는 단계를 더 포함하여 구성되는 나노복합재 마그네트 분말 제조방법.

청구항 15.

제13항에 기재된 방법에 의한 나노복합재 마그네트용 급속 응고 합금 분말을 준비하고; 나노복합재 마그네트 분말을 마그네트 형태로 성형하는 단계를 포함하여 구성되는 나노복합재 마그네트 제조방법.

청구항 16.

용탕을 받아 용탕 냉각장치의 냉각롤러에 공급하는 슈트 어셈블리로서,

용탕의 온도 보다 용점이 높은 물질로 만들어지며 수직면에 대하여 경사각을 갖는 가이드 표면; 그리고

가이드 표면상을 따라 흐르는 용탕이 통과하는 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 주입부를 포함하여 구성되며;

상기 주입부는 슈트 어셈블리로부터 착탈가능한 것을 특징으로 하는 슈트 어셈블리.

청구항 17.

분리가능한 상태로 제16항에 기재된 슈트 어셈블리에 보관되며 상기 슈트 어셈블리의 가이드 표면상을 따라 흐르는 용탕이 통과하는 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 주입부.

청구항 18.

냉각롤러와, 합금 용탕을 받아 상기 냉각롤러에 공급하는 슈트 어셈블리를 포함하여 구성되며;

상기 슈트 어셈블리는,

용탕의 온도 보다 용점이 높은 물질로 만들어지며 수직면에 대하여 경사각을 갖는 가이드 표면; 및 가이드 표면상을 따라 흐르는 용탕이 통과하는 적어도 하나의 튜브형 홀을 구비하는 주입부를 포함하며,

상기 튜브형 홀의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 1mm 에서 50mm의 범위가 되는 것을 특징으로 하는 용탕 냉각장치.

청구항 19.

제18항에 있어서, 상기 주입부는 슈트 어셈블리에 착탈가능한 용탕 냉각장치.

청구항 20.

합금 용탕을 준비하고, 상기 용탕을 회전하는 냉각롤러 표면에 접촉시켜 급속 응고 합금을 형성하는 단계를 포함하여 구성되며;

상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드 표면이 수직면에 대하여 경사각을 갖는 가이드부로 용탕을 주입하고, 그 다음 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕을 적어도 하나의 튜브형 홀을 통하여 냉각롤러의 표면상의 접촉 영역에 공급하는 단계를 포함하며;

상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 튜브형 홀의 끝단과 냉각롤러 표면 사이의 거리는 1mm 에서 50mm의 범위가 되도록 하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 21.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드부를 조정하여 가이드 표면이 수직면과 이루는 각도가 5도에서 70도의 범위가 되도록 하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 22.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕이 냉각롤러에 처음으로 접촉되는 냉각롤러 표면상의 한 점과 냉각롤러의 회전축을 잇는 선이 수직면에 대하여 냉각롤러의 회전 방향과 반대방향으로 5도 에서 80도의 범위의 각도(α)가 설정되도록 하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 23.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 다수의 튜브형 홀에 의하여 여러 흐름으로 분배하고 이러한 흐름들을 냉각롤러에 접촉되도록 하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 24.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 개구면적이 0.03cm^2 에서 0.6cm^2 의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 25.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀의 길이가 5mm 에서 50mm의 범위인 가이드부를 제공하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 26.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 튜브형 홀을 빠져나오는 용탕 흐름의 표면이 급속히 냉각되고 응고되어 상기 튜브형 홀이 용탕 흐름으로부터 연장되어 유효길이가 10mm 이상이 되도록 하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 27.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕 표면이 대기중에 노출된 상태에서 가이드 표면을 따라 흐르고 튜브형 홀에 용탕 흐름이 채워지도록 하는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 28.

제27항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 용탕을 가이드부 표면에 1.5kg/min의 속도로 주입하여 평균 두께가 $50\mu\text{m}$ 이상에서 $150\mu\text{m}$ 의 범위, 표준 편차가 $10\mu\text{m}$ 이내인 급속 응고 합금을 얻는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 29.

제20항에 있어서, 상기 급속 응고 합금을 형성하는 단계는 가이드 표면을 따라 흐르는 용탕 표면상의 대기가스 압력과 튜브형 홀을 빠져나오는 용탕 표면의 대기가스 압력을 실질적으로 같도록 감압된 대기가스하에서 용탕을 냉각롤러 표면과 접촉시키는 단계를 포함하는 영구자석용 급속 응고 합금 제조방법.

청구항 30.

제20항에 기재된 방법에 의한 마그네트용 급속 응고 합금을 준비하고,

상기 급속 응고 합금을 분쇄하는 단계를 포함하여 구성되는 마그네트 분말 제조방법.

청구항 31.

제30항에 있어서, 급속 응고 합금의 분쇄단계를 수행하기 이전 또는 이후 또는 이전 및 이후에 결정화의 목적으로서 열처리 과정을 수행하는 단계를 더 포함하는 마그네트 분말 제조방법.

청구항 32.

제30항에 기재된 방법에 의한 마그네트 분말을 준비하고,

상기 마그네트 분말을 성형하여 본드마그네트를 얻는 단계를 포함하여 구성되는 마그네트 제조방법.

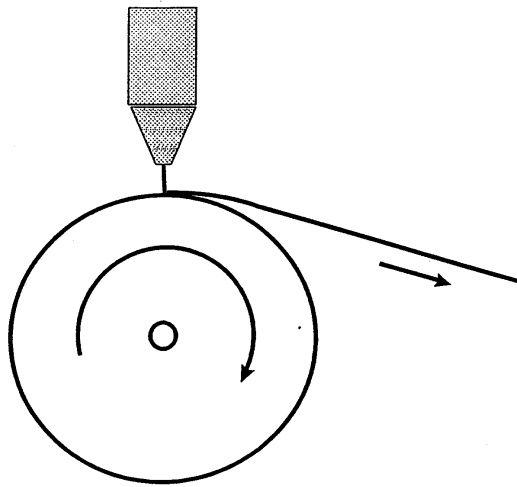
청구항 33.

제30항에 기재된 방법에 의한 마그네트 분말을 준비하고,

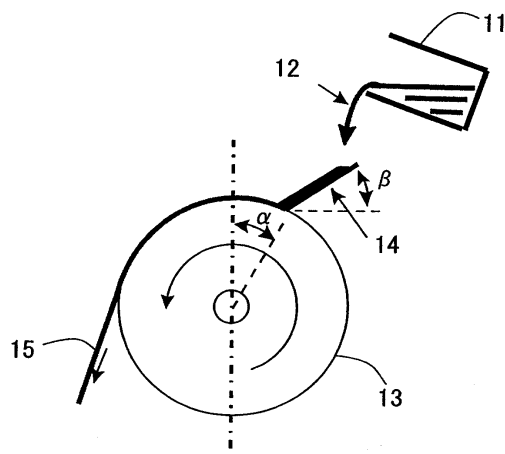
상기 마그네트 분말을 소결하여 소결마그네트를 얻는 단계를 포함하여 구성되는 마그네트 제조방법

도면

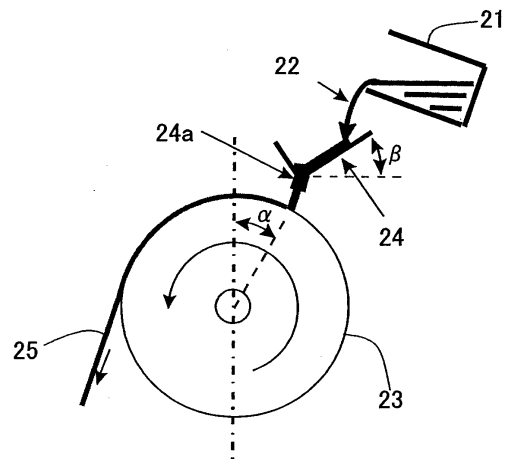
도면1



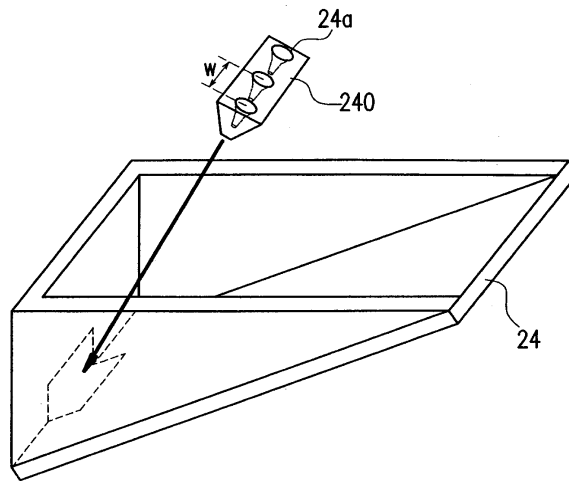
도면2



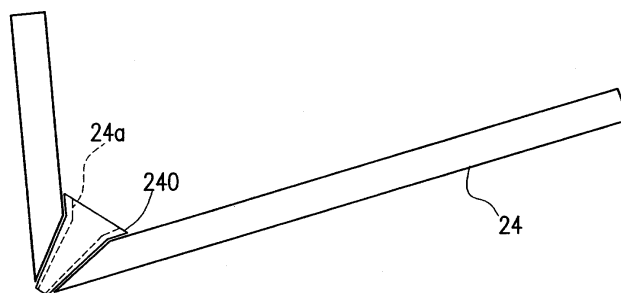
도면3



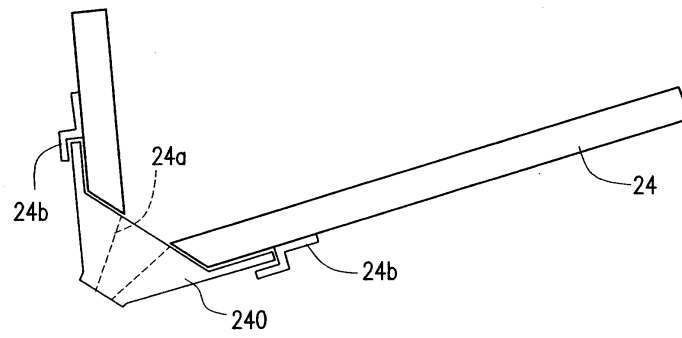
도면4a



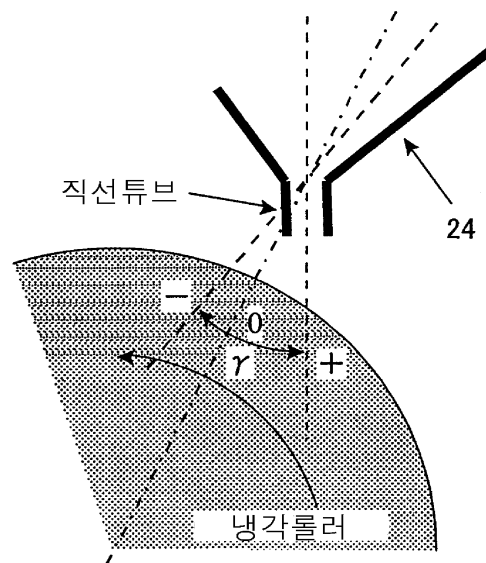
도면4b



도면4c



도면5



도면6

