



- (51) 국제특허분류:
C01G 49/00 (2006.01) B01J 19/28 (2006.01)
C01B 35/04 (2006.01) B22F 1/00 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/004575
- (22) 국제출원일: 2012년 6월 8일 (08.06.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2011-0055915 2011년 6월 10일 (10.06.2011) KR
10-2011-0080056 2011년 8월 11일 (11.08.2011) KR
10-2011-0104909 2011년 10월 14일 (14.10.2011) KR
10-2012-0047090 2012년 5월 3일 (03.05.2012) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **한국 기계연구원 (KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS)** [KR/KR]; 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동), 305-343 Daejeon (KR).
- (72) 발명자: **김**
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **남기석 (NAM, Kee-Seok)** [KR/KR]; 경상남도 창원시 의창구 용호동 롯데아파트 211 동 202 호, 641-041 Gyeongsangnam-do (KR). **권정대 (KWON, Jung-Dae)** [KR/KR]; 경상남도 창원시 성산구 가음동 13-3 재료연구소 아파트 305 호, 641-111 Gyeongsangnam-do (KR). **나종주 (RHA, Jong-Joo)**

[KR/KR]; 경상남도 창원시 성산구 성주동 유니온빌리지 109 동 1704 호, 641-120 Gyeongsangnam-do (KR). **안희찬 (AHN, Hee-Chan)** [KR/KR]; 경상남도 창원시 성산구 상남동 재료연구소 기숙사동 302 호, 641-010 Gyeongsangnam-do (KR). **임태수 (LIM, Tae-Su)** [KR/KR]; 경상남도 창원시 성산구 만림동 3-1 현대아파트 112 동 308 호, 641-180 Gyeongsangnam-do (KR).

(74) 대리인: **이인행 (LEE, In-Haeng)** 등; 서울특별시 서초구 서초동 1551-5 석천빌딩 4층 율민국제특허법률사무소, 137-873 Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

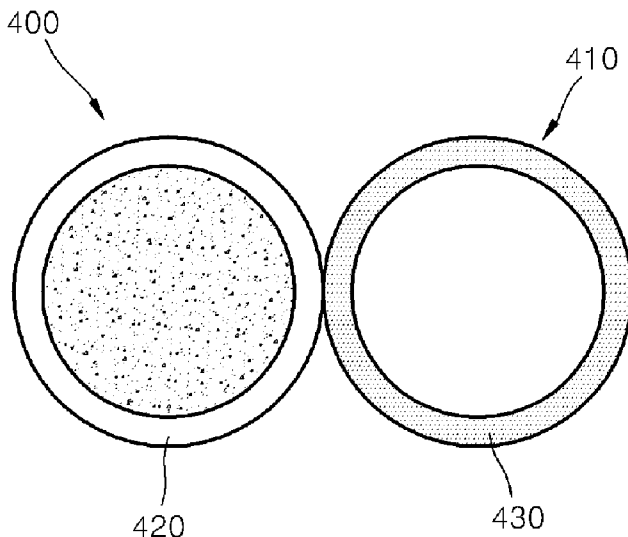
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: COMPOUND POWDER MANUFACTURING APPARATUS, MANUFACTURING METHOD FOR IRON-BORON POWDER MIXTURE USING SAME, BORON ALLOY POWDER MIXTURE AND METHOD FOR PREPARING SAME, POWDER CONJUGATES AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME, AND STEEL PIPE AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 발명의 명칭 : 화합물 분말 제조장치, 이를 이용한 철-붕소 화합물 분말의 제조방법, 붕소합금 혼합분말과 그의 제조방법, 분말결합체와 그의 제조방법, 및 강관과 그 제조방법

[Fig. 8]



(57) Abstract: The present invention provides an apparatus for manufacturing a compound powder, a method for preparing an iron-boron powder mixture using the same, a boron alloy powder mixture and a method for preparing the same, a powder conjugate and a method for manufacturing the same, and a steel pipe and a method for producing the same. According to one aspect of the present invention, the method for preparing the boron alloy powder mixture comprises: a step of preparing a mixture powder in which a ferroboration powder and a target powder are mixed; and a de-boronizing step of de-boronizing at least a portion of the ferroboration powder while boronizing at least a portion of the target powder through a prescribed heat treatment so as to reduce the melting point of the ferroboration powder.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

본 발명은 화합물 분말 제조장치, 이를 이용한 철-붕소 화합물 분말의 제조방법, 붕소합금 혼합분말과 그의 제조방법, 분말결합체와 그의 제조방법, 및 강판과 그 제조방법을 제공한다. 본 발명의 일 관점에 따르면, 붕소합금철분말 및 대상분말이 혼합된 분말을 준비하는 단계; 소정의 열처리를 통해 상기 대상분말의 적어도 일부를 침봉처리하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈봉처리하여 상기 붕소합금철분말의 응집을 감소시키는 탈봉처리단계;를 포함하는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법이 제공된다.

명세서

발명의 명칭: 화합물 분말 제조장치, 이를 이용한 철-붕소 화합물 분말의 제조방법, 붕소합금 혼합분말과 그의 제조방법, 분말결합체와 그의 제조방법, 및 강관과 그 제조방법

기술분야

- [1] 본 발명은 화합물 분말을 제조할 수 있는 장치, 이를 이용하여 화합물 분말을 제조하는 방법, 더욱 상세하게는 철 분말을 붕소화(boronizing) 처리하여 철-붕소 화합물 분말을 제조할 수 있는 장치 및 방법에 대한 것이다.
- [2] 본 발명은 이종분말이 서로 혼합되어 형성된 혼합분말 및 이를 제조하는 방법으로서, 더욱 상세하게는 붕소합금철(ferro boron)과 침붕처리된 대상분말이 혼합된 혼합분말 및 그 제조방법에 대한 것이다.
- [3] 또한, 본 발명은 이종분말이 서로 혼합되어 형성된 분말결합체 및 이를 제조하는 방법으로서, 더욱 상세하게는 붕소합금철(ferro boron) 분말과 침붕처리된 대상분말이 혼합된 혼합분말을 결합시켜 제조한 분말결합체 및 그 제조방법에 대한 것이다.
- [4] 또한, 본 발명은 이종분말이 서로 혼합되어 형성된 강관 및 그 제조방법으로서, 더욱 상세하게는 붕소합금철분말과 침붕처리된 대상분말이 혼합된 혼합분말을 결합시켜 제조한 강관 및 그 제조방법에 관한 것이다.
- [5] 본 발명은 이종분말이 서로 혼합되어 가열되고, 용융 응고되어 강관 내부에 피복된 강관(steel pipe) 및 그 제조방법으로서, 더욱 상세하게는 탈붕처리된 붕소합금철분말과 침붕처리된 대상분말로 이루어진 붕소합금분말, 또는 그 붕소합금분말을 결합제로 하고 크롬합금철분말을 강화제로 한 혼합분말을 가열하여 부분, 또는 완전 용융 응고시켜 강관 내면에 내마모는 물론 내열 및 내식 특성이 우수한 피복층을 형성시킨 강관 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

- [6] 일반적으로 내마모성 복합체는 금속으로 이루어진 기지에 고경도 및 고내마모성을 가진 세라믹 분말을 강화상으로 분포시킴으로써 제조할 수 있다. 이러한 세라믹 분말로서 종래부터 탄화텅스텐(WC), 탄화티타늄(TiC), 붕화티타늄(TiB₂) 등의 여러 고경도 분말이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 분말들은 고가이며, 중력 또는 원심주조를 통해 복합체를 형성하는 경우 기지금속과의 비중 차이가 커서 균일하게 분산시키기 어려울 뿐만 아니라 점착력이 낮아 기지 금속과의 결합력이 떨어진다는 단점을 가지고 있다.
- [7] 한편 주조 또는 소결에 의한 내마모 특성 또는 내식 특성을 가지는 금속소재부품이나, 또는 금속-고경도 세라믹복합소재 부품을 제조하기 위하여 분말을 서로 결합시킨 분말결합체를 제조할 수 있다. 이때 우수한 특성의 분말결합체를 제조하기 위해서는 서로 결합되는 분말간의 결합력이 우수하여야

한다. 이러한 우수한 결합력을 얻기 위해서 분말을 서로 결합시키는 과정 중에 분말 간에 서로 접촉하는 영역에서 용융을 통해 분말간의 용융접합을 유도할 수 있다. 이를 위해 고경도 세라믹복합소재 부품의 경우, 고경도를 가지는 세라믹 분말에 낮은 용점을 가지는 금속 분말을 결합제로 사용하여 상기 세라믹 분말을 결합시키는 방법이 이용될 수 있다.

- [8] 강화상으로 이용되거나 혹은 분말결합체를 제조하기 위한 고경도 세라믹 분말로서 철-붕소 이원계 화합물이 사용될 수 있다. 철-붕소 이원계 화합물은 붕소의 함유량에 따라 FeB 또는 Fe_2B 을 가지며, 구체적으로 붕소의 함유량이 8.83중량%인 경우 1389°C 의 용융온도를 나타내는 Fe_2B 화합물을 형성하고, 16.23중량%인 경우 1650°C 의 높은 용융점을 나타내는 FeB 화합물을 형성한다. 한편 붕소의 함유량이 3.8중량%인 경우 1177°C 의 낮은 용융온도를 나타낸다. 이중 Fe_2B 는 $7.3\text{g}/\text{cm}^3$ 의 비중과 HK 1800~2000의 경도값을 나타내며, FeB 는 $7.0\text{g}/\text{cm}^3$ 의 비중과 HK 1900~2100을 나타내는 등, 매우 높은 경도를 나타냄과 동시에 자용성(self fluxing) 및 점착력이 우수하다. 더 나아가 철-붕소 화합물의 경우 비중이 약 $7.5\text{g}/\text{cm}^3$ 로 철계 금속과 큰 차이를 보이지 않기 때문에 철계 금속 재료를 기지로 한 중력 또는 원심주조법을 이용한 금속 복합체를 제조하는데 매우 적합하다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [9] 본 발명은 화합물 분말을 제조할 수 있는 장치 및 이러한 장치를 이용하여 경도가 높으면서도 자용성 및 점착성이 우수한 철-붕소 화합물 분말을 제조하는 방법의 제공을 목적으로 한다.
- [10] 또한, 본 발명은 종래와 같이 별도로 고경도 붕화물 분말을 제조한 후 이를 결합체인 저용점의 금속분말과 혼합하는 단계를 거치지 않고, 붕소합금철분말과 대상분말을 혼합하여 열처리하여 대상분말을 침봉처리함과 동시에 붕소합금철분말을 탈봉처리함으로써 붕소합금철분말의 용점을 감소시킨 혼합분말 및 그 제조방법의 제공을 목적으로 한다.
- [11] 또한, 본 발명은 종래와 같이 별도로 고경도 붕화물 분말을 제조한 후 이를 결합체인 저용점의 금속분말과 혼합하는 단계를 거치지 않고, 붕소합금철분말과 대상분말을 혼합하여 열처리하고 대상분말을 침봉처리함과 동시에 붕소합금철분말을 탈봉처리함으로써 붕소합금철분말의 용점을 감소시켜 제조한 분말결합체 및 그 제조방법의 제공을 목적으로 한다.
- [12] 또한, 본 발명은 상기 분말결합체를 이용하여 내부에 내마모, 내산화 및 내부식 특성이 뛰어난 피복층을 경제적인 방법으로 제조할 수 있는 강관 및 그 제조방법의 제공을 목적으로 한다.

과제 해결 수단

- [13] 본 발명의 일 관점에 따르면, 가열부를 구비한 노체로 둘러싸인 레토르트를

회전 및 가열하면서, 상기 레토르트 내에 장입된 철 분말과 붕소공급물질을 서로 반응시키는 단계; 상기 노체를 상기 레토르트의 외주면으로부터 분리하여 제거하는 단계; 및 상기 레토르트를 회전하면서 냉각시키는 단계;를 포함하는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법이 제공된다.

- [14] 상기 철 분말은 순철 분말을 포함할 수 있다.
- [15] 상기 철 분말은 직경이 10 내지 1000 μm 범위에 있을 수 있다.
- [16] 상기 레토르트는 850°C 내지 1050°C의 온도범위에서 가열될 수 있다.
- [17] 상기 붕소공급물질은 붕소 분말, 붕소화합물 분말 및 페로보론 분말을 포함할 수 있다.
- [18] 상기 붕소화합물 분말은 탄화붕소(B_4C) 분말 또는 산화붕소(B_2O_3) 분말을 포함할 수 있다.
- [19] 한편 상기 레토르트 내에 활성화제 분말을 더 장입한 후 상기 철 분말과 붕소공급물질을 반응시킬 수 있으며, 상기 활성화제 분말은 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [20] 이때 상기 철 분말, 붕소공급물질 및 활성화제 분말이 혼합된 혼합분말 중 상기 붕소공급물질은 5 내지 50 중량% 범위에 있고 상기 활성화제 분말은 0.5 내지 10 중량% 범위에 있을 수 있다.
- [21] 한편 분말형태의 붕소공급물질의 평균직경은 상기 철 분말의 평균직경에 비해 더 작은 값을 가질 수 있다.
- [22] 한편, 상기 붕소공급물질은 붕소가스 또는 붕소화합물 가스일 수 있다.
- [23] 상기 붕소가스 또는 붕소화합물 가스는 캐리어 가스와 혼합되어 혼합가스로서 공급될 수 있으며, 이때 상기 붕소화합물 가스는 B_2H_6 , BF_3 , BCl_3 , BI_3 , BBr_3 , $(\text{CH}_3)_3\text{B}$ 및 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$ 중 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [24] 상기 붕소가스 또는 붕소화합물 가스는 혼합가스 내에서 2 내지 40부피% 범위에 있을 수 있다.
- [25] 본 발명의 다른 관점에 의하면, 회전가능한 레토르트; 및 상기 레토르트를 둘러싸는 프레임 및 상기 프레임 내에 상기 레토르트를 가열할 수 있도록 배치되는 가열부를 포함하는 노체;를 포함하는, 화합물 분말 제조장치가 제공된다.
- [26] 상기 노체는 각각 분리되어 이동될 수 있는 부분노체를 복수개로 포함할 수 있으며, 구체적으로 상기 부분노체는 레토르트 외주면의 일부분을 둘러싸도록 배치되는 제1서브프레임과 상기 제1서브프레임 내부에 배치되는 제1가열부를 포함하는 제1부분노체; 및 상기 레토르트 외주면의 나머지 부분을 둘러싸도록 배치되는 제2서브프레임과 상기 제2서브프레임 내부에 배치되는 제2가열부를 포함하는 제2부분노체;를 포함할 수 있다.
- [27] 본 발명의 또 다른 관점에 따르면, 붕소합금철분말 및 대상분말이 혼합된 분말을 준비하는 단계; 소정의 열처리를 통해 상기 대상분말의 적어도 일부를 침봉처리하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈봉처리하여 상기

붕소합금철분말의 용점을 감소시키는 탈붕처리단계;를 포함하는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법이 제공된다.

- [28] 상기 탈붕처리단계 전 상기 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 17원자% 이상일 수 있다.
- [29] 또한 상기 탈붕처리단계 후 상기 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 5 내지 30원자% 범위일 수 있으며, 나아가 10 내지 20원자% 범위일 수 있다.
- [30] 상기 탈붕처리단계는, 상기 대상분말의 전체가 침봉될 때까지 수행되거나 혹은 붕소합금철분말의 전체가 탈붕될 때까지 수행될 수 있다.
- [31] 한편, 상기 대상분말은 붕소가 고용되거나 혹은 붕소와 결합하여 붕소화합물을 형성할 수 있는 금속원소일 수 있으며, 상기 금속은 예를 들어, Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Al, Si, Ni, Co, Ta, Mo 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.
- [32] 또한 상기 대상분말 내에서 침봉처리가 되는 영역의 용점이 상기 침봉처리되기 전의 상기 대상분말의 용점에 비해 더 낮아지게 할 수 있다.
- [33] 상기 혼합된 분말은 상기 붕소합금철분말이 5 내지 95중량%의 범위에서 혼합되어 있을 수 있다.
- [34] 또한 상기 혼합된 분말은 활성제가 0.5 내지 20중량% 범위로 더 혼합되어 있을 수 있으며, 상기 활성제는 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [35] 한편 상기 탈붕처리단계는 산화방지 분위기에서 수행될 수 있으며, 상기 산화방지 분위기는 질소, 아르곤, 수소 및 진공 분위기 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 사용할 수 있다.
- [36] 본 발명의 또 다른 관점에 의하면, 붕소합금철분말; 및 적어도 일부에 침봉영역이 형성된 대상분말;을 포함하며, 상기 붕소합금철분말은 적어도 일부에 탈붕에 의한 붕소의 함량이 낮아짐에 따라 용점이 낮아진 탈붕영역이 형성된, 붕소합금 혼합분말이 제공된다.
- [37] 이때 상기 대상분말은 전체에 침봉영역에 형성된 것이거나 상기 붕소합금철분말은 전체에 탈붕영역이 형성된 것일 수 있다.
- [38] 한편 상기 탈붕영역은 상기 붕소합금철분말의 표면에 위치할 수 있다.
- [39] 또한 상기 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있다.
- [40] 한편 상기 침봉영역은 금속의 붕소고용체 또는 금속과 붕소의 붕소화합물일 수 있으며, 상기 금속은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.
- [41] 이때 상기 침봉영역은 상기 금속에 비해 용점이 더 낮을 수 있다.
- [42] 또한 상기 침봉영역은 상기 대상분말의 표면에 위치할 수 있다.
- [43] 본 발명의 또 다른 관점에 따르면, 탈붕처리된 붕소합금철분말 및 침봉처리된 대상분말이 혼합된 혼합분말을 소정의 온도로 가열하여 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말과 상기 침봉처리된 대상분말을 결합시키는 단계를 포함하는, 분말결합체 제조방법이 제공된다.

- [44] 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말과 상기 침붕처리된 대상분말의 제조방법은, 붕소합금철분말과 대상분말이 혼합된 혼합분말을 준비하는 단계; 및 상기 혼합분말을 열처리함으로써, 상기 대상분말의 적어도 일부를 침붕처리하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈붕처리하여 상기 붕소합금철분말의 용점을 감소시키는 탈붕처리단계;를 포함할 수 있다.
- [45] 또한 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말과 상기 침붕처리된 대상분말 외에 제3의 분말을 더 첨가하여 상기 제3의 분말도 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말 및 상기 침붕처리된 대상분말 중 어느 하나 이상과 결합시켜 제조할 수 있다.
- [46] 이때 상기 제3의 분말은 순금속 분말, 합금분말 또는 세라믹 분말을 포함할 수 있다. 이중 상기 합금분말은 자용성합금(self fluxing alloy) 분말을 포함할 수 있다. 또한 상기 세라믹 분말은 금속의 산화물, 탄화물, 질화물 및 붕화물 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [47] 한편 혼합분말은 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)와 같은 용제를 더 포함할 수 있다.
- [48] 한편 상기 탈붕처리단계 전 상기 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 17원자% 이상일 수 있다.
- [49] 또한 상기 탈붕처리단계를 거친 상기 혼합분말 내 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 5원자% 내지 35원자%일 수 있으며, 나아가 10원자% 내지 25원자%일 수 있다.
- [50] 상기 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있다.
- [51] 한편, 상기 대상분말은 붕소가 고용되거나 혹은 붕소와 결합하여 붕소화합물을 형성할 수 있는 금속원소일 수 있으며, 상기 금속은 예를 들어, Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.
- [52] 상기 혼합분말 중 상기 붕소합금철분말의 함량은 5중량% 내지 95중량%에서 혼합되어 있을 수 있다.
- [53] 상기 혼합분말은 활성제가 0.5중량% 내지 20중량% 더 혼합되어 있을 수 있다.
- [54] 또한 상기 활성제는 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [55] 본 발명의 또 다른 관점에 의하면, 한편 상기 탈붕처리단계는 산화방지 분위기에서 수행될 수 있으며, 상기 산화방지 분위기는 질소, 아르곤, 수소 및 진공 분위기 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 사용할 수 있다.
- [56] 본 발명의 또 다른 관점에 의하면, 적어도 일부에 침붕영역이 형성된 대상분말; 및 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소합금철분말;을 포함하고, 상기 침붕영역과 상기 탈붕영역 중 어느 하나의 적어도 일부가 용융 후 응고되어 서로 결합되거나, 혹은 상기 침붕영역과 상기 탈붕영역이 소결되어 서로 결합된 조직을 갖는, 분말결합체가 제공된다.
- [57] 상기 탈붕영역은 상기 붕소합금철분말의 표면에 위치할 수 있다.
- [58] 또한 상기 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있다.
- [59] 이때 상기 침붕영역에 금속의 붕소고용체 또는 금속과 붕소의 붕소화합물이

형성될 수 있다.

- [60] 한편 상기 침봉영역은 금속은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [61] 본 발명의 또 다른 관점에 따르면, 적어도 일부에 탈봉영역이 형성된 붕소합금철분말과 적어도 일부에 침봉영역이 형성된 대상분말을 혼합한 혼합분말을 강관 내에 배치하는 단계; 및 상기 강관 내에 배치된 상기 혼합분말을 가열 용융 응고하여 상기 강관의 내부면에 피복층을 형성하는 단계;를 포함하는, 강관 제조방법이 제공된다.
- [62] 이때 상기 혼합분말을 가열 용융 응고하여 상기 강관의 내부면에 피복층을 형성하는 단계는, 상기 혼합분말이 배치된 상기 강관을 회전하면서 가열 및 냉각함으로써 구현될 수 있다.
- [63] 또한, 상기 혼합분말을 강관 내에 배치하는 단계는 붕소합금철분말과 대상분말을 혼합하는 단계; 및 혼합된 상기 붕소합금철분말과 상기 대상분말을 함께 열처리함으로써, 상기 대상분말의 적어도 일부를 침봉처리하여 상기 침봉영역을 형성하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈봉처리하여 상기 탈봉영역을 형성하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [64] 상기 붕소합금철분말은 규소 또는 탄소 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.
- [65] 상기 대상분말은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [66] 상기 혼합분말 중에서 상기 붕소합금철분말의 함량은 5중량% 내지 95중량%일 수 있다.
- [67] 상기 붕소합금철분말과 상기 대상분말의 평균 입도는 ASTM 표준체로 200 메쉬 내지 20 메쉬일 수 있다.
- [68] 상기 강관 내의 상기 혼합분말은 크롬합금철분말 및 용제(flux) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있다.
- [69] 상기 크롬합금철분말은 탄소를 2중량% 이상 및 크롬을 50중량% 이상 포함할 수 있다.
- [70] 상기 혼합분말 중에서 상기 크롬합금철분말의 함량은 5중량% 내지 95중량%일 수 있다.
- [71] 상기 크롬합금철분말은 철, 크롬, 규소 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [72] 상기 크롬합금철분말의 평균 입도는 ASTM 표준체로 200 메쉬(mesh) 내지 4 메쉬 일 수 있다.
- [73] 상기 강관의 회전속도는 5G 내지 120G 일 수 있으며, 이때 상기 G는 아래와 같이 표현될 수 있다.
- [74] $G = \text{원심력/중력} = 5.6 \times 10^{-7} \times \text{강관내경(mm)} \times \text{회전수(rpm)}^2$
- [75] 상기 가열은 가스연소가열, 전기저항가열 및 고주파유도가열 중 어느 하나를

포함할 수 있다.

- [76] 상기 가열은 가열온도가 1000°C 내지 1500°C 일 수 있다.
- [77] 본 발명의 또 다른 관점에 따르면, 강관 내부면에 피복층을 포함하고, 상기 피복층의 조직은, 기지금속 또는 결합재로서 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소함금철분말과 적어도 일부에 침붕영역이 형성된 대상분말이 용융된 후 응고된 조직을 갖는, 강관이 제공된다.
- [78] 상기 피복층의 조직은 강화재로서 크롬함금철을 더 포함할 수 있다.
- [79] 이때 상기 강화재는 철, 10중량% 내지 80중량%의 크롬, 2중량% 내지 10중량%의 탄소 및 2.5중량% 이하의 규소를 포함할 수 있다.
- [80] 상기 결합재는 철 및 붕소를 포함하고, 상기 강화재는 철, 크롬, 실리콘 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [81] 상기 결합재는 붕소의 함량이 5원자% 내지 35원자% 일 수 있다.
- [82] 상기 피복층은 철, 크롬, 규소, 탄소 및 붕소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [83] 이때 상기 붕소의 함유량은 10중량% 이하(0초과)의 범위를 가질 수 있다.
- [84] 또한 상기 탄소의 함유량은 10중량% 이하(0초과)의 범위를 가질 수 있다.
- [85] 또한 상기 크롬의 함유량은 60중량% 이하(0초과)의 범위를 가질 수 있다.
- [86] 또한 상기 규소의 함유량은 2.5중량% 이하(0초과)의 범위를 가질 수 있다.

발명의 효과

- [87] 본 발명의 일 실시예를 따르는 철-붕소 화합물 분말 제조방법 및 제조장치에 의할 시 경도가 높고 자용성 및 점착성이 우수한 철-붕소 화합물 분말을 제조할 수 있다.
- [88] 본 발명의 다른 일 실시예에 따라 제조된 붕소함금 혼합분말은 탈붕처리에 의해 붕소함량이 감소한 붕소함금철분말을 포함하며, 이러한 붕소함금철분말은 붕소함량의 감소로 인해 용점이 낮아지는 효과를 얻을 수 있다. 또한 경우에 따라 상기 혼합분말 내 대상분말도 침붕처리에 따른 붕소함량의 증가로 경도가 증가하면서도 용점이 감소하는 효과를 가질 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예를 따르는 붕소함금 혼합분말은 탈붕처리된 붕소함금철분말과 침붕처리된 대상분말을 따로 분리할 필요가 없으며 이를 그대로 이용하거나 혹은 제3의 고경도 화합물분말을 첨가한 후 상대적으로 낮은 온도로 가열함으로써 고경도 분말결합체를 제조하는데 이용될 수 있다.
- [89] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따라 제조된 분말결합체는 탈붕처리에 의해 붕소함량이 감소한 붕소함금철분말과 침붕처리에 의해 붕소함량이 증가한 대상분말을 혼합시킨 혼합분말을 포함하며, 붕소함금철분말은 붕소함량의 감소로 인해 용점이 낮아지는 효과를 얻을 수 있고, 침붕처리에 따른 대상분말 또한 붕소함량의 증가로 경도가 증가하면서도 용점이 감소하는 효과를 가질 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예를 따르는 붕소함금 혼합분말은 탈붕처리된

붕소합금철분말과 침봉처리된 대상분말을 따로 분리할 필요가 없으며 이를 그대로 이용하거나 혹은 제 3의 고경도 화합물분말을 첨가한 후 상대적으로 낮은 온도로 가열함으로써 고경도 분말결합체를 제조하는데 이용될 수 있다.

[90] 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따르면, 저비용으로 내마모, 내산화 및 내부식 특성이 우수한 강관 및 그 제조방법을 구현할 수 있다. 또한, 경화능이 우수하여 별도의 열처리를 하지 않아도 매우 높은 경도 및 강도를 얻을 수 있다.

[91] 전술한 효과는 일부 실시예에 대해서 예시적으로 제시되었고, 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[92] 도 1 내지 도 3은 본 발명의 일 실시예를 따르는 화합물 분말 제조장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

[93] 도 4는 본 발명의 일 실시예를 따르는 화합물 분말 제조방법에 의해 제조된 철-붕소 화합물 분말입자의 단면도를 나타낸 것이다.

[94] 도 5는 본 발명의 실험예에 의해 제조된 철-붕소 화합물 분말의 단면조직이다.

[95] 도 6은 본 발명의 실험예에 의해 제조된 철-붕소 화합물 분말의 X-선 회절분석결과를 나타낸 것이다.

[96] 도 7 및 도 8은 혼합분말 내에서의 붕소합금철분말의 탈봉처리과 대상분말의 침봉처리를 단계적으로 도시한 도면이다.

[97] 도 9는 대상분말의 침봉처리에 따라 생성되는 조직을 예시적으로 나타낸 도면이다.

[98] 도 10은 철-붕소 상태도 이다.

[99] 도 11은 혼합분말의 탈봉처리 전의 붕소합금철분말과 Cr분말의 XRD 회절결과를 나타낸 것이다.

[100] 도 12는 혼합분말의 탈봉처리 후의 붕소합금철분말과 Cr분말의 XRD 회절결과를 나타낸 것이다.

[101] 도 13 및 도 14는 각각 혼합분말의 탈봉처리 후의 붕소합금철분말과 Cr분말의 단면조직 및 EPMA 분석결과를 나타낸 것이다.

[102] 도 15는 실험예에 따라 제조된 분말결합체의 미세조직을 관찰한 결과이다.

[103] 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 분말결합체의 미세조직을 관찰한 결과이다.

[104] 도 17 내지 도 20은 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관을 개략적으로 도시한 단면도이다.

[105] 도 21은 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관 제조방법을 개략적으로 도시한 단면도이다.

[106] 도 22는 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관의 일부분의 단면 사진이다.

[107] 도 23 내지 도 25은 각각 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 피복층의 단면 경도를 나타낸 그래프이다.

[108] 도 26 내지 도 28은 각각 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 피복층의

미세조직을 관찰한 결과이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [109] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있는 것으로, 이하의 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 또한 설명의 편의를 위하여 도면에서는 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다.
- [110] 이하의 실시예에서, x축, y축 및 z축은 직교 좌표계 상의 세 축으로 한정되지 않고, 이를 포함하는 넓은 의미로 해석될 수 있다. 예를 들어, x축, y축 및 z축은 서로 직교할 수도 있지만, 서로 직교하지 않는 서로 다른 방향을 지칭할 수도 있다.
- [111] 본 발명에서 언급되는 붕소함금철(ferro boron)은 약 10중량% 이상의 붕소를 함유하며, 약 1450°C 이상의 용융점을 가진 철과 붕소의 화합물로서 페로보론, 철-붕소 합금 등으로 불릴 수 있다.
- [112] 또한 본 발명에서 언급되는 대상분말은 붕소함금철분말로부터 공급되는 붕소에 의해 침봉처리의 대상이 되는 분말로서, 붕소함금철분말과 혼합되어 혼합분말을 이룰 수 있다.
- [113] 본 발명에서 붕소함금철분말은 대상분말의 침봉처리를 위해 붕소를 공급하는 붕소 공급원이면서 침봉처리 과정에서 탈봉되어 붕소함량이 감소된다. 또한 침봉처리 이후에는 저융점을 가진 결합제서 이용될 수 있다. 붕소함금철분말에 의한 대상분말의 침봉처리 및 붕소함금철분말의 탈봉처리는 서로 혼합한 후에 소정의 열처리를 통해 수행될 수 있다. 이하 본 발명을 기술함에 있어서 상기 소정의 열처리 과정을 붕소함금철분말의 관점에서 탈봉처리단계 또는 탈봉처리과정으로 명명할 수 있다.
- [114] 본 발명에서 언급되는 적어도 일부에 탈봉영역이 형성된 붕소함금철분말이란 탈봉영역이 형성되지 않았을 때보다 융점이 낮아진 붕소함금철분말을 말한다. 도 10의 철-붕소 상태도를 참조하여 설명하면, 철은 융융점이 1538°C이며 붕소는 2092°C이다. 철에 붕소가 64원자% 첨가되는 경우에는 1500°C에서 포정반응이 일어나고, 붕소가 17원자% 첨가되는 경우에는 상대적으로 낮은 온도인 1174°C에서 공정반응이 일어난다. 따라서 붕소함금철 내에서 붕소의 함량이 50원자%로부터 감소하여 17원자%에 이르기까지 붕소함금철의 융점은 1650°C에서 1174°C까지 감소하게 된다.
- [115] 예를 들어, 붕소함금철분말 내 최초의 붕소함량이 50원자%였고, 이후 탈봉처리과정에서 탈붕소화에 의해 붕소함금철분말의 표면에 붕소함량이 17원자%인 탈붕영역이 형성되었다면, 이러한 탈붕영역이 형성됨에 따라 붕소함금철분말의 표면에서의 융점은 최초 1650°C에서 1174°C로 약 480°C

정도의 감소를 나타내게 된다. 따라서 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소함금철분말이란 붕소를 함유하고 있는 분말이 처음의 붕소함량보다 줄어들어 용점이 낮아진 붕소함금철분말이다.

- [116] 또한, 붕소함금철분말은 규소(Si) 또는 탄소(C) 중 적어도 어느 하나를 더 포함할 수 있으며, 이 경우 탈붕소화에 의해 붕소함금철분말의 용점은 1174°C 아래로 더욱 감소할 수 있게 된다. 이때 규소는 5중량% 이하, 그리고 탄소의 함량은 2중량% 이하일 수 있다.
- [117] 이와 마찬가지로, 대상분말 또한 적어도 일부에 침붕영역이 형성되었다는 것은 침붕되기 전에 비해 용점이 감소된 부분을 가지는 것을 말할 수 있다. 예를 들어 도 10을 참조하여 설명하면, 대상분말이 순수한 철분말일 경우, 붕소함금철분말에 의해 침붕처리되어 붕소의 함량이 0에서 17원자%까지 증가됨에 따라 용점이 1538°C에서 공정온도인 1174°C까지 감소하게 된다. 또한 침붕영역이 붕소화합물로서 Fe_2B 가 형성되더라도 용점이 1389°C로서 순철의 1538°C에 비해 더 낮은 용점을 나타내게 된다.
- [118] 이러한 대상분말은 붕소와 친화력을 가진 금속으로서, 붕소와 결합하여 붕소화합물을 형성할 수 있는 금속원소이면 제한이 없다. 예를 들어 철(Fe), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf), 바나듐(V), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 니켈(Ni), 코발트(Co), 알루미늄(Al), 규소(Si) 및 텅스텐(W) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [119] 이하 본 발명의 실시예들을 설명한다.
- [120] 도 1에는 본 발명의 일 실시예를 따르는 화합물 분말 제조장치(100)의 x 방향에 대해 수직한 단면도가 도시되어 있다. 도 1을 참조하면, 화합물 분말의 제조장치(100)는 레토르트(retort, 10) 및 레토르트(10)를 가열할 수 있도록 둘러싸는 노체(20)를 포함한다.
- [121] 레토르트(10)는 y 방향으로 연장되는 중공원통형의 파이프 형상을 가질 수 있다. 이러한 레토르트(10)는 내부의 공간에 화합물 분말을 제조하기 위한 2종 이상의 분말이 혼합된 혼합분말(40)을 수용하고, 수용된 혼합분말(40)의 산화 및 소결을 방지한다. 또한 혼합분말(40)내 혼합된 분말들을 균일하게 혼합시키는 기능을 갖는다. 이를 위해 레토르트(10)는 y축 방향으로 연장되는 중심선을 기준으로 도 1의 화살표와 같이 회전할 수 있다. 레토르트(10)의 단부에는 혼합분말(40)을 장입하기 위한 도어(30)가 구비된다.
- [122] 노체(20)는 레토르트(10)를 둘러싸는 프레임(21) 및 프레임(21) 내에 레토르트(10)를 가열할 수 있도록 배치되어 있는 가열부(22)를 포함한다. 가열부(22)는 전기저항체, 고주파 유도가열체, 할로겐 램프 등 레토르트(10)의 외주면으로 투입되는 열을 발생시킬 수 있는 가열원이면 어떠한 형태라도 무방하다.
- [123] 노체(20)는 각각 분리되어 이동될 수 있는 부분노체를 복수개로 가질 수 있다. 도 2에는 복수개의 부분노체를 가지는 화합물 분말 제조장치(100)의

- 레토르트(10)의 연장방향(즉 도1의 y방향)에 수직한 단면도가 도시되어 있다.
- [124] 일 예로서 도 2에 도시된 바와 같이, 노체(20)는 제1부분노체(20a) 및 제2부분노체(20b)의 2개의 부분노체로 구성될 수 있다. 이때 제1부분노체(20a)는 레토르트(10) 외주면의 일부분을 둘러싸도록 배치되는 제1서브프레임(21a)과 제1서브프레임(21a) 내부에 배치되는 제1가열부(22a)로 구성되며, 제2부분노체(20b)는 레토르트(10) 외주면의 나머지 부분을 둘러싸도록 배치되는 제2서브프레임(21b)과 제2서브프레임(21b) 내부에 배치되는 제2가열부(22b)로 구성된다.
- [125] 이때 도 2에 도시된 바와 같이, 제1부분노체(20a)는 레토르트(10)의 상부측에 배치되고 제2부분노체(20b)는 레토르트(10)의 하부측에 배치되어 있으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 제1부분노체 및 제2부분노체가 각각 레토르트(10)의 좌측 및 우측에 배치되는 등 서로 다양한 형태로 배치될 수 있다.
- [126] 이와 같이 노체(20)를 구성하는 부분노체(20a, 20b) 각각은 모두 레토르트(10)의 외주면 상에 결합되어 레토르트(10)를 가열할 수 있으며, 반대로 레토르트(10)를 냉각시키기 위해서 각각 분리되어 레토르트(10)의 외주면으로부터 제거되도록 이동될 수 있다. 도 3에는 레토르트(10)로부터 노체(20)가 제거된 경우가 도시되어 있다.
- [127] 한편 레토르트(10)의 내부에는 회전 시 혼합분말(40)이 레토르트(10)의 내면을 따라 같이 회전하게 하기 위한 부재(50)를 더 구비할 수 있다.
- [128] 이러한 화합물 분말 제조장치(100)에 의할 경우, 레토르트(10) 내에 장입되는 혼합분말(40)을 가열함으로써 혼합분말(40)을 구성하는 물질 간의 반응을 유도하여 목적하는 화합물 분말을 제조할 수 있다.
- [129] 일 예로서 이러한 화합물 분말 제조장치(100)를 이용하여 철-붕소 화합물 분말을 제조할 수 있다. 즉, 혼합분말(40)로서 철 분말과 붕소공급물질을 레토르트(10) 내에서 서로 반응시켜 철 분말을 붕소화 처리함으로써 철 분말을 철-붕소 화합물 분말로 변화시킬 수 있다. 이때 철-붕소 화합물을 FeB , Fe_2B 또는 이들의 혼합물일 수 있다.
- [130] 이때 붕소공급물질은 철 분말과 반응하는 붕소를 공급할 수 있는 물질로서 분말형태를 가질 수 있다. 따라서 철 분말과 붕소공급물질 분말을 서로 혼합한 후 이를 화합물 분말 제조장치(100)의 레토르트(10) 내에 장입한다. 물론 철 분말과 붕소공급물질 분말을 각각 따로 레토르트(10)에 장착하는 것도 가능하다.
- [131] 상기 철 분말로는 탄소를 포함한 다른 합금원소의 함유량이 적어 당업계에서 통상 순철(pure iron)이라 지칭되는 철 분말을 이용할 수 있다. 이는 철에 다른 합금 원소가 함유되는 경우 붕소의 확산속도가 낮아져서 철-붕소 화합물의 형성을 억제하여 분말입자의 표면에서 중심에 이르기 까지 전체에 걸쳐 균일한 화합물의 형성이 어렵게 되기 때문이다. 이러한 철 분말은 탄소강으로 제조되어 사용된 후 폐기된 쇼트볼(shot ball)을 탈탄하여 사용할 수 있다.
- [132] 한편 붕소공급물질은 예를 들어 붕소 분말, 붕소화합물 분말 및 페로보론 분말

중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이때 붕소화합물로는 예를 들어, 탄화붕소(B_4C) 또는 산화붕소(B_2O_3)를 포함할 수 있다.

- [133] 이때 상기 붕소공급물질 분말의 평균직경은 철 분말의 평균직경에 비해 더 작은 값을 가질 수 있다. 이는 붕소화 처리 후 생성된 철-붕소 화합물 분말과 잔류하는 붕소공급물질 분말 등과의 분리를 용이하게 하기 위함이다. 예를 들어, 붕소공급물질 분말의 직경은 5 내지 $950\mu m$ 범위이고, 철 분말은 직경이 10 내지 $1000\mu m$ 범위를 가질 수 있다.
- [134] 철 분말의 경우 직경이 $1000\mu m$ 를 초과하는 경우, 철 분말의 표면으로부터 내부 중심에 걸쳐 균일한 화합물이 형성되기 어려울 수 있으며, $10\mu m$ 미만인 경우에는 잔류하는 붕소공급물질 분말과의 분리가 용이하지 않을 수 있다.
- [135] 한편, 레토르트(10) 내에는 혼합분말(40)로서 상술한 철 분말 및 붕소공급물질 외에 추가로 활성화제 분말을 더 장입한 후 철 분말과 붕소공급물질을 반응시킬 수 있다. 이러한 활성화제는 철 분말과 붕소공급물질의 반응온도를 낮추어 철-붕소간의 반응을 더욱 활성화시킬 수 있다. 이러한 활성화제로는 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , $NaCl$, NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [136] 원료로서 철 분말과 분말 형태의 붕소공급물질 및 활성화제가 서로 혼합된 경우, 붕소공급물질은 5 내지 50중량%의 범위에 있을 수 있고, 활성화제는 0.5 내지 10중량% 범위에 있을 수 있다.
- [137] 다음, 레토르트(10)를 회전시키면서 노체(20)의 가열부(22)를 이용하여 레토르트(10)를 가열한다. 이때 레토르트(10)의 외주면에 노체(20)가 결합되어 있지 않은 상태인 경우에는 우선 노체(20)를 레토르트(10)의 외주면으로 이동시켜 서로 결합시킨 다음 노체(20)의 가열부를 작동하여 레토르트(10)를 가열하게 된다.
- [138] 노체(20)가 도 2와 같이 상부측의 제1부분노체(20a) 및 하부측의 제2부분노체(20b)로 구성될 경우에는 각각의 부분노체(20a, 20b)를 이동시켜 레토르트(10)의 외주면에 결합시킬 수 있다.
- [139] 한편 가열 중에 레토르트(10)를 도 1과 같이 회전시킴에 따라 혼합분말(40) 내의 분말들이 서로 골고루 혼합되는 효과와 가열부(22)를 통해 전달되는 열이 혼합분말(40) 내에 골고루 전달되는 효과를 얻을 수 있다.
- [140] 이와 같이 레토르트(10)가 가열됨에 따라 레토르트(10) 내에 장입된 혼합분말(40) 내에서 철 분말과 붕소공급물질 분말 간의 반응이 일어나면서 철 분말은 붕소화 처리된다. 이때 붕소공급물질로부터 공급되는 붕소는 확산 제2법칙에 의해 철 분말의 표면으로부터 내부로 확산된다.
- [141] 이렇게 철 분말 내로 확산되는 붕소의 농도가 낮은 경우에는 붕소가 철에 고용되는 확산층을 형성하나, 붕소의 농도가 증가함에 따라 철-붕소 간의 반응에 의해 철-붕소 화합물로서 FeB 또는 Fe_2B 를 형성할 수 있다.
- [142] 따라서 철 분말은 도 4와 같이 붕소화 처리 과정 중에 그 표면으로부터 내부로 들어가면서 붕소의 농도에 따라 FeB (41), Fe_2B (42) 및 붕소고용층(43)의 3개의

영역으로 변화되거나(도 4의 (a)), 또는 Fe_2B (42), 붕소고용층(43)의 2개의 영역으로 변화되거나(도 4의 (b)) 혹은 전부 FeB 또는 Fe_2B 인 화합물층(44)만으 이루어지도록 변화될 수 있다(도 4의 (c)).

[143] 이러한 화합물층의 두께(x)는 다음의 확산 제2법칙(식 1)에 따라 처리온도 및 시간에 의존한다. 여기에서 x는 화합물층 두께, t는 처리시간, D는 확산계수이다.

[144] $x=(Dt)^{1/2}$ (식 1)

[145] 상술한 바와 같이, 철 분말에 다른 합금원소가 함유되는 경우 붕소의 확산속도가 낮아져 FeB 또는 Fe_2B 의 형성을 억제하여 분말의 표면으로부터 중심에 이르기까지 균일한 화합물을 가지기 어려울 수 있으며, 철 분말의 직경이 지나치게 큰 값을 갖는 경우에도 역시 철 분말 전체를 균일한 화합물로 변화시키기에 어려울 수 있다. 따라서 이러한 점에서 철 분말은 직경의 최대값이 $1000\mu\text{m}$ 를 넘지 않은 순철 분말을 이용하는 것이 바람직할 수 있다.

[146] 처리온도는 철의 붕소화를 위해 최소 850°C 이상을 유지할 수 있으며, 붕소화 처리 과정 중 액상의 철-붕소 화합물층이 형성되는 것을 방지하기 위해 철-붕소 합금의 가장 낮은 용융온도인 1177°C 미만의 온도, 예를 들어 1050°C 이하로 유지할 수 있다.

[147] 처리시간은 30 내지 600분 범위 내에서 수행될 수 있다. 30분 보다 미만인 경우에는 철 분말의 충분한 붕소화 처리가 수행되지 않을 수 있으며, 600분을 초과하는 처리는 이미 붕소화 처리가 포화단계에 이르러 불필요한 과정일 수 있다.

[148] 다음, 레토르트(10) 내에서 철 분말의 붕소화가 완료되었다고 판단되는 시점에 노체(20)를 레토르트(10)의 외주면으로부터 분리하여 제거한다. 이러한 노체(20)의 제거로 인하여 레토르트(10)의 가열에 이용되는 가열부(22)가 제거되며 따라서 레토르트(10)는 자연스럽게 냉각단계에 진입할 수 있다. 이때 레토르트(10)를 계속 회전시킴에 따라 레토르트(10) 내의 분말이 균일하게 냉각될 수 있게 할 수 있다.

[149] 레토르트(10)를 충분히 냉각시킨 후, 레토르트(10)로부터 철-붕소 화합물 분말을 포함하는 혼합분말을 추출한다.

[150] 이러한 혼합분말은 원료였던 철 분말과 붕소공급물질 분말이 서로 반응하여 형성한 철-붕소 화합물 분말과 기타 잔류하는 원료분말, 활성화제 분말 등이 모두 혼합되어 있다. 따라서 추출된 혼합분말을 철-붕소 화합물 분말과 그 밖의 분말로 분리하는 단계를 더 수행할 수 있다. 분리하는 방법은 예를 들어 체를 이용하여 혼합분말로부터 철-붕소 화합물 분말과 그 밖의 분말을 분리할 수 있다.

[151] 철-붕소 화합물 분말을 제조하기 위한 또 다른 실시예로서, 고상의 분말 형태 대신에 붕소공급가스를 붕소공급물질로 이용하는 방법이 수행될 수 있다. 붕소공급가스는 철 분말과의 반응하는 붕소를 공급하는 가스로서, 붕소가스 또는 붕소화합물 가스를 포함할 수 있다. 이때 붕소화합물 가스는 B_2H_6 , BF_3 , BCl_3

, BI_3 , BBr_3 , $(\text{CH}_3)_3\text{B}$ 및 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$ 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

[152] 본 실시예에 의할 시 레토르트(10) 내에 원료(40)로서 철 분말을 장입한다.

다음, 레토르트(10)를 노체(20)를 통해 가열하여 소정의 온도범위, 예를 들어 850°C 내지 1050°C 를 유지하면서 붕소공급가스를 레토르트(10) 내부로 공급한다. 이때 철 분말과 붕소공급가사와의 균일한 반응을 위해 레토르트(10)를 회전할 수 있다.

[153] 붕소공급가스는 가스저장기(미도시)로부터 레토르트(10) 내부로 연결되는 가스 파이프(미도시)를 통해 레토르트(10) 내부로 공급할 수 있다. 이때 붕소공급가스는 캐리어 가스와 혼합되어 혼합가스로서 공급될 수 있으며, 상기 붕소공급가스는 혼합가스 내에서 2 내지 40부피% 범위를 가질 수 있다.

[154] 레토르트(10) 내에서의 철 분말과 붕소공급가스와의 반응이 완료되었다고 판단되는 시점에 붕소가스공급을 중단한 후, 노체(20)를 레토르트(10)로부터 분리시켜 레토르트(10)를 냉각시킨다. 역시 균일한 냉각을 위해 레토르트(10)를 회전시키면서 냉각시킬 수 있다.

[155] 냉각이 완료된 후 레토르트(10)로부터 철 분말이 반응하여 생성된 철-붕소 화합물 분말을 취출한다. 이때 본 실시예에 의할 경우에는 붕소공급물질이 가스형태로 공급되었는바, 상술한 실시예와 달리 철-붕소 화합물 분말과 다른 잔류 분말을 분리하기 위한 단계를 더 수행하지 않을 수 있다.

[156] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해서 실험예를 제공한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실험예들에 의해서 한정되는 것은 아니다.

[157] [실험예 1]

[158] 평균입도가 80~100# 철 분말에 붕소공급물질로서 평균입도가 120# 이하인 탄화붕소(B_4C) 분말과 활성화제로서 Na_3AlF_6 분말을 혼합하여 혼합분말을 준비하였다. 이때 혼합분말 내에서 탄화붕소 분말은 10중량%를 차지하였으며, Na_3AlF_6 분말은 1중량%를 차지하였다.

[159] 이렇게 준비된 혼합분말을 도 1과 같이 화합물 분말 제조장치(100)의 레토르트(10)에 장입한 후, 레토르트(10)를 950°C 로 3시간 가열하여 철 분말을 붕소화 처리하였다. 가열 중 레토르트(10)는 50rpm으로 회전시켰다.

[160] 붕소화처리가 완료된 후 노체(20)를 레토르트(10)의 외주면으로부터 분리시킨 후 도 3과 같이 레토르트(10)를 회전시키면서 냉각시켰다. 냉각이 완료된 후 레토르트(10)로부터 혼합분말을 취출한 후 체로 쳐서 붕소화 처리된 철-붕소 화합물 분말과 잔류하는 탄화붕소 분말을 분리하였다.

[161] 도 5에는 본 실험예에 의해 제조된 철-붕소 화합물 분말의 단면조직을 관찰한 결과가 나타나 있다. 도 5를 참조하면, 분말은 모두 철-붕소 화합물로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 도 6에는 상기 분말의 X-선 회절분석결과가 나타나 있는바, 이를 참조하면 철-붕소 화합물로서 Fe_2B 가 형성되었음을 알 수 있다.

[162] 상기 분말의 경도를 비커스 경도계(하중 20g)로 측정한 결과, HV 1650의 높은

경도값을 나타내었다.

[163] 이하 도 7 및 도 8을 참조하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 탈붕처리단계를 설명한다.

[164] 도 7에는 탈붕처리단계 전 혼합분말 내에서 붕소합금철분말(400)과 대상분말(410)이 서로 접촉되어 있는 상태의 개념도가 나타나 있다.

[165] 대상분말(410)은 붕소와 친화력을 가진 금속원소로서, 붕소와 결합하여 붕소화합물을 형성할 수 있는 금속원소이면 제한이 없다. 이러한 금속원소는, 예를 들어 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Al, Si, Ni, Co, Ta, Mo 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.

[166] 도 7과 같이 혼합분말 내에 붕소합금철분말(400)과 대상분말(410)이 서로 접촉된 상태에서 상기 혼합분말을 소정의 온도로 가열하는 경우, 붕소합금철분말(400)로부터 붕소가 대상분말(410)쪽으로 화학반응에 의해 이송 확산되어 가면서 대상분말(410)의 침붕처리가 진행되게 된다. 따라서 붕소합금철분말(400)은 탈붕소화가 진행되어 붕소 함량이 감소하는 대신 붕소의 공급으로 인해 대상분말(410) 내의 붕소함량은 증가하게 된다.

[167] 이러한 붕소합금철분말(400)의 탈붕소화는 붕소합금철분말(400)의 표면에서부터 진행될 수 있으며, 대상분말(410)의 붕소함량의 증가도 대상분말(410)의 표면에서부터 진행될 수 있다. 도 8에는 탈붕처리과정 중 붕소합금철분말(400)과 대상분말(410) 각각의 표면에 형성된 탈붕영역(420)과 침붕영역(430)이 예시되어 있다. 탈붕영역(420)은 탈붕소화에 의해 붕소함량이 감소된 영역이며, 반대로 침붕영역(430)은 붕소의 공급으로 붕소함량이 증가된 영역이다.

[168] 탈붕처리과정에서, 탈붕소화에 의해 붕소합금철분말(400)의 표면에 형성된 탈붕영역(420)은 붕소가 감소되기 이전에 비해 용점이 더 낮은 영역이 될 수 있다. 이를 도 10의 철(Fe)-붕소(B) 상태도를 참조하여 설명한다.

[169] 도 10의 철-붕소 상태도를 참조하면, 철은 용융점이 1538°C이며 붕소는 2092°C을 나타낸다. 철에 붕소가 64원자% 첨가되는 경우에는 1500°C에서 포정반응이 일어나고, 붕소가 17원자% 첨가되는 경우에는 상대적으로 낮은 온도인 1174°C에서 공정반응이 일어난다. 따라서 붕소합금철 내에서 붕소의 함량이 50원자%로부터 감소하여 17원자%에 이르기까지 붕소합금철의 용점은 1650°C에서 1174°C까지 감소하게 된다.

[170] 따라서 예를 들어, 붕소합금철분말(400) 내 최초의 붕소함량이 50원자%였고, 이후 탈붕처리과정에서 탈붕소화에 의해 붕소합금철분말(400)의 표면에 붕소함량이 17원자%인 탈붕영역(420)이 형성되었다면, 이러한 탈붕영역(420)이 형성됨에 따라 붕소합금철분말(400)의 표면에서의 용점은 최초 1650°C에서 1174°C로 약 480°C 정도의 감소를 나타내게 된다.

[171] 이와 같이 붕소합금철분말(400)은 대상분말(410)을 침붕처리하기 위한 붕소공급원이면서, 자신은 붕소공급에 따른 탈붕소화로 용점이 현저하게

낮아지게 될 수 있다.

- [172] 이러한 탈붕처리단계 전 혼합분말 내 붕소합금철분말의 붕소함량은 17원자% 이상을 가질 수 있으며, 나아가 17원자% 내지 80원자% 범위를 가질 수 있다. 또한 상기 탈붕처리단계 후 혼합분말 내 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 5 내지 35원자% 범위일 수 있으며, 나아가 10 내지 25원자% 범위일 수 있다.
- [173] 또한 붕소합금철분말(400)은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있으며, 이 경우 탈붕소화에 의해 붕소합금철분말의 용점은 1174°C 아래로 더욱 감소할 수 있게 된다. 이때 Si는 5중량% 이하, 그리고 C의 함량은 2중량% 이하일 수 있다.
- [174] 한편, 대상분말(410)의 표면에 형성된 침붕영역(430)은 대상분말(410)을 이루는 금속에 붕소가 고용된 영역이거나 혹은 붕소와 대상분말(410)을 이루는 금속이 서로 반응하여 생성된 붕소화합물층일 수 있다. 예를 들어, 탈붕처리단계 전 혼합분말 내에 혼합된 대상분말(410)이 위에서 열거한 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Al, Si, Ni, Co, Ta, Mo 및 W 일 경우, 그 붕소화합물은 각각 FeB, TiB₂, CrB₂, ZrB₂, HfB₂, VB₂, AlB₁₂, SiB₆, NiB, CoB, TaB₂, Mo₂B₅, W₂B₅ 등을 형성할 수 있다. 이러한 붕소화합물들은 경도값이 HK2000 이상의 높은 경도값을 나타낼 수 있다.
- [175] 예를 들어, 대상분말이 철(Fe)분말인 경우, 철분말 내로 확산되는 붕소의 농도가 낮은 경우에는 침붕영역(430)으로 붕소가 철에 고용되는 확산층을 형성하나, 붕소의 농도가 증가함에 따라 철-붕소 간의 반응에 의해 철-붕소 화합물로서 FeB 또는 Fe₂B를 형성할 수 있다.
- [176] 예를 들어, 철분말은 도 9와 같이 침붕처리 과정 중에 그 표면으로부터 내부로 들어가면서 붕소의 농도에 따라 FeB-Fe₂B-붕소고용층(430c, 430b, 430a)의 3개의 영역으로 변화되거나(도 9a), 또는 Fe₂B-붕소고용층(430b, 430a) 2개의 영역으로 변화되거나(도 9b) 혹은 전부 화합물층(430d)만으로 이루어지도록 변화될 수 있다(도 9c).
- [177] 이러한 화합물층의 두께(x)는 다음의 확산 제2법칙(식 1)에 따라 처리온도 및 시간에 의존한다. 여기에서 x는 화합물층 두께, t는 처리시간, D는 확산계수이다.
- [178] $x=(Dt)^{1/2}$ (식 1)
- [179] 예를 들어, 대상분말이 철분말인 경우, 상기 철분말에 다른 합금원소가 함유되는 경우 붕소의 확산속도가 낮아져 FeB 또는 Fe₂B의 형성을 억제하여 분말의 표면으로부터 중심에 이르기까지 균일한 화합물을 가지기 어려울 수 있으며, 철분말의 직경이 지나치게 큰 값을 갖는 경우에도 역시 철분말 전체를 균일한 화합물로 변화시키기에 어려울 수 있다. 따라서 이러한 점에서 철분말은 직경의 최대값이 1000 μ m를 넘지 않은 순철분말을 이용하는 것이 바람직할 수 있다. 철분말 이외에 위에서 열거한 다른 대상분말도 같은 이유로 가능한 분말의 직경이 1000 μ m를 넘지 않은 것으로서, 순수한 것을 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니며, 목적이나 비용 기타 여러 효과를 감안하여 다른 원소가 첨가된 합금분말을 대상분말로 이용하는 것도 가능하다.

- [180] 한편, 대상분말(410)의 침봉영역(430)은 침봉되기 전에 비해 용점이 감소할 수 있다. 예를 들어, 도 10을 참조하면, 대상분말이 순수한 철분말일 경우, 붕소합금철분말에 의해 침봉처리되어 붕소의 함량이 0에서 17원자%까지 증가됨에 따라 용점이 1538°C에서 공정온도인 1174°C까지 감소하게 된다. 또한 침봉영역(430)이 붕소화합물로서 Fe_2B 가 형성되더라도 용점이 1389°C로서 순철의 1538°C에 비해 더 낮은 용점을 나타내게 된다.
- [181] 따라서 이러한 경우에는 탈봉처리단계 전 혼합분말 내에 붕소의 공급원으로서 포함되었던 붕소합금철과 침봉처리의 대상물로서 포함되었던 대상분말이 탈봉처리단계 후에는 모두 용점이 낮아지게 되는 효과가 나타날 수 있다.
- [182] 이와 같이 탈봉처리단계를 거친 혼합분말 내에는 적어도 일부에 탈봉처리에 의해 붕소의 함량이 상대적으로 낮아진 영역인 탈봉영역을 포함하는 붕소합금철분말과 적어도 일부에 침봉영역을 포함하는 대상분말이 형성될 수 있다. 따라서 이와 같이 탈봉처리단계를 거친 혼합분말을 붕소합금 혼합분말이라 명명할 수 있다.
- [183] 이때 상기 탈봉영역은 붕소의 함량이 상대적으로 작은 영역으로서, 탈붕소화가 되지 않아 붕소의 함량이 상대적으로 높은 영역에 비해 더 낮은 용점을 가지는 영역이 된다.
- [184] 붕소합금철분말의 탈붕정도나 혹은 대상분말의 침봉정도는 탈봉처리단계의 조건이나 붕소합금철분말과 대상분말의 크기에 의존할 수 있다. 즉 탈봉처리단계가 고온에서 충분한 시간을 두고 진행되거나 혹은 분말의 크기가 작은 경우에는 붕소합금철분말의 전 영역에서 탈붕이 일어나거나 혹은 대상분말의 전 영역에서 침봉이 일어날 수 있다.
- [185] 예를 들어, FeB 인 붕소합금철분말과 Cr 분말을 혼합한 후 탈봉처리단계를 수행할 경우, 붕소합금철분말의 일부가 탈붕에 의해 Fe_2B 이 형성되거나 혹은 전부가 Fe_2B 로 탈붕될 수 있다. 마찬가지로 Cr 분말도 일부가 침부에 의해 CrB 로 침봉되거나 혹은 전부가 CrB 로 침봉될 수 있다.
- [186] 이러한 탈봉처리단계를 거친 혼합분말 내에서 붕소합금철분말은 그대로 침봉처리된 대상분말(410)을 결합시키는 결합제로 작용할 수 있다. 즉, 상기 혼합분말 내에는 침봉처리된 대상분말과 탈봉처리에 의해 용점이 낮아진 붕소합금철분말이 서로 혼합되어 있는바, 침봉처리된 대상분말을 따로 분리하여 선별하는 과정을 거치지 않고 상기 혼합분말을 그대로 이용하여 분말결합체를 제조할 수 있다.
- [187] 예를 들어, 탈봉처리단계를 거친 혼합분말을 붕소함량의 감소로 인해 낮아진 붕소합금철분말의 용점 보다 높은 온도로 가열할 경우, 붕소합금철분말의 적어도 일부가 용융되면서 생성된 액상이 침봉처리된 대상분말들을 감싸며 서로 결합시키게 된다. 이 경우, 붕소합금철분말의 적어도 일부가 용융되면서 생성된 액상이 침봉처리된 대상분말들을 감싸며 서로 결합시키게 된다.
- [188] 상술한 바와 같이 탈봉처리과정에서 붕소합금철분말의 붕소함량의 감소로

용점은 최저 1174°C까지 낮아질 수 있으므로 가열되는 온도는 탈붕처리되지 않은 붕소합금철분말보다 현저하게 더 낮은 온도로 가열할 수 있다. 용융된 붕소합금철분말의 액상이 대상분말과 접촉되어 감싸게 된 후, 이를 응고시킬 경우 붕소합금철분말에 의해 상기 대상분말이 서로 결합된 분말결합체가 형성되게 된다.

- [189] 이때 대상분말의 침붕영역도 낮아진 용점으로 인해 같이 용융될 수 있으며, 이 경우 붕소합금철분말의 탈붕영역과 대상분말의 침붕영역이 모두 용융되어 서로 융착되어 분말간의 결합력이 높아지는 효과를 얻을 수 있다.
- [190] 경우에 따라 상기 붕소합금철분말의 탈붕영역과 상기 대상분말의 침붕영역이 서로 접촉한 상태에서 소결이 일어나면서 서로 결합될 수 있다.
- [191] 따라서 이렇게 제조된 분말결합체는 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소합금철분말과 적어도 일부가 침붕영역으로 이루어진 대상분말 중 어느 하나 이상에서 적어도 일부가 용융 후 응고되면서 결합되거나 혹은 탈붕영역과 침붕영역이 서로 소결되어 결합된 조직을 가질 수 있다.
- [192] 이때 분말결합체를 이루는 붕소합금철분말의 탈붕영역은 붕소합금철분말의 표면에 위치할 수 있다. 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있는데, 이 경우 분말결합체를 형성하는데 있어서 용점을 더욱 감소시킬 수 있다.
- [193] 한편, 분말결합체를 형성하는 대상분말(410)의 표면에 형성된 침붕영역(430)은 대상분말(410)을 이루는 금속에 붕소가 고용된 영역인 붕소고용체 혹은 붕소와 대상분말(410)을 이루는 금속이 서로 반응하여 생성된 붕소화합물층이 형성될 수 있다. 예를 들어, 탈붕처리단계 전 혼합분말 내에 혼합된 대상분말(410)은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Al, Si, Ni, Co, Ta, Mo 및 W 중 선택되는 어느 하나 이상일 수 있으며, 그 붕소화합물은 각각 FeB, TiB₂, CrB₂, ZrB₂, HfB₂, VB₂, AlB₁₂, SiB₆, NiB, CoB, TaB₂, Mo₂B₅, W₂B₅ 등을 형성할 수 있다. 이러한 붕소화합물들은 경도값이 HK2000 이상의 높은 경도값을 나타낼 수 있다.
- [194] 다른 예로서, 탈붕처리단계를 거친 혼합분말에 제3의 분말을 더 첨가하여 상기 제3의 분말을 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말 및 상기 침붕처리된 대상분말 중 어느 하나 이상과 결합시켜 분말결합체를 제조할 수 있다.
- [195] 이때 상기 제3의 분말은 순금속 분말, 합금분말 또는 세라믹 분말을 포함할 수 있다. 예를 들어, 순금속 분말은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.
- [196] 상기 합금분말은 자용성합금(Self Fluxing Alloy) 분말을 포함할 수 있다. 자용성합금은 용융시 자발적으로 탈산(self-deoxidation)되거나 슬래그를 형성하는(self-slagformation) 합금으로서 대표적으로 붕소 또는 실리콘이 함유된 니켈계, 코발트계 및 철계합금을 들 수 있다. 자용성합금 분말이 첨가될 경우 내마모, 내산화, 내식성 등이 향상되는 효과를 얻을 수 있다.
- [197] 또한 상기 세라믹 분말은 금속의 산화물, 탄화물, 질화물 및 붕화물 중 어느

하나 이상을 포함할 수 있다. 예를 들어 상기 세라믹 분말로는 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 등의 질화물, 또는 탄화물, 또는 붕화물, 또는 산화물 등을 들 수 있다. 이러한 고경도 세라믹 분말을 첨가하여 분말결합체를 제조할 경우 분말결합체의 경도나 강도와 같은 기계적 특성을 더 향상시킬 수 있다.

- [198] 이때 상기 혼합분말 내의 대상분말은 고경도 붕화물 분말로서 작용하거나 혹은 상술한 바와 같이 붕소합금철분말과 함께 용융되어 제3의 분말을 결합시키는 결합체로서 작용할 수 있다. 따라서 상기 제3의 분말도 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말 및 상기 침붕처리된 대상분말 중 어느 하나 이상과 결합될 수 있다.
- [199] 경우에 따라 상기 혼합분말에는 용제(flux) 더 첨가하여 분말결합체를 제조할 수 있다. 이러한 용제(flux)로는 예를 들어 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)가 사용될 수 있다.
- [200] 전술한 혼합분말의 탈붕처리단계는 앞에서 도 1 내지 도 3을 참조하여 설명한 바와 같다.
- [201] 이하에서는, 도 1 내지 도 3을 다시 참조하여, 혼합분말의 탈붕처리단계를 설명한다.
- [202] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 전술한 반응기 또는 분말 제조장치(100)에 의할 경우, 레토르트(10) 내에 장입되는 혼합분말(40)을 가열함으로써 혼합분말(40)내 붕소합금철분말의 탈붕처리 및 대상분말의 침붕처리를 수행할 수 있다. 레토르트(10) 내에는 혼합분말(40)로서 상술한 붕소합금철분말 및 대상분말 외에 추가로 활성화제 분말을 장입할 수 있다. 이러한 활성화제는 붕소합금철분말과 대상분말의 반응온도를 낮추어 열화학식출반응을 더욱 촉진시킬 수 있다. 이러한 활성화제로는 분말형태로서 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이러한 활성화제는 혼합분말(40) 내에서 0.5 내지 20중량% 범위로 더 포함될 수 있다.
- [203] 한편 상기 활성화제는 가스형태로서 공급할 수 있으며, HCl 또는 CCl_4 가스 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 이러한 활성화제 가스는 활성화제 가스저장기(미도시)로부터 레토르트(10) 내부로 연결되는 가스 파이프(미도시)를 통해 레토르트(10) 내부로 공급할 수 있다.
- [204] 도 1을 참조하면, 우선 레토르트(10) 내에 붕소합금철분말과 대상분말이 혼합된 혼합분말(40)을 장입한다. 이때 붕소합금철분말과 대상분말을 각각 장입하여 혼합하거나 혹은 붕소합금철분말과 대상분말을 미리 혼합하여 장입할 수 있다. 이때 혼합분말(40)에 있어서 붕소합금철분말은 5 내지 95중량%의 범위를 가질 수 있으며, 나아가 10 내지 90중량%의 범위를 가질 수 있다. 또한 상술한 바와 같이, 활성화제 분말을 상기 제1혼합분말(40) 내에 첨가할 수 있음은 물론이다.
- [205] 다음, 레토르트(10)를 회전시키면서 노체(20)의 가열부(22)를 이용하여

레토르트(10)를 가열한다. 이때 레토르트(10)의 외주면에 노체(20)가 결합되어 있지 않은 상태인 경우에는 우선 노체(20)를 레토르트(10)의 외주면으로 이동시켜 서로 결합시킨 다음 노체(20)의 가열부를 작동하여 레토르트(10)를 가열하게 된다.

- [206] 노체(20)가 도 3과 같이 상부측의 제1부분노체(20a) 및 하부측의 제2부분노체(20b)로 구성될 경우에는 각각의 부분노체(20a, 20b)를 이동시켜 레토르트(10)의 외주면에 결합시킬 수 있다.
- [207] 가열 중에 레토르트(10)를 도 1과 같이 회전시킴에 따라 혼합분말(40) 내의 분말들이 서로 균일하게 혼합되는 효과와 가열부(22)를 통해 전달되는 열이 혼합분말(40) 내에 균일하게 전달되는 효과를 얻을 수 있다. 레토르트(10)가 가열됨에 따라 레토르트(10) 내의 붕소합금철분말에 의해 대상분말의 침봉처리가 진행된다.
- [208] 이때 탈봉처리단계는 산화방지 분위기에서 수행될 수 있다. 이를 위해 레토르트(10)의 내부로 질소, 아르곤 등과 같은 불활성 가스를 도입하거나, 수소 등과 같은 환원성 가스를 도입하여 산화방지 분위기를 형성할 수 있다. 혹은 진공펌프를 이용하여 레토르트(10) 내부를 진공 분위기로 만들어 산화방지 분위기를 형성할 수 있다.
- [209] 탈봉처리단계 중 액상이 형성되지 않도록 탈봉처리온도는 붕소합금철분말 또는 대상분말의 융점보다 낮은 온도로 유지할 수 있다. 예를 들어, 대상분말이 철분말인 경우, 탈봉처리 중 탈봉소화에 의해 붕소합금철분말의 융점이 감소하는 점을 감안하여 철-붕소 합금의 가장 낮은 용융온도인 1177°C 미만의 온도, 예를 들어 1050°C 이하로 유지할 수 있다.
- [210] 처리시간은 30 내지 600분 범위 내에서 수행될 수 있다. 30분 미만의 경우에는 대상분말의 충분한 붕소화 처리가 수행되지 않을 수 있으며, 600분을 초과하는 처리는 이미 붕소화 처리가 포화단계에 이르러 불필요한 과정일 수 있다.
- [211] 다음, 노체(20)를 레토르트(10)의 외주면으로부터 분리하여 제거한다. 이러한 노체(20)의 제거로 인하여 레토르트(10)의 가열에 이용되는 가열부(22)가 제거되며 따라서 레토르트(10)는 자연스럽게 냉각단계에 진입할 수 있다.
- [212] 이때 레토르트(10)를 계속 회전시킴에 따라 레토르트(10) 내의 혼합분말(40)이 균일하게 냉각될 수 있게 할 수 있다. 균일한 냉각을 위해 레토르트(10)는 냉각시키는 동안 회전할 수 있다. 레토르트(10)를 충분히 냉각시킨 후, 레토르트(10)로부터 탈봉처리단계가 완료된 혼합분말(40)을 취출한다. 이렇게 탈봉처리단계가 완료된 혼합분말(40)은 상술한 바와 같이, 탈봉영역을 포함하는 붕소합금철과 침봉영역을 포함하는 대상분말이 혼합된 붕소합금 혼합분말이 된다.
- [213] 이러한 붕소합금 혼합분말은 그대로 분말결합체를 제조하기 위한 원료로 이용된다. 즉, 상기 혼합분말은 경도가 매우 높고, 고온산화 및 부식저항특이 우수하며, 이들 특성을 요구하는 각종 기계부품의 피복층을 형성하는데 이용될

수 있다. 또한 탈붕처리 및 침붕처리에 따라 상대적으로 용점이 감소한 저융점 특성을 보임에 따라 분말결합체를 제조하기 위해 가열하는 온도가 낮아지거나 분말간 용착특성의 향상으로 더 우수한 결합력을 가진 분말결합체를 제조할 수 있다.

[214] 예를 들어, 붕소합금 혼합분말을 소결하거나, 용융응고시키는 주조방법을 통해 기계부품으로 이용될 수 있는 분말결합체를 제조할 수 있다. 이때 소정의 온도로 가열하기 전에 혼합분말을 소정 형상의 금형에 장입하고 가열하여 분말결합체를 제조할 수 있다. 경우에 따라 소정 금형에 장입된 혼합분말을 프레스 등으로 가압하여 성형체를 제조하는 단계를 더 거칠 수 있다. 이 성형체를 가열함으로써 소정의 형상을 가지는 분말결합체를 제조하게 된다.

[215] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해서 실험예들을 제공한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실험예들에 의해서 한정되는 것은 아니다.

[216] [실험예 2]

[217] 레토르트내에 30~100 mesh 크기의 붕소합금철분말을 78중량%, 10 mesh 크기의 Cr분말을 20중량%, 그리고 활성화제로 KBF_4 및 AlF_3 을 각각 1중량%로 장입한 다음 회전 가열시켜 950°C 에서 3시간 동안 유지하여 붕소합금철분말의 탈붕 및 Cr분말의 침붕이 이루어지도록 하고 노냉시켰다.

[218] 도 11 및 도 12에는 이들 혼합분말의 탈붕 및 침붕 전후의 X-선회절 결과가 도시되어 있다. 도 11 및 도 12를 참조하면, 처리 전에는 혼합분말이 FeB 및 Cr 상태로 존재하나, 처리 후에는 FeB 분말은 탈붕되고 Cr분말은 침붕되어 용융점이 낮은 Fe_2B 및 CrB로 존재함을 알 수 있다.

[219] 도 13의 상부 및 하부에는 탈붕된 붕소합금철분말의 단면조직을 관찰한 결과 및 조성을 EPMA로 분석한 결과가 나타나 있다. 도 13을 참조하면, 붕소합금철분말의 표면에 탈붕처리에 의해 붕소함량이 감소한 탈붕영역(도 13의 탈보로나이징층)이 형성되었음을 알 수 있다.

[220] 또한 도 14의 상부 및 하부에는 침붕된 Cr분말의 단면조직 및 EPMA 결과가 나타나 있으며, 이를 참조하면, Cr분말의 표면에 침붕처리에 의해 붕소함량이 증가한 침붕영역(도 14의 보로나이징층)이 형성되었음을 확인할 수 있다.

[221] [실험예 3]

[222] 탄소강 소재의 폐쇼트볼 90wt%와 10wt%의 붕소합금철분말을 혼합한 후 열처리를 통해 붕소합금철을 탈붕시키고 폐쇼트볼을 침붕시킨 혼합분말을 얻었다. 상기 혼합분말을 90wt%, 그리고 용제(flux)로 10wt% 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 첨가하여 탄소소재로 제조한 금형에 장입하여 1250°C 에서 10분간 가열하여 분말결합체를 제조하였다. 도 15에는 상기 분말결합체의 미세조직을 관찰한 결과가 나타나 있다. 도 15를 참조하면, 철붕소 화합물(도 15의 백색영역)과 공정 응고조직(도 15의 흑색영역)을 포함하는 미세조직을 나타낼 수 있다. 상기 분말결합체를 록웰 경도계로 경도를 측정한 결과 HRA 78

경도값을 나타내었다.

[223] [실험예 4]

[224] 철분말 90wt%에 10wt%의 붕소합금철분말을 첨가한 후 열처리하여 침봉된 철분말 및 탈봉된 붕소합금철분말이 혼합되어 있는 혼합분말을 얻었다. 상기 혼합분말 45wt%, 자용성 합금분말(polema사 B26) 45wt%, 그리고 용제(flux)로 10wt% 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 첨가하여 혼합한 후 탄소소재로 제조한 금형에 장입하여 1250°C에서 10분간 가열하여 분말결합체를 제조하였다. 도 16에는 상기 분말결합체의 미세조직을 관찰한 결과가 나타나 있다. 도 16를 참조하면, 철붕소 화합물(도 16의 백색영역)과 마르텐사이트 조직(도 16의 흑색 영역)을 포함하는 미세조직을 나타냄을 알 수 있다. 상기 분말결합체를 록웰 경도계로 경도를 측정한 결과 HRA 82 경도값을 나타내었다.

[225] 이와 같이 본 발명에 의할 경우, 저가의 저합금원소로 경도값이 매우 높은 결합체를 제조할 수 있으며, 이를 통해 적용 부품을 장수명화 할 수 있음은 물론 고가의 자원절약을 기할 수 있는 등 다양한 효과를 기대할 수 있다.

[226] 또 다른 예로서 이러한 혼합분말을 소정의 파이프(혹은 강관) 내부에 장입하고 상기 파이프를 가열 및 회전하면서 파이프 내면에 분말결합체로 이루어진 고경도 피복층을 층을 형성할 수 있다.

[227] 도 17 내지 도 20은 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관을 개략적으로 도시한 단면도이고, 구체적으로, 도 17에는 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관의 x 방향에 대해 수직한 단면도가 도시되어 있고, 도 18 내지 도 20에는 y 방향에 대해 수직한 단면도가 도시되어 있다.

[228] 이하 도 17 내지 도 20을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 강관의 제조방법을 설명한다.

[229] 도 17에는 본 발명의 일 실시예를 따르는 피복층이 형성된 강관을 제조하기 위한 강관(500)이 개략적으로 도시되어 있다. 강관(500)은 혼합분말이 배치되기 전 먼저 회전하면서 가열부(미도시)에 의해 가열될 수 있다. 물론, 강관(500) 내에 혼합분말(600)을 먼저 배치할 수 있으며, 혼합분말(600)은 적어도 일부에 탈봉영역이 형성된 붕소합금철분말과 적어도 일부에 침봉영역이 형성된 대상분말을 포함한다.

[230] 한편, 붕소합금철분말은 탈봉영역이 형성되지 않은 분말일 수 있고, 대상분말은 침봉영역이 형성되지 않은 분말일 수 있다. 그리고 붕소합금철분말과 대상분말 중 어느 하나만 탈봉영역 또는 침봉영역이 형성되지 않았을 수도 있다. 이런 경우 강관 내에서 붕소합금철분말의 탈봉처리 및/또는 대상분말의 침봉처리를 할 수 있다.

[231] 예를 들어, 대상분말에 침봉영역이 형성되지 않았을 경우, 대상분말을 붕소합금철분말과 접촉시켜 가열하면 붕소합금철분말로부터 붕소(B)가 대상분말 쪽으로 화학반응에 의해 이송 확산되어 대상분말에 침봉영역을 형성시킬 수 있으며, 대상분말이 침봉처리 되며 침봉영역이 형성되는 동안

붕소합금철분말은 탈붕되어 탈붕영역을 형성하게 되고 붕소합금철분말과 대상분말의 용점을 감소시킬 수 있게 된다. 이러한 탈붕영역이 형성된 붕소합금철분말과 침붕영역이 형성된 대상분말이 혼합된 혼합분말(600)은 침붕처리된 대상분말을 따로 분리하여 선별하는 과정을 거치지 않고, 그대로 이용할 수 있다.

- [232] 강관(500)은 중공원통형의 파이프 형상을 가질 수 있으며, 회전하면서 가열부(미도시)에 의해 가열된 혼합분말(600)이 적어도 일부 또는 완전 용융되어 액상의 용융층(603)이 형성되고, 이 용융층(603)은 도 19와 같이 회전하고 있는 원심력에 의해 강관(500)의 내면에 붙게 되며, 냉각되면서 응고되어 의해 강관(500) 내에 피복층(605)을 형성할 수 있다. 혼합분말(600)에 있어서 붕소합금철분말은 5 내지 95중량%일 수 있으며, 나아가 10 내지 90중량%일 수 있다. 이때 붕소합금철분말과 대상분말의 평균 입도는 ASTM 표준체로 200 메쉬(mesh) 내지 20 메쉬일 수 있다.
- [233] 강관(500) 내의 혼합분말은 붕소합금철분말과 대상분말이 혼합되고 여기에 크롬합금철분말 및/또는 용제(flux)를 더 혼합할 수 있다. 용제는 혼합분말이 용융되어 대기에 노출될 때 산화되는 것을 방지하고 유동도를 향상시킬 수 있다. 이러한 용제로는 예컨대 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, NaSiO_3 , NaHCO_3 , H_3BO_3 , B_2O_3 , CaSi , CaO , 3NaF 및 AlF_3 등이 있으며, 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 크롬합금철분말은 탄소를 2중량% 이상 및 크롬을 50중량% 이상 포함할 수 있다. 크롬합금철분말은 크롬을 주성분으로 하고 철 및 탄소가 포함되어 있으며, 가격이 저렴하고, 저융점 붕소합금철분말과 비중이 유사하여 소결 및 원심주조 등의 주조를 할 때 균일하게 분산될 수 있다.
- [234] 한편, 저융점 붕소합금철분말은 붕소합금철분말을 탈붕하여 제조할 수 있으며, 저융점 대상분말은 가격이 저렴한 철분말을 포함할 수 있다. 나아가, 저융점 대상분말은 사용 후 폐기된 쇼트볼 및 절삭칩 등을 원재료로 하여 이들을 침붕시켜 제조한 구조물로 대체될 수 있다. 이렇게 제조된 피막 또는 피복층의 경우 고농도 크롬에 의해 부동태 피막을 형성하며 HV1200에 달하는 매우 높은 경도를 얻을 수 있고, 내마모성, 내식성 및 고온산화특성이 우수한 강관을 얻을 수 있다. 또한, 폐기물을 원재료로 이용하므로 자원절감 및 환경오염을 방지할 수 있다.
- [235] 크롬합금철분말을 혼합한 혼합분말에 있어서 크롬합금철분말은 5 내지 95중량% 포함될 수 있으며, 철, 크롬, 규소 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 이러한 크롬합금철분말의 평균 입도는 ASTM 표준체로 200 메쉬 내지 4 메쉬 일 수 있다.
- [236] 혼합분말(600)을 강관(500)내에 배치하고 나면 강관(500)의 양단부를 덮개(미도시)로 막은 후 회전시키면서 강관(500)을 가열한다. 이때, 강관(500)의 회전수는 다음의 식 1에 의해 결정할 수 있다.
- [237] 회전수= $[G \times 10^7 / 5.6 \times \text{강관내경(mm)}]^{1/2}$ (식 1)

- [238] 여기에서 G는 식 2로 나타낼 수 있다.
- [239] $G = \text{원심력/중력} = 5.6 \times 10^{-7} \times \text{강관내경(mm)} \times \text{회전수(rpm)}^2 (\text{식 2})$
- [240] 본 발명의 일 실시예에 따른 피복층을 형성할 때 가해지는 회전속도는 혼합분말의 조성비에 따라 5G 내지 120G로 할 수 있다. 원심력은 중력가속도의 5배보다 작으면 적절한 원심주조가 이루어질 만큼의 원심력이 가해지지 않고, 중력가속도의 120배보다 크면 너무 과도한 힘이 가해지기 때문에 불필요할 수 있다.
- [241] 다음, 강관(500) 내에 장입된 혼합분말(600)을 용점보다 높은 온도로 가열하여 고경도의 피복층(605)을 형성할 수 있다. 피복층(605)을 형성하기 위해선 혼합분말(600)은 먼저 용융 응고 되어야 한다. 먼저 혼합분말(600)을 용융시키기 위해 예를 들어, 가스연소가열, 전기저항가열 및 고주파유도가열 등의 가열 수단을 이용할 수 있으며 강관(500)의 외주면으로 투입되는 열을 발생시킬 수 있는 가열원이면 어떠한 형태라도 무방하다. 이때 가열 온도는 강관(500)의 용융온도보다 낮은 1000°C 내지 1500°C 범위로 가열할 수 있다.
- [242] 가열 중에 강관(500)을 회전시키게 되면 혼합분말(600) 내의 분말들이 서로 균일하게 혼합되는 효과와 가열 수단을 통해 전달되는 열이 혼합분말(600)에 균일하게 전달되는 효과도 얻을 수 있다. 혼합분말(600)을 용점보다 높은 온도로 가열하게 되면 혼합분말(600)은 부분, 또는 완전 용융이 되고 강관(500)의 내면에 용융층(603)을 형성하게 된다. 이때, 붕소합금철분말의 적어도 일부가 용융되면서 생성된 액상이 침봉처리된 대상분말들을 감싸며 서로 결합할 수 있다. 물론 대상분말의 적어도 일부가 용융되어 붕소합금철분말과의 결합력을 강화시킬 수 있다.
- [243] 도 21은 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관 제조방법을 개략적으로 도시한 단면도이다.
- [244] 도 21을 참조하여 설명하면, 강관(500) 내의 피복층(605)을 형성하기 위한 가열 수단으로서 고주파 유도가열을 사용할 수 있다. 고주파 유도가열기(700)는 코일로 감싸져 있으며, 적어도 한 개 이상이 강관의 외주면의 적어도 일부를 둘러싸며 배치될 수 있다.
- [245] 예를 들어, 강관(500)의 일측인 +z 방향에 고주파 유도가열기(700) 한 개가 배치되고, 나머지 다른 한 개가 이와 반대되는 타측, -z 방향에 서로 마주보며 배치될 수 있다. 다른 예로서, 고주파 유도가열기(700)는 강관(500)의 원주 방향의 외주면을 모두 둘러싸도록 일체로서 배치될 수도 있다. 또 다른 예로서, 고주파 유도가열기(300)는 복수개로서 서로 이격되어 강관(500)의 원주 방향의 외주면을 따라 배치될 수도 있다. 고주파 유도가열기(700)는 국부 가열이 가능하며 이동부(미도시)에 연결되어 강관(500)의 길이 방향인 ±y 방향으로 이동할 수 있다.
- [246] 이러한 고주파 유도가열기(700)를 가열부로 사용하여 강관(500) 내의 피복층(605)을 형성하는 방법으로는 먼저, 붕소합금철분말과 대상분말이

혼합되고 크롬합금철분말 및/또는 용제(flux)를 포함하는 혼합분말(600)을 강관에 장입한다. 이때 혼합분말(600)은 강관(500)의 $\pm y$ 방향에 걸쳐 균일하게 장입될 수 있다.

- [247] 강관(500)은 회전될 수 있으며, 혼합분말(600)이 장입되기 전부터 회전할 수 있고, 장입하고 나서 회전할 수도 있다. 강관(500)이 회전하며 혼합분말(600)이 균일하게 혼합되는 동안 강관(500)의 일측 +y 방향으로부터 타측(-y 방향)까지 고주파 유도가열기(700)를 이동하며 국부 가열을 할 수 있다. 이때 고주파 유도가열기(700)는 300Hz 내지 5kHz의 주파수를 가지며 코일에 전력을 가하여 혼합분말(600)의 용융 온도인 1000°C 내지 1500°C의 온도로 가열할 수 있다.
- [248] 도 21의 I-I선을 따라 취한 단면은 도 18에 도시된 단면에 대응하며, 도 21의 II-II선을 따라 취한 단면은 도 19에 도시된 단면에 대응할 수 있다.
- [249] 도면에 도시된 것과 같이, 혼합분말(600)은 강관(500)이 회전함에 따라 강관(500) 내에서 골고루 섞이며 바닥에 깔려 있을 수 있다. 이때, 고주파 유도가열을 진행하게 되면 가열부가 위치하게 되는 부분과 가까운 부분에 있는 강관(500) 내의 적어도 일부의 혼합분말(600)은 국부 가열되어 용융되고, 강관(500) 내에 적어도 일부 액상의 용융층(603)이 형성될 수 있다. 용융층(603)은 강관(500)이 회전함에 따라 강관(500)의 내면에 붙게 되고, 고주파 유도가열기(700)가 지나간 부위는 응고되어 피복층(605)을 형성할 수 있게 된다.
- [250] 위에서 설명한 국부가열을 통한 피복층(605) 형성방법과는 달리 강관(500)의 전체를 고르게 가열하여 혼합분말(600)을 용융 시킨 뒤, 분말들이 부분 또는 완전 용융되어 서로 결합이 완료되었다고 판단되는 시점에 강관(500)의 가열을 중단 또는 가열수단을 제거하게 되면 강관(500)은 자연스럽게 냉각단계에 진입할 수도 있다. 이때 강관(500)을 계속 회전시키면서 냉각하게 되면 강관(500)과 맞닿는 부분부터 응고되기 시작하여 내면의 부분이 마지막에 응고하게 되고, 고경도의 피복층(605)을 형성할 수 있게 된다. 이때, 별도의 냉각장치(미도시)를 구비하여 급속으로 응고시키는 것도 가능하다.
- [251] 한편, 마모, 윤활 및 산화 등의 특성을 개선하기 위해 피복층(605)을 형성하는데 있어서 혼합분말(600)을 미리 적어도 일부 또는 완전 용융하여 용융금속을 강관(500) 내에 장입하고, 가열 용융 시킨 뒤 회전하면서 냉각할 수도 있다.
- [252] 이렇게 제조된 철-붕소 합금으로 이루어진 피복층(605)은 용융점이 낮으면서 젖음성(wettability)이 우수한 성질을 가질 수 있다. 또한, 이러한 특성을 만족시키기 위해 첨가하는 각종원소 예를 들어 텅스텐카바이드(WC), 바나듐(V), 코발트(Co), 몰리브덴(Mo), 니켈(Ni), 붕소(B), 규소(Si), 탄소(C) 등을 넣지 않아도 되기 때문에 추가적인 비용부담이 발생하지 않고, 동시에 경화능이 우수하여 별도의 열처리를 하지 않아도 매우 높은 경도 및 강도를 얻을 수 있다. 또한, 탈붕처리 및 침붕처리에 따라 상대적으로 용점이 감소한 저융점 특성을 가지고 있기 때문에 피복층(605)을 형성하기 위해 가열하는 온도가 낮고, 분말간 용착특성의 향상으로 더 우수한 결합력을 가진 분말 결합체를 제조할 수 있다.

- [253] 도 20에는 본 발명의 일 실시예를 따르는 강관의 y 방향에 대해 수직한 단면도가 도시되어 있다. 도 20을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 강관을 설명하면 다음과 같다.
- [254] 강관(500)은 위에서 설명한 것과 같이 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소함금철분말과 적어도 일부에 침붕영역이 형성된 대상분말이 용융되고, 응고되어 피복층(605)을 형성한다. 이때 피복층(605)의 조직은 기지금속 또는 결합재로서 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소함금철분말과 적어도 일부에 침붕영역이 형성된 대상분말이 가열되어 용융되고, 다시 냉각되어 응고된 조직을 가질 수 있다. 그리고 붕소함금철분말의 적어도 일부가 용융되어 대상분말을 접촉하여 감싸고 있는 조직을 형성할 수도 있다.
- [255] 강관 내부면의 피복층(605)의 조직은 강화재로서 입상의 크롬함금철을 더 포함할 수 있다. 크롬함금철을 더 포함함으로써 높은 경도를 얻을 수 있고, 우수한 내마모성과 고농도 크롬에 의한 부동태 피막도 형성할 수 있다. 크롬은 붕소함금철분말과 비중이 유사하므로 조직 내에 고르게 분산될 수 있으며 우수한 내식성과 고온산화특성을 얻을 수 있게 되어 예를 들어, 강관 내에서 고압으로 이송되는 콘크리트 슬러리의 자갈 및 모래 등에 의해 생기는 마모 등을 효과적으로 방지 할 수 있다.
- [256] 이때 강화재는 10중량% 내지 80중량%의 크롬, 2중량% 내지 10중량%의 탄소, 2.5중량% 이하의 규소와 철을 포함할 수 있고, 결합재는 5원자% 내지 35원자%의 붕소를 함유할 수 있다. 결합재는 철 및 붕소를 포함할 수 있으며, 강화재는 철, 크롬, 규소 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [257] 위와 같이, 내마모성을 갖는 강관 내면의 피복층을 형성하는 물질에는 철, 크롬, 규소, 탄소 및 붕소 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 예를 들어 피복층은 10중량% 이하의 붕소, 60중량% 이하의 크롬, 10중량% 이하의 탄소, 2.5% 이하의 규소를 포함할 수 있다.
- [258] 한편 피복층의 붕소 함유량은 10중량% 이하(0 초과)의 범위를 가질 수 있다. 붕소가 함유됨에 따라 결합재의 용융온도를 낮추고 경도를 높이는 효과를 가질 수 있으나, 그 함량이 10중량%를 초과하는 경우, 용융 응고시 피복층에 기포를 발생시킬 수 있고, 붕소화합물을 형성하여 피복층의 취성을 증가시킬 수 있다.
- [259] 피복층 내에 크롬이 함유됨에 따라 높은 경도, 내마모성, 내식성 및 우수한 고온산화특성이 나타날 수 있으나, 60중량% 초과하는 경우 결합재의 첨가량이 적어져 오히려 용융결합력을 떨어뜨릴 수 있다. 또한 많은 양의 첨가는 취성을 초래하며 동시에 경도 증가 효과도 떨어지게 되므로 60중량% 이하의 크롬을 포함하도록 한다.
- [260] 피복층의 용융온도를 낮추고 크롬탄화물을 형성하여 높은 경도 즉 우수한 내마모성을 얻기 위해 탄소를 첨가할 수 있다. 탄소의 첨가량이 10중량%를 초과하게 되면 그 효과가 미미하게 되므로 10중량% 이하(0초과)에서 첨가될 수 있다. 이와 더불어 피복층의 규소 첨가량은 2.5중량% 이하(0초과)로 첨가할 수

있는데, 이렇게 되면 기계적 성질을 저하시킴 없이 용융온도를 낮추고 탈산효과를 얻을 수 있기 때문이다.

[261] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해서 실험예를 제공한다. 다만, 하기의 실험예들은 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 아래의 실험예들에 의해서 한정되는 것은 아니다.

[262] [실험예 5]

[263] 표 1에는 본 발명에 따른 실시예로서 강관을 제조하기 위해 사용한 분말 혼합비에 따른 피복층의 화학성분 및 경도가 나타나 있다.

[264] 표 1

[Table 1]

피복층	분말혼합(wt%)			피복층의 화학성분					경도(HV)
	붕소(B) 표면합금 쇼트볼	붕소(B) 표면합금 순철분말	Fe-Cr	Cr	Si	B	C	Fe	
시편1	100	-	-	-	0.25	1.85	0.42	Bal.	950
시편2	75	-	25	14.5	0.74	1.45	2.45	Bal.	1000
시편3	50	-	50	28.5	1.45	0.94	4.55	Bal.	1200
시편4	25	-	75	39.5	2.25	0.55	5.52	Bal.	1200
시편5	-	100	-	-	0.2	1.75	0.18	Bal.	875
시편6	-	75	25	13.5	0.55	1.25	2.25	Bal.	985
시편7	-	50	50	29.5	0.35	0.85	4.25	Bal.	1150
시편8	-	25	75	40.5	2.15	0.65	4.95	Bal.	1100

[265] 시편 1 내지 4의 붕소(B)표면합금 쇼트볼은 10중량%의 붕소합금철 분말과 90중량%의 쇼트볼을 혼합하여 950°C에서 3시간 동안 침봉 및 탈봉처리하여 제조한 것이며, 시편 5 내지 8의 붕소(B)표면합금 순철분말은 10중량%의 붕소합금철분말과 90중량%의 순철분말을 혼합하여 950°C에서 3시간 동안 침봉 및 탈봉처리하여 제조한 것이었다.

[266] 시편 1은 이렇게 제조된 붕소(B)표면합금 쇼트볼을 이용하여 피복층을 형성한 것이며, 시편 2 내지 4는 이렇게 제조된 붕소(B)표면합금 쇼트볼과 크롬합금철분말의 혼합비율을 표 1과 같은 3:1, 1:1, 1:3의 비율로 변화시키면서 피복층을 형성한 것이었다. 한편 시편 5는 붕소(B)표면합금 순철분말을 이용하여 피복층을 제조한 것이며, 마찬가지로 시편 6 내지 8은 이렇게 제조된 붕소(B)표면합금 순철분말과 크롬합금철분말의 혼합비율을 표 1과 같은 3:1, 1:1, 1:3의 비율로 변화시키면서 피복층을 형성한 것이었다. 시편 1 내지 4 및 시편 5 내지 8 모두 30G로 회전시키면서 유도가열장치에 의해 1250°C로 가열 용융

응고시켜 제조 하였다.

- [267] 도 22는 피복층이 형성된 강관 일부분의 단면을 보여주는 사진으로 도 25와 같이 강관(은색) 내에 피복층(어두운 회색 부분)이 형성되었다.
- [268] 표 1을 참조하면, 시편 1 내지 8 모두 경도가 HV800 내지 HV1200 범위로서 매우 높으며, 크롬합금철분말의 첨가로 인해 경도가 더욱 더 증가한 것을 확인할 수 있었다.
- [269] 도 23 내지 도 25는 크롬합금철 분말 첨가량에 따른 강관 내 피복층의 단면경도를 나타낸 그래프로서, 도 23은 시편 2의 그래프이고, 도 24는 시편 3의 그래프, 도 25는 시편 4의 그래프이다. 표 1 및 도 23 내지 도 25에서도 알 수 있듯이, 크롬합금철분말을 25중량% 첨가하게 되면 HV1000으로 크롬합금철을 첨가하지 않았을 경우에 비해 약 50 정도 더 높은 경도를 얻을 수 있었다. 크롬합금철분말을 50중량% 첨가하였을 경우에는 HV1200에 달하는 매우 높은 경도를 얻을 수 있었고, 75중량%를 첨가하였을 경우에도 같은 경도를 확인할 수 있었다.
- [270] 도 26 내지 도 28은 크롬합금철 분말 첨가량에 따른 강관 내 피복층의 미세조직으로서 도 26는 시편 2의 미세조직을 나타낸 것이며, 도 27은 시편 3의 미세조직을 관찰한 결과로서, 미세한 크롬합금철 입자(연한회색 부분)가 기지에 생성된 것을 볼 수 있다. 또한 도 28은 시편 4의 미세조직을 관찰한 결과로서, 크롬합금철분말을 75중량% 첨가 하였을 때 용융되지 않은 커다란 입상의 크롬합금철분말을 확인할 수 있었다. 즉 크롬합금철 분말이 첨가됨에 따라 조직이 미세해지고, 고경도의 용융 크롬합금철 입자들이 존재하여 경도가 증가하는 것으로 볼 수 있다.
- [271] 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.

청구범위

- [청구항 1] 가열부를 구비한 노체로 둘러싸인 레토르트를 회전 및 가열하면서, 상기 레토르트 내에 장입된 철 분말과 붕소공급물질을 서로 반응시키는 단계; 상기 노체를 상기 레토르트의 외주면으로부터 분리하여 제거하는 단계; 및 상기 레토르트를 회전하면서 냉각시키는 단계; 를 포함하는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 철 분말은 순철 분말을 포함하는, 철-붕소 화합물 제조방법.
- [청구항 3] 제1항에 있어서, 상기 철 분말은 직경이 10 내지 1000 μm 범위에 있는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 4] 제1항에 있어서, 상기 레토르트는 850°C 내지 1050°C의 온도범위에서 가열되는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 5] 제1항에 있어서, 상기 붕소공급물질은 붕소 분말, 붕소화합물 분말 및 페로보론 분말을 포함하는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 6] 제5항에 있어서, 상기 붕소화합물 분말은 탄화붕소(B_4C) 분말 또는 산화붕소(B_2O_3) 분말을 포함하는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 7] 제5항에 있어서, 상기 레토르트 내에 활성화제 분말을 더 장입한 후 상기 철 분말과 붕소공급물질을 반응시키는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 8] 제7항에 있어서, 상기 활성화제 분말은 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 어느 하나 이상을 포함하는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 9] 제7항에 있어서, 상기 철 분말, 붕소공급물질 및 활성화제 분말이 혼합된 혼합분말 중 상기 붕소공급물질은 5 내지 50 중량% 범위에 있고 상기 활성화제 분말은 0.5 내지 10 중량% 범위에 있는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 10] 제5항에 있어서, 상기 붕소공급물질의 평균직경이 상기 철 분말의 평균직경에 비해 더 작은 값을 가지는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 11] 제1항에 있어서, 상기 붕소공급물질은 붕소가스 또는 붕소화합물 가스인, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 12] 제11항에 있어서, 상기 붕소가스 또는 붕소화합물 가스는 캐리어 가스와 혼합되어 혼합가스로서 공급되는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.

- [청구항 13] 제11항에 있어서, 상기 붕소화합물 가스는 B_2H_6 , BF_3 , BCl_3 , BI_3 , BBr_3 , $(CH_3)_3B$ 및 $(C_2H_5)_3B$ 중 어느 하나를 포함하는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 14] 제12항에 있어서, 상기 붕소가스 또는 붕소화합물 가스는 혼합가스 내에서 2 내지 40부피% 범위에 있는, 철-붕소 화합물 분말의 제조방법.
- [청구항 15] 회전가능한 레토르트; 및
상기 레토르트를 둘러싸는 프레임 및 상기 프레임 내에 상기 레토르트를 가열할 수 있도록 배치되는 가열부를 포함하는 노체;를 포함하는, 화합물 분말 제조장치.
- [청구항 16] 제15항에 있어서, 상기 노체는 각각 분리되어 이동될 수 있는 부분노체를 복수개로 포함하는, 화합물 분말 제조장치.
- [청구항 17] 제16항에 있어서, 상기 부분노체는
레토르트 외주면의 일부분을 둘러싸도록 배치되는 제1서브프레임과 상기 제1서브프레임 내부에 배치되는 제1가열부를 포함하는 제1부분노체; 및
상기 레토르트 외주면의 나머지 부분을 둘러싸도록 배치되는 제2서브프레임과 상기 제2서브프레임 내부에 배치되는 제2가열부를 포함하는 제2부분노체;를 포함하는, 화합물 분말 제조장치.
- [청구항 18] 붕소합금철분말 및 대상분말이 혼합된 분말을 준비하는 단계;
소정의 열처리를 통해 상기 대상분말의 적어도 일부를 침봉처리하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈봉처리하여 상기 붕소합금철분말의 용점을 감소시키는 탈봉처리단계;
를 포함하는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 19] 제18항에 있어서, 상기 탈봉처리단계 전 상기 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 17원자% 이상인, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 20] 제18항에 있어서, 상기 탈봉처리단계 후 상기 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 5 내지 35원자% 범위인, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 21] 제20항에 있어서, 상기 탈봉처리단계 후 혼합분말 내 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 10 내지 25원자% 범위인, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 22] 제18항에 있어서, 상기 탈봉처리단계는, 상기 대상분말의 전체가 침봉될 때까지 수행되거나 혹은 붕소합금철분말의 전체가 탈봉될 때까지 수행되는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 23] 제18항에 있어서, 상기 대상분말은 붕소가 고용되거나 혹은

- 붕소와 결합하여 붕소화합물을 형성할 수 있는 금속원소인, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 24] 제23항에 있어서, 상기 금속은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상인, 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 25] 제18항에 있어서, 상기 대상분말 내에서 침봉처리가 되는 영역의 용점이 상기 침봉처리 되기 전의 상기 대상분말의 용점에 비해 더 낮아지게 하는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 26] 제18항에 있어서, 상기 혼합된 분말은 상기 붕소합금철분말이 5 내지 95중량%의 범위에서 혼합되어 있는, 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 27] 제18항에 있어서, 상기 혼합된 분말은 활성제가 0.5 내지 20중량% 범위로 더 혼합되어 있는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 28] 제27항에 있어서, 상기 활성제는 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 29] 제18항에 있어서, 상기 탈봉처리단계는 산화방지 분위기에서 수행되는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 30] 제9항에 있어서, 상기 산화방지 분위기는 질소, 아르곤, 수소 및 진공 분위기 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 사용하는, 붕소합금 혼합분말의 제조방법.
- [청구항 31] 붕소합금철분말; 및
적어도 일부에 침봉영역이 형성된 대상분말;을 포함하며,
상기 붕소합금철분말은 적어도 일부에 탈봉에 의한 붕소의 함량이 낮아짐에 따라 용점이 낮아진 탈봉영역이 형성된, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 32] 제31항에 있어서, 상기 대상분말은 전체에 침봉영역에 형성된 것이거나 상기 붕소합금철분말은 전체에 탈봉영역이 형성된 것인, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 33] 제31항에 있어서, 상기 탈봉영역은 상기 붕소합금철분말의 표면에 위치한, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 34] 제31항에 있어서, 상기 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함하는, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 35] 제31항에 있어서, 상기 침봉영역은 금속의 붕소고용체 또는 금속과 붕소의 붕소화합물인, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 36] 제35항에 있어서, 상기 금속은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상인, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 37] 제35항에 있어서, 상기 침봉영역은 상기 금속에 비해 용점이 더

- 낮은, 붕소합금 혼합분말.
- [청구항 38] 제31항에 있어서, 상기 침봉영역은 상기 대상분말의 표면에 위치한, 붕소합금혼합분말.
- [청구항 39] 탈붕처리된 붕소합금철분말 및 침봉처리된 대상분말이 혼합된 혼합분말을 소정의 온도로 가열하여 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말과 상기 침봉처리된 대상분말을 결합시키는 단계를 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 40] 제39항에 있어서,
상기 탈붕처리된 붕소합금철분말과 상기 침봉처리된 대상분말의 제조방법은,
붕소합금철분말과 대상분말이 혼합된 혼합분말을 준비하는 단계;
및
상기 혼합분말을 열처리함으로써, 상기 대상분말의 적어도 일부를 침봉처리하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈붕처리하여 상기 붕소합금철분말의 용점을 감소시키는 탈붕처리단계;
를 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 41] 제39항에 있어서,
상기 탈붕처리된 붕소합금철분말과 상기 침봉처리된 대상분말 외에 제3의 분말을 더 첨가하여 상기 제3의 분말을 상기 탈붕처리된 붕소합금철분말 및 상기 침봉처리된 대상분말 중 어느 하나 이상과 결합시켜 제조하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 42] 제41항에 있어서,
상기 제3의 분말은 순금속 분말, 합금분말 또는 세라믹 분말을 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 43] 제42항에 있어서,
상기 합금분말은 자용성합금 분말을 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 44] 제42항에 있어서,
상기 세라믹 분말은 금속의 산화물, 탄화물, 질화물 및 붕화물 중 어느 하나 이상을 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 45] 제39항에 있어서,
상기 혼합분말은 용제를 더 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 46] 제40항에 있어서,
상기 탈붕처리단계 전 상기 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 17원자% 이상인, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 47] 제40항에 있어서,
상기 탈붕처리단계를 거친 상기 혼합분말 내 붕소합금철분말은

- [청구항 48] 붕소의 함량이 5원자% 내지 35원자%인, 분말결합체 제조방법.
제47항에 있어서,
상기 탈붕처리단계 후 상기 혼합분말 내 붕소합금철분말은 붕소의 함량이 10원자% 내지 25원자%인, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 49] 제39항에 있어서,
상기 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 50] 제39항에 있어서,
상기 대상분말은 붕소가 고용되거나 혹은 붕소와 결합하여 붕소화합물을 형성할 수 있는 금속원소를 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 51] 제39항에 있어서,
상기 대상분말은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 52] 제39항에 있어서,
상기 혼합분말 중 상기 붕소합금철분말의 함량은 5중량% 내지 95중량%인, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 53] 제39항에 있어서,
상기 혼합분말은 활성제가 0.5중량% 내지 20중량% 더 혼합되어 있는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 54] 제53항에 있어서,
상기 활성제는 Na_3AlF_6 , KBF_4 , AlF_3 , NaCl , NaF , CaF_2 및 NH_4Cl 중 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 55] 제40항에 있어서,
상기 탈붕처리단계는 산화방지 분위기에서 수행되는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 56] 제55항에 있어서,
상기 산화방지 분위기는 질소, 아르곤, 수소 및 진공 분위기 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 사용하는, 분말결합체 제조방법.
- [청구항 57] 적어도 일부에 침봉영역이 형성된 대상분말; 및
적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소합금철분말;을 포함하고,
상기 침봉영역과 상기 탈붕영역 중 어느 하나의 적어도 일부가 용융 후 응고되어 서로 결합되거나, 혹은 상기 침봉영역과 상기 탈붕영역이 소결되어 서로 결합된 조직을 갖는, 분말결합체.
- [청구항 58] 제57항에 있어서,
상기 탈붕영역은 상기 붕소합금철분말의 표면에 위치하는, 분말결합체.

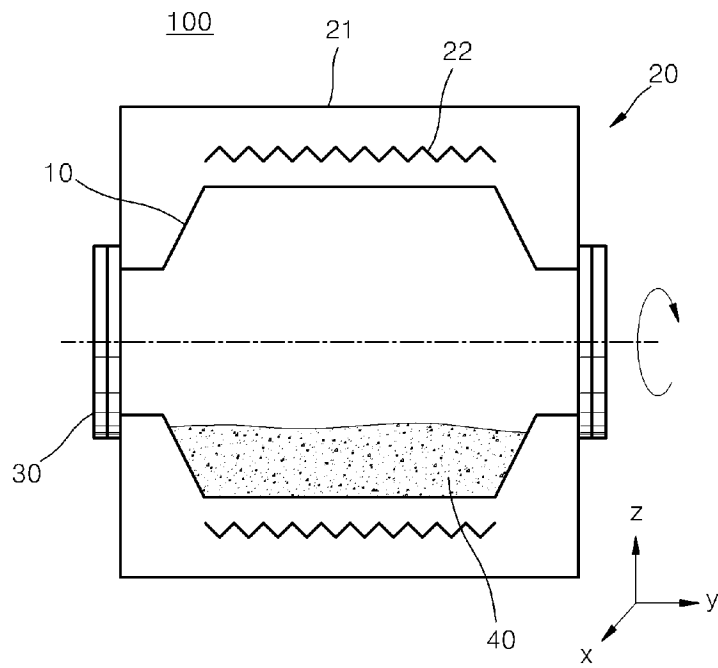
- [청구항 59] 제57항에 있어서,
상기 붕소합금철분말은 Si 또는 C 중 어느 하나 이상을 더 포함하는, 분말결합체.
- [청구항 60] 제57항에 있어서,
상기 침봉영역에 금속의 붕소고용체 또는 금속과 붕소의 붕소화합물이 형성된, 분말결합체.
- [청구항 61] 제60항에 있어서,
상기 금속은 Fe, Ti, Cr, Zr, Hf, V, Ta, Mo, Ni, Co, Al, Si 및 W 중에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는, 분말결합체.
- [청구항 62] 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소합금철분말과 적어도 일부에 침봉영역이 형성된 대상분말을 혼합한 혼합분말을 강관 내에 배치하는 단계; 및
상기 강관 내에 배치된 상기 혼합분말을 가열 용융 응고하여 상기 강관의 내부면에 피복층을 형성하는 단계;
를 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 63] 제62항에 있어서,
상기 혼합분말을 가열 용융 응고하여 상기 강관의 내부면에 피복층을 형성하는 단계는, 상기 혼합분말이 배치된 상기 강관을 회전하면서 가열 및 냉각함으로써 구현되는, 강관 제조방법.
- [청구항 64] 제62항에 있어서,
상기 혼합분말을 강관 내에 배치하는 단계는
붕소합금철분말과 대상분말을 혼합하는 단계; 및
혼합된 상기 붕소합금철분말과 상기 대상분말을 함께 열처리함으로써, 상기 대상분말의 적어도 일부를 침봉처리하여 상기 침봉영역을 형성하면서 상기 붕소합금철분말의 적어도 일부를 탈붕처리하여 상기 탈붕영역을 형성하는 단계;를 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 65] 제62항에 있어서,
상기 붕소합금철분말은 규소 또는 탄소 중 적어도 어느 하나를 더 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 66] 제62항에 있어서,
상기 대상분말은 철, 티타늄, 크롬, 지르코늄, 하프늄, 바나듐, 탄탈륨, 몰리브덴, 니켈, 코발트, 알루미늄, 규소 및 텅스텐 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 67] 제62항에 있어서,
상기 혼합분말 중에서 상기 붕소합금철분말의 함량은 5중량% 내지 95중량%인, 강관 제조방법.
- [청구항 68] 제62항에 있어서,

- 상기 붕소합금철분말과 상기 대상분말의 평균 입도는 ASTM 표준체로 200 메쉬 내지 20 메쉬인, 강관 제조방법.
- [청구항 69] 제62항에 있어서,
상기 강관 내의 상기 혼합분말은 크롬합금철분말 및 용제(flux) 중 적어도 어느 하나를 더 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 70] 제69항에 있어서,
상기 크롬합금철분말은 탄소를 2중량% 이상 및 크롬을 50중량% 이상 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 71] 제69항에 있어서,
상기 혼합분말 중에서 상기 크롬합금철분말의 함량은 5중량% 내지 95중량%인, 강관 제조방법.
- [청구항 72] 제69항에 있어서,
상기 크롬합금철분말은 철, 크롬, 규소 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 73] 제69항에 있어서,
상기 크롬합금철분말의 평균 입도는 ASTM 표준체로 200 메쉬(mesh) 내지 4 메쉬인, 강관 제조방법.
- [청구항 74] 제62항에 있어서,
상기 강관의 회전속도는 5G 내지 120G 이며, 상기 G는 아래와 같은 식으로 표현되는, 강관 제조방법.

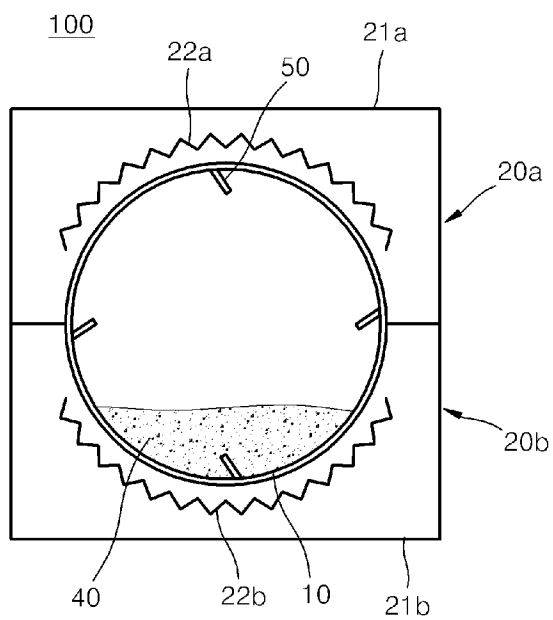
$$G = \frac{\text{원심력}}{\text{중력}} = 5.6 \times 10^{-7} \times \text{강관내경(mm)} \times \text{회전수(rpm)}^2$$
- [청구항 75] 제62항에 있어서,
상기 가열은 가스연소가열, 전기저항가열 및 고주파유도가열 중 어느 하나를 포함하는, 강관 제조방법.
- [청구항 76] 제75항에 있어서,
상기 가열은 가열온도가 1000°C 내지 1500°C 인, 강관 제조방법.
- [청구항 77] 강관 내부면에 피복층을 포함하고,
상기 피복층의 조직은, 기지금속 또는 결합재로서 적어도 일부에 탈붕영역이 형성된 붕소합금철분말과 적어도 일부에 침붕영역이 형성된 대상분말이 용융된 후 응고된 조직을 갖는, 강관.
- [청구항 78] 제77항에 있어서,
상기 피복층의 조직은 강화재로서 크롬합금철을 더 포함하는, 강관.
- [청구항 79] 제78항에 있어서,
상기 강화재는 철, 10중량% 내지 80중량%의 크롬, 2중량% 내지 10중량%의 탄소 및 2.5중량% 이하의 규소를 포함하는, 강관.
- [청구항 80] 제78항에 있어서,
상기 결합재는 철 및 붕소를 포함하고, 상기 강화재는 철, 크롬,

- 실리콘 및 탄소 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 강관.
- [청구항 81] 제77항에 있어서,
상기 결합체는 붕소의 함량이 5원자% 내지 35원자% 인, 강관.
- [청구항 82] 제77항에 있어서,
상기 피복층은 철, 크롬, 규소, 탄소 및 붕소 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 강관.
- [청구항 83] 제82항에 있어서
상기 붕소의 함유량은 10중량% 이하(0초과)의 범위를 가지는, 강관.
- [청구항 84] 제83항에 있어서
상기 탄소의 함유량은 10중량% 이하(0초과)의 범위를 가지는, 강관.
- [청구항 85] 제82항에 있어서
상기 크롬의 함유량은 60중량% 이하(0초과)의 범위를 가지는, 강관.
- [청구항 86] 제83항에 있어서
상기 규소의 함유량은 2.5중량% 이하(0초과)의 범위를 가지는, 강관.

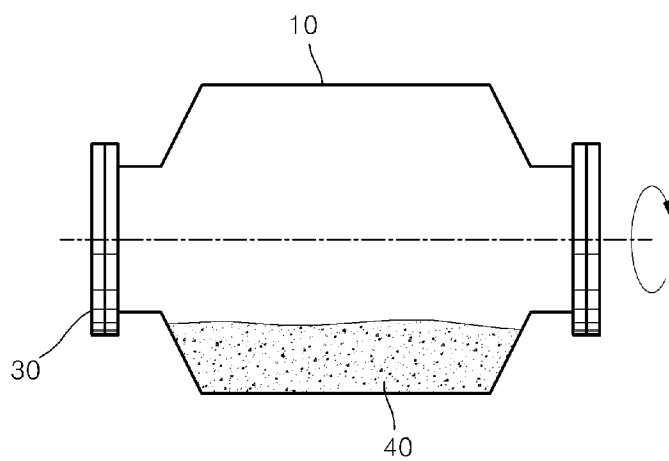
[Fig. 1]



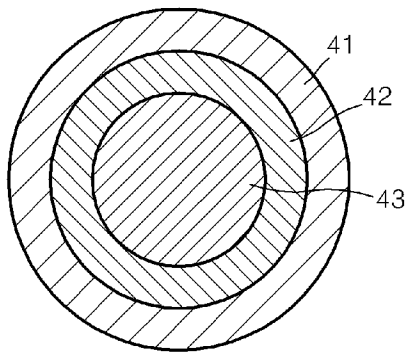
[Fig. 2]



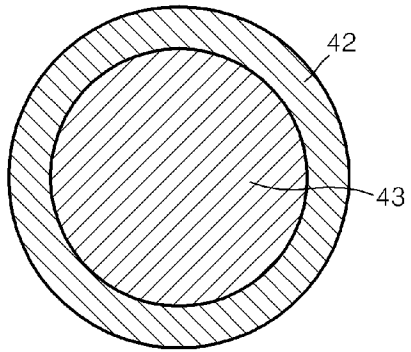
[Fig. 3]



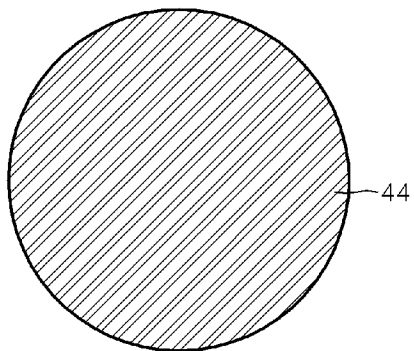
[Fig. 4]



(a)

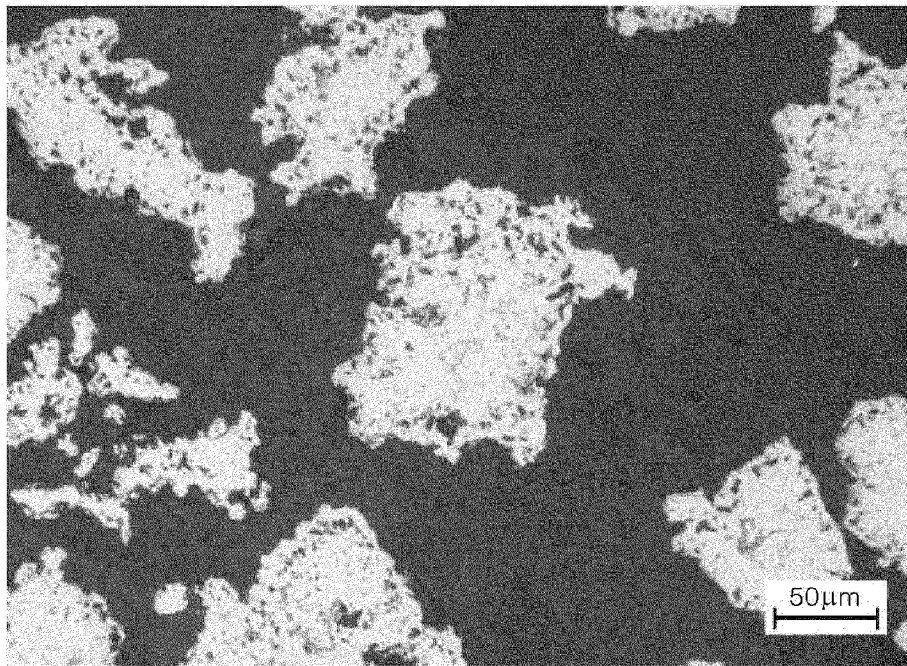


(b)

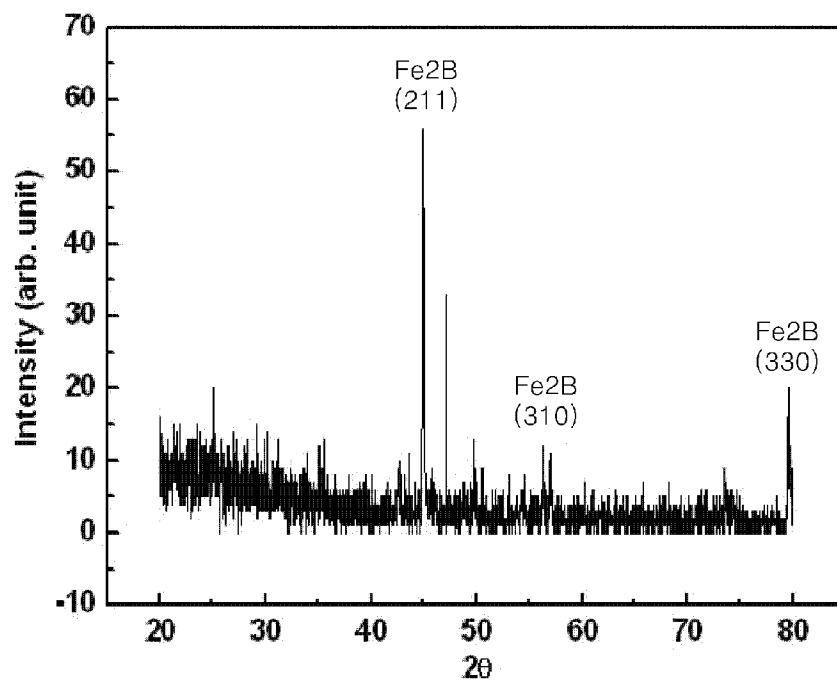


(c)

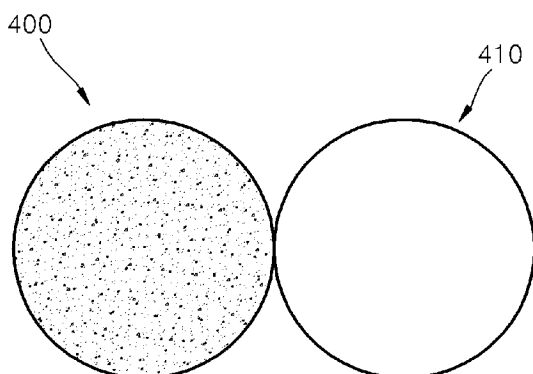
[Fig. 5]



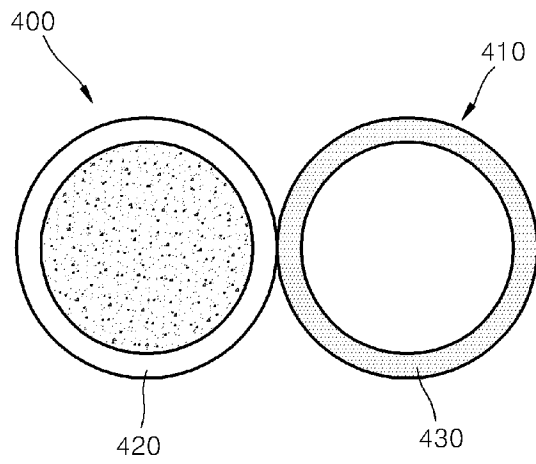
[Fig. 6]



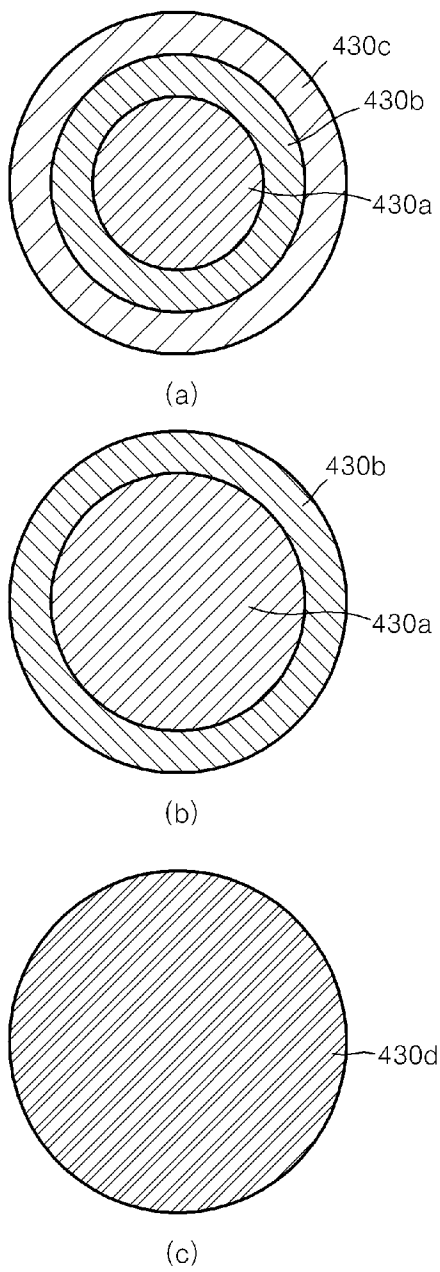
[Fig. 7]



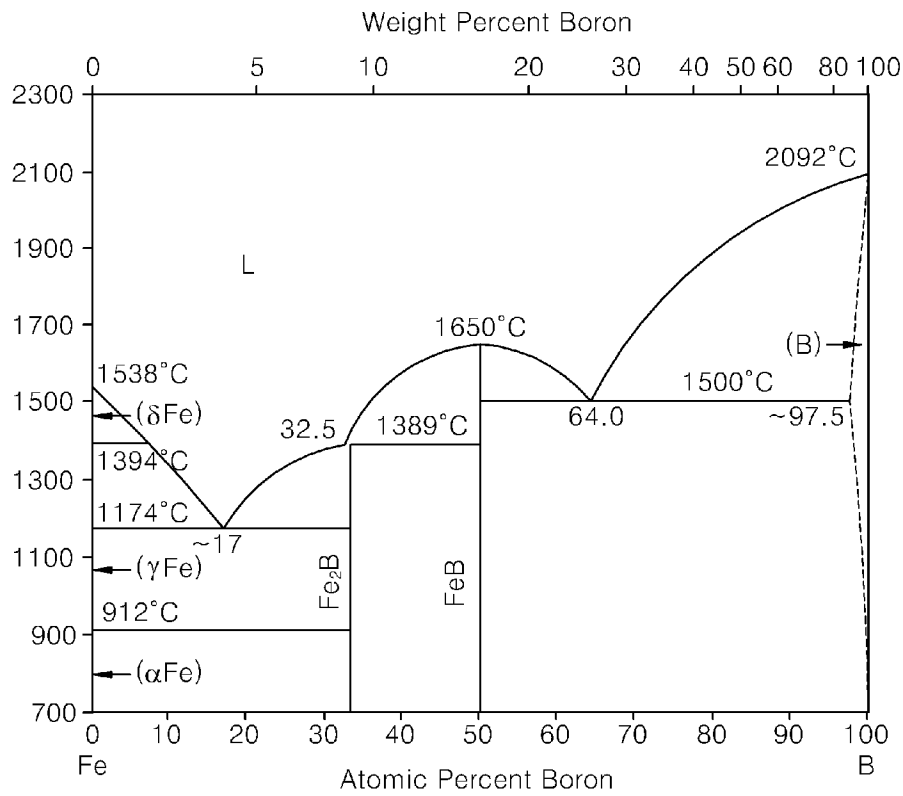
[Fig. 8]



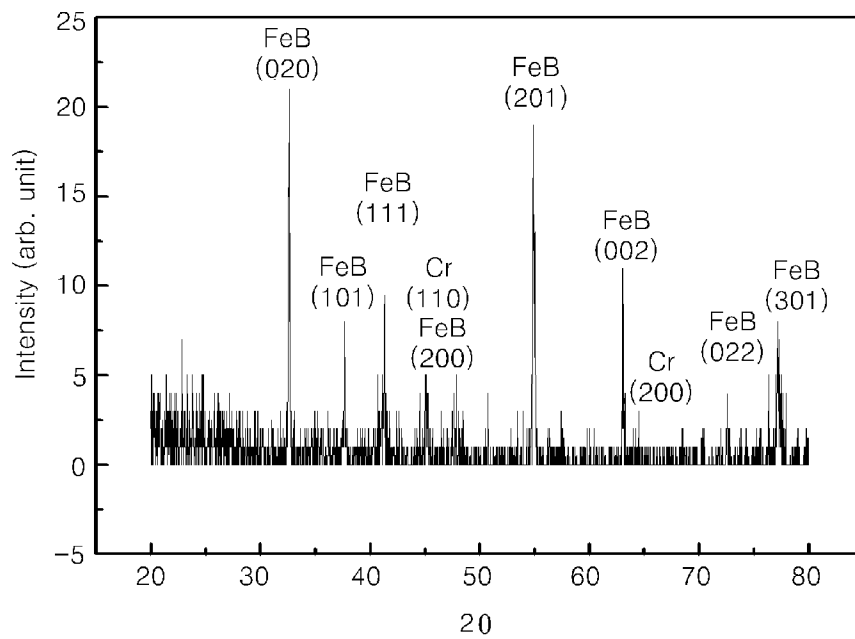
[Fig. 9]



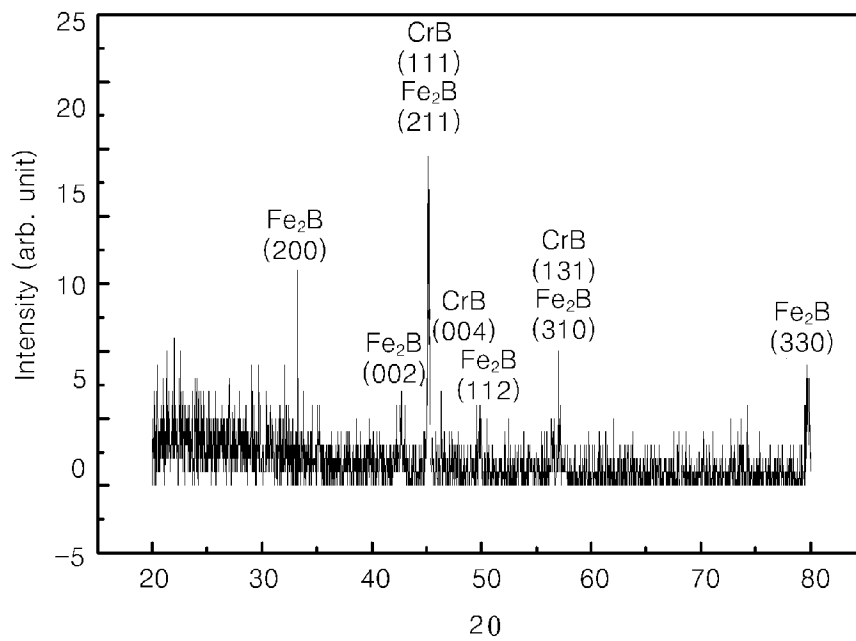
[Fig. 10]



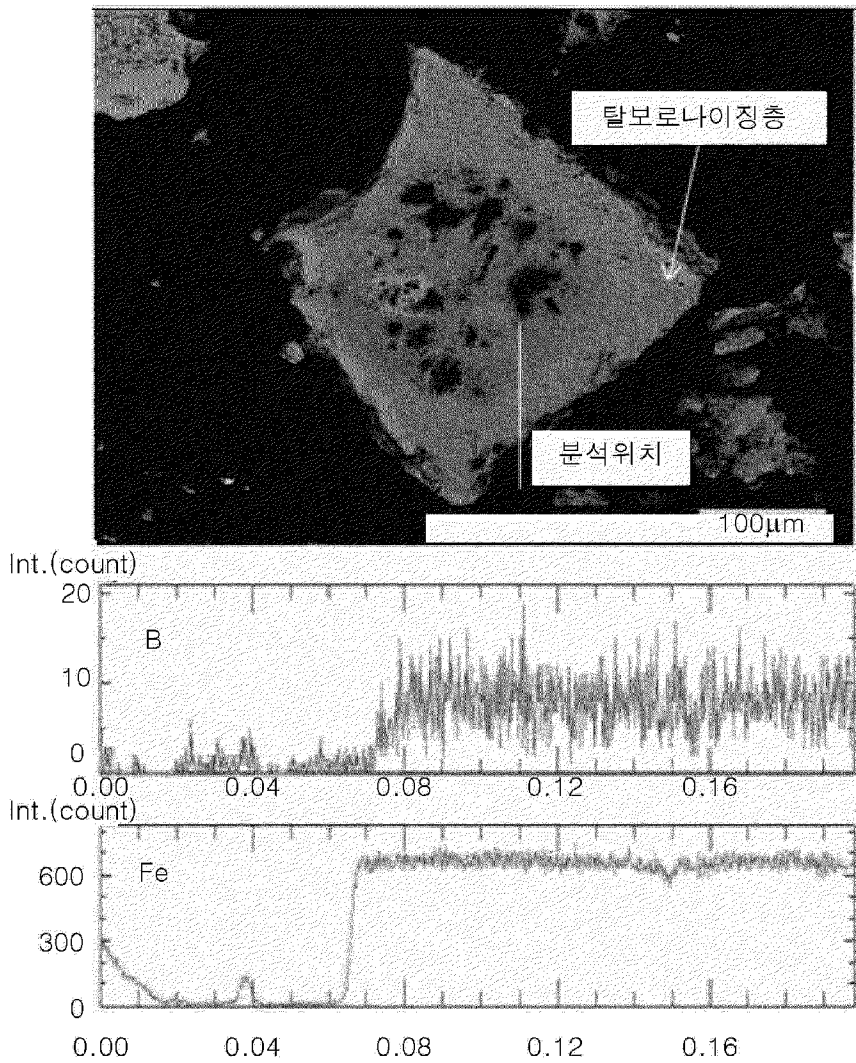
[Fig. 11]



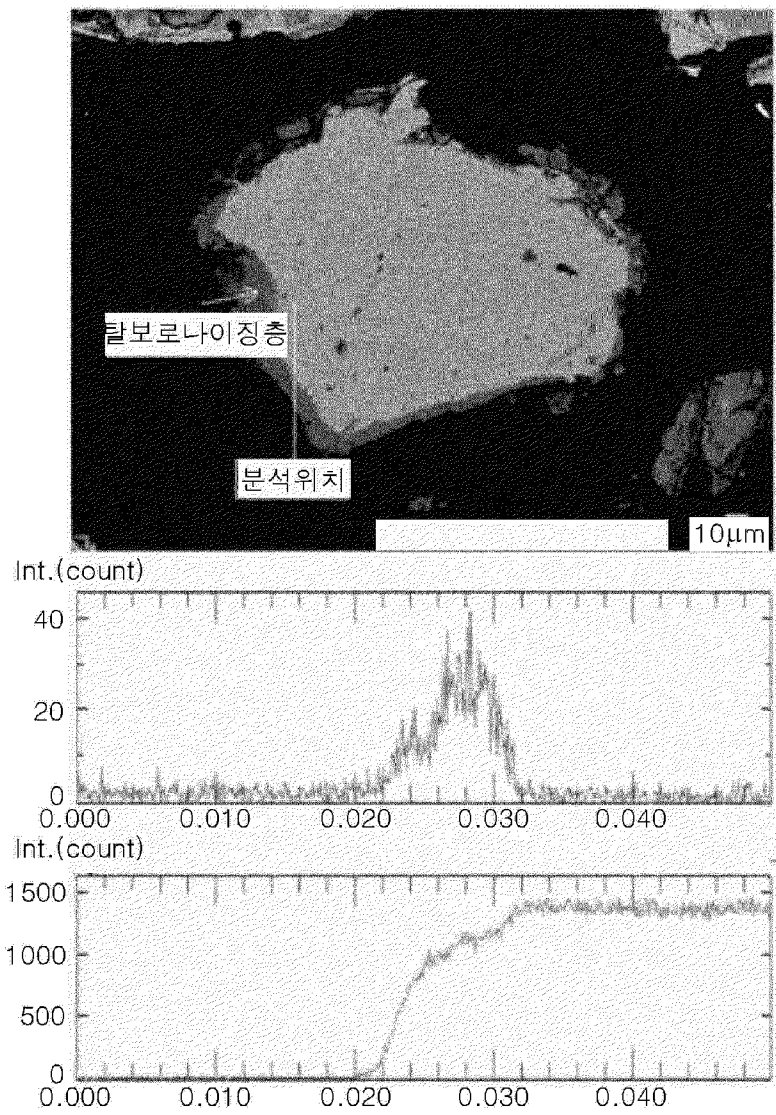
[Fig. 12]



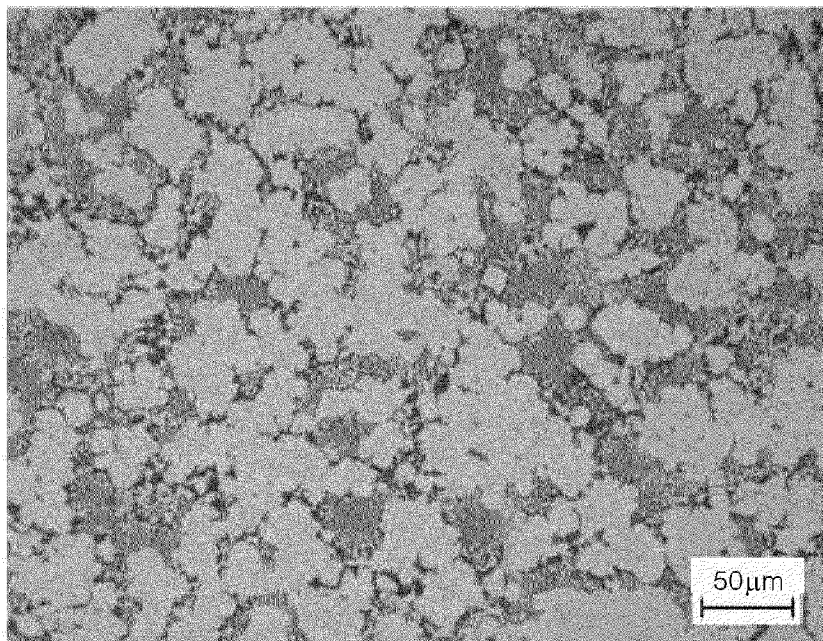
[Fig. 13]



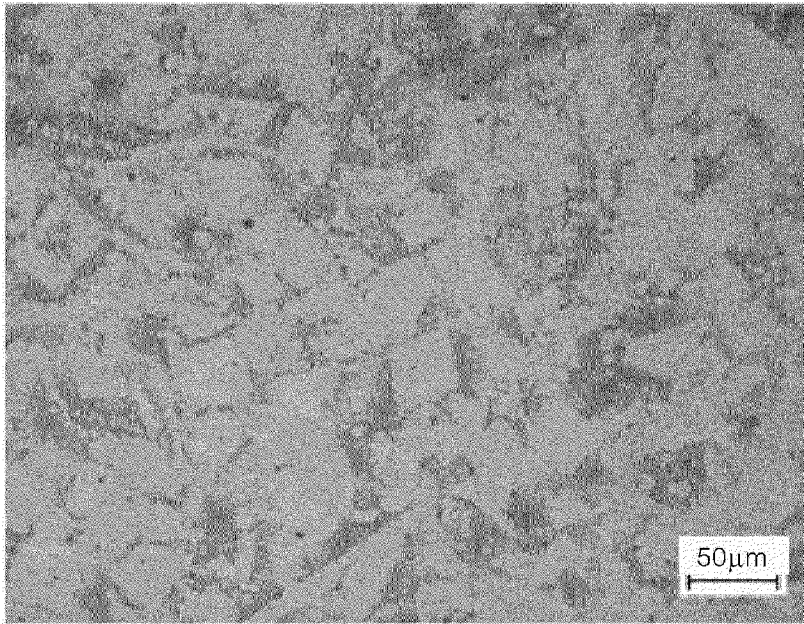
[Fig. 14]



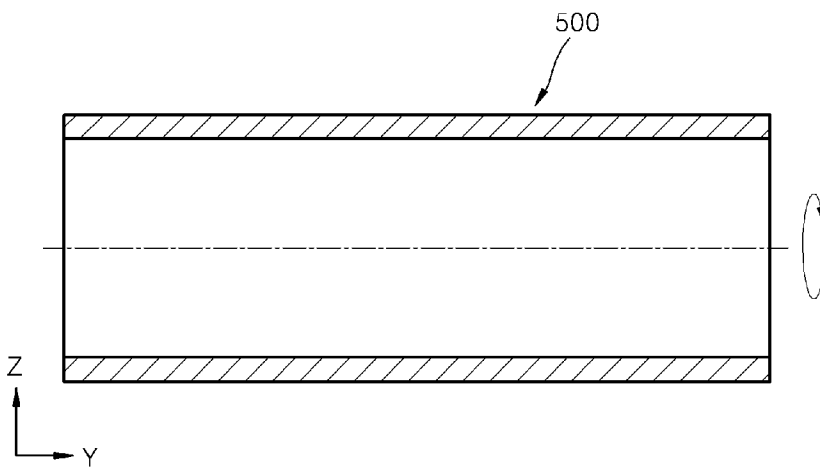
[Fig. 15]



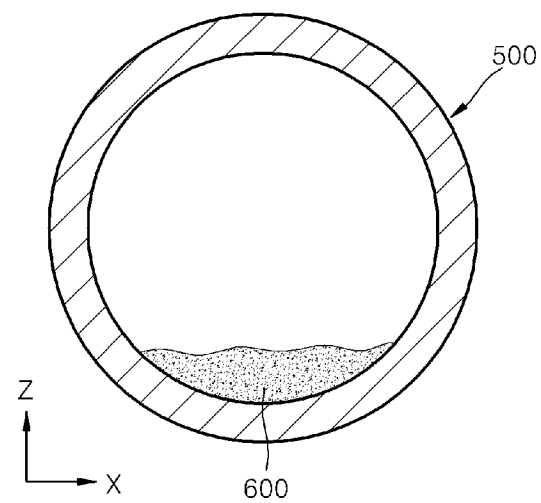
[Fig. 16]



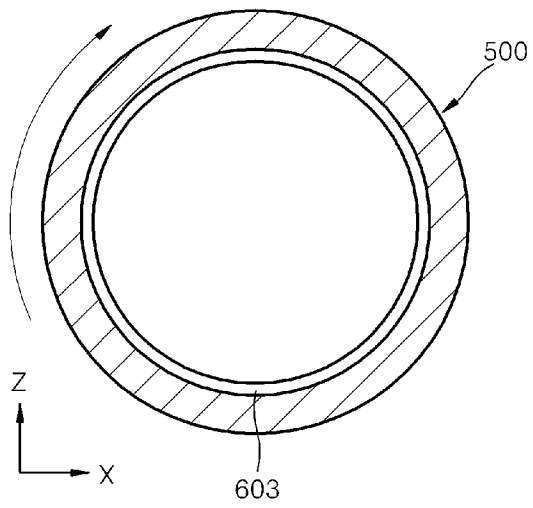
[Fig. 17]



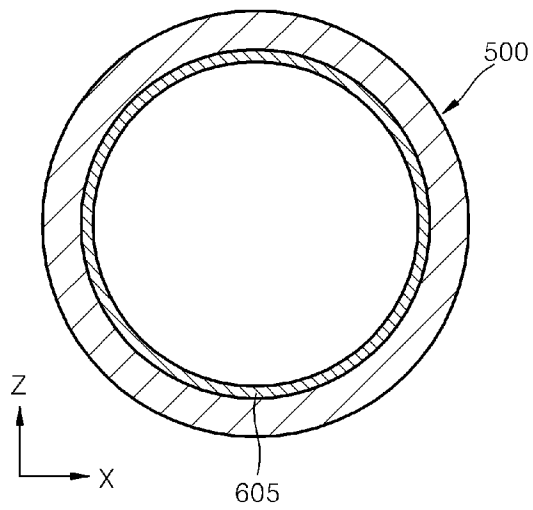
[Fig. 18]



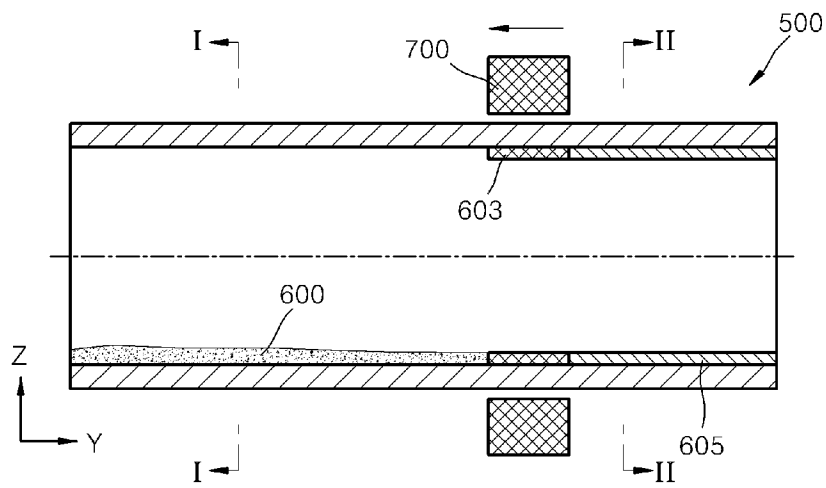
[Fig. 19]



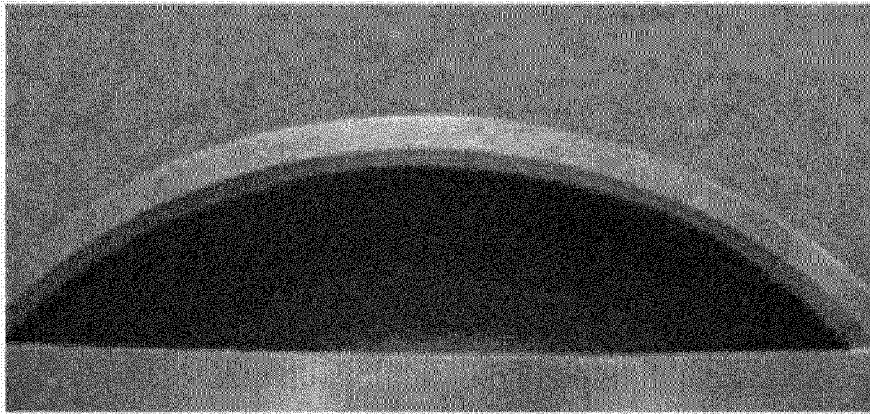
[Fig. 20]



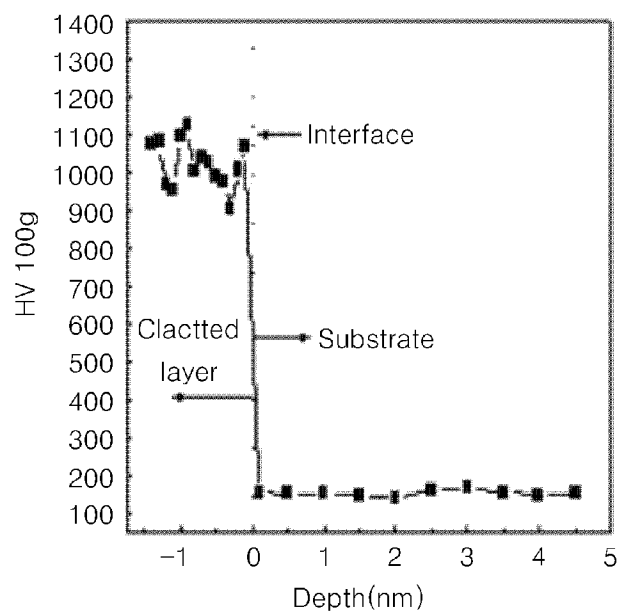
[Fig. 21]



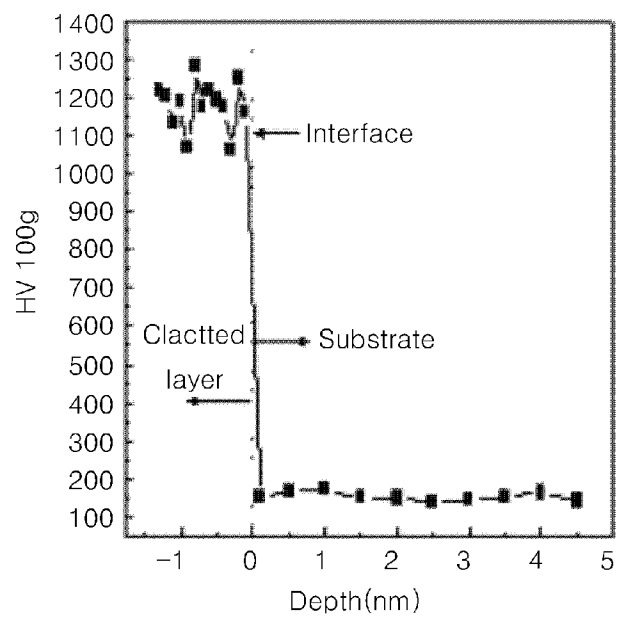
[Fig. 22]



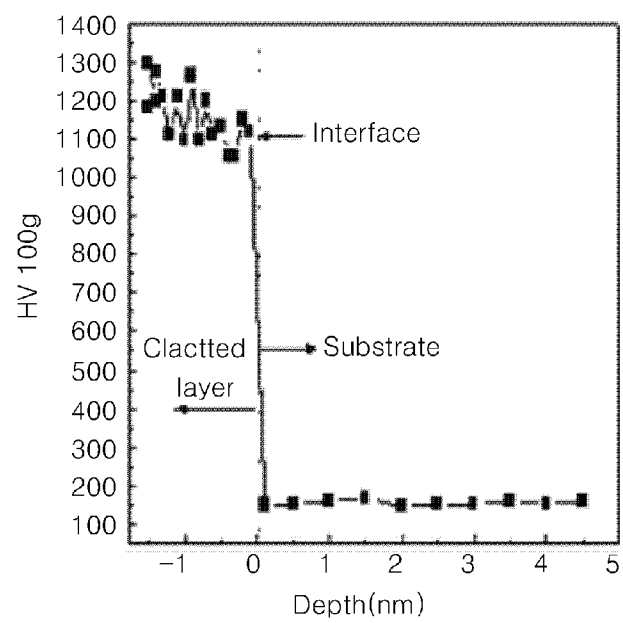
[Fig. 23]



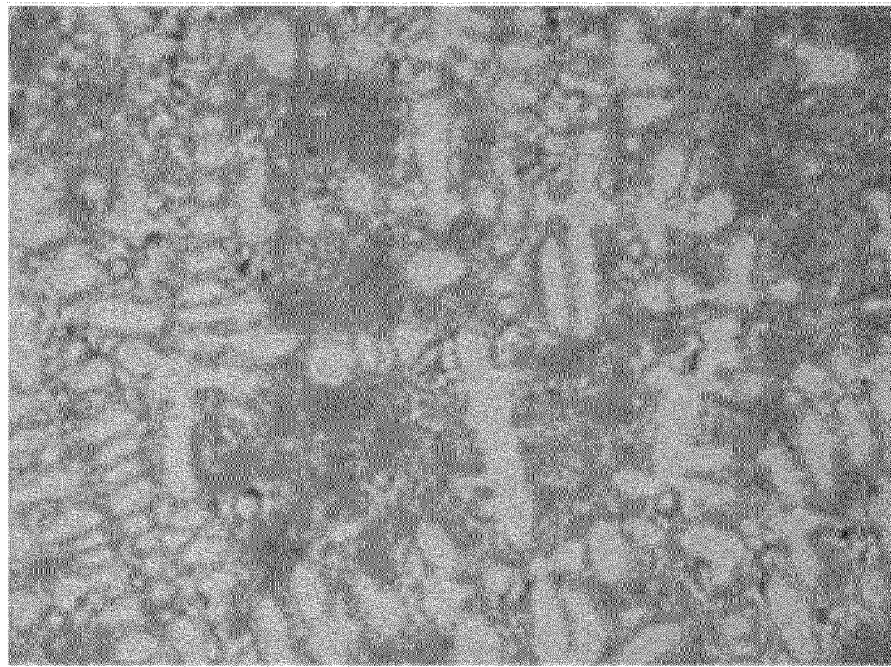
[Fig. 24]



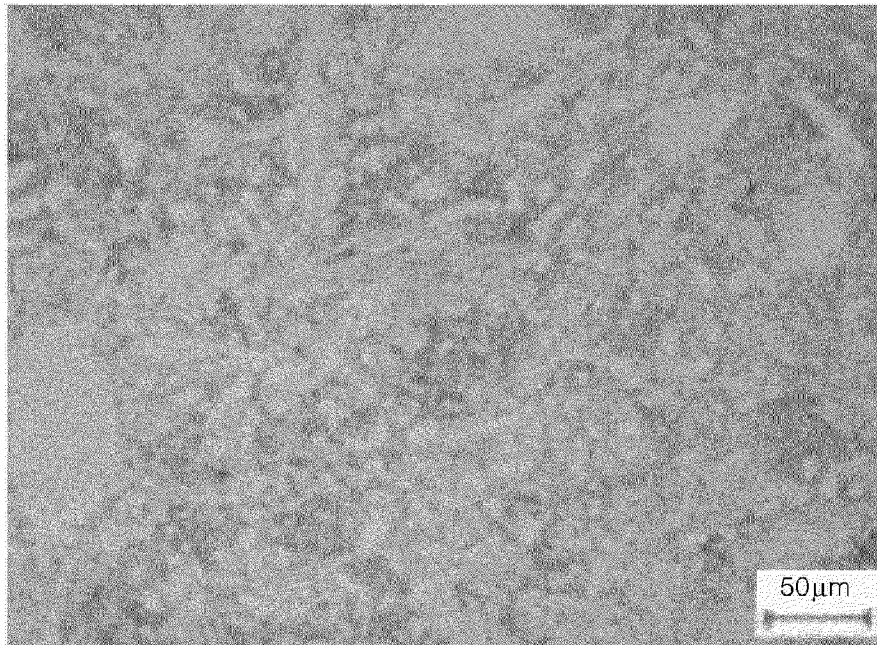
[Fig. 25]



[Fig. 26]



[Fig. 27]



[Fig. 28]

