



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0023765

(51)⁷ B22F 9/08; B22D 11/06; C21D 6/00; (13) B
C22C 1/04; H01F 1/057; C22C 38/00;
C22C 38/06; C22C 38/10; C22C 38/16;
B22D 11/00; C22C 33/02

(21) 1-2013-00370

(22) 01/07/2011

(86) PCT/JP2011/065171 01/07/2011

(87) WO2012/002531A1 05/01/2012

(30) 2010-164322 02/07/2010 JP

(45) 25/05/2020 386

(43) 27/05/2013 302A

(73) SANTOKU CORPORATION (JP)

14-34, Fukae-Kitamachi 4-chome, Higashinada-ku, Kobe-shi, Hyogo 685-0013

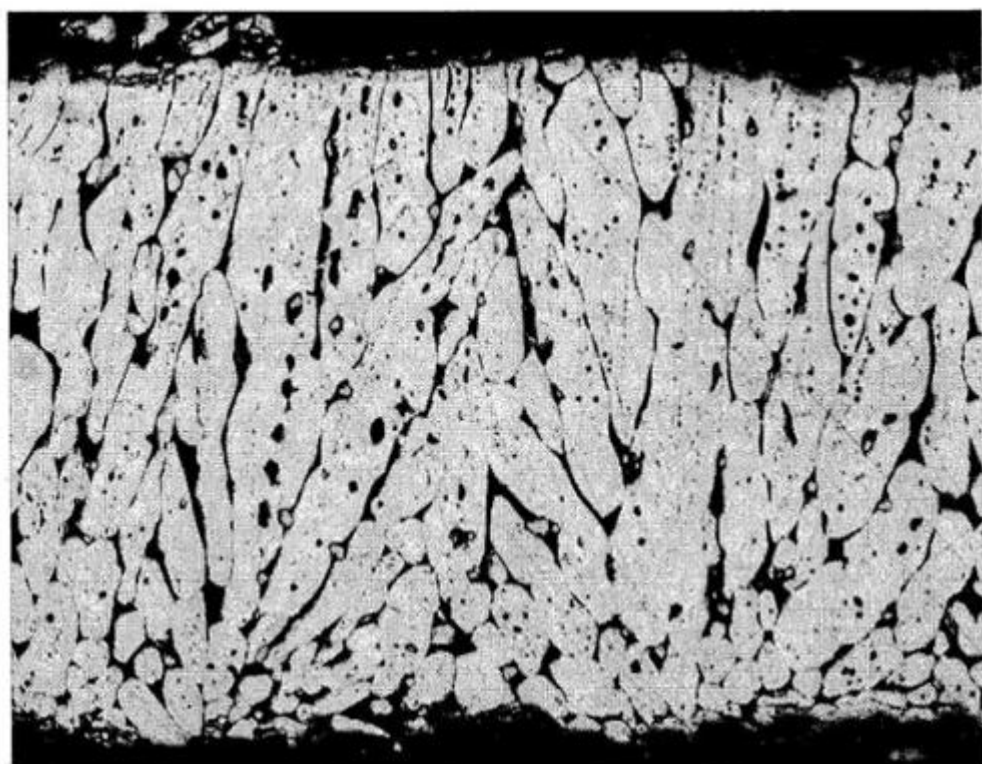
JAPAN

(72) Takuya ONIMURA (JP); Shinya TABATA (JP)

(74) Công ty TNHH Tư vấn đầu tư và chuyển giao công nghệ (INVESTCONSULT)

(54) PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT MẢNH HỢP KIM CHO NAM CHÂM ĐẤT HIỂM
THIÊU KẾT VÀ MẢNH HỢP KIM ĐƯỢC SẢN XUẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP
NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến các mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết mà đạt được hiệu suất các thành phần đất hiếm cao sau khi nghiền so với trước quy trình nghiền và cỡ hạt đồng nhất sau khi nghiền, và phương pháp sản xuất các mảnh hợp kim này với hiệu suất năng lượng cao ở quy mô công nghiệp. Phương pháp này bao gồm các bước: (A) chuẩn bị hợp kim nóng chảy bao gồm R chỉ chứa ít nhất một nguyên tố được chọn từ các nguyên tố kim loại đất hiếm gồm Y, B, và lượng còn lại là M bao gồm sắt hoặc hợp chất của sắt và ít nhất một nguyên tố đất hiếm được chọn từ các nguyên tố kim loại chuyển tiếp không phải là Fe, Si và C; (B) làm nguội/hóa rắn nhanh hợp kim nóng chảy xuống nhiệt độ không nhỏ hơn 700°C và không lớn hơn 1000°C bằng cách đúc dải với trục cán làm nguội, và (C) nung nóng và duy trì, trong một khoảng nhiệt độ cụ thể, các mảnh hợp kim được tách ra từ trục cán nhờ làm nguội và hóa rắn nhanh trong bước (B) trước khi các mảnh hợp kim được làm nguội xuống nhiệt độ không lớn hơn 500°C, để thu được các mảnh hợp kim bao gồm chế phẩm chứa từ 27,0% đến 33,0% khối lượng R, 0,90% đến 1,30% khối lượng bo, và lượng còn lại là M.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp sản xuất mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết và mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết được sản xuất bằng phương pháp này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Nam châm cho các động cơ khác nhau được sử dụng trong các xe cộ, cơ cấu phát điện nhờ năng lượng gió, và các cơ cấu tương tự đòi hỏi có từ tính lớn hơn để đáp ứng những yêu cầu của xã hội trong việc làm giảm kích thước và khối lượng của các thiết bị điện tử, và cho việc tiết kiệm năng lượng và tài nguyên để ngăn chặn sự nóng lên toàn cầu, đã trở thành hiển nhiên. Trong số nhiều biện pháp thực hiện khác nhau, sự phát triển của nam châm đất hiếm thiêu kết trên cơ sở $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ có mật độ từ thông cao đã được chủ động thực hiện. Khi những ứng dụng của nam châm đất hiếm thiêu kết trên cơ sở $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ được mở rộng, nhu cầu về việc giảm giá nam châm ngày càng tăng, và việc cải thiện sản lượng và hiệu suất sản phẩm nam châm là điều mong muốn.

Nam châm đất hiếm trên cơ sở $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ thường được tạo ra bằng cách làm nóng chảy và đúc nguyên liệu ban đầu, nghiền hợp kim nam châm đất hiếm thu được thành bột hợp kim nam châm, đúc bột này trong môi trường từ tính, thiêu kết và già hóa sản phẩm đúc này. Việc nghiền hợp kim nam châm đất hiếm nói chung được thực hiện bởi sự kết hợp của quá trình gia nhiệt hydro (hydrogen decrepitation) được thực hiện bằng cách đưa hợp kim nam châm đất hiếm vào quá trình hấp phụ/giải hấp hydro, và quá trình nghiền phun thực hiện bằng cách bắn phá hợp kim nam châm đất hiếm trong dòng phun. Hợp kim nam châm đất hiếm được sử dụng để sản xuất sản phẩm nam châm đất hiếm thiêu kết trên cơ sở $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ chứa pha phức hợp trên cơ sở $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (dưới đây, đôi khi còn được gọi là pha chính 2-14-1) như là pha chính, và pha giàu R chứa nhiều nguyên tố kim loại đất hiếm hơn pha chính 2-14-1 (dưới đây, đôi khi được gọi đơn giản là pha giàu R). Trong suốt quá trình gia nhiệt hydro, hợp

kim nam châm đất hiếm được bẻ vỡ cấu trúc do sự khác biệt trong tỷ lệ hấp phụ hydro giữa pha chính 2-14-1 và pha giàu R.

Về phương pháp sản xuất hợp kim nam châm đất hiếm, tài liệu patent 1 bộc lộ phương pháp đúc hợp kim có pha giàu R được phân tán tốt bằng cách làm nguội và hóa rắn nhanh như việc đúc dải. Tài liệu này cũng bộc lộ hợp kim nam châm đất hiếm có pha giàu R phân tán tốt, có khả năng nghiền tốt, do đó sau khi thiêu kết, các hạt tinh thể của pha chính 2-14-1 được bao phủ hoàn toàn bởi pha giàu R, có tính chất nam châm được cải thiện.

Tài liệu patent 2 bộc lộ nam châm được sản xuất từ hợp kim nam châm đất hiếm, trong đó khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R nằm trong khoảng từ 3 μ m đến 12 μ m, giá trị có được bằng cách chia độ lệch chuẩn của khoảng cách giữa các pha giàu R theo khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R không quá 0,25, và tỷ lệ thể tích của pha chính 2-14-1 không nhỏ hơn 88%, có độ từ dư, độ kháng từ và sản phẩm năng lượng tối đa được cải thiện. Tài liệu này bộc lộ hợp kim nam châm đất hiếm này thu được bằng cách làm nóng chảy nguyên liệu ban đầu thành hợp kim nóng chảy, đưa hợp kim nóng chảy vào trục cán hoặc một đĩa để làm nguội và hóa rắn dung dịch nóng chảy đó với tốc độ làm nguội trung bình cho đến khi các mảnh hợp kim thu được được tách khỏi trục hoặc đĩa được kiểm soát trong khoảng từ 50°C/giây đến 1200°C/giây, làm nguội các mảnh hợp kim được tách ra từ trục hoặc đĩa với nhiệt độ làm nguội trung bình giảm xuống đến nhiệt độ hợp kim được xác định trước $T + 30^{\circ}\text{C}$ được kiểm soát không chậm hơn 30°C/giây, và duy trì các mảnh hợp kim trong một khoảng nhiệt độ được xác định trước là $T \pm 30^{\circ}\text{C}$ trong khoảng thời gian từ 5 đến 600 giây.

Tài liệu patent 3 bộc lộ phương pháp tạo ra vật liệu hợp kim cho nam châm đất hiếm trên cơ sở R-T-Q bao gồm các bước: chuẩn bị dung dịch nóng chảy chứa hợp kim đất hiếm trên cơ sở R-T-Q, với R là các nguyên tố đất hiếm, T là nguyên tố kim loại chuyển tiếp, Q là ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ gồm B, cacbon, N, nhôm, silic và P, và nguyên tố đất hiếm R bao gồm ít nhất một nguyên tố RL được chọn từ nhóm chỉ gồm Nd, Pr, Y, La, Ce, Sm, Eu, Gd, Er, Tm, Yb và Lu và ít nhất một nguyên tố RH được chọn từ nhóm chỉ gồm Dy, Tb và Ho; làm nguội dung dịch nóng chảy chứa hợp kim này đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700°C đến 1000°C là quá trình làm nguội đầu tiên, do đó tạo ra hợp kim được hóa rắn, duy trì hợp kim được hóa rắn ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700°C đến 900°C trong khoảng thời gian từ 15

giây đến 600 giây; và làm nguội hợp kim đã hóa rắn này ở nhiệt độ 400°C hoặc nhỏ hơn là quá trình làm nguội thứ hai. Tài liệu này cũng bộc lộ trong hợp kim nam châm đất hiếm thu được bằng phương pháp này, nồng độ của nguyên tố RH trong phần của pha giàu R mà tiếp xúc với một giao diện (bề mặt chung) giữa pha chính và pha giàu R, nhỏ hơn so với nồng độ của nguyên tố RH trong phần của pha chính cũng tiếp xúc với giao diện này, và các hạt tinh thể hình thành pha chính có kích thước trực nhỏ nằm trong khoảng từ 3µm đến 10µm.

Tài liệu patent 1: JP-2639609-B

Tài liệu patent 2: JP-2004-143595-A

Tài liệu patent 3: WO 2005/105343

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết mà tạo ra, trong sản xuất nam châm, hiệu suất cao của các thành phần đất hiếm trong khi nghiền và kích cỡ hạt thống nhất (đồng nhất) sau khi nghiền, và đề xuất phương pháp sản xuất mảnh hợp kim có hiệu suất năng lượng cao ở quy mô công nghiệp.

Với những mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết đúc bằng cách làm nguội và hóa rắn nhanh, việc kiểm soát cỡ hạt tinh thể của pha chính 2-14-1, cải thiện tính đồng nhất về kích thước, và kiểm soát chế phẩm chứa các thành phần đất hiếm trong pha giàu R và pha chính thông thường được thực hiện bằng cách nung nóng và duy trì những mảnh hợp kim trong một khoảng nhiệt độ cụ thể trước khi các mảnh hợp kim này được làm nguội xuống đến gần nhiệt độ phòng.

Tuy nhiên, không có thảo luận nào được thực hiện để thấy tác động của các mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết được sản xuất bằng quá trình như vậy, trong quy trình sản xuất nam châm, lên hiệu suất của các thành phần đất hiếm trong quy trình nghiền và sự phân phối kích thước hạt sau quy trình nghiền. Các tác giả sáng chế đã xác định được rằng những mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết phải được làm nguội/hóa rắn liên tiếp và nung nóng trong những điều kiện cụ thể mang lại hiệu suất cao của các thành phần đất hiếm trong quy trình nghiền và cỡ hạt đồng nhất cụ thể của bột được nghiền trong sản xuất nam châm, do đó hoàn thành sáng chế.

Theo sáng chế, phương pháp sản xuất những mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết được đề xuất, các mảnh hợp kim bao gồm chế phẩm chứa từ 27,0% đến 33,0% khối lượng R chỉ chứa ít nhất một nguyên tố được lựa chọn từ nhóm chỉ gồm các nguyên tố kim loại đất hiếm bao gồm ytri, 0,90% đến 1,30% khối lượng bo, và lượng còn lại là M chỉ chứa sắt hoặc hợp chất của sắt và ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ chứa các nguyên tố kim loại chuyển tiếp không phải là sắt, silic và cacbon, phương pháp này bao gồm các bước:

(A) chuẩn bị hợp kim nóng chảy bao gồm R, bo, và lượng còn lại là M,

(B) làm nguội và hóa rắn nhanh hợp kim nóng chảy này bằng cách đúc dải với trục cán làm nguội xuống không nhỏ hơn 700°C và không lớn hơn 1000°C, và

(C) nung nóng những mảnh hợp kim được tách ra từ trục cán làm nguội bởi việc làm nguội và hóa rắn nhanh ở bước (B), trước khi những mảnh hợp kim này được làm nguội xuống nhiệt độ không lớn hơn 500°C,

trong đó việc nung nóng ở bước (C) được thực hiện bằng cách duy trì những tấm hợp kim này ở nhiệt độ lớn hơn 900°C và không lớn hơn 1050°C trong khoảng thời gian từ 5 đến 120 phút (đôi khi được đề cập đến dưới dạng theo phương pháp).

Sáng chế còn đề xuất mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết được tạo ra bởi phương pháp theo sáng chế.

Ngoài ra, sáng chế cũng đề xuất các mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết bao gồm R chỉ chứa ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ gồm các nguyên tố kim loại đất hiếm bao gồm ytri, bo, và lượng còn lại là M chỉ chứa sắt hoặc hợp chất của sắt và ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ chứa những nguyên tố kim loại chuyển tiếp không phải là sắt, silic và cacbon, lượng các thành phần gồm từ 27,0% đến 33,0% khối lượng R, 0,90% đến 1,30% khối lượng bo và lượng còn lại là M, các mảnh hợp kim nêu trên thu được bằng cách đúc dải bằng trục cán làm nguội,

trong đó trong ảnh chụp hiển vi với độ phóng đại 100 lần của mặt của mảnh hợp kim mà tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục cán, mảnh hợp kim này có số lượng tinh thể nằm trên đường giao nhau với một đường thẳng là 5 hoặc lớn hơn với độ dài là 880µm, và mỗi tinh thể này là tinh thể dạng nhánh cây (dendrite) phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1 và cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn 30µm, và

trong đó trong ảnh chụp hiển vi với độ phóng đại 200 lần của mặt cắt ngang của mỗi mảnh hợp kim thường vuông góc với mặt nêu trên, khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R nằm trong khoảng từ 10 μ m đến 30 μ m, và giá trị thu được bằng cách chia độ lệch chuẩn của khoảng giữa giữa các pha giàu R cho khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R không lớn hơn 0,20,

Hiệu quả của sáng chế

Các mảnh hợp kim theo sáng chế mang đến hiệu suất cao của các thành phần đất hiếm trong quá trình nghiền và kích thước hạt đồng nhất của bột đã nghiền, trong quá trình sản xuất nam châm thiêu kết. Trong phương pháp theo sáng chế, việc đúc và xử lý nhiệt các mảnh hợp kim được thực hiện theo những điều kiện cụ thể và có thể diễn ra liên tục, do đó các mảnh hợp kim theo sáng chế có thể được sản xuất với hiệu quả năng lượng và năng suất cao.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ minh họa một ví dụ về hệ thống sản xuất được sử dụng để thực hiện phương pháp theo sáng chế.

Fig.2 là sơ đồ minh họa một ví dụ về băng chuyền lò quay được sử dụng trong hệ thống sản xuất được thể hiện trên Fig. 1.

Fig.3 là bản sao ảnh chụp hiển vi quang học của cấu trúc hợp kim được quan sát theo mặt cắt ngang của mảnh hợp kim được sản xuất ở Ví dụ 2.

Fig.4 là bản đồ hình ảnh của B được quan sát bởi EPMA theo mặt cắt ngang của mảnh hợp kim được sản xuất ở Ví dụ 2.

Fig.5 là bản sao ảnh chụp hiển vi quang học của cấu trúc hợp kim được quan sát theo mặt cắt ngang của mảnh hợp kim được sản xuất ở Ví dụ so sánh 4.

Fig.6 là bản sao ảnh chụp hiển vi quang học của cấu trúc hợp kim được quan sát theo mặt cắt ngang của mảnh hợp kim được sản xuất ở Ví dụ so sánh 8.

Fig.7 là bản sao ảnh chụp hiển vi quang học của cấu trúc hợp kim được quan sát trên mặt của mảnh hợp kim được sản xuất ở Ví dụ 5 mà được tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục cán.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế này sẽ được làm rõ chi tiết.

Phương pháp này bao gồm bước (A) là việc chuẩn bị hợp kim nóng chảy cụ thể như một nguyên liệu ban đầu.

Trong bước (A), hợp kim nóng chảy bao gồm R chỉ chứa ít nhất một nguyên tố được lựa chọn từ nhóm bao gồm các nguyên tố kim loại đất hiếm bao gồm ytri, bo, và lượng còn lại là M bao gồm sắt, hoặc sắt và ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm các nguyên tố kim loại chuyển tiếp khác sắt, silic và cacbon, và có thể được tạo ra bằng cách nung nóng và làm tan chảy các nguyên liệu nói trên trong chân không hoặc sử dụng môi trường khí trơ, ví dụ, nồi nấu kim loại có thành phần được thảo luận sau.

Phương pháp bao gồm bước (B) nhanh chóng làm nguội và hóa rắn hợp kim nung chảy bằng phương pháp đúc dải với trục cán làm nguội xuống không thấp hơn 700 °C và không lớn hơn 1000 °C.

Trục cán làm nguội có thể là trục đơn hoặc trục đôi.

Trong bước (B), tốc độ làm nguội trong quy trình làm nguội nhanh và hóa rắn thường là 300 đến 1×10^4 °C/giây, tốt hơn là nằm trong khoảng từ 500 đến 1000°C/giây. Tốc độ làm nguội có thể được kiểm soát theo một phương pháp kiểm soát nhiệt độ thông thường hoặc tốc độ tan chảy hợp kim, vận tốc thiết bị ngoại vi, hoặc tương tự. Các mảnh hợp kim thu được từ bước này có một cấu trúc hợp kim bao gồm các tinh thể của pha giàu R và pha chính 2-14-1, và một pha có nồng độ B cao hơn so với pha chính 2-14-1 chứa chủ yếu một pha RFe_4B_4 (đôi khi được coi như một pha B-giàu trong tài liệu này). Tuy nhiên, các mảnh hợp kim vẫn còn trong trạng thái không cân bằng, và các pha giàu R chứa nhiều nguyên tố M và Bo hơn ở trạng thái cân bằng. Độ dày của các mảnh hợp kim nằm trong khoảng từ 0,05 đến 2mm, tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,8mm.

Trục cán làm nguội được sử dụng trong bước (B) tốt hơn là có phi tuyến bất thường trên bề mặt của nó với giá trị R_a nằm trong khoảng từ 2 đến 15 μ m và giá trị R_{sk} không nhỏ hơn -0,5 và nhỏ hơn 0, tốt hơn nữa là, giá trị R_{sk} không ít hơn -0,4 và nhỏ hơn 0, và giá trị R_a nằm trong khoảng từ 2 đến 8 μ m. Với trục cán làm nguội như vậy, việc giải phóng hạt nhân tinh thể được tạo ra từ bề mặt trục có thể được loại bỏ. Đặc biệt, với giá trị R_a trong phạm vi nêu trên, số lượng của các hạt nhân có thể được kiểm soát, và sự kết tủa của các tinh thể lạnh có thể bị ức chế, do đó mảnh hợp kim của một cấu trúc đồng nhất có thể thu được.

Bằng các trục cán làm nguội đề cập ở trên, như quan sát thấy trong một ảnh hiển vi phóng đại 100 lần của bề mặt mảnh hợp kim mà tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục, số lượng các tinh thể có thể được kiểm soát không ít hơn 5, tốt hơn là nằm trong khoảng từ 8 đến 15 là các dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hạt nhân, có một tỷ lệ nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và một kích thước hạt tinh thể không nhỏ hơn $30\mu\text{m}$, và cắt ngang một đoạn thẳng tương ứng đến $880\mu\text{m}$. Số lượng của các tinh thể như vậy sẽ không thay đổi trước và sau khi duy trì nhiệt độ trong bước (C) được đề cập sau đây. Khi số lượng của các tinh thể không ít hơn 5, một vài tinh thể lạnh được quan sát thấy trên mặt cắt ngang của một mảnh hợp kim vuông góc với mặt đã được tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục. Trong việc duy trì nhiệt độ tại bước (C) được thảo luận sau đây, tinh thể lạnh sẽ không biến mất và vẫn còn trong các mảnh hợp kim, điều mà có thể ảnh hưởng bất lợi đến sản lượng của các thành phần đất hiếm trong quy trình nghiền và tính đồng nhất của kích thước hạt của bột nghiền trong sản phẩm nam châm.

Kết cấu bề mặt của trục cán làm nguội có thể được kiểm soát bởi quá trình mài mòn, gia công tia laser, sao chép, nhiệt phun, sự phun bi làm sạch, hoặc quy trình tương tự. Ví dụ, khi quá trình mài mòn được sử dụng, trục có thể được mài mòn theo hướng quay của trục và sau đó là 90° so với hướng quay. Khi quá trình phun nhiệt được sử dụng, hình dạng của vật liệu phun nhiệt và điều kiện của quá trình phun có thể được kiểm soát. Đặc biệt, một vật liệu phun nhiệt không điển hình có nhiệt độ nóng chảy cao có thể được trộn một phần với vật liệu phun nhiệt. Khi quá trình phun bi làm sạch được sử dụng, hình dạng của vật liệu phun bi và các điều kiện của quá trình phun bi có thể được kiểm soát. Đặc biệt, các vật liệu phun bi có cỡ khác nhau hoặc các vật liệu phun bi không điển hình có thể được sử dụng.

Phương pháp bao gồm bước (C) nung nóng các mảnh hợp kim được tách ra từ trục cán làm nguội bằng cách nhanh chóng làm nguội và đông cứng trong bước (B), trước khi các mảnh được làm nguội xuống nhiệt độ không lớn hơn 500°C .

Quy trình nung nóng trong bước (C) được thực hiện bằng cách duy trì các mảnh hợp kim ở nhiệt độ cao hơn 900°C và không lớn hơn 1050°C trong khoảng thời gian từ 5 đến 120 phút. Giữ nhiệt độ tốt hơn là không thấp hơn 950°C và không lớn hơn 1050°C , tốt hơn nữa là không thấp hơn 1000°C và không lớn hơn 1050°C .

Dưới các điều kiện nung tại bước (C), các mảnh hợp kim tiếp cận trạng thái cân bằng, tỷ lệ khối lượng pha chính 2-14-1 được tăng lên trong khi tỷ lệ khối lượng của pha giàu R giảm, và từ tính, đặc biệt là độ từ dư được cải thiện. Vì phần của pha giàu R được khuếch tán để biến mất, khoảng cách giữa các pha giàu R trở nên rộng lớn hơn.

Trong các mảnh hợp kim kết quả, khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R trong một mặt cắt ngang vuông góc với mặt mà tiếp xúc với bề mặt trục tốt hơn là nằm trong khoảng từ 10 đến 30 μ m, tốt hơn nữa là nằm trong khoảng từ 12 đến 25 μ m.

Với khoảng cách trung bình nói trên giữa các pha giàu R đạt được bởi quy trình nung nóng trong bước (C), một hiệu suất cao các thành phần đất hiếm trong quy trình nghiền các mảnh hợp kim và cỡ thống nhất của bột hợp kim thu được từ quy trình nghiền có thể đạt được trong sản phẩm nam châm.

Trong quy trình nghiền các mảnh hợp kim của sản phẩm nam châm, bột mịn thu được từ quy trình nghiền phun được thu gom lại trong máy lọc hơi đốt hoặc túi lọc và bỏ đi. Vì pha giàu R dễ bị nổ nhỏ, bột thu gom được chỉ chứa một số lượng lớn các thành phần đất hiếm. Các mảnh hợp kim đã không trải qua quy trình nung nóng trong bước (C) có tỷ lệ khối lượng pha giàu R cao, trong khi các mảnh hợp kim trải qua quy trình nung nóng chỉ chứa dendrit thô, nghĩa là, có một tỷ lệ khối lượng cao pha chính 2-14-1, do đó tỷ lệ pha giàu R là thấp. Như vậy, số lượng các thành phần đất hiếm trong bột được bỏ đi là nhỏ, và vì vậy năng suất là cao.

Theo phương pháp của sáng chế, sự biến đổi về khoảng cách giữa các pha giàu R được hạn chế. Bằng cách hạn chế sự biến đổi, bột hợp kim thu được từ quy trình nghiền có thể đem lại một kích thước hạt thống nhất với sự phân bố mong muốn. Giá trị thu được bằng cách chia độ lệch chuẩn của khoảng cách giữa các pha giàu R bởi khoảng cách trung bình thu được giữa các pha giàu R, là một chỉ số của sự biến động giữa các pha giàu R, tốt hơn là không không quá 0,20, và tốt hơn nữa là không quá 0,18. Với các mảnh hợp kim như vậy, tính thống nhất của bột hợp kim thu được từ quy trình nghiền có thể được kiểm soát không ít hơn 2,0. Với bột hợp kim có tính thống nhất, việc tăng trưởng lớn đột xuất hạt tinh thể sẽ không xảy ra trong bước thiêu kết của sản phẩm nam châm, do đó độ kháng từ có thể được cải thiện.

Khoảng cách trung bình của các pha giàu R có thể được xác định theo cách thức sau đây.

Đầu tiên, một ảnh chụp hiển vi quang học của cấu trúc mặt cắt của một mảnh hợp kim theo sáng chế vuông góc với mặt mà tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục (song song theo hướng của chiều dày của mảnh) được thực hiện theo một độ phóng đại 200 lần. Các pha giàu R là các pha ranh giới của các dendrit của pha chính 2-14-1. Các pha giàu R thường tồn tại theo dạng các đoạn thẳng, nhưng có thể trong một số trường hợp theo dạng đảo tách biệt (island) phụ thuộc vào lịch sử nhiệt hoặc tương tự vậy trong quá trình đúc. Ngay cả khi các pha giàu R theo dạng đảo tách biệt, nếu các đảo này được sắp xếp theo chuỗi để tạo thành hàng rõ ràng, các đảo của pha giàu R được kết nối và được coi là các pha giàu R tuyến tính. Ba đoạn tương ứng với mỗi $440\mu\text{m}$ được vẽ trên bề mặt của một mảnh hợp kim của sáng chế này mà đã được tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục, như là bề mặt được chia làm bốn theo hướng vuông góc với mặt tiếp xúc. Số lượng của các pha giàu R qua mỗi đoạn thẳng được tính, và chiều dài của đoạn thẳng, $440\mu\text{m}$, được chia theo số đó. Mười mảnh hợp kim là những đối tượng cho việc đo để có được ba mươi giá trị, mức trung bình trong số đó được lấy ra như khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R. Độ lệch chuẩn cũng được tính toán từ ba mươi giá trị đo đó.

Tính thống nhất của bột hợp kim có thể được xác định bằng cách sau đây.

Các mảnh hợp kim của sáng chế phải chịu sự gia nhiệt hydro và nghiền phun để có được bột hợp kim có kích thước hạt trung bình (D50) nằm trong khoảng từ 5 đến $7\mu\text{m}$. Sự phân phối kích thước hạt của bột hợp kim thu được được xác định với một máy phân tích kích thước hạt tia laze nhiều xạ được thể hiện trong việc phân phối Rosin-Rammler để có được một đường thẳng, trong đó độ dốc đại diện cho sự thống nhất. Một sự thống nhất lớn hơn đại diện cho sự thống nhất kích thước hạt lớn hơn của bột hợp kim. Tính thống nhất tốt hơn là không nhỏ hơn 2,0, tốt hơn nữa là không nhỏ hơn 2,1.

Trong bước (C), với việc nung ở nhiệt độ không lớn hơn 900°C hoặc việc giữ thời gian không ngắn hơn 5 phút, tỷ lệ khối lượng các pha giàu R không hạ xuống đủ, do đó số lượng các thành phần đất hiếm chứa trong bột mịn được tạo ra trong máy nghiền phun là lớn và do đó năng suất là thấp. Mặt khác, với việc nung ở nhiệt độ lớn hơn 1050°C hoặc giữ thời gian lâu hơn 120 phút, các mảnh hợp kim bị hàn lại với nhau hoặc các hạt tinh thể phát triển hơn cần thiết, vì thế tính chất bột bị làm hỏng (suy giảm). Hơn nữa, việc nung các mảnh hợp kim thu được bằng cách làm nguội

nhanh và đông cứng sau khi các mảnh hợp kim được làm nguội xuống không quá 500°C, gây ra tổn thất năng lượng. Hơn nữa, vì các mảnh hợp kim trong trạng thái hoàn toàn đông cứng là đối tượng để nung, lịch sử nhiệt trong các mảnh hợp kim trở nên không thống nhất, và khoảng cách giữa các pha giàu R có khả năng khác nhau. Khi các mảnh hợp kim đó được nghiền thành bột hợp kim, sự phân bố kích thước hạt trở nên dần trải, và tính thống nhất giảm xuống dưới 2,0.

Quy trình nung nóng và duy trì trong bước (C) có thể được thực hiện trong một thiết bị có cơ chế nung hoặc tương tự. Được ưu tiên là các mảnh hợp kim có được cho một nam châm đất hiếm thiêu kết có một lịch sử nhiệt độ không đổi trong một lô đúc. Ví dụ, khi hợp kim được thu thập trong một côngtenơ được làm bằng một vật liệu cách nhiệt cao và có khả năng duy trì nhiệt độ, phần lớn hợp kim được sản xuất ngay sau khi quá trình đúc bắt đầu trải qua sự dẫn nhiệt bằng cách tiếp xúc trực tiếp với các côngtenơ, nhưng như quá trình đúc tiếp diễn, các mảnh hợp kim được tạo nên trong côngtenơ, và bắt đầu sự dẫn nhiệt bằng cách tiếp xúc với nhau, kết quả là lịch sử nhiệt không đồng nhất. Điều này có thể gây nên sự thay đổi cấu trúc của các mảnh hợp kim, và sự suy giảm từ tính. Một cách để tạo nên lịch sử nhiệt không đổi là dịch chuyển liên tục các mảnh hợp kim trong quá trình duy trì nhiệt.

Các bước (A) đến (C) của phương pháp này có thể được thực hiện liên tục trong, ví dụ, hệ thống sản xuất 10 minh họa trong Fig. 1.

Hệ thống sản xuất 10 bao gồm khoang thứ nhất 11 kín hơi trong đó có phần bên trong có thể tạo nên môi trường khí trơ hoặc chân không, và khoang thứ hai 12, là tùy chọn.

Khoang thứ nhất 11 bao gồm lò nấu chảy 13 để nấu chảy nguyên liệu hợp kim thô, các phương tiện của quá trình làm đông cứng bao gồm trục cán làm nguội 15 để làm nguội và hóa rắn hợp kim nóng chảy 17 đổ ra khỏi lò nung 13 vào các băng mỏng, gầu chuyên 14 để hướng hợp kim nóng chảy 17 từ lò nung 13 vào trục cán làm nguội 15, và tấm nghiền hợp kim 16 để nghiền dải hợp kim 17a được tách ra từ trục cán làm nguội 15 một cách đơn giản bằng sự va chạm, thiết bị 40 để điều khiển cấu trúc tinh thể hợp kim bằng cách làm cho cấu trúc tinh thể của các mảnh hợp kim được nghiền 17b thành một trạng thái thống nhất mong muốn, và côngtenơ 18, không có một thiết bị làm nguội, để thu thập các mảnh hợp kim 17c thải ra từ thiết bị 40. Khoang 11 có

màn trập 11a tại điểm giao tiếp với khoang thứ hai 12, trong đó màn trập có thể được mở và đóng và có khả năng giữ độ kín khí.

Lò nung 13 có cấu trúc để làm tan chảy nguyên liệu hợp kim thô trong đó, độ nghiêng xung quanh trục 13a theo hướng của mũi tên A, và trút hợp kim nóng chảy 17 vào gầu chuyên 14 nói chung bằng một số lượng không đổi.

Gầu chuyên 14 được hiển thị trong mặt cắt ngang với các thành bên để ngăn ngừa việc chảy ra của hợp kim nóng chảy 17 trên các mặt bên bị bỏ qua, và có tấm ngăn 14a để chính lưu hợp kim nóng chảy 17 chảy ra khỏi lò nung 13 để được cung cấp đến trục cán làm nguội 15 nói chung với tốc độ không đổi.

Trục cán làm nguội 15 có bề mặt tròn làm bằng một loại vật liệu có khả năng làm nguội hợp kim tan chảy 17, chẳng hạn như đồng, và được trang bị với một đơn vị truyền động (không hiển thị) có khả năng xoay trục này ở một vận tốc góc không đổi hoặc tương tự.

Các tấm nghiền hợp kim 16 là một tấm-bộ phận tương tự làm từ kim loại, và được định vị để hợp kim 17a được tách ra từ trục cán làm nguội 15 tiếp tục gãy vụn.

Các tấm hợp kim 17b được nghiền trên tấm nghiền hợp kim 16 thường có nhiệt độ bề mặt không thấp hơn 700°C , mặc dù nó có thể thay đổi phụ thuộc vào thành phần hợp kim, tốc độ làm nguội, và tương tự.

Đề cập đến Fig. 2, thiết bị 40 để kiểm soát cấu trúc tinh thể hợp kim được thảo luận.

Thiết bị 40 để kiểm soát cấu trúc tinh thể hợp kim bao gồm một thiết bị để kiểm soát cấu trúc tinh thể hợp kim và các phương tiện làm nguội thích hợp, và có thể được bố trí sao cho nhiệt độ bề mặt của các tấm hợp kim 17b đã nghiền trên tấm nghiền hợp kim 16 hiển thị trong Fig. 1 không tới dưới nhiệt độ định trước đã đề cập ở trên.

Thiết bị 40 bao gồm ống dẫn 41 có đầu vào 41a cho các mảnh hợp kim 17b, đầu ra 41b để thải ra các mảnh hợp kim 17c trong đó có cấu trúc tinh thể hợp kim đã được kiểm soát, và bộ phận nung 42 được trang bị với các cuộn dây đốt nóng 42a, và có khả năng xoay và có một không gian phân phối có khả năng liên tục chuyển các mảnh hợp kim 17b. Thiết bị 40 cũng bao gồm máy làm nguội hình ống 45 bố trí xung quanh và có khả năng quay đồng trục với ống dẫn 41. Đó là, thiết bị 40 có ống dẫn đơn 41 như một thiết bị để kiểm soát cấu trúc tinh thể hợp kim của các mảnh hợp kim 17b.

Ống dẫn 41 được cung cấp trên bề mặt bên trong của nó với các cạnh bên (fin) 43 để mang các mảnh hợp kim 17b đã được đưa vào về phía đầu ra 41b khi ống dẫn 41 quay.

Các mảnh hợp kim 17b đã đưa vào ống dẫn 41 được duy trì tại một nhiệt độ xác định bằng cách vận hành một cách phù hợp bộ phận nung 42, và tiếp tục trong một thời gian xác định trước ở nhiệt độ định trước bằng cách điều chỉnh tốc độ quay của ống dẫn 41 và/hoặc góc lắp đặt của các cạnh bên (fin) 43. Bằng cách đặt các mảnh hợp kim 17b dưới sự kiểm soát ở nhiệt độ định trước trong thời gian định trước, các mảnh hợp kim 17c có các tinh thể hợp kim đồng nhất của một cấu trúc tinh thể mong muốn có thể được chuẩn bị một cách hiệu quả trong thời gian ngắn.

Thiết bị làm nguội dạng ống 45 là một ống có thể xoay được có đầu ra 46 để thải ra các mảnh hợp kim 17c trong đó các tinh thể hợp kim đã được kiểm soát, và bộ phận làm nguội 47 được trang bị với ống dung dịch làm nguội lưu thông 47a mà có khả năng lưu thông một dung dịch làm nguội. Ống dung dịch làm nguội lưu thông 45 được cấu trúc sao cho trục quay của nó nghiêng về phía đầu ra 46 để khi thải các mảnh hợp kim 17c được làm nguội-cưỡng bức qua đầu ra 46 ra khỏi ống. Thiết bị làm nguội dạng ống 45 được cung cấp thêm với các cạnh bên 48 bên trong ống ở phía bên của đầu ra, với các cạnh bên không hoạt động trên các mảnh hợp kim 17c trong suốt quá trình quay để làm nguội, nhưng hướng các mảnh hợp kim 17c tới đầu ra 46 khi trục quay nghiêng và ống quay theo chiều ngược lại để thải các mảnh hợp kim 17c ra khỏi ống.

Thiết bị làm nguội dạng ống 45 có thể tùy chọn được cung cấp trên bề mặt bên trong của nó các cạnh bên (fin) (không hiển thị) cho phép việc tiếp xúc thống nhất của các mảnh hợp kim 17c trên toàn bộ bề mặt bên trong của thiết bị làm nguội dạng ống 45.

Với thiết bị 40, các mảnh hợp kim có thể được làm nguội cưỡng bức trong khi các tinh thể hợp kim được kiểm soát đến một cấu trúc mong muốn, và hiệu quả không gian của hệ thống sản xuất 10 được cải thiện. Trong trường hợp này, côngtenơ thể hiện trong Hình 1 không bắt buộc phải có một thiết bị làm nguội, nhưng không có thiết bị 40, côngtenơ 18 có thể được thay thế bằng một máy làm nguội có hình côngtenơ. Môi trường khí trong đó các mảnh hợp kim 17c được đặt trong côngtenơ 18 không nhất thiết phải là môi trường khí trơ, và khoang 11 trong đó môi trường khí trơ được thiết

lập chỉ có thể chứa những chuỗi thiết bị từ lò nung 13 đến thiết bị 40. Trong trường hợp này, mỗi thiết bị có thể không cần chứa trong một khoang đơn 11, nhưng có thể tách ra chứa trong một khoang trong đó môi trường khí trơ có thể được thiết lập, và được kết nối phù hợp với kết nối đường ống.

Thiết bị 40 có thể được cung cấp thêm một van bảo vệ (không hiển thị) trong một đường kết nối với đầu vào 41a cho các mảnh hợp kim 17b, do đó thiết bị 40 có thể được bảo vệ với van bảo vệ để thiết lập một môi trường khí trơ trong đó. Trong trường hợp này, thiết bị 40 không nhất thiết chỉ chứa một khoang trong đó một môi trường khí trơ được thiết lập.

Bằng các phương tiện của hệ thống sản xuất 10 đã đề cập ở trên, hoặc hệ thống tương tự, cấu trúc hợp kim đồng nhất nói chung có thể đạt được trong một lô đúc. Bằng cách này, các mảnh hợp kim của sáng chế này có thể có được đem đến giá trị không quá 0,20 bằng cách chia độ lệch chuẩn của khoảng cách giữa các pha giàu R bằng khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R.

Thành phần của các mảnh hợp kim của sáng chế này là trong khoảng từ 27,0 đến 33,0% khối lượng R, 0,90 đến 1,30% khối lượng bo, và lượng còn lại là M. Việc chuẩn bị các nguyên liệu thô có thể được thực hiện, chú ý tới việc bay hơi các nguyên tố trong suốt quy trình nung nóng chảy, đúc, và xử lý nhiệt.

Như R, các nguyên tố kim loại đất hiếm bao gồm ytri nghĩa là họ Lantan có số nguyên tử từ 57 đến 71 và ytri có số nguyên tử là 39. R không bị hạn chế cụ thể, và tốt hơn có thể là, ví dụ, lantan, xeri, praseodym, neodim, ytri, gadolini, terbi, dysprosi, holmi, erbi, ytterbi, hoặc hỗn hợp của hai hay nhiều trong số này. Đặc biệt ưu tiên R chỉ chứa ít nhất một nguyên tố đất hiếm nặng được lựa chọn từ nhóm bao gồm gadolini, terbi, dysprosi, holmi, erbi và ytterbi. Những nguyên tố đất hiếm nặng này đặc biệt cải thiện độ kháng từ trong số các thuộc tính từ khác. Terbi đặc biệt có tác dụng quan trọng nhất, nhưng đắt. Trong quan điểm tính chi phí và hiệu quả, được ưu tiên hơn là việc sử dụng dysprosi một mình hoặc trong sự kết hợp với gadolini, terbi, holmi, và tương tự.

Ít hơn 27,0% khối lượng R, số lượng của một pha chất lỏng cần thiết để đảm bảo của một nam châm đất hiếm thiêu kết sẽ là không đủ, dẫn đến mật độ thấp của đối tượng được thiêu kết và từ tính nghèo nàn. Nhiều hơn 33,0% khối lượng R, tỷ lệ của các pha giàu R trong đối tượng thiêu kết sẽ quá cao, gây giảm sức đề kháng ăn mòn.

Điều này tự nhiên làm giảm tỷ lệ khối lượng của các pha chính 2-14-1, làm phá huỷ độ từ dư.

Khi các mảnh hợp kim của sáng chế này được sử dụng trong một phương pháp hợp kim đơn lẻ, lượng của R tốt hơn là nằm trong khoảng từ 29,0 đến 33,0% khối lượng, trong khi đó khi các mảnh hợp kim được sử dụng như hợp kim pha chính 2-14-1 trong một phương pháp hai hợp kim, lượng của R tốt hơn là nằm trong khoảng từ 27,0 đến 29,0% khối lượng.

Lượng của các nguyên tố đất hiếm nặng, khi được dùng như R, thường là từ 0,2 đến 15% khối lượng, tốt hơn là nằm trong khoảng từ 1 đến 15% khối lượng, tốt hơn nữa là nằm trong khoảng từ 3 đến 15% khối lượng. Nhiều hơn 15% khối lượng, chi phí là rất cao, trong khi đó nhỏ hơn 0,2% khối lượng, hiệu quả là rất nhỏ.

Nhiều hơn 0,90% khối lượng bo, tỷ lệ của các pha chính 2-14-1 là thấp và độ từ dư là không đủ, trong khi đó nhiều hơn 1,30% khối lượng bo, tỷ lệ của các pha B-giàu được tăng lên làm thấp hơn cả các tính chất từ và khả năng chống ăn mòn.

Lượng còn lại là M chỉ chứa sắt như một yếu tố tiên quyết. Lượng của sắt trong M thường là không thấp hơn 50% khối lượng, tốt hơn là không thấp hơn 60% khối lượng. M có thể tùy chọn chứa ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm các kim loại chuyển tiếp không phải là sắt, silic và cacbon, và cũng không thể tránh khỏi các tạp chất có trong sản xuất quy mô công nghiệp, chẳng hạn như oxy và nitơ.

Các kim loại chuyển tiếp không phải là sắt không được giới hạn cụ thể, và có thể tốt hơn là, ví dụ, ít nhất một nguyên tố lựa chọn từ nhóm bao gồm coban, nhôm, crom, titan, vanadi, hafni, ziricon, mangan, magie, đồng thiếc, vonfram, niobi và gali.

Các mảnh hợp kim của sáng chế này có thể có một hoặc nhiều pha B-giàu trong 50 micromet vuông như quan sát thấy trong hình ảnh EPMA của mảnh hợp kim với độ phóng đại 2000 lần trong một mặt cắt ngang vuông góc với mặt tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục. Số lượng pha B-giàu, nếu có, tốt hơn là 1 đến 10 trong 50 micromet vuông. Tốt hơn nữa là khoảng từ 1 đến 5 pha B-giàu hiện diện trong 50 micromet vuông. Với 1 đến 10 pha B-giàu trong 50 micromet vuông, tăng trưởng hạt tinh thể trong suốt quá trình thiêu kết bị chặn, và các tính chất từ của nam châm đất hiếm, đặc biệt là độ kháng từ được cải thiện.

Như đề cập ở trên, hợp kim thu được bằng cách làm nguội nhanh và hóa rắn hợp kim nóng chảy xuống đến nhiệt độ không thấp hơn 700°C và không lớn hơn

1000°C trong bước (B) của sáng chế này là trong một trạng thái không cân bằng. Vì vậy các pha chính 2-14-1 đã không được phát triển đầy đủ, và biên hạt các pha giàu R có lượng nguyên tố M và bo tương đối cao. Giả thiết rằng các pha B-giàu được phân tán mịn trong các pha giàu R đến mức mà không thể xác định được bằng phương pháp quan sát các pha B-giàu được đề cập đến sau đây.

Trong bước tiếp theo (C), bằng cách duy trì hợp kim đã được làm nguội nhanh và hóa rắn ở nhiệt độ cao hơn 900°C và không lớn hơn 1050°C trước khi hợp kim được làm nguội xuống nhiệt độ không lớn hơn 500°C, các hạt tinh thể pha chính 2-14-1 phát triển tăng dần tỷ lệ khối lượng của chúng, trong khi tỷ lệ khối lượng của biên hạt các pha giàu R giảm dần, và các biên hạt bị dịch chuyển. Sự giảm sút và dịch chuyển của các pha giàu R mở rộng khoảng cách giữa các pha giàu R, và tổng số các pha giàu R được phân tán mịn trong các pha giàu R bị suy giảm đến mức nhiều hơn mười pha giàu R có thể được quan sát bằng phương pháp quan sát các pha giàu R được đề cập đến sau. Hơn nữa, với qua thời gian, khoảng cách giữa các pha giàu R trở nên rộng hơn do sự gia tăng của tỷ lệ khối lượng và sự tăng trưởng của hạt tinh thể của các pha chính 2-14-1, và sự sụt giảm của các pha giàu R và sự dịch chuyển của các biên hạt. Trong khi đó, các pha giàu R được tiêu diệt trong sự hình thành của các pha 2-14-1, 1 đến 10 pha B-giàu được quan sát thấy, và ở một số giai đoạn hợp kim đạt đến trạng thái cân bằng một vài pha giàu R được quan sát thấy.

Các mảnh hợp kim của sáng chế này đang ở trong trạng thái chuyển tiếp từ trạng thái không cân bằng của các mảnh hợp kim sau khi làm nguội nhanh và làm đông lạnh đến trạng thái cân bằng. Trong trạng thái này, các pha chính 2-14-1 mịn và các pha giàu R có mặt sau khi quy trình làm nguội nhanh và hóa rắn đã biến mất, do đó bột mịn được loại bỏ sau khi quy trình nghiền của sản xuất nam châm bị giảm xuống, và hiệu suất các thành phần đất hiếm sau quy trình nghiền trong mối liên quan với trước quy trình nghiền được cải thiện. Khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R là không quá lớn và tạo nên tính phân tán tốt.

Số lượng các pha giàu R xuất hiện trong 50 micromet vuông có thể được xác định bằng phương pháp sau đây.

Đầu tiên, một mặt cắt ngang của một mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết thông thường vuông góc với mặt đã được tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục được quan sát thấy với EPMA tại độ phóng đại 2000 lần, điện áp gia tốc 15kV,

dòng điện $2 \times 10^{-7} \text{A}$, và một đường kính chùm là 300nm. Khi các mảnh hợp kim của sáng chế này không chứa Dy, các pha giàu R được quan sát thấy như phần B-tập trung trong ảnh hoa đồ của B, trong khi đó khi các mảnh hợp kim chỉ chứa Dy, vì các pha DyFe_4B_4 được hình thành ưu tiên, các pha B-giàu được quan sát thấy như là phần B- và Dy-tập trung trong ảnh hoa đồ của B và Dy. Khi lượng còn lại là M chỉ chứa Zr, Nb, hoặc tương tự, những nguyên tố này tạo thành một pha hợp chất với B và được quan sát thấy như là phần B-tập trung trong ảnh hoa đồ của B. Trong sáng chế này, một pha hợp chất của M và B không có R không được bao gồm trong pha B-giàu. Mười trong số các mảnh hợp kim được lựa chọn ngẫu nhiên đã được quan sát thấy, và số lượng của các pha giàu R đã được tính. Tổng số trung bình được lấy làm số lượng các pha giàu R hình thành trong 50 micromet vuông.

Các mảnh hợp kim theo sáng chế đề xuất có, như quan sát thấy trong một ảnh chụp hiển vi có độ phóng đại 100 lần một mặt của một mảnh tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục, không ít hơn 5 tinh thể là các dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và một kích thước hạt tinh thể không nhỏ hơn $30\mu\text{m}$ và cắt ngang một đoạn thẳng tương ứng với $880\mu\text{m}$. Tốt hơn là các mảnh hợp kim có không ít hơn 8 và không nhiều hơn 15 tinh thể như vậy. Thông thường, số lượng các tinh thể có được trong sản xuất ở quy mô công nghiệp không nhiều hơn 30. Mặt tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục là mặt đã được hóa rắn bằng cách tiếp xúc với trục cán làm nguội. Trong các mảnh hợp kim có không dưới 5 tinh thể như vậy, sự hình thành của các tinh thể làm nguội rất khó để được quan sát trong một mặt cắt ngang của mảnh vuông góc với mặt đã được tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục. Khi các mảnh hợp kim như vậy được sử dụng để sản xuất nam châm, hiệu suất của các thành phần đất hiếm trong quy trình nghiền là cao, và sự phân bố kích thước hạt sau quy trình nghiền là thống nhất.

Việc xác định số lượng các tinh thể đề cập ở trên được thực hiện như sau. Trong ảnh chụp hiển vi phóng đại 100 lần của một mảnh hợp kim, ranh giới các dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân đã hình thành một đường cong khép kín. Ranh giới này được coi như một tinh thể, và lấy trung bình của trục ngắn và trục dài của đường cong khép kín này coi như là kích thước hạt. Tỷ lệ giữa chiều dài của trục ngắn và chiều dài của trục dài được lấy làm tỷ số co. Ba đoạn thẳng mỗi đoạn tương ứng với $880\mu\text{m}$ được vẽ trong quan sát thực địa nếu như hiện trường này được

chia thành bốn, và số lượng tinh thể tính được là các dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn 30 μ m, và cắt ngang mỗi đoạn. Trung bình của số lượng này được coi là số lượng của những tinh thể như vậy.

Các mảnh hợp kim của sáng chế này tốt hơn là có thể giải phóng khỏi các pha α -Fe, nhưng có thể chứa các pha α -Fe đến chừng mức mà các pha không có ảnh hưởng bất lợi đáng kể đến tính phân tán. Thông thường, các pha α -Fe xuất hiện nơi mà tốc độ làm nguội của hợp kim chậm. Ví dụ, khi một hợp kim được sản xuất bằng phương pháp đúc dải trực-đơn, các pha α -Fe xuất hiện trên mặt giải phóng (mặt mà không được làm nguội với trực). Các pha α -Fe, nếu có, tốt hơn là được kết tủa với kích thước hạt tinh thể không lớn hơn 3 μ m, và trong một tỷ lệ khối lượng ít hơn 5%. Tốt hơn nữa là, các mảnh hợp kim không chứa các pha α -Fe.

Các mảnh hợp kim của sáng chế tốt hơn là được giải phóng khỏi các hạt tinh thể đẳng trục mịn, ví dụ, các tinh thể làm nguội, nhưng có thể chứa các tinh thể được làm nguội đến chừng mức các tinh thể đó không có ảnh hưởng bất lợi đáng kể đến tính phân tán. Các tinh thể làm nguội xuất hiện khi tốc độ làm nguội của hợp kim là nhanh nhất. Ví dụ, khi một hợp kim được sản xuất bằng phương pháp đúc dải trực-đơn, các tinh thể làm nguội xuất hiện trên bề mặt được làm nguội của trực. Các tinh thể làm nguội này, nếu có, tốt hơn là trong một tỷ lệ khối lượng ít hơn 5%. Tốt hơn nữa là, các mảnh hợp kim không chứa các tinh thể làm nguội này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sáng chế này sẽ được làm rõ với sự tham chiếu đến các Ví dụ và các Ví dụ so sánh, mà không làm giới hạn phạm vi của sáng chế.

Ví dụ 1

Một hợp kim được chuẩn bị theo phương pháp sau đây sử dụng hệ thống sản xuất 10 thể hiện trong Fig. 1 và thiết bị 40 thể hiện trong Fig. 2.

Các nguyên liệu thô, Nd, Pr, Dy, B, Co, Cu, Al, và Sắt được trộn lẫn để tổng trọng lượng là 300kg. Các nguyên liệu thô được nung để làm tan chảy trong một môi trường khí Argon, trút ra ở nhiệt độ 1450°C vào trong trục cán làm nguội 15, là một trục đồng làm nguội bằng nước, thông qua gầu chuyên 14 để hóa rắn liên tục. Vận tốc biên của trục cán làm nguội 15 là 1,0 m/giây. Hợp kim 17a đã làm nguội và hóa rắn nhanh chóng tại 800 đến 1000°C trong trục cán làm nguội 15 đã bị nghiền nát trong

tấm nghiền hợp kim 16 thành các mảnh hợp kim 17b, và để rơi vào đầu vào 41a của thiết bị 40. Các mảnh hợp kim 17b rơi xuống được đưa vào ống dẫn 41 của thiết bị 40 trong khi nhiệt độ bề mặt của chúng không thấp hơn 500°C , và được duy trì tại 950°C trong 5 phút khi các mảnh 17b tiếp tục được chuyển trong ống dẫn 41. Các mảnh hợp kim 17b sau đó tiếp tục được đưa vào ống dẫn 45, làm nguội-cường bức xuống đến không lớn hơn 100°C , và thu thập trong các thùng chứa 18. Các mảnh hợp kim thu được 17c có độ dày nằm trong khoảng từ 220 đến $260\mu\text{m}$.

Thành phần của các mảnh hợp kim thu được được phân tích bằng sự huỳnh quang tia X và ICP là 24,00% khối lượng Nd, 6,00% khối lượng Pr, 2,50% khối lượng Dy, 0,99% khối lượng B, 1,00% khối lượng Co, 0,3% khối lượng Al, 0,1% khối lượng Cu, và phần dư Sắt. Khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R, giá trị thu được bằng cách chia độ lệch chuẩn của khoảng cách giữa các pha giàu R bởi khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R, và số lượng của các pha B-giàu có trong 50 micromet vuông được xác định bằng các mảnh hợp kim thu được bởi những phương pháp đã đề cập ở trên.

Để xác định tính phân tán và hàm lượng của bột mịn, các mảnh hợp kim thu được được đặt trong một lò nén hydro, phải chịu sự hấp thụ hydro trong một môi trường áp lực hydro là 0,1MPa ở nhiệt độ 30°C trong 3 giờ, khử hydro trong chân không tại 530°C trong 2 giờ, làm nguội đến nhiệt độ phòng và lấy ra. Sau đó hợp kim được nghiền nát trong máy nghiền phun tại áp suất khí nitơ là $0,6\text{kg}/\text{cm}^2$ và tốc độ cung cấp nguyên liệu là 35g/phút. Các phân tích thành phần được thực hiện trước và sau quy trình nghiền phun, và hiệu suất của các thành phần TRE (Nd+Pr+Dy) sau quy trình nghiền phun so sánh với trước quy trình nghiền phun được xác định. Bột hợp kim cũng phải đo kích thước hạt bằng nhiễu xạ laze để có giá trị D50 và n thống nhất. Kết quả được hiển thị trong Bảng 1.

Các ví dụ 2 đến 4 và các ví dụ so sánh 1 đến 3

Các mảnh hợp kim và bột nghiền được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 ngoại trừ việc nhiệt độ nung và thời gian duy trì được thay đổi như thể hiện trong Bảng 1, và chịu sự đánh giá và đo đạc như trong Ví dụ 1. Các kết quả được hiển thị trong Bảng 1. Một bản sao của một ảnh chụp hiển vi quang học của cấu trúc hợp kim được quan sát thấy trên một mặt cắt ngang của một mảnh hợp kim được chuẩn bị trong Ví dụ 2 được thể hiện trong Fig. 3, và ảnh hoa đồ của B được quan sát thấy với

EPMA trên mặt cắt ngang của một mảnh hợp kim được chuẩn bị trong Ví dụ 2 được hiển thị trong Fig. 4.

Ví dụ so sánh 4

Quy trình của Ví dụ 1 được theo đây ngoại trừ việc hợp kim được nghiền trên tấm nghiền hợp kim 16 thành các mảnh hợp kim và thu thập và làm nguội trong côngtenơ 18 không sử dụng thiết bị 40 trong hệ thống sản xuất 10 thể hiện trong Fig. 1. Các mảnh hợp kim thu được và bột nghiền được chuẩn bị trong cùng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc cùng một cách như trong Ví dụ 1. Các kết quả được thể hiện trong Bảng 1. Một bản sao của một ảnh chụp hiển vi quang học của một cấu trúc hợp kim quan sát được trên mặt cắt ngang của một mảnh hợp kim thu được thể hiện trong Fig. 5.

Ví dụ so sánh 5

Các mảnh hợp kim được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ So sánh 4, và duy trì tại 850°C trong 120 phút trong một môi trường khí Argon. Các mảnh hợp kim và bột nghiền chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Các kết quả được thể hiện trong Bảng 1.

Các ví dụ so sánh từ 6 đến 8

Các mảnh hợp kim được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ So sánh 5 ngoại trừ việc nhiệt độ nung và thời gian duy trì được thay đổi như hiển thị trong Bảng 1. Các mảnh hợp kim và bột nghiền thu được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 phải được đánh giá và đo đạc theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Các kết quả được hiển thị trong Bảng 1. Một bản sao của một ảnh chụp hiển vi quang học của một cấu trúc hợp kim quan sát được trên một mặt cắt ngang của một mảnh hợp kim chuẩn bị trong Ví dụ so sánh 8 được hiển thị trong Fig. 6.

Bảng 1

	Nhiệt độ nung (°C)	Thời gian duy trì (phút)	Khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R (μm)	Độ lệch chuẩn 5 của khoảng cách giữa các pha giàu R	Khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R 5/AVE	D50 (μm)	Tính đồng nhất n	Số lượng pha B-giàu (tính được)	Hiệu suất TRE (%)
Ví dụ 1	950	5	10,1	1,84	0,18	5,6	2,07	4	99,3
Ví dụ 2	950	60	16,0	3,05	0,19	6,3	2,02	3	99,5
Ví dụ 3	1030	5	11,1	1,85	0,17	5,7	2,13	1	99,4
Ví dụ 4	1030	120	24,6	4,09	0,17	6,7	2,09	1	99,6
Ví dụ	850	5	8,3	1,45	0,18	5,2	2,01	0	98,0

so sánh 1									
Ví dụ so sánh 2	850	60	9,7	1,97	0,20	5,5	2,03	1	98,3
Ví dụ so sánh 3	1050	3	9,6	1,92	0,20	5,4	1,91	1	98,2
Ví dụ so sánh 4	-	-	5,2	0,85	0,14	5,1	2,17	0	96,7
Ví dụ so sánh 5	850	120	13,2	3,21	0,24	6,2	1,96	0	99,1
Ví dụ so sánh 6	850	300	15,1	3,55	0,24	5,8	1,94	0	99,3
Ví dụ so sánh 7	1000	60	16,5	4,39	0,27	6,1	1,89	0	99,5
Ví dụ so sánh 8	1000	120	19,5	6,54	0,34	6,6	1,85	0	99,4

Ví dụ 5

Một hợp kim được chuẩn bị theo phương pháp sau đây sử dụng hệ thống sản xuất 10 hiển thị trong Fig.1 và thiết bị 40 hiển thị trong Fig.2 theo một cách tương tự như trong Ví dụ 1.

Nguyên liệu thô, Nd, Dy, B, Co, Cu, Al, và Sắt được pha trộn để có tổng trọng lượng là 300 kg. Bề mặt của trục cán làm nguội 15, là một trục đồng làm nguội bằng nước, được mài mòn theo hướng quay của trục và tại 90° trong mối liên quan đến hướng quay sử dụng giấy nhám #60, do đó bề mặt của trục cán làm nguội có tính không đều phi tuyến với giá trị R_a là $2,8\mu\text{m}$ và giá trị R_{sk} là $-0,40$. Các nguyên liệu thô được nung đến tan chảy trong một môi trường khí Argon, trút ra ở nhiệt độ 1450°C vào trục cán làm nguội 15 qua gầu chuyên 14 để hóa rắn liên tục. Vận tốc biên của trục cán làm nguội 15 là $1,0\text{m/giây}$. Hợp kim 17a được nhanh chóng làm nguội và hóa rắn trong khoảng từ 800 đến 1000°C trong trục cán làm nguội 15 được nghiền trên tấm nghiền hợp kim 16 tạo thành các mảnh hợp kim 17b, và được đổ vào đầu vào 41a của thiết bị 40. Các mảnh hợp kim 17b đã đổ này được đưa vào ống dẫn 41 của thiết bị 40 trong khi nhiệt độ bề mặt của chúng không thấp hơn 500°C , và duy trì tại 1000°C trong 20 phút khi các mảnh 17b tiếp tục được chuyển trong ống dẫn 41. Các mảnh hợp kim 17b sau đó được đưa vào ống dẫn 45, làm nguội-cường bức xuống đến không lớn

hơn 100°C, và thu thập trong côngtenơ 18. Các mảnh hợp kim 17c thu được có độ dày khoảng 300µm.

Thành phần của các mảnh hợp kim thu được được phân tích với huỳnh quang tia X và ICP là 25,0% khối lượng Nd, 4,9% khối lượng Dy, 0,95% khối lượng B, 0,15% khối lượng Al, 1,0% khối lượng Co, 0,2% khối lượng Cu, và phần dư sắt.

Mặt của mảnh hợp kim thu được đã được tiếp xúc với bề mặt của trục cán làm nguội được quan sát thấy theo các cách thức nêu trên để thấy rằng số lượng của các tinh thể là 12 là các dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và một cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn 30µm, và cắt ngang một đoạn thẳng tương ứng với 880µm. Quan sát của cấu trúc mặt cắt của mảnh hợp kim cho thấy không có các tinh thể lạnh. Một ảnh chụp hiển vi quang học của bề mặt mảnh hợp kim mà đã được tiếp xúc với bề mặt của trục cán làm nguội được hiển thị trong Fig.7.

Các mảnh hợp kim và bột nghiền được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc theo cũng một cách như trong Ví dụ 1. Các kết quả được hiển thị trong Bảng 2. Hiệu suất TRE trong các Ví dụ 5 đến 9 là hiệu suất của các thành phần TRE (Nd+Dy) sau quy trình nghiền phun so sánh với trước quy trình nghiền phun. Một nam châm thiêu kết được sản xuất từ bột nghiền thu được. Độ từ dư của nam châm thiêu kết thu được là 13,58kG, và độ kháng từ nội tại là 23,78kOe.

Ví dụ 6

Các mảnh hợp kim được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 5 ngoại trừ việc giấy nhám đã được đổi thành #30 để đem đến bề mặt của trục cán làm nguội tính không đều phi tuyến với giá trị R_a là 4,3µm và giá trị R_{sk} là -0,32.

Các mảnh hợp kim và bột nghiền thu được chuẩn bị theo cũng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Số lượng các tinh thể là dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và một cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn 30µm, và cắt ngang đoạn thẳng tương ứng đến 880µm, cũng như hàm lượng của các tinh thể lạnh, và độ từ dư và độ kháng từ nội tại của nam châm thiêu kết được xác định theo cùng một cách như trong Ví dụ 5. Các kết quả được hiển thị trong Bảng 2.

Ví dụ 7

Các mảnh hợp kim được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 5 ngoại trừ việc việc phun bi làm sạch được sử dụng thay thế cho giấy nhám để đem đến bề mặt của trục cán làm nguội tính không đồng đều phi tuyến với giá trị R_a là $6,3\mu\text{m}$ và giá trị R_{sk} là $-0,10$.

Các mảnh hợp kim và bột nghiền thu được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Số lượng của các tinh thể là dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và một cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn $30\mu\text{m}$, và cắt ngang đoạn thẳng tương ứng đến $880\mu\text{m}$, cũng như hàm lượng của các tinh thể lạnh, và độ từ dư và độ kháng từ nội tại của nam châm thiêu kết được xác định theo cùng một cách như trong Ví dụ 5. Các kết quả được hiển thị trong Bảng 2.

Ví dụ 8

Các mảnh hợp kim được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 5 ngoại trừ việc bề mặt của trục cán làm nguội đã được mài mòn chỉ với giấy nhám #60 theo hướng quay của trục để đem đến bề mặt của trục cán làm nguội có tính không đều phi tuyến với giá trị R_a là $2,3\mu\text{m}$ và giá trị R_{sk} là $-0,44$.

Các mảnh hợp kim và bột nghiền thu được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Số lượng các tinh thể là dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và một cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn $30\mu\text{m}$, và cắt ngang một đoạn thẳng tương ứng đến $880\mu\text{m}$, cũng như hàm lượng các tinh thể lạnh, và độ từ dư và độ kháng từ nội tại của nam châm thiêu kết được xác định theo cùng một cách như trong Ví dụ 5. Các kết quả được hiển thị trong Bảng 2.

Ví dụ 9

Các mảnh hợp kim được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 5 ngoại trừ việc các nguyên liệu thô, Nd, Dy, B, Co, Cu, Al, Nb, và Sắt được trộn lẫn để cho tổng trọng lượng là 300kg. Thành phần của các mảnh hợp kim thu được được phân tích với huỳnh quang tia X và ICP là 27,5% khối lượng Nd, 4,9% khối lượng Dy, 1,00% khối lượng B, 0,15% khối lượng Al, 1,0% khối lượng Co, 0,2% khối lượng Cu, 0,15% khối lượng Nb, và phần dư sắt.

Các mảnh hợp kim và bột nghiền thu được chuẩn bị theo cùng một cách như trong Ví dụ 1 được đánh giá và đo đạc theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Số

lượng các tinh thể là dendrit phát triển tỏa tròn từ điểm hạt nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 và cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn 30 μ m, và cắt ngang đoạn thẳng tương ứng với 880 μ m, cũng như hàm lượng các hạt tinh thể lạnh, và độ từ dư và độ kháng từ nội tại của nam châm siêu kết được xác định theo cùng một cách như trong Ví dụ 1. Các kết quả được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2

	Nhiệt độ nung (°C)	Thời gian duy trì (phút)	Khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R (μ m)	Độ lệch chuẩn của khoảng cách giữa các pha giàu R	Khoảng cách giữa các pha giàu R $\bar{x}$ /AVE	D50 (μ m)	Tính đồng nhất n	Số lượng các pha B-giàu (tính được)	Hiệu suất TRE (%)	Số tinh thể hướng tâm (tính được)	Hàm lượng tinh thể lạnh (%)	Độ từ dư (kG)	Độ kháng từ nội tại (kOe)
Ví dụ 5	1000	20	12,8	1,71	0,13	6,4	2,14	2	99,5	12	0	13,58	23,78
Ví dụ 6	1000	20	13,1	1,79	0,14	6,3	2,14	3	99,4	8	0	13,67	23,81
Ví dụ 7	1000	20	13,5	1,73	0,13	6,4	2,16	2	99,5	11	0	13,59	23,88
Ví dụ 8	1000	20	12,9	2,14	0,17	6,3	2,02	2	99,3	3	5,9	12,90	23,66
Ví dụ 9	1000	20	11,8	1,65	0,14	5,8	2,18	1	99,4	13	0	12,37	23,86

Các số tham chiếu

10: hệ thống sản xuất

13: lò nung

15: trục cán làm nguội

17: hợp kim tan chảy

17a: dải hợp kim

17b, 17c: mảnh hợp kim

40: thiết bị kiểm soát cấu trúc tinh thể hợp kim

41: ống dẫn

42: khu vực nung

45: thiết bị làm nguội dạng ống

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp sản xuất mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết, mảnh hợp kim này có thành phần bao gồm từ 27,0% đến 33,0% khối lượng R, từ 0,90% đến 1,30% khối lượng bo, và lượng còn lại là M,

trong đó R chỉ bao gồm một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ gồm các nguyên tố thuộc dãy lantanoid và ytri; và M chỉ bao gồm sắt hoặc hợp chất của sắt và ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ gồm coban, nhôm, crom, titan, vanadi, hafni, ziricon, mangan, magie, đồng, thiếc, vonfram, niobi, gali, silic và cacbon,

trong đó trong ảnh chụp hiển vi với độ phóng đại 100 lần của mặt của mảnh hợp kim mà tiếp xúc với bề mặt làm nguội của trục cán, mảnh hợp kim này có số lượng tinh thể nằm trên đường giao nhau với một đường thẳng là 5 hoặc lớn hơn với độ dài là 880 μ m, và mỗi tinh thể này là tinh thể dạng nhánh cây (dendrite) phát triển tỏa tròn từ điểm hình thành nhân, có tỷ số co nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1 và cỡ hạt tinh thể không nhỏ hơn 30 μ m, và

trong đó trong ảnh chụp hiển vi với độ phóng đại 200 lần của mặt cắt ngang của mỗi mảnh hợp kim thường vuông góc với mặt nêu trên, khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R nằm trong khoảng từ 10 μ m đến 30 μ m, và giá trị thu được bằng cách chia độ lệch chuẩn của khoảng giữa giữa các pha giàu R cho khoảng cách trung bình giữa các pha giàu R không lớn hơn 0,20,

phương pháp nêu trên bao gồm các bước:

(A) chuẩn bị hợp kim nóng chảy bao gồm R, bo và M,

(B) làm nguội và hóa rắn nhanh hợp kim nóng chảy nêu trên bằng cách đúc dải với trục cán làm nguội xuống đến nhiệt độ không nhỏ hơn 700°C và không lớn hơn 1000°C, trong đó bề mặt của trục cán làm nguội này có tính không đều phi tuyến với giá trị R_a nằm trong khoảng từ 2 μ m đến 15 μ m và giá trị R_{sk} không nhỏ hơn -0,5 và nhỏ hơn 0, và

(C) nung nóng những mảnh hợp kim được tách ra từ trục cán làm nguội bằng cách làm nguội và hóa rắn nhanh ở bước (B), trước khi những mảnh hợp kim này được làm nguội xuống nhiệt độ không lớn hơn 500°C,

trong đó việc nung nóng ở bước (C) được thực hiện bằng cách duy trì các mảnh hợp kim ở nhiệt độ không nhỏ hơn 950°C và không lớn hơn 1050°C trong khoảng thời gian từ 5 đến 120 phút.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó việc nung nóng ở bước (C) được thực hiện ở nhiệt độ không nhỏ hơn 1000°C và không lớn hơn 1050°C.

3. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó việc nung nóng ở bước (C) được thực hiện trong khi các mảnh hợp kim được di chuyển liên tục.

4. Mảnh hợp kim cho nam châm đất hiếm thiêu kết được sản xuất bằng phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3.

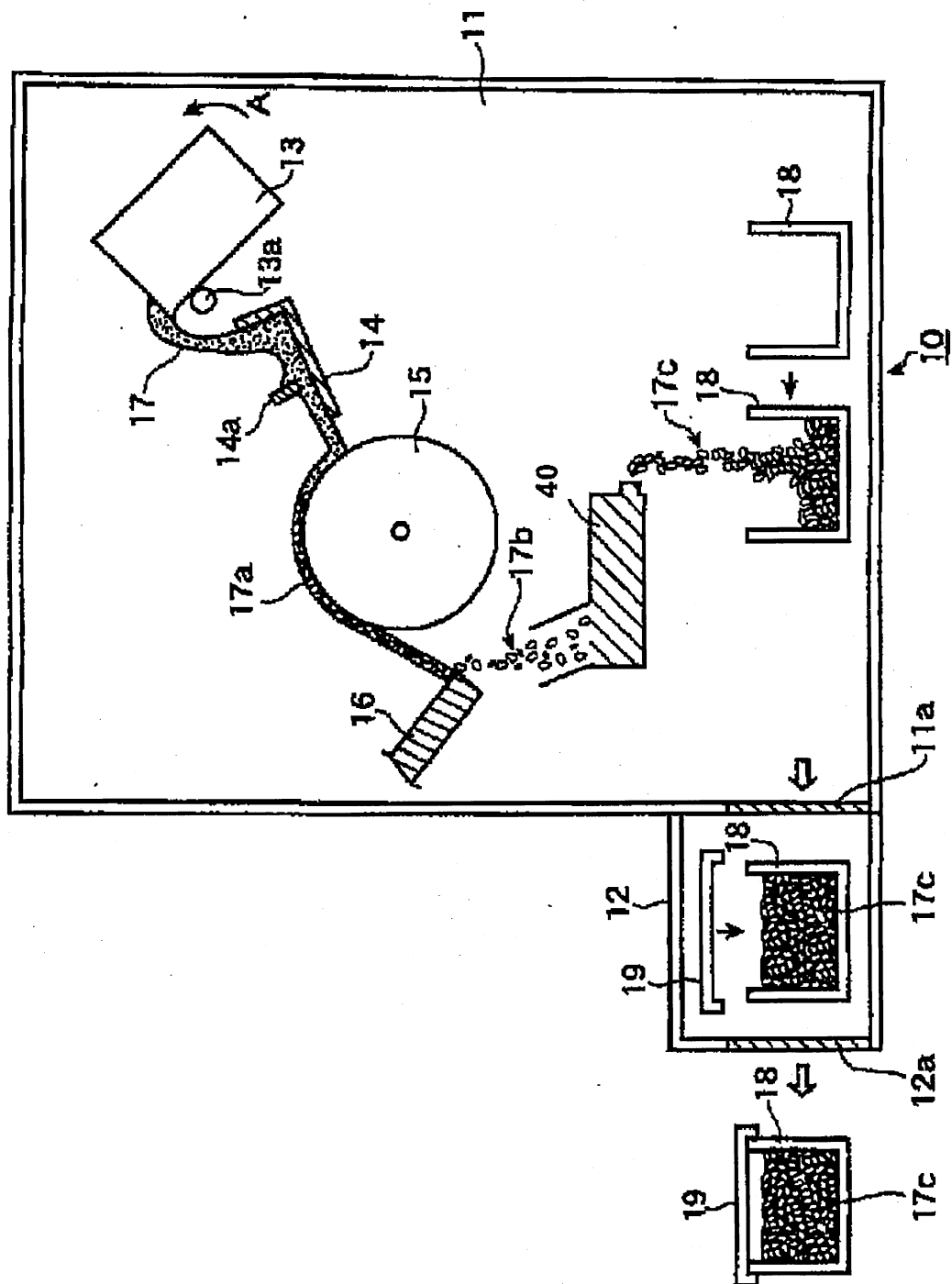


Fig. 1

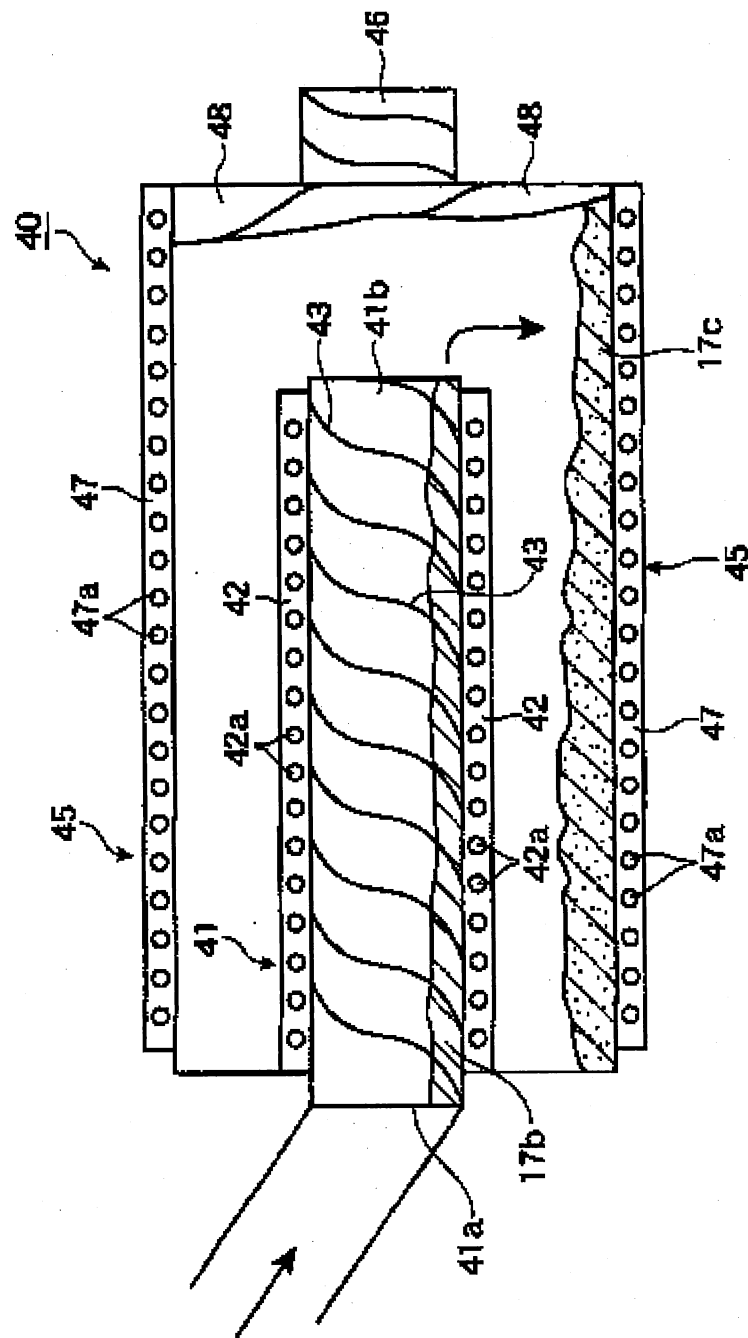


Fig. 2

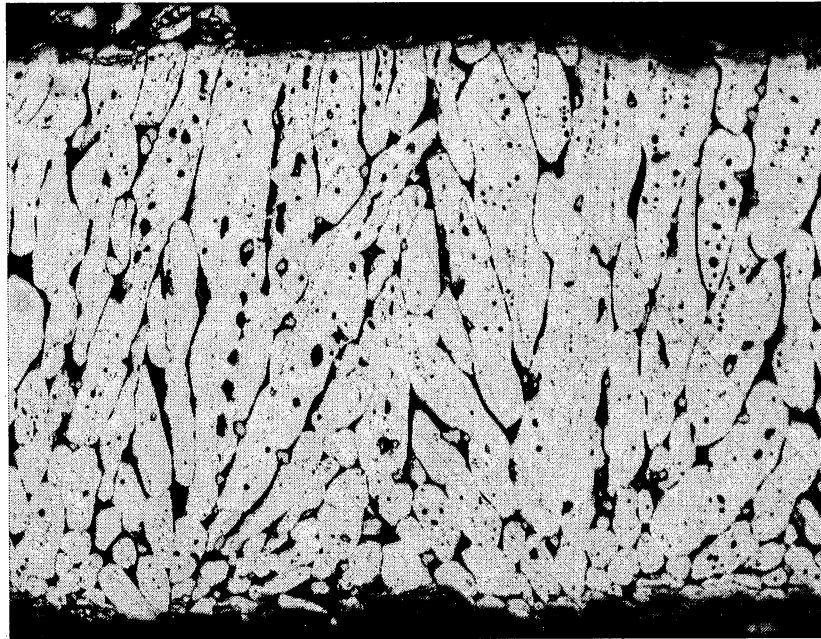


Fig. 3

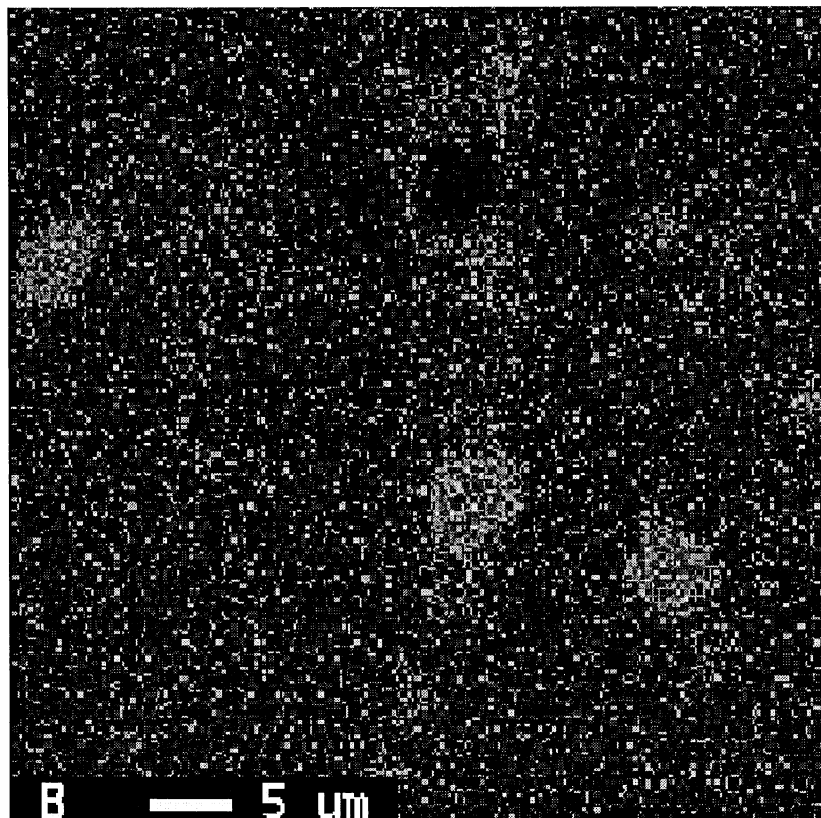


Fig. 4

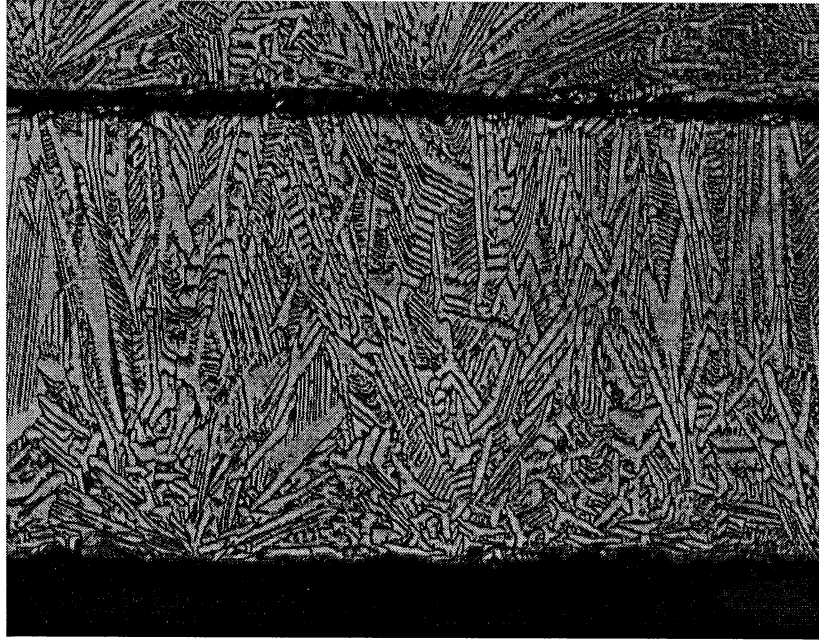


Fig. 5



Fig. 6

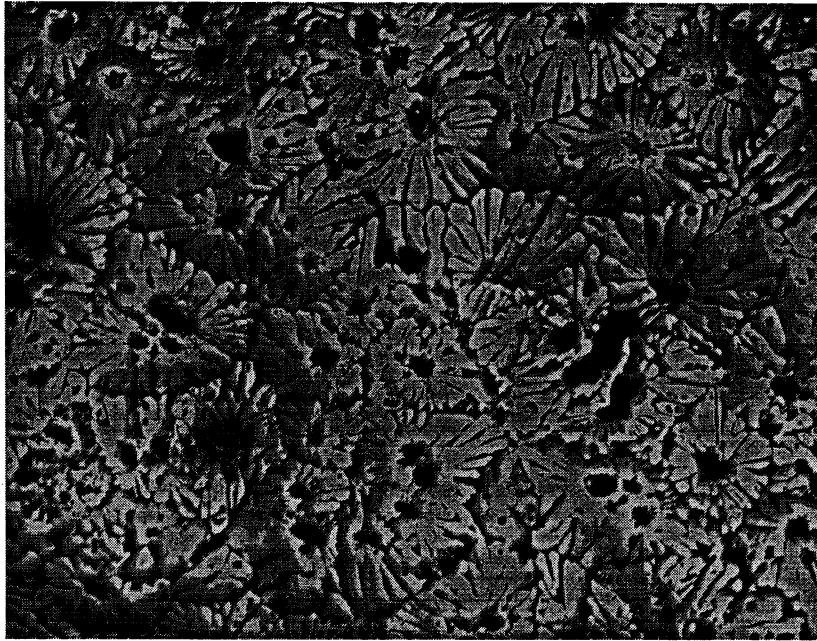


Fig. 7