



(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)



1-0053887

(51)^{2021.01} H01F 1/057; B22F 3/00; C22C 38/00

(13) B

(21) 1-2022-03678

(22) 05/11/2020

(86) PCT/JP2020/041339 05/11/2020

(87) WO2021/095630 20/05/2021

(30) 2019-203966 11/11/2019 JP

(45) 25/11/2025 452

(43) 25/08/2022 413A

(73) SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD. (JP)

4-1, Marunouchi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000005, Japan

(72) YOSHINARI Akihiro (JP); SAKAKI Kazuaki (JP).

(74) Công ty Luật TNHH Phạm và Liên danh (PHAM & ASSOCIATES)

(54) NAM CHÂM THIÊU KẾT LOẠI R-FE-B

(21) 1-2022-03678

(57) Mục đích của sáng chế là đạt được cả mật độ từ thông dư và độ kháng từ cao, đây là các đặc tính thường loại trừ lẫn nhau trong nam châm thiêu kết R-Fe-B. Sáng chế đề xuất nam châm thiêu kết R-Fe-B được đặc trưng bởi thành phần chứa R (R là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ các nguyên tố đất hiếm, nhưng chủ yếu là Nd), B, X (X là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta), và C, với phần còn lại chứa Fe, O, các nguyên tố tùy ý khác và các tạp chất không thể tránh được. Nam châm thiêu kết R-Fe-B cũng được đặc trưng bởi thỏa mãn biểu thức quan hệ (1), trong đó [B], [C], [X] và [O] là phần trăm nguyên tử tương ứng với B, C, X và O.

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,6 \quad (1).$$

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến nam châm thiêu kết đất hiếm loại R-Fe-B, có mật độ từ thông dư được gia tăng, đồng thời triệt tiêu sự suy giảm độ kháng từ.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Phạm vi ứng dụng và khối lượng tạo ra nam châm thiêu kết loại R-Fe-B (dưới đây, đôi khi được gọi là “nam châm Nd”) đang tăng lên hàng năm. Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B là vật liệu chức năng cần thiết và không thể thiếu nhằm tiết kiệm năng lượng và để có nhiều chức năng hơn. Nam châm này được sử dụng, ví dụ, trong động cơ dẫn động và động cơ trợ lực lái cho xe lai điện và ô tô điện, trong động cơ máy nén AC và động cơ cuộn dây dao động (VCM) cho ổ đĩa cứng. Mật độ từ thông dư cao (dưới đây được viết tắt là “Br”) của nam châm thiêu kết loại R-Fe-B là một lợi thế lớn trong các mục đích sử dụng khác nhau trên đây, nhưng cần tăng thêm Br để, ví dụ, giảm kích cỡ của động cơ hơn nữa.

Cho đến nay, các phương pháp đã biết để gia tăng hàm lượng Br trong nam châm thiêu kết loại R-Fe-B bao gồm phương pháp làm giảm hàm lượng R để gia tăng tỷ lệ của pha $R_2Fe_{14}B$ trong nam châm thiêu kết này và phương pháp làm giảm hàm lượng nguyên tố được bổ sung vào dung dịch đặc chứa pha $R_2Fe_{14}B$ và giảm hàm lượng Br.

Tuy nhiên, đã biết rằng việc làm giảm hàm lượng R và các nguyên tố bổ sung khác sẽ làm giảm độ kháng từ (dưới đây được viết tắt là “ H_{cJ} ”), độ kháng từ có ảnh hưởng chặt chẽ đến khả năng chịu nhiệt của nam châm thiêu kết. Cụ thể là, khi hàm lượng nguyên tố R bị suy giảm, trong bước thiêu kết nam châm thiêu kết loại R-Fe-B, trong đó phát sinh sự đông đặc đi kèm với sự hình thành pha lỏng, khả năng thiêu kết giảm đi và cũng có nguy cơ phát triển hạt bất thường. Do đó, để thu được nam châm thiêu kết loại R-Fe-B có đặc tính cao hơn, cần phải thu được Br với hàm lượng cao, đồng thời ngăn chặn sự suy giảm H_{cJ} do suy giảm hàm lượng R và các nguyên tố khác được bổ sung vào. Phương pháp bổ sung các nguyên tố đất hiếm nặng như Dy và Tb để ngăn chặn sự suy giảm H_{cJ} hoặc tăng H_{cJ} là đã biết. Tuy nhiên, do việc bổ sung các nguyên tố này dẫn đến suy giảm

hàm lượng Br và cũng do các nguyên tố đó khan hiếm về mặt tài nguyên và đắt tiền, nên cho đến nay, các phương pháp liên quan đến việc làm giảm hàm lượng Dy, Tb và các nguyên tố đất hiếm nặng khác được sử dụng đã được bộc lộ.

Ví dụ, WO 2013/191276 A1 (Tài liệu sáng chế 1) bộc lộ nam châm thiêu kết, trong đó, bằng cách làm cho hàm lượng bo (B) thấp hơn hàm lượng thành phần hợp thức, bổ sung Ga với lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,0% khối lượng và còn điều chỉnh tỷ lệ khối lượng của B, Nd, Pr, C và Ga sao cho các trị số đối với $[B]/([Nd] + [Pr])$ và $([Ga] + [C])/[B]$ thỏa mãn các hệ thức cụ thể, có thể thu được H_{cJ} cao ngay cả trong các chế phẩm mà lượng nguyên tố đất hiếm nặng như Dy và Tb được sử dụng đã giảm đi.

WO 2004/081954 A1 (Tài liệu sáng chế 2) bộc lộ nam châm thiêu kết có hàm lượng Br với hàm lượng cao hơn, thu được bằng cách thiết lập hàm lượng B thành thành phần tương đối hợp thức và do đó, ngăn chặn sự hình thành pha $R_{1.1}Fe_4B_4$. Ngoài ra, bằng cách bổ sung Ga với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,08% khối lượng, đã ngăn chặn sự kết tủa của pha R_2Fe_{17} mà làm giảm H_{cJ} khi hàm lượng B thấp hơn thành phần phân vị, cho phép đồng thời thu được Br với hàm lượng cao và H_{cJ} cao.

Tài liệu giải pháp kỹ thuật

TÀI LIỆU SÁNG CHẾ

Tài liệu sáng chế 1: WO 2013/191276 A1

Tài liệu sáng chế 2: WO 2004/081954 A1

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

Trong nam châm được bộc lộ trong Tài liệu sáng chế 1, hàm lượng nguyên tố đất hiếm nặng như Dy và Tb được sử dụng trở nên nhỏ hơn tương ứng với việc bổ sung Ga với hàm lượng ít nhất là 0,1% khối lượng, cho phép làm tăng độ từ hóa bão hòa của pha $R_2Fe_{14}B$. Tuy nhiên, với việc bổ sung Ga, độ từ hóa bão hòa của pha $R_2Fe_{14}B$ giảm đi, và do đó, không cần thiết phải tăng đủ hàm lượng Br.

Trong giải pháp kỹ thuật được bộc lộ trong Tài liệu sáng chế 2, mặc dù đã thực sự thu được các đặc tính từ tính tốt khi nam châm thiêu kết loại R-Fe-B chứa O với hàm lượng khoảng 0,4% khối lượng, nhưng phần mô tả mối quan hệ giữa hàm lượng oxy trong nam châm thiêu kết này và các tính chất từ tính là chưa đầy đủ. Ở hàm lượng oxy thấp hơn mức này, cụ thể là ở hàm lượng 0,2% khối lượng hoặc thấp hơn, trạng thái của các đặc tính này thay đổi đáng kể và không phải lúc nào cũng có thể đạt được cả hàm lượng Br với hàm lượng cao và H_{cJ} cao.

Sáng chế nhằm mục đích giải quyết các vấn đề này, mục đích của sáng chế là tạo ra nam châm thiêu kết loại R-Fe-B, bằng cách điều chỉnh và tối ưu hóa tỷ lệ về hàm lượng của các nguyên tố cấu thành trong nam châm này, chứa Br với hàm lượng cao và H_{cJ} ổn định.

Giải quyết vấn đề

Để đạt được mục đích này, các tác giả sáng chế đã thực hiện các nghiên cứu chuyên sâu về nam châm thiêu kết loại R-Fe-B chứa B, C, O và X (trong đó X là một hoặc nhiều nguyên tố thuộc nhóm bao gồm Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta) trong đó, các tác giả sáng chế đã nghiên cứu thành phần nguyên tố của nam châm, bao gồm C và O, chúng thường được coi là tạp chất. Kết quả là, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng bằng cách điều chỉnh hàm lượng B, C, O và X trong phạm vi xác định, có thể thu được nam châm chứa Br với hàm lượng cao và H_{cJ} ổn định. Cuối cùng, sự phát hiện đó đã tạo ra sáng chế này.

Do đó, sáng chế đề xuất nam châm thiêu kết loại R-Fe-B sau đây.

[1] Nam châm thiêu kết R-Fe-B có thành phần chủ yếu là R, với hàm lượng nằm trong khoảng từ 12,5 đến 14,5% (trong đó R là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ các nguyên tố đất hiếm, chứa chủ yếu là Nd), B với hàm lượng nằm trong khoảng từ 5,0 đến 6,5%, X với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,5% (trong đó X là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta) và C với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,6%, thành phần còn lại là Fe, O và các nguyên tố khác, tùy chọn, là các nguyên tố và tạp chất không tránh được, trong đó, giả sử phần trăm

nguyên tử của B, C, X và O lần lượt là [B], [C], [X] và [O], nam châm này thỏa mãn hệ thức (1) dưới đây:

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,6 \quad (1).$$

[2] Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo mục [1], trong đó hàm lượng O nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,8%.

[3] Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo mục [1] hoặc [2], trong đó các nguyên tố tùy chọn bao gồm Co với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,5%, Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,05 đến 0,5% và Al với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 0% đến tối đa là 1,0%.

[4] Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo mục bất kỳ trong số các mục [1] đến [3], trong đó nam châm này chứa Zr dưới dạng X.

[5] Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo mục bất kỳ trong số các mục từ [1] đến [4], trong đó nguyên tố tùy chọn là Ga với hàm lượng nằm trong khoảng từ nhiều hơn 0% và tối đa là 0,1%.

Ưu điểm của sáng chế

Nhờ bước điều chỉnh và tối ưu hóa nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo sáng chế, trong các nguyên tố cấu thành thành phần của nam châm, tỷ lệ về hàm lượng B, C, O và X (một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta), có thể đạt được cả hàm lượng Br với hàm lượng cao và H_{cJ} cao, cho đến nay, các đặc tính này vẫn là các đặc tính xung khắc lẫn nhau.

Mô tả vắn tắt hình vẽ kèm theo

[FIG. 1] FIG. 1 là biểu đồ thể hiện mối quan hệ giữa $[B]+[C]-2 \times [X]$ và [O] trong nam châm theo Ví dụ 1 đến 5 và các Ví dụ so sánh từ 1 đến 6.

Mô tả chi tiết sáng chế

Như đã nêu trên đây, nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo sáng chế chứa, thành phần cơ bản là R với hàm lượng nằm trong khoảng từ 12,5 đến 14,5% (trong đó R là một

hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ các nguyên tố đất hiếm, chứa chủ yếu là Nd), B với hàm lượng nằm trong khoảng từ 5,0 đến 6,5%, X với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,5% (trong đó X là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta), và C với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,6%, thành phần còn lại là Fe, O và các nguyên tố khác, tùy chọn, là các nguyên tố và tạp chất không tránh được.

Như đã nêu trên đây, nguyên tố cấu thành R trong nam châm thiêu kết theo sáng chế là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ các nguyên tố đất hiếm, chứa chủ yếu là Nd. Tốt hơn là các nguyên tố đất hiếm khác với Nd là Pr, La, Ce, Gd, Dy, Tb và Ho, tốt hơn là Pr, Dy và Tb, và tốt hơn là Pr. Tốt hơn nếu hàm lượng nguyên tố cấu thành Nd ít nhất là 60% nguyên tử, và cụ thể là ít nhất 70% nguyên tử trong R tổng số.

Như đã nêu trên đây, hàm lượng R nằm trong khoảng từ 12,5 đến 14,5% nguyên tử, và tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 12,8 đến 14,0% nguyên tử. Ở hàm lượng R thấp hơn 12,5% nguyên tử, α -Fe kết tinh trong hợp kim ban đầu; ngay cả khi đồng nhất hóa, việc loại bỏ α -Fe là rất khó, dẫn đến H_{cJ} và tính chất để tạo thành góc vuông của nam châm thiêu kết loại R-Fe-B suy giảm mạnh. Ngay cả nếu hợp kim ban đầu được tạo ra bằng cách đúc dải, trong đó α -Fe khó kết tinh do xảy ra sự kết tinh của α -Fe nên H_{cJ} và độ bền của nam châm thiêu kết kiểu R-Fe-B sẽ giảm đi rất nhiều. Ngoài ra, vì hàm lượng pha lỏng chủ yếu bao gồm thành phần R, đây là thành phần có vai trò thúc đẩy sự đông đặc trong quá trình thiêu kết giảm đi nên độ đặc của nam châm thiêu kết loại R-Fe-B là không đủ. Mặt khác, khi hàm lượng R lớn hơn 14,5% nguyên tử, mặc dù không có vấn đề gì trong quá trình sản xuất nhưng tỷ lệ của pha $R_2Fe_{14}B$ trong nam châm thiêu kết trở nên thấp hơn, làm giảm Br.

Như đã nêu trên đây, nam châm thiêu kết theo sáng chế chứa Bo (B) với hàm lượng nằm trong khoảng từ 5,0 đến 6,5% nguyên tử. Tốt hơn nữa nếu hàm lượng này nằm trong khoảng từ 5,1 đến 6,1% nguyên tử, và còn tốt hơn nữa nếu nằm trong khoảng từ 5,2 đến 5,9% nguyên tử. Theo sáng chế, hàm lượng B, cùng với hàm lượng C và X được mô tả dưới đây, là yếu tố xác định phạm vi hàm lượng oxy cần thiết để thu được H_{cJ} ổn định. Với

hàm lượng B thấp hơn 5,0% nguyên tử, tỷ lệ của pha $R_2Fe_{14}B$ được tạo thành là thấp và Br giảm đáng kể; đồng thời, pha R_2Fe_{17} hình thành, làm giảm H_{CJ} . Mặt khác, khi hàm lượng B cao hơn 6,5% nguyên tử, sẽ tạo thành pha giàu B và tỉ lệ pha $R_2Fe_{14}B$ trong nam châm sẽ giảm đi, dẫn đến hàm lượng Br giảm xuống.

Như đã nêu trên đây, nguyên tố X trong nam châm thiêu kết theo sáng chế là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta. Bằng cách đưa các nguyên tố này vào, sự phát triển bất thường của hạt trong quá trình thiêu kết có thể bị ngăn chặn do tạo thành pha X-B. Mặc dù không bị giới hạn cụ thể nhưng Zr nên là ít nhất một trong các nguyên tố X được đưa vào.

Như đã nêu trên đây, hàm lượng X nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,5% nguyên tử, và tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,05 đến 0,3% nguyên tử, và tốt hơn nữa nằm trong khoảng từ 0,07 đến 0,2% nguyên tử. Không thể có được tác dụng ngăn chặn sự phát triển bất thường của các hạt tinh thể trong quá trình thiêu kết nếu hàm lượng X thấp hơn 0,02% nguyên tử. Mặt khác, khi hàm lượng X cao hơn 0,5% nguyên tử, pha X-B tạo thành và hàm lượng B có sẵn cho sự hình thành pha $R_2Fe_{14}B$ sẽ giảm đi, có thể tạo ra lượng Br thấp hơn do tỷ lệ pha $R_2Fe_{14}B$ giảm đi, do đó, dẫn đến H_{CJ} sụt giảm mạnh để tạo ra pha R_2Fe_{17} .

Như đã nêu trên đây, hàm lượng cacbon trong nam châm thiêu kết theo sáng chế nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,6% nguyên tử, và tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,2 đến 1,0% nguyên tử. Vì cacbon có nguồn gốc từ, ví dụ, nguyên liệu thô và chất bôi trơn được bổ sung vào để gia tăng tính định hướng của bột trong quá trình nén trong từ trường, nên rất khó để thu được nam châm thiêu kết loại R-Fe-B có hàm lượng cacbon nhỏ hơn 0,1% nguyên tử. Mặt khác, khi hàm lượng cacbon cao hơn 1,6% nguyên tử, nhiều pha R-C có trong nam châm thiêu kết, làm cho H_{CJ} giảm rõ rệt.

Nam châm thiêu kết theo sáng chế chứa R, B và C với hàm lượng xác định trước, như được chỉ ra trên đây, còn lại là Fe, O, nguyên tố khác, tùy chọn, là các nguyên tố và tạp chất không tránh được. Giả sử phần trăm nguyên tử của B, C, X và O lần lượt là [B],

[C], [X] và [O], hàm lượng O theo sáng chế nằm trong khoảng thỏa mãn hệ thức (1) sau đây:

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,6 \quad (1).$$

Tức là, trong thành phần của nam châm thiêu kết theo sáng chế, mặc dù phạm vi hàm lượng O thay đổi theo các hàm lượng [B], [C] và [X] trên đây, nhưng hàm lượng oxy thấp hơn 0,1% nguyên tử có thể gây khó khăn về mặt tạo ra nam châm, tốt hơn nếu hàm lượng O nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,8% nguyên tử, tốt hơn nữa nếu nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,7% nguyên tử, và còn thỏa mãn hệ thức (1) trên đây. Hàm lượng O là nguyên tố có tính quyết định theo sáng chế. Nếu hàm lượng O bằng hoặc nhỏ hơn về trái ($0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,9$) của hệ thức (1) trên đây thì H_{cJ} sẽ giảm. Nếu hàm lượng O bằng hoặc lớn hơn về phải ($0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,6$) của hệ thức (1) thì H_{cJ} sẽ giảm.

Như đã nêu trên đây, ngoài các nguyên tố R, B, X, C, Fe và O được mô tả trên đây, nam châm thiêu kết theo sáng chế còn có thể bao gồm các nguyên tố như Co, Cu, Al, Ga, và N, tùy chọn.

Từ quan điểm về việc đạt được nhiệt độ Curie cao hơn và các tác dụng cải thiện khả năng chống ăn mòn nhờ chứa Co, tốt hơn nếu hàm lượng Co ít nhất là 0,1% nguyên tử và tốt hơn nữa nếu ít nhất là 0,5% nguyên tử. Từ quan điểm về việc thu được H_{cJ} cao một cách ổn định, tốt hơn nếu hàm lượng Co không lớn hơn 3,5% nguyên tử và tốt hơn là không lớn hơn 2,0% nguyên tử.

Từ quan điểm về việc đạt được khoảng nhiệt độ tối ưu trong quá trình xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp sau thiêu kết được thực hiện một cách thích hợp để đảm bảo năng suất tốt, tốt hơn nếu hàm lượng Cu là 0,05% nguyên tử và tốt hơn nếu ít nhất là 0,1% nguyên tử. Từ quan điểm về việc đạt được tính liên kết tốt và từ tính cao (Br , H_{cJ}), tốt hơn là hàm lượng Cu không lớn hơn 0,5% nguyên tử, và tốt hơn là không lớn hơn 0,3% nguyên tử.

Từ quan điểm về việc thu được đủ H_{CJ} , tốt hơn nếu hàm lượng Al lớn hơn 0% nguyên tử, và tốt hơn nữa nếu ít nhất là 0,05% nguyên tử. Từ quan điểm về việc thu được Br với hàm lượng cao, tốt hơn là hàm lượng Al không lớn hơn 1,0% nguyên tử và tốt hơn là không lớn hơn 0,5% nguyên tử. Ngoài ra, từ quan điểm tương tự, tốt hơn là hàm lượng Ga lớn hơn 0% nguyên tử và không lớn hơn 0,1% nguyên tử, và tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,05 đến 0,1% nguyên tử. Ngoài ra, từ quan điểm về việc thu được H_{CJ} cao, tốt hơn là hàm lượng N không lớn hơn 0,7% nguyên tử.

Ngoài các nguyên tố này, cho phép đưa tạp chất không tránh được, ví dụ, các nguyên tố như H, F, Mg, P, S, Cl, Ca, Mn và Ni vào nam châm thiêu kết theo sáng chế sao cho tổng hàm lượng tạp chất không tránh được không lớn hơn 0,1% khối lượng, tính theo tổng nguyên tố thành phần nêu trên của nam châm này và các tạp chất không tránh được, mặc dù tốt hơn nếu hàm lượng tạp chất không tránh được là thấp.

Như đã nêu trên đây, nam châm thiêu kết theo sáng chế, có thành phần được điều chỉnh sao cho hàm lượng O thỏa mãn hệ thức (1) trên đây. Tức là, giả sử phần trăm nguyên tử của B, C, X và O lần lượt là [B], [C], [X] và [O], nam châm thiêu kết này thỏa mãn hệ thức (1) dưới đây:

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,6 \quad (1).$$

Bằng cách thỏa mãn hệ thức này, có thể đạt được cả Br với hàm lượng cao và H_{CJ} ổn định. Mặc dù lý do cho điều này là không hoàn toàn rõ ràng, nhưng được phỏng đoán như sau: Đã biết rằng một số B trong hợp chất $R_2Fe_{14}B$ có thể được thay thế bằng C, nhưng C thường tạo thành pha tạp chất R-O-C ở đường giao nhau ba ranh giới hạt kết tinh và về cơ bản không góp phần hình thành pha chính. Mặt khác, khi cố gắng thu được Br với hàm lượng cao bằng cách giảm hàm lượng R theo sáng chế, cần phải làm giảm hàm lượng tạp chất O để thúc đẩy quá trình thiêu kết pha lỏng. Trong điều kiện hàm lượng oxy thấp như vậy, các tác giả sáng chế cho rằng có thể hàm lượng thành phần pha R-O-C giảm đi và do đó, một số C dễ dàng hình thành $R_2Fe_{14}C$. Ngoài ra, trong nam châm thiêu kết chủ yếu tạo thành hợp chất XB_2 , hợp chất này ngăn chặn sự phát triển hạt bất thường

của hạt tinh thể trong quá trình thiêu kết và cũng có tác dụng làm giảm hàm lượng pha $R_2Fe_{14}B$ hình thành do B và C. Tức là, hàm lượng nguyên tử B và C thực sự góp phần hình thành pha $R_2Fe_{14}B$ có thể được biểu thị bằng $([B] + [C] - 2 \times [X])$. Do đó, các tác giả sáng chế nhận ra rằng hàm lượng các nguyên tử B, C, X và O đóng một phần vai trò trong việc hình thành pha $R_2Fe_{14}B$ và bằng cách tối ưu hóa hệ thức giữa $([B] + [C] - 2 \times [X])$ và $[O]$, đã đạt được cả Br với hàm lượng cao và H_{cJ} cao. Hàm lượng nguyên tử O có thể được điều chỉnh trong bước nghiền thành bột, trong đó hợp kim ban đầu được nghiền thành bột để thu được bột hợp kim mịn, như được thực hiện trong các Ví dụ được mô tả dưới đây.

Tiếp theo, phương pháp tạo ra nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo sáng chế sẽ được mô tả.

Về cơ bản, các bước được thực hiện khi tạo ra nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo sáng chế giống như các bước được sử dụng trong phương pháp thiêu kết bột thông thường và không có giới hạn cụ thể. Các bước này thường bao gồm bước nấu chảy, làm nóng chảy nguyên liệu thô để thu được hợp kim ban đầu, bước nghiền bột để nghiền hợp kim ban đầu chứa thành phần đã xác định trước để tạo ra bột hợp kim mịn, bước ép để ép bột hợp kim mịn trong từ trường để tạo ra dạng nén và bước xử lý bằng nhiệt trong đó xử lý dạng nén bằng nhiệt để tạo thành thể thiêu kết.

Trong bước nấu chảy, kim loại hoặc hợp kim đóng vai trò là các nguồn nguyên tố khác nhau được cân để tạo ra thành phần xác định trước được mô tả trên đây trong sáng chế, và nguyên liệu này được làm nóng chảy, ví dụ, bằng cách gia nhiệt cao tần và sau đó, được làm nguội để tạo ra hợp kim ban đầu. Bước đúc hợp kim ban đầu thường được thực hiện bằng phương pháp đúc nóng chảy, trong đó hợp kim nóng chảy được đúc trong khuôn đúc phẳng hoặc khuôn đúc có khớp bản lề, hoặc phương pháp đúc dải. Ngoài ra, có thể sử dụng phương pháp hai hợp kim theo sáng chế, trong đó hợp kim có thành phần gần với thành phần hợp chất $R_2Fe_{14}B$ đóng vai trò là pha hợp kim loại R-Fe-B chính và hợp kim giàu R đóng vai trò là chất trợ pha lỏng ở nhiệt độ thiêu kết được tạo ra riêng biệt, sau

đó, các hợp kim này được nghiền thành bột thô và sau đó, được cân và trộn với nhau. Tuy nhiên, trong hợp kim gần với thành phần pha chính, tùy thuộc vào tốc độ làm nguội trong quá trình đúc và thành phần hợp kim, pha α -Fe có xu hướng kết tinh. Do đó, để vi kết cấu đồng đều và loại bỏ pha α -Fe khi cần, tốt hơn nếu thực hiện xử lý đồng nhất hóa trong ít nhất một giờ ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700°C đến 1.200°C trong chân không hoặc khí argon. Khi hợp kim có thành phần gần với thành phần pha chính được tạo ra bằng phương pháp đúc dải, có thể bỏ qua phương pháp đồng nhất hóa. Đối với việc sản xuất hợp kim giàu R dùng làm chất trợ pha lỏng, ngoài phương pháp đúc trên đây, cũng có thể sử dụng phương pháp tôi chất lỏng.

Bước nghiền thành bột có thể là bước nhiều giai đoạn, bao gồm, ví dụ, bước nghiền thô và bước nghiền mịn. Ví dụ, có thể sử dụng máy nghiền nhai, máy nghiền Braun, máy nghiền ghim hoặc máy nghiền hydro trong bước nghiền thô. Khi hợp kim được tạo ra bằng cách đúc dải, bột thô đã được nghiền thành bột thô đến kích cỡ, ví dụ, nằm trong khoảng từ 0,05 đến 3 mm, cụ thể là nằm trong khoảng từ 0,05 đến 1,5 mm, thường có thể thu được bằng cách sử dụng máy nghiền hydro. Trong bước nghiền mịn, bột thô thu được trong bước nghiền thô được nghiền mịn thành hạt có kích cỡ, ví dụ, từ 0,2 đến 30 μm , và cụ thể là từ 0,5 đến 20 μm , bằng cách sử dụng phương pháp như nghiền nén khí. Trong một trong hai hoặc cả hai bước nghiền thô và nghiền mịn đối với hợp kim ban đầu, nếu cần, có thể điều chỉnh hàm lượng cacbon đến phạm vi xác định trước bằng cách bổ sung chất phụ gia như chất bôi trơn. Tốt hơn nếu thực hiện các bước nghiền thô và nghiền thành bột mịn đối với hợp kim ban đầu trong môi trường khí như khí nitơ hoặc khí argon. Hàm lượng oxy có thể được điều chỉnh đến phạm vi xác định trước bằng cách kiểm soát hàm lượng oxy trong khí quyển.

Trong bước ép, bột hợp kim được nén chặt bằng máy ép nén trong khi sử dụng từ trường nằm trong khoảng từ 400 đến 1.600 kA/m và định hướng bột theo hướng từ hóa đơn giản. Tốt hơn là mật độ của vật liệu nén được đặt tại thời điểm này nằm trong khoảng từ 2,8 đến 4,2 g/cm³. Để đảm bảo độ bền của khối rắn và đạt được khả năng xử lý tốt, tốt hơn nếu đặt khối lượng riêng của khối rắn ít nhất là 2,8 g/cm³. Mặt khác, để thu được Br

thích hợp bằng cách đảm bảo các hạt định hướng tốt trong quá trình sử dụng áp suất trong khi đạt được cường độ nén thích hợp, tốt hơn nếu hàm lượng riêng của khối rắn được đặt ở mức không lớn hơn $4,2\text{g/cm}^3$. Để ngăn chặn quá trình oxy hóa của bột hợp kim mịn, tốt hơn nếu thực hiện bước ép trong môi trường khí như khí nitơ hoặc khí argon.

Trong bước xử lý nhiệt, thiêu kết chất rắn thu được ở bước ép trong môi trường không oxy hóa như chân không cao hoặc khí argon. Tốt hơn là thực hiện bước thiêu kết bằng cách giữ khối rắn trong thời gian từ 0,5 đến 5 giờ ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 950°C đến 1.200°C . Khi kết thúc bước thiêu kết, có thể thực hiện bước làm mát bằng cách dập tắt khí (tốc độ làm mát, $\geq 20^\circ\text{C/phút}$), làm mát có kiểm soát (tốc độ làm mát, $1-20^\circ\text{C/phút}$) hoặc làm mát lò, từ tính của nam châm thiêu kết loại R-Fe-B thu được tương tự trong từng trường hợp.

Sau quá trình xử lý bằng nhiệt trên đây đối với quá trình thiêu kết, mặc dù không có giới hạn cụ thể, nhưng có thể thực hiện bước xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ thiêu kết để gia tăng H_{cJ} . Quá trình xử lý bằng nhiệt sau thiêu kết này có thể được thực hiện như bước xử lý bằng nhiệt hai giai đoạn, bao gồm bước xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ cao và xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp, hoặc bước xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp có thể được thực hiện một mình. Trong bước xử lý bằng nhiệt sau thiêu kết này, tốt hơn nếu thể thiêu kết được xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 600°C đến 950°C ở bước xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ cao, và tốt hơn nếu được xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 400°C đến 600°C ở bước xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp. Bước làm mát tại thời điểm này cũng có thể được thực hiện bằng cách làm mát bằng không khí (tốc độ làm mát, $\geq 20^\circ\text{C/phút}$), làm mát có kiểm soát (tốc độ làm mát, $1-20^\circ\text{C/phút}$) hoặc làm mát lò, nam châm thiêu kết loại R-Fe-B có từ tính tương tự bằng phương pháp làm mát bất kỳ trong số các phương pháp này.

Gia công nam châm thiêu kết loại R-Fe-B thu được thành hình dạng xác định trước và bột chứa một hoặc nhiều loại bột được chọn từ R^1 oxit, R^2 florua, R^3 axit florua, R^4 hydroxit, R^5 carbonat và carbonat bazơ của R^6 (R^1 đến R^6 là một hoặc nhiều chất được chọn từ nguyên tố đất hiếm; các nguyên tố này có thể là giống nhau hoặc có thể khác

nhau) được phủ hoặc sơn lên bề mặt nam châm, sau đó quá trình xử lý bằng nhiệt có thể được thực hiện ở trạng thái mà bột đã được tạo ra trên bề mặt nam châm. Phương pháp xử lý này được gọi là phương pháp khuếch tán qua biên hạt. Nhiệt độ xử lý bằng nhiệt khuếch tán qua biên hạt là nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ thiêu kết và tốt hơn nếu ít nhất là 350°C . Thời gian xử lý bằng nhiệt không bị giới hạn cụ thể, mặc dù để thu được nam châm thiêu kết có cấu trúc và từ tính tốt, tốt hơn là thời gian xử lý bằng nhiệt nằm trong khoảng từ 5 phút đến 80 giờ, và tốt hơn là nằm trong khoảng từ 10 phút đến 50 giờ. Bước xử lý khuếch tán qua biên hạt này làm cho R^1 đến R^6 có trong bột khuếch tán trong nam châm, cho phép gia tăng H_{cJ} . Để thuận tiện, các nguyên tố đất hiếm được đưa vào bằng phương pháp khuếch tán qua biên hạt trên đây được gọi là R^1 đến R^6 . Tuy nhiên, sau khi khuếch tán qua biên hạt, tất cả chúng đều được bao bọc bởi thành phần R trong nam châm theo sáng chế.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, sáng chế được minh họa đầy đủ hơn bằng các Ví dụ và ví dụ so sánh, mặc dù sáng chế không bị giới hạn bởi các Ví dụ này.

[Ví dụ 1, Ví dụ so sánh 1]

Ruy băng hợp kim được tạo ra bằng phương pháp đúc dải, trong đó nguyên liệu thô được nấu chảy bằng lò cảm ứng cao tần trong môi trường khí argon để tạo ra hợp kim nóng chảy chứa Nd với lượng 30,0% khối lượng, Co với lượng 1,0% khối lượng, B với lượng 0,9% khối lượng, Al với lượng 0,2% khối lượng, Cu với lượng 0,2% khối lượng, Zr với lượng 0,1% khối lượng, và Ga với lượng 0,1% khối lượng, còn lại là Fe, và hợp kim nóng chảy được làm nguội trên cuộn đồng được làm mát bằng nước. Tiếp theo, ruy băng hợp kim đã tạo ra được nghiền thô bằng máy nghiền hydro để tạo ra bột thô, sau đó, chất bôi trơn, axit stearic với lượng 0,1% khối lượng được bổ sung vào và trộn vào bột thô. Sau đó, hỗn hợp bao gồm bột thô và chất bôi trơn được nghiền mịn bằng máy nghiền phản lực trong khí nitơ để tạo ra bột mịn có kích cỡ hạt trung bình khoảng $3,5\mu\text{m}$. Tại thời điểm này, hàm lượng oxy được điều chỉnh bằng cách cài đặt hàm lượng oxy trong thiết bị nghiền phản lực thành 0ppm (Ví dụ 1) và 50ppm (Ví dụ so sánh 1). Tiếp theo, bột

mịn được đưa vào khuôn trong khí nitơ của máy nén bột được gắn nam châm điện và được định hướng trong từ trường 15 kOe (1,19 MA/m), được ép theo hướng vuông góc với từ trường. Thiêu kết khối rắn thu được trong chân không ở 1.050°C trong 3 giờ và sau đó được làm nguội xuống 200°C hoặc thấp hơn, sau đó, thực hiện xử lý bằng nhiệt trong 2 giờ ở nhiệt độ cao ở 900°C và 3 giờ xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp ở 500°C để tạo ra thể thiêu kết. Mỗi thể thiêu kết thu được có thành phần như sau: Nd với lượng 13,5% nguyên tử; Co với lượng 1,1% nguyên tử; B với lượng 5,5% nguyên tử; Al với lượng 0,5% nguyên tử; Cu với lượng 0,2% nguyên tử; Zr với lượng 0,07% nguyên tử; Ga với lượng 0,1% nguyên tử; C với lượng 0,4% nguyên tử ; O, xem Bảng 1; và còn lại là Fe. Nguyên tố kim loại được đo lường bằng phương pháp cảm ứng cao tần ghép khối phổ (inductively coupled plasma mass spectrometry - ICP-OES), cacbon được đo lường bằng phương pháp hấp thụ hồng ngoại đốt cháy và oxy được đo lường bằng phương pháp hấp thụ hồng ngoại khí trơ.

Cắt phần lõi của mỗi thể thiêu kết thu được thành hình chữ nhật có kích cỡ là 18 mm×15 mm×12 mm để thu được nam châm thiêu kết, và từ tính (B_r , H_{cJ}) của mỗi nam châm thiêu kết được đo bằng cách sử dụng chất đánh dấu B-H. Bảng 1 thể hiện phần trăm nguyên tử B, Zr, C và O ([B], [Zr], [C], [O]) tương ứng và các trị số từ tính (B_r , H_{cJ}) của nam châm thiêu kết trong Ví dụ 1 và Ví dụ so sánh 1. "Phạm vi [O] hiệu quả trong Ví dụ 1, Ví dụ so sánh 1" trong bảng này đề cập đến phạm vi của các trị số của [O] thỏa mãn hệ thức (1') sau đây đối với [B], [C], [Zr] và [O]:

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [Zr]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [Zr]) - 4,6 \quad (1').$$

[Bảng 1]

	[B] (% nguyên tử)	[Zr] (% nguyên tử)	[C] (% nguyên tử)	[O] (% nguyên tử)	Phạm vi [O] hiệu quả trong Ví dụ 1, Ví dụ so sánh 1 (% nguyên tử)	Br (T)	H _{cJ} (kA/m)
Ví dụ 1	5,5	0,07	0,4	0,22	0,05 đến 0,35	1,46	1,130
Ví dụ so sánh 1	5,5	0,07	0,4	0,60		1,46	700

Như được thể hiện trong Bảng 1, nam châm thiêu kết thu được trong Ví dụ 1 mà thỏa mãn điều kiện theo sáng chế (hệ thức (1' trên đây)) có đặc tính H_{cJ} cao hơn rõ rệt so với nam châm thiêu kết thu được trong Ví dụ so sánh 1.

[Các Ví dụ 2-5, các Ví dụ so sánh 2-6]

Ngoài việc điều chỉnh hàm lượng kim loại dùng làm nguyên liệu thô để tạo ra thành phần xác định trước, việc tạo ra ruy băng hợp kim, máy nghiền hydro và chất phụ gia của chất bôi trơn chứa bột thô được thực hiện theo phương pháp tương tự như trong Ví dụ 1. Tiếp theo, mỗi hỗn hợp bao gồm bột thô và chất bôi trơn được nghiền thành bột trong khí nitơ bằng máy nghiền phản lực, tạo ra bột mịn có kích cỡ hạt trung bình khoảng 3,5μm. Tại thời điểm này, bước điều chỉnh hàm lượng oxy được thực hiện bằng cách điều chỉnh hàm lượng oxy một cách thích hợp trong máy nghiền nén khí. Nén và xử lý bằng nhiệt đối với bột mịn được tạo ra bằng phương pháp tương tự như trong Ví dụ 1 để tạo ra thể thiêu kết. Phân tích thành phần của thể thiêu kết thu được và đã tìm thấy: Nd với lượng 13,5 % nguyên tử; Co với lượng 1,1% nguyên tử; B, xem Bảng 2; Al với lượng 0,5% nguyên tử; Cu với lượng 0,2% nguyên tử; Zr với lượng 0,07% nguyên tử; Ga với lượng 0,1% nguyên tử; C với lượng 0,4% nguyên tử; O, xem Bảng 2; còn lại là Fe.

Phân lõi của mỗi thể thiêu kết thu được trong Ví dụ 2-5 và các Ví dụ so sánh 2-6 được cắt thành hình hộp chữ nhật có kích cỡ 18 mmx15 mmx12 mm để tạo ra nam châm

thieu kết, và từ tính (Br , H_{cJ}) của mỗi nam châm thieu kết được đo bằng chất đánh dấu B-H. Bảng 2 thể hiện phần trăm nguyên tử B, Zr, C và O ($[B]$, $[Zr]$, $[C]$, $[O]$) tương ứng và các trị số từ tính (Br , H_{cJ}) đối với mỗi nam châm thieu kết này. “Phạm vi $[O]$ hiệu quả” trong bảng đề cập đến phạm vi của các trị số của $[O]$ thỏa mãn hệ thức (1') trên đây đối với $[B]$, $[C]$, $[Zr]$ và $[O]$.

[Bảng 2]

	[B] (% nguyên tử)	[Zr] (% nguyên tử)	[C] (% nguyên tử)	[O] (% nguyên tử)	Phạm vi $[O]$ hiệu quả (% nguyên tử)	Br (T)	H_{cJ} (kA/m)
Ví dụ 2	5,7	0,07	0,4	0,27	0,23 đến 0,53	1,46	1,060
Ví dụ so sánh 2	5,7	0,07	0,4	0,80		1,47	880
Ví dụ so sánh 3	5,9	0,07	0,4	0,31	0,48 đến 0,78	1,45	960
Ví dụ 3	5,9	0,07	0,4	0,59		1,46	1,030
Ví dụ so sánh 4	5,9	0,07	0,4	0,98		1,47	900
Ví dụ so sánh 5	6,1	0,07	0,4	0,42	0,57 đến 0,87	1,45	990
Ví dụ 4	6,1	0,07	0,4	0,72		1,46	1,050
Ví dụ 5	6,1	0,07	0,4	0,81		1,46	1,020
Ví dụ so sánh 6	6,1	0,07	0,4	1,10		1,47	880

Như được thể hiện trong Bảng 2, nam châm thieu kết trong các Ví dụ 2-5 mà thỏa mãn điều kiện theo sáng chế (hệ thức (1' trên đây)) có trị số H_{cJ} cao hơn so với nam châm thieu kết trong các Ví dụ so sánh 2-6.

Biểu đồ trong FIG. 1 thể hiện hệ thức này, dựa trên các kết quả được thể hiện trong Bảng 1 và 2, giữa $([B] + [C] - 2 \times [Zr])$ và $[O]$ đối với nam châm trong các Ví dụ 1 - 5 và các Ví dụ so sánh 1-6. Dễ thấy từ các Bảng 1 và 2 và FIG. 1, trong khoảng mà hàm lượng oxy thỏa mãn hệ thức (1') dưới đây:

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [Zr]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [Zr]) - 4,6 \quad (1'),$$

thu được Br với hàm lượng cao và H_{cJ} cao, từ 1.000 kA/m hoặc lớn hơn. Tức là, nam châm thiêu kết có H_{cJ} ổn định thì thỏa mãn hệ thức (1') trên đây. Khi hàm lượng nguyên tử oxy cao hơn ($0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [Zr]) - 4,6$), thì sự phong phú của Bo và cacbon góp phần tạo thành pha $R_2Fe_{14}B$ là không tương quan với thành phần cơ bản có công thức $R_2Fe_{14}B$ và, có lẽ, H_{cJ} suy giảm mạnh trên lượng thành phần của pha R_2Fe_{17} . Mặt khác, khi hàm lượng nguyên tử oxy thấp hơn ($0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [Zr]) - 4,9$), thì sự phong phú của Bo và cacbon góp phần hình thành pha $R_2Fe_{14}B$ là dư thừa so với thành phần cơ bản có công thức $R_2Fe_{14}B$ và, có lẽ, pha khác bao gồm các dạng R, Fe và B làm giảm trị số H_{cJ} . Hàm lượng nguyên tử oxy có thể được điều chỉnh trong bước nghiền thành bột, trong đó bột hợp kim mịn thu được bằng cách nghiền hợp kim ban đầu.

[Các Ví dụ 6 - 9]

Ngoài việc điều chỉnh lượng kim loại được dùng làm nguyên liệu ban đầu được sử dụng, trong đó Nd với lượng 30,0% khối lượng, Co với lượng 1,0% khối lượng, B với lượng 0,9% khối lượng, Al với lượng 0,2% khối lượng, Cu với lượng 0,2% khối lượng, Zr với lượng 0,1% khối lượng, và Ga với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,3% khối lượng, còn lại là Fe, ruy băng hợp kim được sản xuất theo phương pháp tương tự như trong Ví dụ 1. Tiếp theo, ruy băng hợp kim này được nghiền bằng máy nghiền hydro để tạo ra bột thô, sau đó bổ sung chất bôi trơn là axit stearic với lượng 0,1% khối lượng và trộn với bột thô này. Sau đó, hỗn hợp bột thô và chất bôi trơn được nghiền mịn bằng máy nghiền phản lực trong khí nitơ để tạo ra bột mịn có kích cỡ hạt trung bình khoảng 3,5 μm . Tại thời điểm này, hàm lượng oxy trong hệ thống máy nghiền phản lực được đặt thành 0ppm. Do đó, bột mịn được tạo ra sau đó được ép và xử lý bằng nhiệt theo phương pháp tương tự như trong Ví dụ 1, tạo ra thể thiêu kết trong các Ví dụ 6 - 9. Xác định thành phần của mỗi thể thiêu kết thu được bằng phương pháp tương tự như trong Ví dụ 1 và đã tìm thấy: Nd với lượng 13,5% nguyên tử; Co với lượng 1,1% nguyên tử; B với lượng 5,5% nguyên tử; Al với lượng 0,5% nguyên tử; Cu với lượng 0,2% nguyên tử; Zr với lượng 0,07 % nguyên tử; Ga, xem Bảng 3; C với lượng 0,4% nguyên tử; O, xem Bảng 3; còn lại là Fe.

Phần lõi của mỗi thẻ thiêu kết thu được trong các Ví dụ 6 - 9 được cắt thành hình hộp chữ nhật có kích cỡ 18 mm×15 mm×12 mm để tạo ra nam châm thiêu kết, và từ tính (Br , H_{cJ}) của mỗi nam châm thiêu kết được đo bằng cách sử dụng chất đánh dấu B-H. Bảng 3 thể hiện phần trăm nguyên tử B, Zr, C và O ([B], [Zr], [C], [O]) tương ứng và các trị số từ tính (Br , H_{cJ}) đối với từng nam châm thiêu kết này. Các trị số đo được đối với nam châm thiêu kết trong Ví dụ 1 cũng được thể hiện trong bảng. “Phạm vi [O] hiệu quả” trong bảng này được dùng để chỉ phạm vi của các trị số [O] mà thỏa mãn hệ thức (1') trên đây đối với [B], [C], [Zr] và [O].

[Bảng 3]

	[Ga] (% nguyên tử)	[B] (% nguyên tử)	[Zr] (% nguyên tử)	[C] (% nguyên tử)	[O] (% nguyên tử)	Phạm vi [O] hiệu quả (% nguyên tử)	Br (T)	H_{cJ} (kA/m)
Ví dụ 7	0	5,5	0,07	0,4	0,29	0,05 đến 0,35	1,46	980
Ví dụ 6	0,05	5,5	0,07	0,4	0,23		1,46	1,120
Ví dụ 1	0,10	5,5	0,07	0,4	0,22		1,46	1,130
Ví dụ 8	0,20	5,5	0,07	0,4	0,22		1,45	1,110
Ví dụ 9	0,30	5,5	0,07	0,4	0,21		1,44	1,110

Như được thể hiện trong Bảng 3, nam châm thiêu kết trong các Ví dụ 1 và các Ví dụ 6 - 9 mà thỏa mãn điều kiện theo sáng chế (hệ thức (1' trên đây)) đều có trị số Br và H_{cJ} cao. Tuy nhiên, nam châm thiêu kết trong Ví dụ 7 không chứa Ga có trị số H_{cJ} hơi thấp hơn so với trị số trong các Ví dụ 1 và 6. Ngoài ra, trị số Br đối với nam châm thiêu kết trong các Ví dụ 8 và 9, có hàm lượng Ga lớn hơn 0,1% nguyên tử, thấp hơn một chút so với các trị số trong các Ví dụ 1 và 6.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B có thành phần chủ yếu bao gồm R với hàm lượng nằm trong khoảng từ 12,5 đến 14,5% nguyên tử (trong đó R là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ các nguyên tố đất hiếm, chứa chủ yếu là Nd), B với hàm lượng nằm trong khoảng từ 5,0 đến 6,5% nguyên tử, X với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,5% nguyên tử (trong đó X là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ Ti, Zr, Hf, Nb, V và Ta), C với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,6% nguyên tử, và Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,5% nguyên tử, còn lại là Fe, O và các nguyên tố khác, tùy chọn, là các nguyên tố và tạp chất không tránh được, trong đó, giả sử phần trăm nguyên tử của B, C, X và O lần lượt là [B], [C], [X] và [O], nam châm này thỏa mãn hệ thức dưới đây (1):

$$0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,9 < [O] < 0,86 \times ([B] + [C] - 2 \times [X]) - 4,6 \quad (1).$$

2. Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo điểm 1, trong đó hàm lượng O nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,8% nguyên tử.

3. Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó các nguyên tố tùy chọn này bao gồm Co với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,5% nguyên tử, và Al với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 0% nguyên tử đến tối đa là 1,0% nguyên tử.

4. Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó nam châm này bao gồm Zr dưới dạng X.

5. Nam châm thiêu kết loại R-Fe-B theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó các nguyên tố tùy chọn này bao gồm Ga với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 0% nguyên tử đến tối đa là 0,1% nguyên tử.

1/1

