



(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)



1-0030285

(51)⁷ B22C 9/02; B22D 15/00; B22D 18/04; (13) B
C22F 1/057; C22C 21/06; C22C 21/12;
C22F 1/00; C22F 1/047; B22C 9/22;
B22D 27/04

(21) 1-2015-01841

(22) 28/08/2013

(86) PCT/JP2013/005067 28/08/2013

(87) WO2014/064876 01/05/2014

(30) 2012-236226 26/10/2012 JP

(45) 25/12/2021 405

(43) 25/08/2015 329A

(73) UACJ CORPORATION (JP)

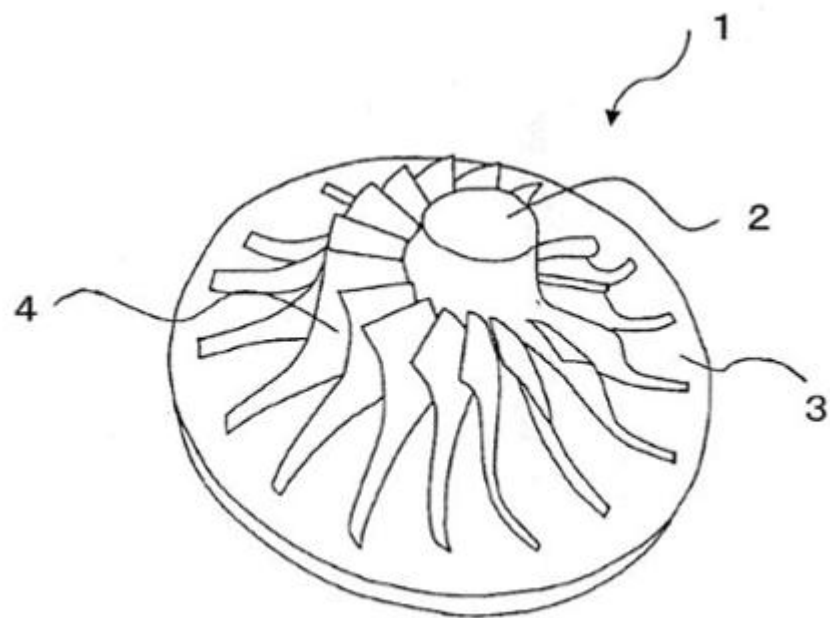
1-7-2, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 1000004, Japan

(72) TAKAHASHI Koichi (JP); USHIYAMA Toshio (JP).

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

(54) BÁNH CÁNH QUẠT BẰNG HỢP KIM NHÔM ĐÚC DÙNG CHO MÁY NÉN VÀ
PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT BÁNH CÁNH QUẠT NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén có độ bền ổn định ở nhiệt độ cao vận hành ở nhiệt độ khoảng 200°C, và có công suất mỹ mãn. Bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén bao gồm phần máy, các phần cánh, và phần đĩa. Bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén được tạo ra bằng vật đúc hợp kim nhôm chứa Cu với lượng nằm trong khoảng từ 1,4 đến 3,2% khối lượng (dưới đây được gọi đơn giản là "%"), Mg với lượng nằm trong khoảng từ 1,0 đến 2,0%, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0%, Fe với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0%, và Ti nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,35%. Phần máy, các phần cánh, và phần đĩa lần lượt có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 20 đến 50 μm , 10 đến 35 μm , và 5 đến 25 μm , và thỏa mãn mỗi tương quan: $A_{\text{max}} > B_{\text{max}} > C_{\text{max}}$, trong đó A_{max} , B_{max} , và C_{max} lần lượt là các giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của phần máy, các phần cánh, và phần đĩa. Bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén này có giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% bằng hoặc lớn hơn 260MPa ở nhiệt độ 200°C. Sáng chế cũng đề cập đến phương pháp sản xuất bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén này.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc của máy nén để dùng trong máy nén khí kiểu tuabin ở động cơ đốt trong của ô tô và tàu thủy, và phương pháp sản xuất bánh cánh quạt này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Máy nén khí kiểu tuabin dùng cho động cơ đốt trong của ô tô và tàu thủy bao gồm bánh cánh quạt máy nén để nén và cấp không khí vào động cơ đốt trong nhờ quay ở tốc độ cao. Bánh cánh quạt máy nén có thể đạt nhiệt độ cao tới khoảng 150°C trong quá trình quay ở tốc độ cao, và chịu ứng suất cao, như ứng suất xoắn từ trục quay, và lực ly tâm, gần tâm quay, đặc biệt là ở phần đĩa.

Các vật liệu khác nhau được sử dụng làm bánh cánh quạt máy nén tùy thuộc vào đặc tính kỹ thuật yêu cầu của máy nén khí kiểu tuabin. Các vật liệu hợp kim nhôm rèn nóng gia công thành hình dạng cánh quạt thường được sử dụng trong các ứng dụng trên quy mô lớn, như ở tàu thủy. Hiệu quả và chi phí của việc sản xuất hàng loạt là quan trọng hơn đối với các ứng dụng trên quy mô tương đối nhỏ hơn, như xe ô tô (ví dụ xe hơi, và xe tải), và tàu thuyền. Các ứng dụng này thường dễ dàng sử dụng các hợp kim nhôm dễ đúc chứa chất phụ gia chủ yếu là silic, như JIS-AC4CH (hợp kim Al-7% Si-0,3% Mg), ASTM-354,0 (hợp kim Al-9% Si-1,8% Cu-0,5% Mg), và ASTM-C355,0 (hợp kim Al-5% Si-1,3% Cu-0,5% Mg) có tính năng đúc mong muốn. Sau đó, các vật liệu này được đúc bằng khuôn thạch cao bằng cách sử dụng các kỹ thuật, như đúc áp lực thấp, đúc chân không, và đúc trọng lực, và được làm tăng độ bền bằng cách xử lý tạo

dung dịch rắn hoặc xử lý hóa già trước khi sử dụng. Phương pháp cơ bản để thực hiện các công đoạn như vậy đã được bộc lộ một cách chi tiết trong tài liệu sáng chế 1.

Gần đây, nhu cầu về các máy nén khí kiểu tuabin tốc độ cao đã tăng lên với sự gia tăng nhu cầu đối với tỷ lệ nén không khí cao hơn bởi các động cơ nhỏ hơn, công suất cao hơn, và tăng mức độ tái tuần hoàn khí thải. Tuy nhiên, tốc độ quay nhanh hơn làm tăng lượng nhiệt sinh ra khi nén không khí, và đồng thời làm tăng nhiệt độ của bánh cánh quạt tuabin khí thải. Nhiệt này làm tăng nhiệt độ của bánh cánh quạt máy nén. Đã phát hiện ra rằng các bánh cánh quạt máy nén đã biết làm từ các hợp kim nhôm dễ đúc chứa chất phụ gia chủ yếu là silic thường gặp các vấn đề, như biến dạng và hỏng do mỏi trong quá trình sử dụng, và không duy trì được chuyển động quay bình thường. Cụ thể, các bánh cánh quạt máy nén hiện có này có nhiệt độ vận hành tối đa khoảng 150°C, và vì vậy rất cần phải phát triển bánh cánh quạt máy nén có thể chịu được nhiệt độ vận hành khoảng 200°C để đáp ứng được yêu cầu quay với tốc độ cao.

Có thể sử dụng thành phần hợp kim nhôm có độ bền mong muốn ở nhiệt độ cao hơn, ví dụ như JIS-AC1B (hợp kim Al-5% Cu-0,3% Mg). Tuy nhiên, như được mô tả trong tài liệu sáng chế 2, hợp kim như vậy có vấn đề ở chỗ kim loại nóng chảy không có được độ lỏng mong muốn, và thường gây ra các khuyết tật do sự rớt thiếu (không điền đầy) kim loại nóng chảy trong phần mỏng của các phần cánh khi được sử dụng để tạo ra sản phẩm có các hình dạng phức tạp và các phần cánh mỏng, như trong bánh cánh quạt máy nén.

Tài liệu sáng chế 2 giải quyết vấn đề này bằng cách đề xuất phương pháp sử dụng hợp kim Al-Si dễ đúc, như AC4CH, để làm phần cánh nhằm khắc phục khuyết tật do sự rớt thiếu kim loại nóng chảy, và hợp kim Al-Cu có độ bền cao, như AC1B, để làm máy và các phần đĩa được nối với trục quay cần phải có độ

bền cao. Các hợp kim này được kết hợp bằng cách rót vào hai phần riêng biệt để tạo ra bánh cánh quạt máy nén.

Tài liệu sáng chế 3 đề xuất phương pháp sử dụng hợp kim có tính năng đúc mong muốn để làm phần cánh, và trong đó vật liệu composit gia cường được tạo ra bằng cách thấm vật liệu gia cường, như sợi tinh thể nhôm chứa 25%-B (bo) vào nhôm, được sử dụng làm phần máy chịu ứng suất và tâm của phần đĩa. Sau đó, chúng được kết hợp với nhau để tạo ra bánh cánh quạt máy nén.

Tài liệu sáng chế 4 đề xuất phương pháp, trong đó phần cánh và phần máy (và phần đĩa) được liên kết với nhau bằng cách hàn ma sát. Tuy nhiên, các phương pháp, như phương pháp sử dụng các vật liệu khác nhau cho các phần khác nhau gặp phải vấn đề về năng suất và chi phí, và hiện không thể sử dụng được trong các ứng dụng công nghiệp.

Tài liệu sáng chế 5 giải quyết vấn đề sử dụng các vật liệu khác nhau bằng cách đề xuất bánh cánh quạt máy nén có thể được đúc từ một loại hợp kim, cụ thể là hợp kim trên cơ sở Al-Cu-Mg, trong đó các nguyên tố pha và khoảng kết hợp của các nguyên tố này được tối ưu hoá. Bánh cánh quạt máy nén thu được có giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư bằng hoặc lớn hơn 250 MPa ở nhiệt độ 180°C. Tài liệu sáng chế 6 đề xuất việc cải thiện hiệu suất đúc bằng cách kiểm soát cỡ hạt tinh thể của hợp kim trên cơ sở Al-Cu-Mg nhờ tối ưu hoá các nguyên tố pha và khoảng kết hợp của các nguyên tố này. Bánh cánh quạt máy nén có giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư bằng hoặc lớn hơn 260MPa ở nhiệt độ 200°C.

Tuy nhiên, vẫn cần có các sản phẩm đúc từ một loại hợp kim bằng cách sử dụng hợp kim trên cơ sở Al-Cu-Mg chịu được nhiệt độ cao khoảng 200°C trong khoảng thời gian dài để có thể được dùng cho máy nén khí kiểu tuabin quay ở tốc độ nhanh hơn. Một vấn đề khác là hiệu suất đúc cần phải được cải thiện để ổn định quy trình sản xuất.

Danh sách các tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Patent Mỹ số 4,556,528

Tài liệu sáng chế 2: Công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế
Nhật số JP-A-10-58119

Tài liệu sáng chế 3: Công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế
Nhật số JP-A-10-212967

Tài liệu sáng chế 4: Công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế
Nhật số JP-A-11-343858

Tài liệu sáng chế 5: Công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế
Nhật số JP-A-2005-206927

Tài liệu sáng chế 6: Công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế
Nhật số JP-A-2012-25986

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Các vấn đề cần được sáng chế giải quyết

Sáng chế được thực hiện nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên, và mục đích của sáng chế là đề xuất bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc (dưới đây được gọi là "hợp kim Al") dùng cho máy nén có thể duy trì được độ bền trong khoảng thời gian dài, ngay cả ở nhiệt độ vận hành khoảng 200°C, và có công suất vượt trội. Sáng chế cũng nhằm đề xuất phương pháp sản xuất các bánh cánh quạt như vậy.

Cách thức để giải quyết vấn đề

Điểm đặc trưng của sáng chế nằm ở bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm

đúc dùng cho máy nén bao gồm phần mayor, các phần cánh, và phần đĩa,

trong đó hợp kim nhôm đúc này là hợp kim nhôm chứa Cu với lượng nằm trong khoảng từ 1,4 đến 3,2 % khối lượng, Mg với lượng nằm trong khoảng từ 1,0 đến 2,0 % khối lượng, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0 % khối lượng, Fe với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0 % khối lượng, và Ti với lượng nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,35 % khối lượng, phần còn lại là Al và các tạp chất không thể tránh được,

trong đó phần mayor có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 20 đến 50 μ m, các phần cánh có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 10 đến 35 μ m, và phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 5 đến 25 μ m,

trong đó phần mayor, các phần cánh, và phần đĩa thỏa mãn mối tương quan: $A_{max} > B_{max} > C_{max}$, trong đó A_{max} là giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần mayor, B_{max} là giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của các phần cánh, và C_{max} là giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần đĩa, và

trong đó bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén này có giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% bằng hoặc lớn hơn 260MPa ở nhiệt độ 200°C.

Dấu hiệu khác của sáng chế là ở chỗ bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén là để sử dụng trong các ứng dụng trên quy mô lớn, và trong đó phần mayor có chiều cao nằm trong khoảng từ 200 đến 80mm, phần đĩa có đường kính nằm trong khoảng từ 300 đến 100mm, và các phần cánh có từ 30 đến 10 cánh có chiều cao nằm trong khoảng từ 180 đến 60mm và độ dày ở đầu

cánh nằm trong khoảng từ 4,0 đến 0,4mm.

Dấu hiệu khác của sáng chế là ở chỗ bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén là để sử dụng trong các ứng dụng trên quy mô nhỏ, và trong đó phần máy có chiều cao nằm trong khoảng từ 100 đến 20mm, phần đĩa có đường kính nằm trong khoảng từ 120 đến 25mm, và các phần cánh có từ 20 đến 4 cánh có chiều cao nằm trong khoảng từ 90 đến 5mm và độ dày ở đầu cánh nằm trong khoảng từ 3,0 đến 0,1mm.

Dấu hiệu tiếp theo khác của sáng chế là phương pháp sản xuất bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén như được xác định trong điểm yêu cầu bảo hộ bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

tạo ra kim loại nóng chảy bằng cách tạo ra hợp kim nhôm kim loại nóng chảy có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 720 đến 780°C chứa Cu với lượng nằm trong khoảng từ 1,4 đến 3,2% khối lượng, Mg với lượng nằm trong khoảng từ 1,0 đến 2,0% khối lượng, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0% khối lượng, Fe với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0% khối lượng, và Ti với lượng nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,35% khối lượng, phần còn lại là Al và các tạp chất không thể tránh được;

đúc hợp kim nhôm bằng cách đúc áp lực, theo đó hợp kim nhôm nóng chảy thu được được phun áp lực vào khoang tạo hình sản phẩm cấu thành từ khuôn thạch cao có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 200 đến 350°C và tấm làm nguội có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100 đến 250°C được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa của bánh cánh quạt, nhiệt độ khuôn thạch cao và nhiệt độ tấm làm nguội thỏa mãn mối tương quan: nhiệt độ tấm làm nguội (°C) < (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) (°C);

đưa vật đúc hợp kim nhôm vào công đoạn xử lý tạo dung dịch rắn; và

xử lý hóa già bằng cách hóa già vật đúc hợp kim nhôm sau khi xử lý tạo dung dịch rắn.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Sáng chế có thể tạo ra bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén có độ bền ổn định ở nhiệt độ cao, thậm chí ở nhiệt độ khoảng 200°C trong khoảng thời gian dài, và có công suất, như hiệu suất đúc, mỹ mãn.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là hình vẽ phối cảnh thể hiện kết cấu của bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén theo một phương án được lấy làm ví dụ của theo sáng chế.

Fig.2 là sơ đồ minh họa diện tích DAS bên trong của bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén theo sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án của sáng chế được mô tả một cách chi tiết dưới đây.

A. Hình dạng của bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén

Fig.1 thể hiện một ví dụ về hình dạng của bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén (dưới đây, được gọi đơn giản là "bánh cánh quạt máy nén") theo một phương án được lấy làm ví dụ của sáng chế. Bánh cánh quạt máy nén 1 bao gồm trục tâm quay (phần mayơ) 2, phần đĩa 3 liên tục từ phần mayơ 2, và các cánh mỏng 4 nhô ra phía ngoài từ phần đĩa 3. Bánh cánh quạt máy nén 1 đạt nhiệt độ cao khoảng 200°C trong quá trình quay ở tốc độ cao, và chịu ứng suất cao, như ứng suất xoắn từ trục quay, và lực ly tâm, gần tâm quay, đặc biệt là ở phần đĩa và các phần cánh.

Các tác giả sáng chế đã tiến hành các nghiên cứu sâu rộng để giải quyết các vấn đề trên, và đã phát hiện ra rằng có thể thu được hiệu suất đúc cải thiện một cách đáng kể, và bánh cánh quạt máy nén có thể duy trì một cách ổn định độ bền ở nhiệt độ cao mong muốn trong khoảng thời gian dài mà không làm hư hại cho đĩa và các phần cánh ngay cả khi vận hành ở nhiệt độ cao khoảng 200°C bằng cách sử dụng hợp kim nhôm bằng cách kiểm soát mức độ phân bố tốc độ làm nguội khi đúc, và bằng cách tối ưu hóa mức độ phân bố khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp bên trong của bánh cánh quạt máy nén.

Khi được sử dụng trong bản mô tả này, thuật ngữ "duy trì một cách ổn định độ bền ở nhiệt độ cao mong muốn trong khoảng thời gian dài" có nghĩa là sự biến dạng và sự hỏng do mỏi không xảy ra trong khoảng thời gian dài ngay cả khi vận hành ở nhiệt độ khoảng 200°C. Cụ thể, điều này có nghĩa là giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% thu được trong thử nghiệm kéo ở nhiệt độ 200°C là bằng hoặc lớn hơn 260MPa, và không có sự hư hại nào xảy ra trong thử nghiệm độ bền hệ thống tuabin được tiến hành ở nhiệt độ 200°C với tốc độ quay 150.000 vòng/phút trong thời gian 200 giờ.

B. Khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp

Hợp kim nhôm được sử dụng trong sáng chế được đúc thành hình dạng bánh cánh quạt máy nén bằng khuôn thạch cao bằng cách đúc áp lực (đúc áp lực thấp, đúc chân không, hoặc đúc áp lực vi sai) theo phương pháp đúc hợp kim nhôm Al-Si thông thường.

Việc đúc áp lực bằng cách sử dụng khuôn thạch cao cần phải kiểm soát các điều kiện hóa rắn sao cho khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp tối đa bên trong vật đúc bằng 25 μm hoặc nhỏ hơn ở phần đĩa, bằng

35 μm hoặc nhỏ hơn ở các phần cánh, và bằng 50 μm hoặc nhỏ hơn ở phần mayor. Điều này là để ngăn ngừa sự hỏng do mỏi do ứng suất tạo ra liên tục tăng và giảm khi tốc độ quay của bánh cánh quạt máy nén. Trong các phần này, khi các giá trị của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp vượt ra ngoài các giới hạn nêu trên thì hiện tượng nứt do mỏi thường xảy ra và tiến triển dọc theo các hợp chất liên kim loại được phân bố tuyến tính dọc theo ranh giới giữa các nhánh cây thô. Cụ thể là, giới hạn trên của hằng số mạng tinh thể dạng nhánh cây của phần đĩa và các phần cánh cần phải nhỏ hơn giới hạn trên của hằng số mạng tinh thể dạng nhánh cây ở phần mayor vì độ dày của đĩa và các phần cánh là mỏng hơn so với phần mayor, và chịu ứng suất kéo khi quay. Phần đĩa cũng chịu ứng suất xoắn từ các phần cánh, và giới hạn trên của hằng số mạng tinh thể dạng nhánh cây cần phải nhỏ hơn so với các phần cánh. Cần chú ý rằng các nhánh cây là kim loại pha rắn phân nhánh tạo ra khi kim loại hóa rắn, và các phần phân nhánh từ thân của các nhánh này được gọi là nhánh cây thứ cấp.

Tốc độ làm nguội cần phải tăng lên giảm khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp. Tuy nhiên, thời gian hóa rắn được rút ngắn một cách đáng kể khi tăng tốc độ làm nguội khiến cho việc đúc kém hiệu quả trong quá trình hóa rắn, và thường làm tăng lỗ co do sự co do hóa rắn, và tác động bất lợi đến độ chính xác về kích thước. Đặc biệt là, thời lượng hóa rắn hợp lý là cần thiết để đảm bảo hiệu suất đúc đủ và độ chính xác về kích thước để có thể đúc được hình dạng mỏng và phức tạp, như bánh xe máy nén. Cụ thể, tốc độ làm nguội cần được điều chỉnh để sao cho khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ít nhất bằng 20 μm đối với phần mayor, ít nhất bằng 10 μm đối với các phần cánh, và ít nhất bằng 5 μm đối với phần đĩa.

C. Kiểm soát tốc độ làm nguội

Để thu được mức độ phân bố khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nên trên, cần phải kiểm soát được nhiệt độ của kim loại nóng chảy được phun áp lực vào khuôn thạch cao, và tốc độ làm nguội bên trong của bánh xe máy nén. Kim loại nóng chảy cần phải được điều chỉnh đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 720 đến 780°C. Tốc độ làm nguội bên trong của bánh xe máy nén có thể được kiểm soát thông qua việc tối ưu hoá nhiệt độ tắm làm nguội (tắm làm nguội), nhiệt độ nung nóng sơ bộ của khuôn thạch cao, và nhiệt độ đúc. Cụ thể, việc làm nguội kim loại bằng cách điều chỉnh nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100 đến 250°C cần được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa, và khuôn thạch cao cần có nhiệt độ nung nóng sơ bộ nằm trong khoảng từ 200 đến 350°C. Có thể thu được khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 20µm đến 50 µm đối với phần mayor, từ 10 µm đến 35 µm đối với các phần cánh, và từ 5 µm đến 25 µm đối với phần đĩa bằng cách thiết lập nhiệt độ của kim loại nóng chảy, nhiệt độ tắm làm nguội, và nhiệt độ của khuôn thạch cao như nêu trên.

Khi nhiệt độ của kim loại nóng chảy thấp hơn 720°C, kim loại nóng chảy được phun áp lực sẽ hóa rắn sớm ở bên trong khoang định hình sản phẩm. Điều này gây ra khuyết tật do sự rút thiếu, và không thể thu được hình dạng sản phẩm dự định. Mặt khác, với nhiệt độ của kim loại nóng chảy lớn hơn 780°C, kim loại nóng chảy lần lượt trải qua quá trình oxy hoá, và hấp thụ khí hydro và hàm lượng oxit tăng làm giảm chất lượng của kim loại nóng chảy. Điều này khiến cho khó có thể đảm bảo được độ bền của sản phẩm. Khi nhiệt độ nung nóng sơ bộ của khuôn thạch cao nhỏ hơn 200°C, quá trình hóa rắn xảy ra trước khi kim loại nóng chảy nạp vào chảy đến điểm cuối của khuôn. Điều này gây ra khuyết tật do sự rút thiếu, và không thể thu được hình dạng sản phẩm dự định. Mặt khác, khi nhiệt độ nung nóng sơ bộ của khuôn thạch cao vượt quá 350°C, quá trình hóa rắn chậm

dẫn ở bên trong của khuôn thạch cao, và xảy ra hiện tượng hồng lỗ co. Khi nhiệt độ tắm làm nguội thấp hơn 100°C , quá trình hóa rắn trở nên rất nhanh, và gây ra khuyết tật do sự rút thiếu. Mặt khác, khi nhiệt độ tắm làm nguội vượt quá 250°C , thì tốc độ hóa rắn do việc làm nguội trở nên chậm hơn, và xảy ra hiện tượng hồng lỗ co.

Tốt hơn, nếu vật liệu tắm làm nguội là đồng hoặc hợp kim đồng, có độ dẫn nhiệt cao. Tuy nhiên, các chất liệu, như thép, và thép không gỉ cũng có thể được sử dụng. Tốt hơn là, nhiệt độ tắm làm nguội được điều chỉnh bằng cách sử dụng cơ chế mà nhờ đó việc nung quá nhiệt ở vật đúc được giảm bằng chất lỏng làm nguội, như nước được đưa vào bên trong vật liệu tắm làm nguội.

D. Mỗi tương quan giữa các giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của các phần khác nhau

Trình tự mà theo đó hóa rắn xảy ra bên trong của bánh xe máy nén là rất quan trọng để làm giảm các khuyết tật bên trong do lỗ co và để cải thiện hiệu suất đúc. Các khuyết tật do lỗ co ở phần mayor và phần đĩa có thể được ngăn ngừa bằng cách làm cho quá trình hóa rắn xảy ra theo cùng một hướng về phía phần mayor từ phần đĩa tiếp xúc với tắm làm nguội. Để ngăn ngừa khuyết tật do lỗ co ở các phần cánh, quá trình hóa rắn ở các phần cánh phải được hoàn thành trước quy trình hóa rắn ở phần mayor. Cụ thể, quá trình hóa rắn phải xảy ra theo trình tự từ phần đĩa, các phần cánh, và đến phần mayor.

Vì khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp trở nên lớn nhất ở phần hóa rắn sau cùng, nên mong muốn thỏa mãn được mỗi tương quan: $A_{\max} > B_{\max} > C_{\max}$ để phần đĩa, các phần cánh, và phần mayor được hóa rắn theo trình tự này. Ở đây, $A_{\max}$ là giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần mayor, $B_{\max}$ là giá trị lớn

nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở các phần cánh, và C_{max} là giá trị lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần đĩa. Mỗi tương quan này có thể được thỏa mãn bằng cách làm cho nhiệt độ tắm làm nguội thấp hơn nhiệt độ của khuôn thạch cao 50°C . Khi nhiệt độ tắm làm nguội thấp hơn nhiệt độ khuôn thạch cao 50°C hoặc lớn hơn các nhiệt độ, các phần cánh hóa rắn trước phần đĩa gần hơn với tắm làm nguội, và không thể thu được mối tương quan: $A_{max} > B_{max} > C_{max}$ nêu trên.

E. Hỗn hợp hợp kim nhôm

Thành phần của hợp kim nhôm được sử dụng trong sáng chế được mô tả dưới đây cùng với các lý do giới hạn các thành phần hợp kim nhôm.

Cu và Mg:

Cu và Mg hoà tan trong nền Al có tác dụng làm cải thiện độ bền cơ học bởi việc gia cường dung dịch rắn. Vì cùng có mặt, nên Cu và Mg cũng góp phần vào việc làm cải thiện độ bền qua việc gia cường kết tủa, như bằng Al_2Cu , và Al_2CuMg . Vì hai nguyên tố này có tác dụng làm mở rộng khoảng nhiệt độ hóa rắn, nên việc bổ sung quá nhiều các nguyên tố này sẽ gây bất lợi cho tính năng đúc.

Khi hàm lượng Cu nhỏ hơn 1,4% khối lượng (dưới đây, đơn giản gọi là "%"), và/hoặc hàm lượng Mg nhỏ hơn 1,00%, thì có thể không thu được độ bền cơ học cần thiết ở nhiệt độ cao khoảng 200°C . Mặt khác, khi hàm lượng Cu trên 3,2%, và/hoặc hàm lượng Mg vượt quá 2,0%, tính năng đúc của bánh cánh quạt máy nén bị giảm, và có thể gây ra sự nạp chưa đủ khi kim loại nóng chảy không chảy đủ vào phần đầu cánh. Vì các lý do này, tốt hơn nếu hàm lượng Cu nằm trong khoảng từ 1,4 đến 3,2%, và tốt hơn là hàm lượng Mg nằm trong khoảng từ

1,0 đến 2,0%. Tốt hơn nữa, nếu hàm lượng Cu nằm trong khoảng từ 1,7 đến 2,8%, và tốt hơn nữa nếu hàm lượng Mg nằm trong khoảng từ 1,3 đến 1,8% để chắc chắn ngăn ngừa được các khuyết tật, như sự biến dạng trong khi sử dụng, và thực tế ngăn ngừa được việc nạp chưa đủ trong khi đúc và đạt được hiệu suất cao hơn trong sản xuất công nghiệp.

Ni và Fe:

Ni và Fe phân tán trong nền Al bằng cách tạo ra hợp chất liên kim loại với Al, và có tác dụng cải thiện độ bền ở nhiệt độ cao cho hợp kim nhôm. Nhằm mục đích này, tốt hơn nếu hàm lượng Ni bằng hoặc lớn hơn 0,5%, và tốt hơn nếu hàm lượng Fe bằng hoặc lớn hơn 0,5%. Tuy nhiên, khi được chứa với lượng dư, các nguyên tố này không chỉ làm cho hợp chất liên kim loại trở nên thô, mà còn làm giảm lượng dung dịch rắn Cu trong nền Al, và làm giảm độ bền bởi việc tạo ra Cu_2FeAl_7 và Cu_3NiAl_6 ở nhiệt độ cao. Do đó, tốt hơn nếu nó chứa mỗi nguyên tố này Ni và Fe với lượng bằng hoặc nhỏ hơn 2,0%. Cùng nhau, tốt hơn nếu hàm lượng Ni nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0%, và tốt hơn nếu hàm lượng Fe nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0%. Tốt hơn nữa, nếu hàm lượng Ni nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,4%, và hàm lượng Fe nằm trong khoảng từ 0,7 đến 1,5%. Giới hạn dưới của các khoảng được ưu tiên này được cho như là các dấu hiệu đối với các sản phẩm sản xuất hàng loạt ổn định trong sản xuất công nghiệp có tính đến sự thay đổi sản xuất có thể, trong đó giới hạn trên là các dấu hiệu mà trên đó các tác dụng này sẽ là bão hoà, và các vật liệu bổ sung này sẽ trở nên vô tác dụng.

Ti:

Ti có tác dụng ức chế sự phát triển của các hạt tinh thể nhôm pha sơ cấp trong khi đúc. Do vậy, nguyên tố này được bổ sung để làm giảm kích thước của cấu trúc hóa rắn trong vật đúc, và cải thiện việc cấp và chảy của kim loại nóng chảy. Tác dụng này có thể trở nên không đầy đủ khi hàm lượng Ti nhỏ hơn

0,01%. Mặt khác, hàm lượng Ti lớn hơn 0,35% làm tạo ra các hợp chất liên kim loại thô với Al có kích thước nằm trong khoảng từ vài chục đến vài trăm micromet. Các hợp chất này có thể trở thành nguyên nhân gây nứt do mỏi trong khi quay, và có thể làm giảm độ tin cậy của bánh cánh quạt máy nén. Vì các lý do này, tốt hơn nếu hàm lượng Ti nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,35%, tốt hơn nữa nếu nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,30%.

Hợp kim nhôm có thể chứa các tạp chất không thể tránh được, như với lượng bằng hoặc nhỏ hơn khoảng 0,3%, và Zn, Mn, và Cr với lượng bằng hoặc nhỏ hơn 0,2%. Các tạp chất không thể tránh được này có thể chấp nhận được vì chúng không tác động đến các đặc tính của bánh cánh quạt máy nén.

Bánh cánh quạt máy nén theo sáng chế duy trì độ bền ổn định trong khoảng thời gian dài ngay cả khi vận hành ở nhiệt độ khoảng 200°C. Cụ thể, giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% bằng hoặc lớn hơn 260MPa được đặc trưng trong thử nghiệm kéo ở 200°C. Tốt hơn, nếu giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là bằng hoặc lớn hơn 265MPa. Giới hạn trên của giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư thực chất được xác định bởi thành phần hợp kim nền nhôm, và các điều kiện sản xuất. Trong sáng chế, giới hạn trên của giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư bằng 380 MPa.

F. Phương pháp sản xuất

Phương pháp sản xuất bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén theo sáng chế được mô tả dưới đây. Phương pháp sản xuất này bao gồm bước điều chỉnh kim loại nóng chảy, bước đúc, và bước xử lý nhiệt.

Bước điều chỉnh kim loại nóng chảy:

Mỗi nguyên tố thành phần được làm nóng chảy bằng nhiệt có thành phần hợp kim nhôm nêu trên bằng cách sử dụng phương pháp thông thường, và các

quy trình làm nóng chảy kim loại, như xử lý khí đã được loại hydro, và loại bỏ chất xâm nhập được tiến hành. Nhiệt độ được điều chỉnh sao cho nhiệt độ cuối của kim loại nóng chảy nằm trong khoảng từ 720 đến 780°C.

Bước đúc:

Ở bước đúc, kim loại nóng chảy được điều chỉnh đến nhiệt độ 720-780°C được đúc để có được hình dạng bánh cánh quạt máy nén bằng cách đúc áp lực bằng cách sử dụng khuôn thạch cao. Như nêu trên, nhiệt độ của tấm làm nguội được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa được điều chỉnh đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 250°C, và nhiệt độ nung nóng sơ bộ của khuôn thạch cao được điều chỉnh đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 200 đến 350°C. Ở đây, kim loại nóng chảy được phun áp lực vào khuôn thạch cao dưới áp suất nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,4 MPa. Tuy nhiên, áp suất bên trong của khuôn thạch cao có thể được giảm còn từ 0,01 đến 0,4 MPa.

Bước xử lý nhiệt:

Vật đúc hợp kim nhôm được trải qua bước xử lý nhiệt. Bước xử lý nhiệt bao gồm bước xử lý tạo dung dịch rắn và bước xử lý hóa già. Bước xử lý nhiệt có thể được diễn ra một cách có hiệu quả bằng việc gia cường dung dịch rắn bằng Cu; việc gia cường kết tủa bằng Cu và Mg; và việc gia cường phân tán bằng các hợp chất liên kim loại được tạo ra giữa Al và Fe và giữa Al và Ni.

Bước xử lý tạo dung dịch rắn:

Tốt hơn, nếu việc xử lý tạo dung dịch rắn được tiến hành ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ hóa rắn từ 5 đến 25°C. Trong các hợp kim nhôm được ưu tiên để sử dụng trong sáng chế, khoảng nhiệt độ từ 510 đến 530°C là khoảng nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ hóa rắn từ 5 đến 25°C. Nguy cơ nóng chảy pha thứ hai ở biên hạt tinh thể tăng, và trở nên khó có thể đảm bảo độ bền ở nhiệt độ cao hơn khoảng nhiệt độ mà thấp hơn nhiệt độ hóa rắn từ 5 đến 25°C. Mặt khác, các nguyên tố

không khuếch tán một cách đầy đủ, và việc xử lý tạo dung dịch rắn trở nên không đủ ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ hóa rắn khoảng từ 5 đến 25°C.

Xử lý hóa già:

Tốt hơn, nếu việc xử lý hóa già bao gồm việc xử lý nhiệt được tiến hành ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 180 đến 230°C trong thời gian từ 3 đến 30 giờ, tốt hơn nữa nếu ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 190 đến 210°C trong thời gian từ 5 đến 20 giờ. Việc gia cường kết tủa để cải thiện độ bền có thể trở nên không đầy đủ khi nhiệt độ xử lý dưới 180°C, hoặc khi thời gian quy trình nhỏ hơn 3 giờ. Mặt khác, pha kết tủa tạo thành có thể làm thô (hóa già quá mức), và có thể không tạo ra tác dụng tăng bền đủ, và khả năng tăng bền dung dịch rắn của Cu sẽ suy giảm khi nhiệt độ xử lý vượt quá 230°C, hoặc khi thời gian quy trình vượt quá 30 giờ.

G. Hình dạng của bánh xe máy nén

Hình dạng và kích thước của bánh cánh quạt máy nén theo sáng chế, và số cánh của bánh cánh quạt máy nén là không bị giới hạn một cách cụ thể, và bánh cánh quạt máy nén có thể áp dụng cho nhiều ứng dụng khác nhau, từ các ứng dụng trên quy mô lớn, như tàu thủy đến các ứng dụng trên quy mô nhỏ, như ô tô. Đối với ứng dụng trên quy mô lớn, như tàu thủy chẳng hạn, phần máy có chiều cao nằm trong khoảng từ 200 đến 80mm, tốt hơn nếu từ 180 đến 100mm, phần đĩa có đường kính nằm trong khoảng từ 300 đến 100mm, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 260 đến 120mm, và các phần cánh có chiều cao nằm trong khoảng từ 180 đến 60mm, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 160 đến 90mm. Độ dày ở đầu cánh nằm trong khoảng từ 4,0 đến 0,4mm, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 3,0 đến 0,6mm. Số cánh nằm trong khoảng từ 30 đến 10, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 26 đến 12. Trong trường hợp các ứng dụng trên quy mô

nhỏ, như ô tô, phần máy có chiều cao nằm trong khoảng từ 100 đến 20mm, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 90 đến 25mm, phần đĩa có đường kính nằm trong khoảng từ 120 đến 25mm, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 100 đến 30mm, và các phần cánh có chiều cao nằm trong khoảng từ 90 đến 5mm, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 80 đến 8mm. Độ dày ở đầu cánh nằm trong khoảng từ 3,0 đến 0,1mm, tốt hơn nếu 2,0 đến 0,2mm. Số cánh nằm trong khoảng từ 20 đến 4, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 18 đến 6.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sáng chế sẽ được mô tả một cách chi tiết hơn dưới đây qua các ví dụ.

Ví dụ thứ nhất (các ví dụ theo sáng chế từ 1 đến 5, và các ví dụ so sánh từ 1 đến 16)

Mỗi hợp kim nhôm có thành phần được thể hiện trong Bảng 1 được làm nóng chảy bằng cách sử dụng quy trình làm nóng chảy kim loại thông thường, và kim loại nóng chảy được điều chỉnh đến nhiệt độ được thể hiện trong Bảng 1 bằng cách bước tạo ra kim loại nóng chảy. Ở bước tạo ra kim loại nóng chảy, 150 kg hợp kim nhôm có thành phần được thể hiện trong Bảng 1 được làm nóng chảy để thu được kim loại nóng chảy. Sau đó, khí argon được thổi vào kim loại nóng chảy trong thời gian 20 phút bằng máy thổi khí kiểu quay được vận hành ở tốc độ quay 400 vòng/phút, và tốc độ thổi khí 2,5 Nm³/giờ. Toàn bộ kim loại nóng chảy được để yên trong thời gian 1 giờ để loại bỏ xỉ.

Bảng 1

Số	Thành phần (% khối lượng)								Các điều kiện đúc			Các điều kiện xử lý nhiệt			
	Cu	Mg	Ni	Fe	Ti	Si	Zn	Mn	Cr	Al	Nhiệt độ của kim loại nóng chảy (°C)	Nhiệt độ của thạch cao (°C)	Nhiệt độ tấm làm nguội (°C)	Nhiệt độ xử lý tạo dung dịch rắn x thời gian (°C x giờ)	Nhiệt độ xử lý hóa già x thời gian (°C x giờ)
Ví dụ theo sáng chế 1	3,2	2,0	1,9	2,0	0,10	0,3	0,1	0,1	0,2	Phần 5 là:	760	290	210	530 x 8	200 x 20
Ví dụ theo sáng chế 2	3,1	1,9	1,4	1,5	0,20	0,3	0,2	0,2	0,2		780	345	250		
Ví dụ theo sáng chế 3	2,2	1,6	0,8	1,0	0,15	0,2	0,1	0,1	0,2		760	205	110		
Ví dụ theo sáng chế 4	1,6	1,4	0,6	0,7	0,35	0,2	0,2	0,0	0,0		740	280	220		
Ví dụ theo sáng chế 5	2,6	1,6	0,8	1,1	0,13	0,1	0,1	0,1	0,1		750	210	130		
Ví dụ so sánh 1	2,8	1,4	1,2	1,0	0,11	0,2	0,2	0,2	0,2		780	360	220		
Ví dụ so sánh 2	2,9	1,7	1,6	1,1	0,05	0,2	0,1	0,1	0,1		770	300	260		
Ví dụ so sánh 3	2,2	1,1	0,7	1,2	0,17	0,1	0,1	0,1	0,2		750	180	140		
Ví dụ so sánh 4	2,0	1,1	1,2	0,9	0,27	0,1	0,1	0,0	0,1		740	210	90		
Ví dụ so sánh 6	2,5	1,3	1,7	1,3	0,12	0,2	0,1	0,2	0,1		790	270	200		
Ví dụ so sánh 7	1,3	1,9	1,4	1,2	0,07	0,1	0,1	0,0	0,1		730	250	180		
Ví dụ so sánh 8	2,8	0,9	1,1	1,4	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1		750	230	190		
Ví dụ so sánh 9	3,0	1,4	1,4	0,4	0,23	0,2	0,2	0,2	0,0		760	240	170		
Ví dụ so sánh 10	2,9	1,3	0,4	1,7	0,18	0,2	0,1	0,2	0,1		770	260	200		
Ví dụ so sánh 11	2,6	1,4	0,9	1,2	0,00	0,1	0,1	0,2	0,1		765	250	210		
Ví dụ so sánh 12	3,3	1,8	1,1	1,2	0,23	0,2	0,1	0,1	0,1		740	255	185		
Ví dụ so sánh 13	2,5	2,1	0,9	1,1	0,19	0,2	0,1	0,1	0,1	750	225	150			
Ví dụ so sánh 14	2,9	1,5	1,4	2,1	0,26	0,2	0,2	0,1	0,1	730	275	225			
Ví dụ so sánh 15	2,2	1,6	2,1	1,2	0,18	0,1	0,1	0,1	0,1	760	245	190			
Ví dụ so sánh 16	2,0	1,7	1,1	1,1	0,36	0,2	0,1	0,2	0,1	750	250	200			

530 x 8
200 x 20

Sau đó, kim loại hợp kim nhôm nóng chảy được tạo ra ở bước tạo ra kim loại nóng chảy được đúc áp lực thấp để tạo ra vật đúc hợp kim nhôm, nhờ đó kim loại nóng chảy được phun áp lực vào khoang định trước cấu thành từ khuôn thạch cao được điều chỉnh đến nhiệt độ nung nóng sơ bộ được thể hiện trong Bảng 1, và tấm làm nguội bằng đồng được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa của bánh cánh quạt và được điều chỉnh đến nhiệt độ được thể hiện trong Bảng 1. Vật đúc hợp kim nhôm này được dùng làm bánh cánh quạt máy nén khí kiểu tuabin dùng cho xe hơi, và có kết cấu bao gồm phần máy có chiều cao 40mm, phần đĩa có đường kính 40mm, các phần cánh có chiều cao 35mm và có 12 cánh có độ dày ở đầu cánh bằng 0,3mm. Kim loại nóng chảy được phun dưới áp lực 100 kPa. Áp lực này được tác động đến khi toàn bộ vật đúc hợp kim nhôm được hóa rắn hoàn toàn.

Vật đúc hợp kim nhôm được lấy ra khỏi khuôn thạch cao, và được xử lý tạo dung dịch rắn ở nhiệt độ 530°C trong thời gian 8 giờ, và sau đó được xử lý hóa già ở nhiệt độ 200°C trong thời gian 20 giờ. Bằng cách này, mẫu bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén được chế tạo.

Mỗi mẫu được chế tạo theo cách như vậy được đánh giá khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần máy, ở các phần cánh, và ở phần đĩa, các đặc tính ở nhiệt độ cao (giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% ở nhiệt độ 200°C, thử nghiệm đánh giá độ bền), và công suất (đánh giá hiệu suất đúc), là như được mô tả dưới đây.

1. Đo khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp

Khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp (DAS) được đo theo phương pháp đã được mô tả trong *Aluminum Dendrite Arm Spacing and Cooling Rate Measurement Methods*, The Japan Institute of Light Metals, Research Sectional Meeting Report No.20 (1988), các trang từ 46 đến 52. Cụ

thể, mẫu được cắt dọc theo đường tâm qua các phần cánh, và mặt cắt được đánh bóng. Fig.2 thể hiện mặt cắt đã được đánh bóng trên một mặt của trục trung tâm 8 của bánh cánh quạt máy nén. Mặt cắt đã được đánh bóng được quan sát về cấu trúc kim loại ở mặt cắt DAS phần máy 5, mặt cắt DAS phần đĩa 6, và mặt cắt DAS phần cánh 7 bằng kính hiển vi quang học có độ phóng đại gấp 100 lần, và khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp được xác định bằng cách sử dụng phương pháp đường ngang. Các kết quả được thể hiện trong bảng 2. Sự quan sát được thực hiện ở 10 vị trí tùy chọn trong mỗi phần máy, phần đĩa, và các phần cánh. Khoảng giá trị bằng số của mỗi lỗ được nêu trong Bảng 2 thể hiện khoảng từ giá trị tối thiểu (giá trị ở bên trái) đến giá trị lớn nhất (giá trị ở bên phải) của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp được quan sát ở 10 vị trí.

Bảng 2

Số	Khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp			Giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% ở nhiệt độ 200°C (MPa)	Đánh giá bằng thử nghiệm độ bền ở nhiệt độ cao (Vị trí khuyết tật)*1	Năng suất			
	Phần mayo (μm)	Phần cánh (μm)	Phần đĩa (μm)			Đánh giá hiệu suất đúc	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật bên trong (%)	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật do rót thiếu (%)	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật do hồng lỗ co (%)
Ví dụ theo sáng chế 1	25 đến 41	15 đến 29	11 đến 19	281	Tốt	Tốt	1,0	0,3	0,8
Ví dụ theo sáng chế 2	29 đến 48	23 đến 34	18 đến 23	280	Tốt	Tốt	2,2	0,1	1,2
Ví dụ theo sáng chế 3	21 đến 39	11 đến 22	6 đến 18	278	Tốt	Tốt	1,8	0,2	0,4
Ví dụ theo sáng chế 4	27 đến 42	17 đến 31	8 đến 20	270	Tốt	Tốt	1,1	1,0	0,6
Ví dụ theo sáng chế 5	22 đến 39	11 đến 25	7 đến 19	278	Tốt	Tốt	1,4	0,4	1,6
Ví dụ so sánh 1	35 đến 55	32 đến 42	19 đến 25	241	Kém (Phần cánh)	Chấp nhận được	2,0	0,5	4,5
Ví dụ so sánh 2	30 đến 45	20 đến 33	25 đến 35	252	Kém (Phần đĩa)	Chấp nhận được	2,8	0,2	5,6
Ví dụ so sánh 3	18 đến 32	10 đến 29	17 đến 25	266	Tốt	Kém	3,0	35,0	10,1
Ví dụ so sánh 4	28 đến 44	13 đến 24	4 đến 14	263	Chấp nhận được (Phần đĩa)	Kém	4,2	46,5	3,4
Ví dụ so sánh 6	31 đến 53	22 đến 31	11 đến 25	251	Chấp nhận được (Phần mayo)	Chấp nhận được	5,5	0,7	2,3
Ví dụ so sánh 7	25 đến 39	19 đến 28	11 đến 22	240	Kém (Phần đĩa)	Tốt	1,2	1,0	1,3
Ví dụ so sánh 8	24 đến 40	15 đến 25	9 đến 19	242	Chấp nhận được (Phần mayo)	Tốt	1,6	0,6	1,7
Ví dụ so sánh 9	22 đến 41	13 đến 28	10 đến 21	249	Chấp nhận được (Phần cánh)	Tốt	0,8	0,8	1,8
Ví dụ so sánh 10	28 đến 36	11 đến 23	8 đến 16	243	Kém (Phần đĩa)	Tốt	1,0	0,7	2,6
Ví dụ so sánh 11	30 đến 47	20 đến 32	15 đến 22	275	Kém (Phần cánh)	Kém	3,5	37,0	13,5
Ví dụ so sánh 12	25 đến 41	17 đến 29	10 đến 18	278	Tốt	Kém	2,1	50,3	6,3
Ví dụ so sánh 13	23 đến 38	18 đến 25	12 đến 23	274	Tốt	Kém	1,6	47,1	7,1
Ví dụ so sánh 14	26 đến 37	14 đến 23	14 đến 22	253	Chấp nhận được (Phần đĩa)	Chấp nhận được	4,1	2,4	2,5
Ví dụ so sánh 15	25 đến 40	22 đến 30	8 đến 18	259	Chấp nhận được (Phần mayo)	Chấp nhận được	2,6	2,3	3,3
Ví dụ so sánh 16	21 đến 37	13 đến 21	9 đến 21	260	Chấp nhận được (Phần đĩa)	Chấp nhận được	3,3	3,1	2,1

*1: 150.000 vòng/phút×200 giờ, Nhiệt độ của ra: 200°C

2. Đặc tính độ bền ở nhiệt độ cao

Mẫu thử nghiệm dạng thanh tròn (ϕ 8mm) thu được từ trục trung tâm của mỗi mẫu, và được đo giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% trong thử nghiệm kéo ở nhiệt độ 200°C. Các kết quả được thể hiện trong bảng 2.

3. Độ bền ở nhiệt độ cao

Độ bền mỗi ở nhiệt độ cao được đánh giá trong thử nghiệm độ bền ở nhiệt độ cao (hệ thống tuabin; 150.000 vòng/phút $\times$ 200 giờ, nhiệt độ cửa ra bằng 200°C). Các kết quả được thể hiện trong bảng 2. Các kết quả đánh giá độ bền thử nghiệm trong bảng 2 theo các chú giải sau.

Kém: Bị gãy

Có thể chấp nhận được: Không gãy, nhưng bị nứt

Tốt: Không gãy hoặc nứt, và mẫu vẫn nguyên vẹn

Các dấu ngoặc đơn đi sau từ Có thể chấp nhận được và Kém biểu thị có xảy ra hiện tượng nứt và gãy.

4. Đánh giá hiệu suất đúc

Hiệu suất đúc được đánh giá đối với 1000 mẫu được tạo ra trong mỗi ví dụ. Mỗi mẫu được thử nghiệm về khuyết tật bên ngoài do sự rớt thiếu và hỏng lỗ co, và khuyết tật bên trong trên cơ sở các bọt khí bên trong được phát hiện trong thử nghiệm tia X. Tỷ lệ phần trăm (%) của các mẫu có khuyết tật do sự rớt thiếu, hỏng lỗ co, và khuyết tật bên trong trong tất cả mẫu được xác định. Sau đó, tỷ lệ phần trăm (%) của các sản phẩm không hỏng được xác định bằng cách lấy tổng 100% trừ đi tổng tỷ lệ phần trăm của các sản phẩm hỏng. Các kết quả được thể hiện trong bảng 2.

Kém: Tỷ lệ phần trăm của các sản phẩm không hỏng nhỏ hơn 90% (kém hơn so với các sản phẩm hiện có)

Có thể chấp nhận được: Tỷ lệ phần trăm của các sản phẩm không hỏng là nằm trong khoảng từ 90% đến 95% (như các sản phẩm hiện có)

Tốt: Tỷ lệ phần trăm của các sản phẩm không hỏng nằm trong khoảng từ 95% đến 100% (cải thiện nhiều so với các sản phẩm hiện có)

Trong các ví dụ theo sáng chế từ 1 đến 5, khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của phần mayor, các phần cánh, và phần đĩa, trình tự hóa rắn, và các giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư ở nhiệt độ cao đều nằm trong các khoảng như được nêu trong điểm 1 Yêu cầu bảo hộ. Do vậy, các sản phẩm này là mỹ mãn về hiệu suất đúc và độ bền ở nhiệt độ cao.

Trái lại, trong ví dụ so sánh 1, nhiệt độ của thạch cao là cao, và phần mayor và các phần cánh có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp lớn. Do đó, giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở các phần cánh, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 2, nhiệt độ tắm làm nguội là cao, và mối tương quan: nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) $<$ (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần đĩa là lớn, và mối tương quan $A_{\text{max}} > B_{\text{max}} > C_{\text{max}}$ là không thỏa mãn. Do đó, giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 3, nhiệt độ khuôn thạch cao là thấp, và mối tương quan: nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) $<$ (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần mayor là nhỏ. Điều này dẫn đến nhiều khuyết tật bên ngoài do sự rút thiếu ở các phần cánh, và hiệu suất đúc là tương đối kém.

Trong ví dụ so sánh 4, nhiệt độ tắm làm nguội là thấp, và phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nhỏ. Điều này gây ra sự rạn nứt ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém. Hơn thế, phần đĩa có nhiều khuyết tật bên ngoài do sự rút thiếu, và hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 6, nhiệt độ của kim loại nóng chảy là cao, và tốc độ làm nguội ở phần mayor là thấp. Do đó, phần mayor có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp lớn. Điều này dẫn đến giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư thấp. Hơn thế, hiện tượng nứt xảy ra ở phần mayor, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 7, thành phần Cu là nhỏ, và giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 8, thành phần Mg là nhỏ, và mối tương quan: nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) $<$ (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Do đó, giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, hiện tượng nứt xảy ra ở phần mayor, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 9, thành phần Fe là nhỏ, và giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, hiện tượng nứt xảy ra ở các phần cánh, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 10, thành phần Ni là nhỏ, và giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, hiện tượng nứt xảy ra ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 11, thành phần Ti là nhỏ, và mối tương quan nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) $<$ (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Điều này gây ra sự tổn hại ở các phần cánh, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém. Hơn thế, tác dụng tinh luyện hạt là không đủ, và gây ra nhiều khuyết tật bên

ngoài do sự rút thiếu ở các phần cánh. Do đó, hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 12, thành phần Cu là lớn, và nhiều khuyết tật do sự rút thiếu xuất hiện ở các phần cánh. Do đó, hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 13, thành phần Mg là lớn, và nhiều khuyết tật do sự rút thiếu xuất hiện ở các phần cánh. Do đó, hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 14, thành phần Fe là lớn, và mối tương quan: nhiệt độ tâm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) < (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Điều này dẫn đến giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư thấp. Hơn thế, sự có mặt của hợp chất liên kim loại thô gây ra sự rạn nứt ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 15, thành phần Ni là lớn, và giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự có mặt của hợp chất liên kim loại thô gây ra sự rạn nứt ở phần máy, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 16, thành phần Ti là lớn, và mối tương quan nhiệt độ tâm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) < (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Kết quả là, mối tương quan $A_{\text{max}} > B_{\text{max}} > C_{\text{max}}$ là không thỏa mãn, và sự có mặt của hợp chất liên kim loại thô gây ra sự rạn nứt ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Ví dụ thứ hai (các ví dụ theo sáng chế từ 9 đến 14, và 16, và các ví dụ so sánh từ 17 đến 22)

Các hợp kim Al chứa Cu: 2,6%, Mg: 1,6%, Ni: 1,1%, Fe: 0,9%, Ti: 0,15%, và phần còn lại là Al và các tạp chất không thể tránh được được sử dụng. Mỗi hợp kim nhôm được làm nóng chảy theo quy trình làm nóng chảy kim loại thông thường, và kim loại nóng chảy thu được được điều chỉnh đến nhiệt độ được thể hiện trong Bảng 3 bằng bước tạo ra kim loại nóng chảy. Ở bước tạo ra kim loại

nóng chảy, 150 kg hợp kim nhôm được làm nóng chảy để thu được kim loại nóng chảy. Sau đó, khí argon được thổi vào kim loại nóng chảy trong thời gian 20 phút bằng máy thổi khí kiểu quay được vận hành ở tốc độ quay 400 vòng/phút, và tốc độ thổi khí 2,5 Nm³/giờ. Toàn bộ kim loại nóng chảy được để yên trong thời gian 1 giờ để loại bỏ xỉ.

Bảng 3

Thành phần (% khối lượng)									Các điều kiện đúc			Các điều kiện xử lý nhiệt								
Số									Nhiệt độ của kim loại nóng chảy (°C)	Nhiệt độ của thạch cao (°C)	Nhiệt độ tấm làm nguội (°C)	Xử lý tạo dung dịch rắn Nhiệt độ x thời gian (°C x giờ)	Nhiệt độ xử lý hóa già x thời gian (°C x giờ)							
	Cu	Mg	Ni	Fe	Ti	Si	Zn	Mn	Cr	Al										
Ví dụ theo sáng chế 9	2,6	1,6	1,1	0,9	0,15	0,2	0,1	0,2	0,1	Phần Cỡ Lái										
Ví dụ theo sáng chế 10																				
Ví dụ theo sáng chế 11																				
Ví dụ theo sáng chế 12																				
Ví dụ theo sáng chế 13																				
Ví dụ theo sáng chế 14																				
Ví dụ theo sáng chế 16																				
Ví dụ so sánh 17																				
Ví dụ so sánh 18																				
Ví dụ so sánh 19																				
Ví dụ so sánh 20																				
Ví dụ so sánh 21																				
Ví dụ so sánh 22																				

Sau đó, kim loại hợp kim nhôm nóng chảy được tạo ra ở bước tạo ra kim loại nóng chảy được đúc áp lực thấp để tạo ra vật đúc hợp kim nhôm, nhờ đó kim loại nóng chảy được phun áp lực vào khoang định trước được tạo kết cấu từ khuôn thạch cao được điều chỉnh đến nhiệt độ nung nóng sơ bộ được thể hiện trong Bảng 3, và tấm làm nguội bằng đồng được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa của bánh cánh quạt và được điều chỉnh đến nhiệt độ được thể hiện trong Bảng 3. Vật đúc hợp kim nhôm được dùng làm bánh cánh quạt máy nén khí kiểu tuabin dùng cho xe tải, và có kết cấu bao gồm phần máy có chiều cao 70mm, phần đĩa có đường kính 80mm, các phần cánh có chiều cao 60mm và có 14 cánh có độ dày ở đầu cánh là 0,4mm. Kim loại nóng chảy được phun dưới áp lực 100 kPa. Áp lực này được tác động đến khi toàn bộ vật đúc hợp kim nhôm được hóa rắn hoàn toàn.

Vật đúc hợp kim nhôm được lấy ra khỏi khuôn thạch cao, và được xử dụng dịch trong các điều kiện được thể hiện trong Bảng 3, và sau đó xử lý hóa già trong các điều kiện được thể hiện trong Bảng 3. Bằng cách này, mẫu bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén được chế tạo.

Mỗi mẫu được chế tạo theo cách như vậy được đánh giá về khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần máy, ở các phần cánh, và ở phần đĩa, các đặc tính ở nhiệt độ cao (giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% ở 200°C, thử nghiệm đánh giá độ bền), và công suất (đánh giá hiệu suất đúc) theo cùng cách như trong ví dụ thứ nhất. Các kết quả được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4

Số	Khoảng cách giữa các nhánh của tính thể dạng nhánh cây thứ cấp			Giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% ở nhiệt độ 200°C (MPa)	Đánh giá bằng thử nghiệm độ bền ở nhiệt độ cao (Vị trí khuyết tật)*1	Năng suất			
	Phần mayơ (μm)	Phần cánh (μm)	Phần đĩa (μm)			Đánh giá hiệu suất đúc	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật bên trong (%)	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật do rót thiếu (%)	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật do hỏng lỗ co (%)
Ví dụ theo sáng chế 9	22 đến 32	23 đến 31	13 đến 21	281	Tốt	Tốt	1,9	0,2	2,0
Ví dụ theo sáng chế 10	21 đến 39	26 đến 32	6 đến 18	286	Tốt	Tốt	1,5	0,3	2,3
Ví dụ theo sáng chế 11	23 đến 44	15 đến 24	8 đến 19	269	Tốt	Tốt	2,3	0,8	1,2
Ví dụ theo sáng chế 12	20 đến 41	16 đến 27	10 đến 21	262	Tốt	Tốt	2,1	0,9	1,2
Ví dụ theo sáng chế 13	21 đến 38	18 đến 30	9 đến 19	261	Tốt	Tốt	1,3	1,1	1,3
Ví dụ theo sáng chế 14	22 đến 39	14 đến 28	8 đến 22	262	Tốt	Tốt	1,8	0,4	2,1
Ví dụ theo sáng chế 16	21 đến 36	14 đến 28	11 đến 20	260	Tốt	Tốt	1,5	1,2	1,5
Ví dụ so sánh 17	36 đến 52	30 đến 41	15 đến 24	251	Kém (Phần mayơ)	Chấp nhận được	6,3	0,4	2,3
Ví dụ so sánh 18	22 đến 41	8 đến 19	10 đến 21	280	Kém (Phần cánh)	Kém	2,5	56,3	2,3
Ví dụ so sánh 19	25 đến 40	20 đến 29	4 đến 13	278	Chấp nhận được (Phần đĩa)	Kém	1,5	38,1	4,1
Ví dụ so sánh 20	28 đến 37	22 đến 31	19 đến 28	265	Kém (Phần đĩa)	Chấp nhận được	2,0	1,1	5,2
Ví dụ so sánh 21	23 đến 37	16 đến 28	10 đến 19	116	Kém (Phần đĩa)	Tốt	1,6	0,3	1,5
Ví dụ so sánh 22	23 đến 40	22 đến 30	12 đến 20	133	Kém (Phần đĩa)	Tốt	1,1	1,0	1,2

*1: 150.000 vòng/phút x 200 giờ, Nhiệt độ của ra 200°C

Trong các ví dụ theo sáng chế từ 9 đến 14, và 16, các mẫu được đúc trong các điều kiện thích hợp, và thỏa mãn về khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần mayơ, ở các phần cánh, và ở phần đĩa, trình tự hóa rắn, và giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư ở nhiệt độ cao. Do vậy, các sản phẩm này là mỹ mãn về hiệu suất đúc và độ bền ở nhiệt độ cao.

Trái lại, trong ví dụ so sánh 17, nhiệt độ của thạch cao là cao, và phần mayơ và các phần cánh có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp lớn. Do đó, giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở phần mayơ, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 18, nhiệt độ khuôn thạch cao là thấp, và mối tương quan nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) $<$ (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Do đó, khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của các phần cánh là nhỏ, và mối tương quan $A_{\text{max}} > B_{\text{max}} > C_{\text{max}}$ là không thỏa mãn. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở các phần cánh, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém. Hơn thế, các phần cánh có nhiều khuyết tật bên ngoài do sự rút thiếu, và hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 19, nhiệt độ tắm làm nguội là thấp, và phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp rất nhỏ. Điều này gây ra sự rạn nứt ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém. Hơn thế, sự hóa rắn nhanh gây ra nhiều khuyết tật bên ngoài, bao gồm nứt do rút thiếu khi đúc, và hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 20, nhiệt độ tắm làm nguội là cao, và mối tương quan nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) $<$ (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Do vậy, phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp lớn, và bị hư hại. Do đó, độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Các ví dụ so sánh 21 và 22 có các giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư

thấp vì bước xử lý tạo dung dịch rắn là không được tiến hành trong ví dụ so sánh 21, và bước xử lý hóa già là không được tiến hành trong ví dụ so sánh 22. Phần đĩa bị hư hại, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Ví dụ thứ ba (các ví dụ theo sáng chế 20, 21, 24, 26, 27, và các ví dụ so sánh từ 23 đến 30)

Các hợp kim nhôm chứa Cu: 2,9%, Mg: 1,7%, Ni: 1,1%, Fe: 1,1%, Ti: 0,17%, và phần còn lại là Al và các tạp chất không thể tránh được được sử dụng. Mỗi hợp kim nhôm được làm nóng chảy theo cách làm nóng chảy kim loại thông thường, và kim loại nóng chảy thu được được điều chỉnh đến nhiệt độ được thể hiện trong Bảng 5 bằng bước tạo ra kim loại nóng chảy. Ở bước tạo ra kim loại nóng chảy, 200 kg hợp kim nhôm được làm nóng chảy để thu được kim loại nóng chảy. Sau đó, khí argon được thổi vào kim loại nóng chảy trong thời gian 40 phút bằng máy thổi khí kiểu quay được vận hành ở tốc độ quay 400 vòng/phút, và tốc độ thổi khí 2,5 Nm³/giờ. Toàn bộ kim loại nóng chảy được để yên trong thời gian 1 giờ rưỡi để loại bỏ xỉ.

Bảng 5

Số	Thành phần (% khối lượng)								Các điều kiện đúc			Các điều kiện xử lý nhiệt			
	Cu	Mg	Ni	Fe	Ti	Si	Zn	Mn	Cr	Al	Nhiệt độ của kim loại nóng chảy Nhiệt độ (°C)	Nhiệt độ của thạch cao Nhiệt độ (°C)	Nhiệt độ tấm làm nguội (°C)	Nhiệt độ xử lý tạo dung dịch rắn x thời gian (°C x giờ)	Nhiệt độ xử lý hóa già x thời gian (°C x giờ)
Ví dụ theo sáng chế 20	2,9	1,7	1,1	1,1	0,1 7	0,2	0,1	0,1	0,1	Phần còn lại	760	300	240	515x10	190x22
Ví dụ theo sáng chế 21											740	330	190	530x4	200x12
Ví dụ theo sáng chế 24											750	350	220	515x8	220x2
Ví dụ theo sáng chế 26											730	270	120	515x8	175x24
Ví dụ theo sáng chế 27											720	250	100	515x8	235x20
Ví dụ so sánh 23											785	300	200	530x4	195x18
Ví dụ so sánh 25											740	200	95	530x4	195x18
Ví dụ so sánh 26											750	250	255	530x4	195x18
Ví dụ so sánh 27											740	355	190	530x4	195x18
Ví dụ so sánh 28											750	195	200	530x4	195x18
Ví dụ so sánh 29	30										760	240	180	Không	195x18
Ví dụ so sánh 30											750	250	210	530x4	Không

Sau đó, kim loại hợp kim nhôm nóng chảy được tạo ra ở bước tạo ra kim loại nóng chảy được đúc áp lực thấp để tạo ra vật đúc hợp kim nhôm, nhờ đó kim loại nóng chảy được phun áp lực vào khoang định trước được tạo kết cấu từ khuôn thạch cao được điều chỉnh đến nhiệt độ nung nóng sơ bộ được thể hiện trong Bảng 5, và tấm làm nguội bằng đồng được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa của bánh cánh quạt và được điều chỉnh đến nhiệt độ được thể hiện trong Bảng 5. Vật đúc hợp kim nhôm được dùng làm bánh cánh quạt máy nén khí kiểu tuabin dùng cho tàu thủy, và có kết cấu bao gồm phần máy có chiều cao 160mm, phần đĩa có đường kính 150mm, các phần cánh có chiều cao 120mm và có 16 cánh có độ dày ở đầu cánh bằng 0,6mm. Kim loại nóng chảy được phun dưới áp lực 100kPa. Áp lực này được tác động đến khi toàn bộ vật đúc hợp kim nhôm được hóa rắn hoàn toàn.

Vật đúc hợp kim nhôm được lấy ra khỏi khuôn thạch cao, và được xử dụng dịch trong các điều kiện được thể hiện trong Bảng 5, và sau đó được xử lý hóa già trong các điều kiện được thể hiện trong Bảng 5. Bằng cách này, mẫu bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén được chế tạo.

Mỗi mẫu được chế tạo theo cách như vậy được đánh giá về khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần máy, ở các phần cánh, và ở phần đĩa, các đặc tính ở nhiệt độ cao (giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% ở nhiệt độ 200°C, thử nghiệm đánh giá độ bền), và công suất (đánh giá hiệu suất đúc) theo cùng cách như trong ví dụ thứ nhất. Các kết quả được thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6

Số	Khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp			Giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% ở nhiệt độ 200°C (MPa)	Đánh giá bằng thử nghiệm độ bền ở nhiệt độ cao (Vị trí khuyết tật)*1	Năng suất			
	Phần mayo (μm)	Phần cánh (μm)	Phần đĩa (μm)			Đánh giá hiệu suất đúc	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật bên trong (%)	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật do rót thiếu (%)	Tỷ lệ các sản phẩm có khuyết tật do hồng lò co (%)
Ví dụ theo sáng chế 20	23 đến 38	20 đến 31	5 đến 17	284	Tốt	Tốt	1,4	0,4	2,1
Ví dụ theo sáng chế 21	26 đến 41	18 đến 28	6 đến 22	267	Tốt	Tốt	1,9	0,6	1,6
Ví dụ theo sáng chế 24	30 đến 50	26 đến 35	8 đến 20	263	Tốt	Tốt	1,1	0,5	2,3
Ví dụ theo sáng chế 26	23 đến 39	16 đến 28	11 đến 24	260	Tốt	Tốt	1,4	1,1	2,0
Ví dụ theo sáng chế 27	21 đến 42	10 đến 21	10 đến 17	260	Tốt	Tốt	2,2	0,4	1,8
Ví dụ so sánh 23	38 đến 51	28 đến 40	20 đến 28	248	Kém (Phần mayo)	Chấp nhận được	5,5	0,8	3,1
Ví dụ so sánh 25	27 đến 39	22 đến 31	4 đến 17	280	Chấp nhận được (Phần đĩa)	Kém	2,2	41,4	3,7
Ví dụ so sánh 26	30 đến 41	27 đến 35	22 đến 30	259	Kém (Phần đĩa)	Chấp nhận được	3,0	1,0	4,8
Ví dụ so sánh 27	40 đến 53	31 đến 45	19 đến 33	245	Kém (Phần mayo)	Chấp nhận được	6,3	0,8	2,1
Ví dụ so sánh 28	28 đến 37	9 đến 20	13 đến 21	263	Chấp nhận được (Phần cánh)	Kém	4,1	33,5	2,2
Ví dụ so sánh 29	22 đến 36	19 đến 28	13 đến 20	121	Kém (Phần đĩa)	Tốt	1,3	0,4	1,1
Ví dụ so sánh 30	20 đến 42	23 đến 31	15 đến 22	118	Kém (Phần đĩa)	Tốt	1,5	0,8	1,0

*1: 150,000 vòng/phút×200 giờ, Nhiệt độ của ra 200°C

Trong các ví dụ theo sáng chế 20, 21, 24, 26, và 27, các mẫu được đúc trong các điều kiện thích hợp, và thỏa mãn về khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp ở phần mayor, ở các phần cánh, và ở phần đĩa, trình tự hóa rắn, và giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư ở nhiệt độ cao. Do vậy, các sản phẩm này là mỹ mãn về hiệu suất đúc và độ bền ở nhiệt độ cao.

Trái lại, trong ví dụ so sánh 23, nhiệt độ của kim loại nóng chảy là cao, và khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp là lớn trong tất cả các phần. Do đó, giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở phần mayor, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 25, nhiệt độ tắm làm nguội là thấp, và phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp rất nhỏ. Điều này gây ra sự rạn nứt ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém. Hơn thế, việc hóa rắn nhanh gây ra nhiều khuyết tật bên ngoài, kể cả nứt do sự rút thiếu trong khi đúc, và hiệu suất đúc là thấp.

Trong ví dụ so sánh 26, nhiệt độ tắm làm nguội là cao, và mối tương quan nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) < (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Do vậy, phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp lớn. Giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư là thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở phần đĩa, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 27, nhiệt độ của thạch cao là cao, và khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp là lớn trong tất cả các phần. Điều này dẫn đến giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư thấp. Hơn thế, sự hư hại xảy ra ở phần mayor, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Trong ví dụ so sánh 28, nhiệt độ khuôn thạch cao là thấp, và mối tương quan nhiệt độ tắm làm nguội ($^{\circ}\text{C}$) < (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) ($^{\circ}\text{C}$) là không thỏa mãn. Do đó, các phần cánh có khoảng cách giữa các nhánh của tinh

thể dạng nhánh cây thứ cấp nhỏ, và mối tương quan $A_{max} > B_{max} > C_{max}$ là không thỏa mãn. Hơn thế, hiện tượng nứt xảy ra ở các phần cánh, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém. Các phần cánh cũng có nhiều khuyết tật bên ngoài do sự rút thiếu, và hiệu suất đúc là thấp.

Các ví dụ so sánh 29 và 30 có các giá trị ứng suất kéo gây biến dạng dư thấp vì bước xử lý tạo dung dịch rắn không được tiến hành trong ví dụ so sánh 29, và bước xử lý hóa già không được tiến hành trong ví dụ so sánh 30. Phần đĩa bị hư hại, và độ bền ở nhiệt độ cao là kém.

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Sáng chế cho phép tạo ra hợp kim nhôm bánh cánh quạt dùng cho máy nén với chi phí thấp mà lại có độ bền ở nhiệt độ cao mỹ mãn, và có thể luôn chịu được nhiệt độ cao khi quay ở tốc độ cao trong khoảng thời gian dài. Sáng chế cũng có hiệu quả cao trong công nghiệp bởi vì công suất của động cơ đốt trong có thể được cải thiện bằng cách tăng khả năng tăng nạp của máy nén khí kiểu tuabin.

Danh mục các số chỉ dẫn

- 1 Bánh cánh quạt máy nén
- 2 Phần mayor
- 3 Phần đĩa
- 4 Phần cánh
- 5 Mặt cắt ngang DAS của phần mayor
- 6 Mặt cắt ngang DAS của phần đĩa
- 7 Mặt cắt ngang DAS của phần cánh
- 8 Trục trung tâm của bánh cánh quạt máy nén

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Bánh cánh quạt bằng kim nhôm đúc dùng cho máy nén, bao gồm phần máy, các phần cánh, và phần đĩa,

trong đó hợp kim nhôm đúc này là hợp kim nhôm chứa Cu với lượng nằm trong khoảng từ 1,4 đến 3,2% khối lượng, Mg với lượng nằm trong khoảng từ 1,0 đến 2,0% khối lượng, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0% khối lượng, Fe với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0% khối lượng, và Ti với lượng nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,35% khối lượng, phần còn lại là Al và các tạp chất không thể tránh được,

trong đó phần máy có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 20 đến 50 μm , các phần cánh có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 10 đến 35 μm , và phần đĩa có khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp nằm trong khoảng từ 5 đến 25 μm ,

trong đó phần máy, các phần cánh, và phần đĩa thỏa mãn mối tương quan: $A_{\text{max}} > B_{\text{max}} > C_{\text{max}}$, trong đó A_{max} là trị số lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của phần máy, B_{max} là trị số lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của các phần cánh, và C_{max} là trị số lớn nhất của khoảng cách giữa các nhánh của tinh thể dạng nhánh cây thứ cấp của phần đĩa, và

trong đó bánh cánh quạt bằng kim nhôm đúc dùng cho máy nén có trị số ứng suất kéo gây biến dạng dư 0,2% bằng 260 MPa hoặc lớn hơn 260 MPa ở nhiệt độ 200°C, và

trong đó không có sự gãy hoặc nứt xảy ra trong tất cả phần máy, phần cánh và phần đĩa, khi độ bền mỏi ở nhiệt độ cao được đánh giá trong thử nghiệm

độ bền ở nhiệt độ cao (hệ thống tuabin; 150.000 vòng/phút $\times$ 200 giờ, nhiệt độ của ra 200°C).

2. Bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén theo điểm 1, trong đó bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén này là để sử dụng trong các ứng dụng trên quy mô lớn, và trong đó phần máy có chiều cao nằm trong khoảng từ 200 đến 80mm, phần đĩa có đường kính nằm trong khoảng từ 300 đến 100mm, và các phần cánh có từ 30 đến 10 cánh có chiều cao nằm trong khoảng từ 180 đến 60mm và độ dày ở đầu cánh nằm trong khoảng từ 4,0 đến 0,4mm.

3. Bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén theo điểm 1, trong đó bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén này là để sử dụng trong các ứng dụng trên quy mô nhỏ, và trong đó phần máy có chiều cao nằm trong khoảng từ 100 đến 20mm, phần đĩa có đường kính nằm trong khoảng từ 120 đến 25mm, và các phần cánh có từ 20 đến 4 cánh có chiều cao nằm trong khoảng từ 90 đến 5mm và độ dày ở đầu cánh nằm trong khoảng từ 3,0 đến 0,1mm.

4. Phương pháp sản xuất bánh cánh quạt bằng hợp kim nhôm đúc dùng cho máy nén theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó phương pháp bao gồm các bước:

tạo ra kim loại nóng chảy bằng cách tạo ra hợp kim nhôm kim loại nóng chảy có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 720 đến 780°C chứa Cu với lượng nằm trong khoảng từ 1,4 đến 3,2% khối lượng, Mg với lượng nằm trong khoảng từ 1,0 đến 2,0% khối lượng, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0% khối

lượng, Fe với lượng nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2,0% khối lượng, và Ti với lượng nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,35% khối lượng, phần còn lại là Al và các tạp chất không thể tránh được;

đúc hợp kim nhôm bằng cách đúc áp lực, theo đó hợp kim nhôm nóng chảy thu được được phun áp lực vào khoang tạo hình sản phẩm cấu thành từ khuôn thạch cao có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 200 đến 350°C và tấm làm nguội có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100 đến 250°C được bố trí trên bề mặt tiếp xúc với bề mặt đĩa của bánh cánh quạt, nhiệt độ khuôn thạch cao và nhiệt độ tấm làm nguội thỏa mãn mối tương quan: nhiệt độ tấm làm nguội (°C) < (nhiệt độ khuôn thạch cao - 50) (°C);

đưa vật đúc hợp kim nhôm vào công đoạn xử lý tạo dung dịch rắn; và

xử lý hóa già bằng cách hóa già vật đúc hợp kim nhôm sau khi xử lý tạo dung dịch rắn.

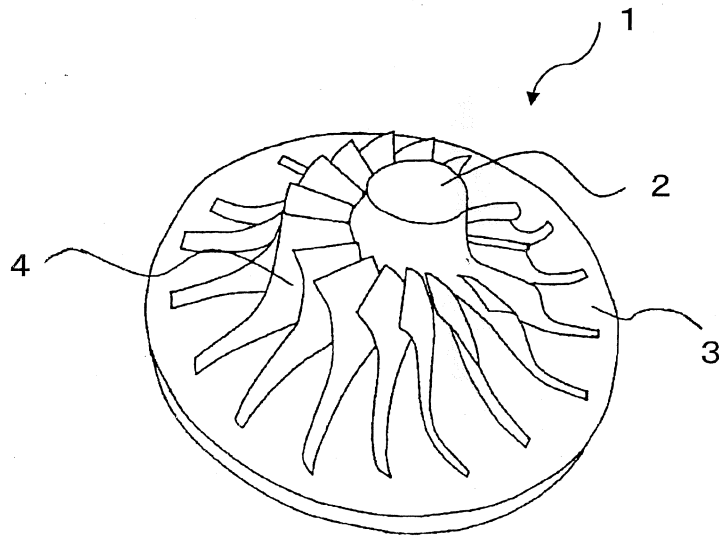


FIG. 1

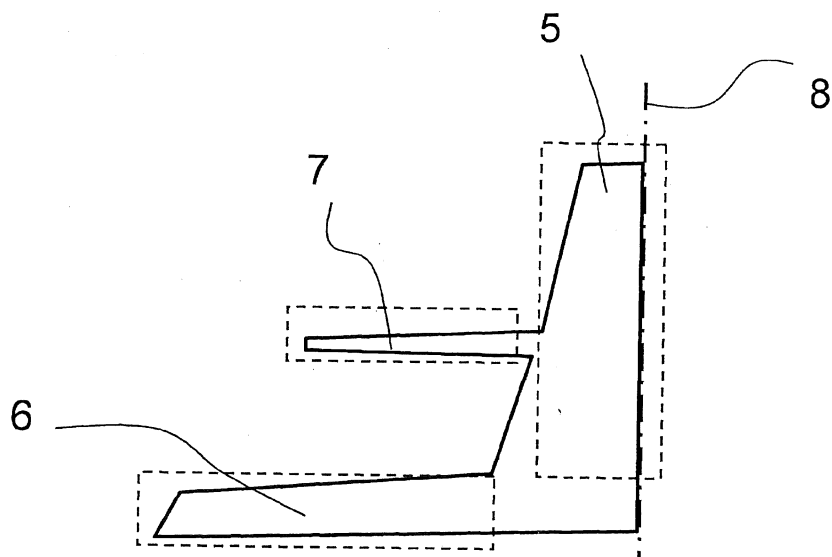


FIG. 2