



(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)



1-0044489

(51)^{2022.01} B23K 35/26; C22C 13/02; C22C 12/00

(13) B

(21) 1-2023-04903

(22) 21/07/2023

(30) 2022-117606 22/07/2022 JP

(45) 25/04/2025 445

(43) 26/02/2024 431

(71) SENJU METAL INDUSTRY CO., LTD. (JP)

23, Senju-hashido-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8555, Japan

(72) Takahiro MATSUFUJI (JP); Shunsaku YOSHIKAWA (JP); Hiroki SUDO (JP).

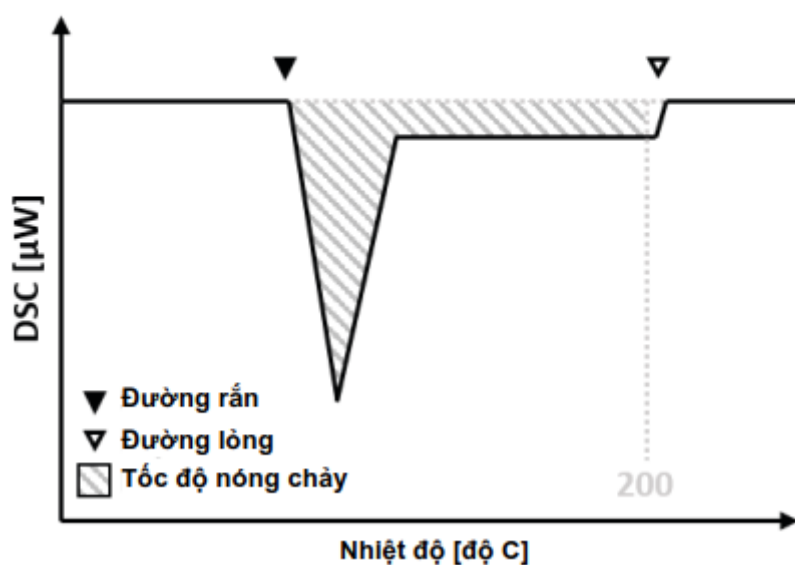
(74) Công ty TNHH Tầm nhìn và Liên danh (VISION & ASSOCIATES CO.LTD.)

(54) HỢP KIM HÀN, BI HÀN, KEM HÀN VÀ MỐI HÀN

(21) 1-2023-04903

(57) Sáng chế đề cập đến hợp kim hàn, bi hàn, kem hàn và mối hàn, mà có điểm nóng chảy thấp, độ cứng cao trong môi trường nhiệt độ cao, sức kháng chu kỳ nhiệt và sức kháng dịch chuyển điện tử. Hợp kim hàn có thành phần hợp kim bao gồm, theo % khối lượng, Bi: từ 30 đến 60%, Ag: từ 0,7 đến 2,0%, Cu: nhiều hơn 0% và ít hơn hoặc bằng 1,00%, Ni: từ 0,01 đến 1,00%, Sb: từ 0,2 đến 1,5%, còn lại là Sn.

Fig. 1



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến hợp kim hàn, bi hàn, kem hàn và mối hàn có điểm nóng chảy thấp.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, việc làm giảm kích thước các thiết bị điện tử chẳng hạn như các bộ xử lý trung tâm (Central Processing Unit, CPU) được yêu cầu. Khi thiết bị điện tử được làm giảm kích thước, tải nhiệt trong quá trình hàn tăng lên, vì thế việc hàn ở nhiệt độ thấp được mong muốn. Nhiệt độ hàn thấp hơn sẽ cho phép sản xuất bảng mạch có độ tin cậy cao. Để hàn ở nhiệt độ thấp, hợp kim hàn có điểm nóng chảy thấp phải được sử dụng.

Các ví dụ của các hợp kim hàn có điểm nóng chảy thấp bao gồm Sn-58Bi và Sn-52In, như được bộc lộ trong JISZ3282 (2017). Các hợp kim này có các nhiệt độ nóng chảy lần lượt là 139°C và 119°C, và cả hai có các thành phần hợp kim đại diện cho các chất hàn có các điểm nóng chảy thấp. Cụ thể là, Sn-58Bi đã được sử dụng rộng rãi làm hợp kim hàn có chi phí thấp.

Tuy nhiên, trong quá trình hóa rắn của hợp kim hàn Sn-Bi được mô tả ở trên với hàm lượng Bi cao, Bi phân tách trong Sn và kết tủa các pha Bi thô. Các pha Bi có các đặc tính cứng và giòn, và có thể làm suy giảm các đặc tính cơ học chẳng hạn như độ dẻo của hợp kim hàn. Do đó, để ngăn chặn sự gia tăng về điểm nóng chảy và cải thiện các đặc tính cơ học, các hợp kim hàn khác nhau đã được nghiên cứu.

Ví dụ, tài liệu sáng chế 1 bộc lộ hợp kim hàn được thu bằng cách cải thiện độ dẻo, sức kháng mỗi nhiệt, sức kháng rão, và sức kháng va đập rơi của hợp kim hàn Sn-Bi bằng cách tinh chỉnh cấu trúc. Để cải thiện các đặc tính cơ học này, tài liệu này bộc lộ rằng hợp kim hàn có thể chứa Ag, Cu, Sb và Ni, v.v..

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ hợp kim hàn có các hạt tinh thể mịn và được cải thiện về các đặc tính thấm ướt, độ bền kéo và độ chống rung. Để cải thiện các đặc tính này, tài liệu này bộc lộ rằng, bằng cách sử dụng thực tế là Bi và Si tạo thành dung dịch rắn theo tỷ lệ, các hàm lượng của chúng có mối tương quan định trước. Ngoài ra, tài liệu này bộc lộ rằng, sau khi tạo ra hợp kim trung gian của Bi và Sb, bằng cách làm nóng chảy hợp kim trung gian cùng với hợp kim trung gian của Sn-Cu, Sn-Ag và Sn-Ni, v.v., hợp kim hàn định trước được tạo ra.

Danh sách trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Công bố đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 2020/0070287

Công bố đơn yêu cầu cấp patent chưa thẩm định Nhật Bản (bản dịch từ đơn PCT) số 2019-527145

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

Như được mô tả ở trên, trong các tài liệu sáng chế 1 và 2, các sự cải tiến về các đặc tính cơ học, v.v., bằng cách tinh chỉnh cấu trúc hợp kim được mô tả. Một trong số các lý do cho các sự cải tiến trong các đặc tính cơ học bằng cách tinh chỉnh cấu trúc hợp kim là giảm ứng suất tác động lên hợp kim hàn. Vì cấu trúc hợp kim được tinh chỉnh, diện tích của biên hạt tinh thể tăng lên, vì thế ứng suất được làm giảm một cách dễ dàng. Vì kích thước hạt tinh thể là nhỏ, nên ứng suất trên mỗi hạt tăng lên tương đối, vì thế hạt tinh thể dễ dàng biến dạng, và ứng suất được làm giảm.

Tuy nhiên, theo việc làm giảm kích thước các thiết bị điện tử trong những năm gần đây, các mối hàn cần được tạo ra trên các điện cực cũng trở nên nhỏ hơn, vì thế các mối hàn dễ dàng biến dạng nhiều hơn mức cần thiết, và kết quả là, các đặc tính cơ học cần thiết của mối hàn có thể suy giảm. Tài liệu sáng chế 1 mô tả rằng độ dẻo được cải thiện bằng cách tinh chỉnh cấu trúc hợp kim, và theo đó, sức kháng va đập rơi được cải thiện, tuy nhiên, khi độ dẻo cao, ngay cả khi thiết bị điện tử được nối với tấm nền bị lệch vị trí do sự biến dạng của hợp kim hàn cấu thành các mối hàn, trạng thái dẫn điện được duy trì trong một số trường hợp. Tuy nhiên, có lo ngại rằng sự biến dạng của đường dẫn điện làm suy giảm các độ tin cậy cơ học và điện, và độ cứng cao trong môi trường nhiệt độ cao cũng được yêu cầu.

Trong trường hợp trong đó độ dẻo cao, khi thiết bị điện tử bị lệch vị trí do ứng suất bên ngoài, diện tích mặt cắt của hợp kim hàn cấu thành mối hàn giảm. Theo đó, nhiệt Joule được tạo ra trong mối hàn tăng lên, và có thể ảnh hưởng xấu đến nhiệt của thiết bị điện tử. Do đó, độ cứng cao trong môi trường nhiệt độ cao được xem là cần thiết.

Hơn nữa, theo sự mở rộng trong ứng dụng sử dụng của chất hàn có điểm nóng chảy thấp, ứng dụng của nó được mở rộng sang các phần bên trong của các thành phần điện tử và các CPU. Trong tình huống này, xét theo việc sản xuất và vận chuyển các thành phần này, việc đảm bảo độ bền được xem là cần thiết để ngăn ngừa sự hư hỏng tại lúc kiểm tra trước khi giao hàng và

cải thiện tính ổn định của kho lưu trữ.

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ rằng, vì Sb và Bi tạo thành dung dịch rắn theo tỷ lệ, Sb hòa tan trong cấu trúc pha Bi trong quá trình hóa rắn, và có sự phân bố tầng BiSb mịn, và vấn đề về độ giòn của hợp kim gây ra bởi sự tập hợp pha Bi được giải quyết một cách đáng tin cậy về mặt cấu trúc. Tuy nhiên, đáp lại thực tế là độ giòn của hợp kim hàn trở thành một vấn đề và làm suy giảm các đặc tính cơ học, trong các thiết bị điện tử gần đây mà được làm giảm kích thước một cách đáng kể, khi độ dẻo được cải thiện để tránh độ giòn, như được mô tả ở trên, sự cải thiện về độ dẻo có thể gây ra vấn đề.

Các thiết bị điện tử được sử dụng làm các thiết bị gắn trên xe, và các mối hàn phải được ngăn không bị đứt ngay cả khi tiếp xúc với môi trường khắc nghiệt với các sự thay đổi nhiệt độ cực đoan. Để ngăn không cho các mối hàn đứt, người ta cho rằng, vì hợp kim hàn có độ dẻo và độ bền kéo cao hơn, nên chất hàn có khả năng chịu sức kháng chu kỳ nhiệt tuyệt vời hơn. Tuy nhiên, các công nghệ thông thường trong đó các nghiên cứu được thực hiện chỉ để cải thiện độ dẻo và độ bền kéo gây ra các tác động có hại như được mô tả ở trên.

Trong những năm gần đây, theo các sự cải tiến về hiệu suất của các thiết bị điện tử, mật độ dòng điện được dẫn đến mối hàn đã tăng lên đáng kể. Sự gia tăng mật độ dòng điện gây ra sự dịch chuyển điện tử trong mối hàn trong một số trường hợp. Khi sự dịch chuyển điện tử diễn ra, mối hàn bị đứt, hoặc các đặc tính điện bị suy giảm do sự gia tăng giá trị điện trở.

Ở đây, sự dịch chuyển điện tử (sau đây, được gọi là “EM”) là hiện tượng sau. Đầu tiên, các nguyên tử cấu thành mối hàn va chạm với các điện tử mà tạo thành dòng điện, và động lượng được truyền từ các điện tử đến các nguyên tử. Các nguyên tử mà đã thu được động lượng theo hướng dòng điện tử di chuyển dọc theo dòng điện tử đến phía anốt của mối hàn. Tại lúc này, trong hợp kim hàn chủ yếu bao gồm Sn, Bi và Sn di chuyển theo thứ tự này và phân tách ở phía anốt, và lưới trống được tạo ra ở phía catốt của mối hàn. Lưới trống này dần dần mở rộng và tạo thành khoảng trống. Khi khoảng trống phát triển, giá trị điện trở tăng, và kết quả là, mối hàn đứt.

Mặt khác, trong hợp kim hàn Sn-Bi với hàm lượng Bi lớn hơn vài chục phần trăm, trái ngược với đặc tính của hợp kim hàn có hàm lượng Bi là vài phần trăm và chủ yếu bao gồm Sn, Bi phân tách ở phía anốt, và Sn phân tách ở phía catốt. Lớp phân tách Bi gây ra sự gia tăng độ giòn, suy giảm độ dẫn điện, và gia tăng nhiệt Joule, và làm suy giảm độ chắc chắn cơ học và các đặc tính điện của phần được nối. Hợp kim hàn Si-Bi có các đặc tính trong đó EM dễ dàng

diễn ra thậm chí trong môi trường có nhiệt độ thấp hơn hoặc môi trường có dòng điện thấp hơn so với hợp kim hàn chủ yếu bao gồm Sn. Trong những năm gần đây, do nhu cầu gia tăng đối với việc thu nhỏ hơn nữa và môi trường dòng điện cao hơn của các thành phần điện tử, EM trở thành vấn đề lớn, và cụ thể là, việc giảm rủi ro EM là điều cần thiết đối với hợp kim hàn Sn-Bi.

Mục đích của sáng chế là đề xuất hợp kim hàn, bi hàn, kem hàn và mối hàn, mà có điểm nóng chảy thấp, độ cứng cao trong môi trường nhiệt độ cao, sức kháng chu kỳ nhiệt và sức kháng dịch chuyển điện tử.

Giải pháp cho vấn đề

Trong hợp kim hàn Sn-Bi có điểm nóng chảy thấp, thay vì theo đuổi độ dẻo cao như trong trường hợp thông thường, các tác giả sáng chế nguyên cứu các nguyên tố phụ gia cần thiết để có cả độ cứng cao trong môi trường nhiệt độ cao và sức kháng chu kỳ nhiệt. Được cho rằng, ngay cả khi hàm lượng Bi trong hợp kim hàn Sn-Bi hơi lệch khỏi thành phần eutecti, Bi phân tách và hợp kim hàn trở nên giòn, và theo đó, độ cứng suy giảm, và sức kháng chu kỳ nhiệt cũng suy giảm.

Do đó, các tác giả sáng chế tập trung vào thực tế là sự hình thành hợp chất liên kim loại cứng và đồng nhất với điểm nóng chảy cao trong hợp kim hàn có hiệu quả để ngăn chặn sự giảm độ cứng trong môi trường nhiệt độ cao gây ra bởi sự phân tách Bi và thực hiện sức kháng chu kỳ nhiệt tuyệt vời. Để cải thiện độ cứng trong môi trường nhiệt độ cao, pha tinh thể có điểm nóng chảy cao cần được kết tủa trong hợp kim hàn. Ngoài ra, để tránh gãy khớp nối trong mối hàn, sự phát triển của pha tinh thể được tạo ra ở khớp nối cần được ngăn chặn.

Theo sáng chế, để cải thiện sức kháng chu kỳ nhiệt, các đặc tính rão cần được cải thiện. Các đặc tính rão thường được đánh giá bằng cách tác dụng ứng suất định trước vào mẫu ở nhiệt độ phòng, và đo thời gian đến khi đứt. Tuy nhiên, tại thời điểm chu kỳ nhiệt, ứng suất được tác dụng vào mối hàn trong môi trường nhiệt độ cao được cho là lớn hơn trong môi trường nhiệt độ thấp. Do đó, để cải thiện các đặc tính rão tại thời điểm chu kỳ nhiệt, các tốc độ rão thứ cấp trên đường cong rão trong môi trường nhiệt độ cao cần được làm giảm. Do đó, trong hợp kim hàn Sn-Bi, bằng cách tập trung vào sự kết tủa của pha tinh thể có điểm nóng chảy cao và sự giảm các tốc độ rão thứ cấp dưới dạng tốc độ rão nhỏ nhất trong môi trường nhiệt độ cao, các tác giả sáng chế lựa chọn các nguyên tố phụ gia và nguyên cứu các hàm lượng của chúng.

Kết quả là, Ag, Sb, Cu và Ni được lựa chọn làm các nguyên tố tạo thành các hợp chất liên kim loại với Sn. Ag tạo thành Ag_3Sn và Sb tạo thành SbSn . Cu tạo thành lớp hợp chất của

Cu_6Sn_5 , v.v., ở khớp nối, và Ni tạo thành $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ mịn bằng cách thay thế bằng Cu. Tuy nhiên, ngay cả khi các hợp chất này được tạo ra ngẫu nhiên trong hợp kim hàn và ở khớp nối, khó có cả độ cứng cao trong môi trường nhiệt độ cao và sức kháng chu kỳ nhiệt. Trong trường hợp hợp kim hàn có độ cứng thấp, một chốt được sử dụng để thử nghiệm tiếp xúc chốt nhiệt độ cao để đo hiệu suất của bộ phận bán dẫn dễ dàng dính vào hợp kim hàn, và có thể gây ra vấn đề trong quy trình tiếp theo để lắp bộ phận này sau khi thử nghiệm.

Cụ thể hơn là, liên quan đến Ag, để ngăn chặn sự gia tăng về điểm nóng chảy, hàm lượng của Ag đã được điều chỉnh vì thế Ag_3Sn kết tủa dưới dạng tinh thể sơ cấp ở vùng lân cận của thành phần eutecti khi chất hàn nóng chảy được làm nguội. Liên quan đến Sb, giống như Ag, hàm lượng của chúng đã được điều chỉnh vì thế tránh được sự gia tăng về nhiệt độ đường lỏng nhiều nhất có thể, và ở nhiệt độ phòng, SbSn được tạo ra và các tốc độ rão thứ cấp giảm, và sức kháng chu kỳ nhiệt được cải thiện. Liên quan đến Cu, hàm lượng của chúng đã được điều chỉnh để tạo thành lớp hợp chất mỏng của Cu_6Sn_5 , v.v.. Liên quan đến Ni, hàm lượng của chúng đã được điều chỉnh vì thế, bằng cách tinh chế Cu_6Sn_5 , sự phát triển sau đó bị ngăn chặn ngay cả sau khi mối hàn được tạo ra.

Các tác giả sáng chế phát hiện ra rằng, do các hàm lượng của các nguyên tố cấu thành tương ứng được điều chỉnh như được mô tả ở trên vì thế các sự kết tủa của các hợp chất liên kim loại khác nhau được kiểm soát, Ag_3Sn và SbSn kết tủa một cách thích hợp, và ngoài ra, thậm chí sự phân tách Bi cũng có thể bị ngăn chặn, và sự biến đổi về kích thước hạt tinh thể trở nên nhỏ. Theo đó, đạt được kết quả là cấu trúc của hợp kim hàn có thể được đồng nhất hóa.

Hơn nữa, liên quan đến hợp kim hàn Sn-Bi có điểm nóng chảy thấp, các tác giả sáng chế nguyên cứu cấu trúc hợp kim mà có sức kháng EM ngoài độ cứng cao và sức kháng chu kỳ nhiệt tuyệt vời. Theo đó, nhận thấy rằng ngay cả khi hàm lượng Bi trong hợp kim hàn Sn-Bi lệch khỏi thành phần eutecti, chính sự phân tách Bi không bị ức chế, và sức kháng EM bị suy giảm được thu. Do đó, để ngăn chặn sự phân tách Bi trong hợp kim hàn Sn-Bi, các tác giả sáng chế tập trung vào thực tế là, miễn là hợp chất liên kim loại với Sn được tạo thành đồng nhất trong hợp kim hàn, thì hợp chất liên kim loại không cần được tạo ra mịn quá mức, và hợp kim hàn có sức kháng EM tuyệt vời ngay cả khi kích thước hạt tinh thể hơi lớn.

Như được mô tả ở trên, khi tập trung vào độ cứng cao và sức kháng chu kỳ nhiệt tuyệt vời, sự đồng nhất hóa cấu trúc được thực hiện đến mức nhất định. Tuy nhiên, đã nhận thấy rằng sự xuất hiện của EM có thể không được ngăn chặn đủ bằng sự điều chỉnh cấu trúc hợp kim chỉ

tập trung vào các đặc tính cơ học và sức kháng chu kỳ nhiệt. Khi hợp chất liên kim loại kết tủa tốt, cấu trúc chất hàn Sn-Bi cũng dễ dàng có cấu trúc tinh phức tạp. Sự gia tăng biên hạt nhờ sự tinh chế đơn giản của cấu trúc kim loại làm tăng tốc EM như là hiện tượng vận chuyển nguyên tử, và việc bổ sung nguyên tố có thể xuất hiện dưới dạng tác động tiêu cực ngoài ý muốn. Do đó, để ngăn không cho sự phân bố kích thước hạt tinh thể trở nên hẹp hơn và ngăn không cho kích thước hạt tinh thể trở nên mịn quá mức, nhờ việc nghiên cứu hiệu ứng trễ EM của các loại hợp chất liên kim loại và nghiên cứu sự cân bằng giữa các hiệu ứng tinh chế và đồng nhất hóa của các nguyên tố tương ứng trên cấu trúc hàn, các sự điều chỉnh chi tiết hơn được thực hiện. Kết quả là, thu được cấu trúc hợp kim hàn mà vừa đảm bảo tính đồng nhất thích hợp và các đặc tính cơ học của cấu trúc hợp kim hàn, vừa có khả năng triệt tiêu EM bởi hợp chất, và có sức kháng EM được cải thiện bằng cách trì hoãn sự phân tách Bi khi được cấp điện, và sáng chế được hoàn thành.

Từ các phát hiện này, sáng chế được thực hiện như sau.

(0) Hợp kim hàn bao gồm, theo % khối lượng

Bi: từ 30 đến 60%,

Ag: từ 0,7 đến 2,0%,

Cu: lớn hơn 0% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%,

Ni: từ 0,01 đến 1,00%,

Sb: từ 0,2 đến 1,5%, còn lại là Sn.

Thuật ngữ “còn lại là Sn” xác định rằng phần còn lại là Sn cùng với các tạp chất không tránh được.

(1) Hợp kim hàn có thành phần hợp kim bao gồm, theo % khối lượng

Bi: từ 30 đến 60%,

Ag: từ 0,7 đến 2,0%,

Cu: lớn hơn 0% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%,

Ni: từ 0,01 đến 1,00%,

Sb: từ 0,2 đến 1,5%, còn lại là Sn.

Thuật ngữ “còn lại là Sn” xác định rằng phần còn lại là Sn cùng với các tạp chất không

tránh được.

(2) Hợp kim hàn theo điểm (0) hoặc điểm (1) ở trên, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm ít nhất một trong số P, Ge, Ga và As: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%.

(3) Hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (2) ở trên, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm ít nhất một trong số Fe và Co: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%.

(4) Hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (3) ở trên, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%.

(5) Hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (4) ở trên, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm Zr: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%.

(6) Hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (5) ở trên, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm Zn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%.

(7) Hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (6) ở trên, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm Pb: nhỏ hơn 0,02%.

(8) Hợp kim hàn theo điểm (0) hoặc điểm (1), trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm ít nhất một chất được chọn từ nhóm bao gồm,

ít nhất một trong số, P: nhỏ hơn 0,01%, Ge: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, Ga: nhỏ hơn 0,01%, và As: lớn hơn 0,001% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%,

Co: nhỏ hơn 0,01%,

Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, và

Pb: nhỏ hơn 0,004%.

(9) Hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (8) ở trên,

trong đó thành phần hợp kim thỏa mãn ít nhất một trong số các hệ thức (1) đến (3) sau:

$$13,00 \leq \text{Bi}/(\text{Ag}+\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Sb}) \leq 23,27 \text{ Hệ thức (1)}$$

$$0,017 \leq (\text{Ag}+\text{Cu}+\text{Ni})/\text{Sn} \leq 0,039 \text{ Hệ thức (2)}$$

$$70,9 \leq (\text{Bi}+\text{Ag}+\text{Sb})/(\text{Cu}+\text{Ni}) \leq 6349 \text{ Hệ thức (3)}$$

trong đó Sn, Bi, Ag, Cu, Ni và Sb trong các hệ thức (1) đến (3), mỗi chất thể hiện các hàm lượng (% khối lượng) của chúng trong hợp kim hàn.

(10) Bi hàn bao gồm hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (9) ở trên.

(11) Kem hàn bao gồm bột hàn bao gồm hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (9) ở trên.

(12) Mối hàn bao gồm hợp kim hàn theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ (0) đến (9) ở trên.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ của đường cong nóng chảy được thu bởi DSC.

Fig.2 là sơ đồ của đường cong rã.

Fig.3 là các ảnh chụp mặt cắt ngang của các mối hàn được làm từ các bi hàn có các thành phần hợp kim của ví dụ 4, ví dụ 7, ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 5, Fig.3A là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 được chụp ở độ phóng đại là 350, Fig.3B là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 được chụp ở độ phóng đại là 2000, Fig.3C là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 7 được chụp ở độ phóng đại là 350, Fig.3D là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 7 được chụp ở độ phóng đại là 2000, Fig.3E là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 được chụp ở độ phóng đại là 350, Fig.3F là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 được chụp ở độ phóng đại là 2000, Fig.3G là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 5 được chụp ở độ phóng đại là 350 và Fig.3H là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 5 được chụp ở độ phóng đại là 2000.

Fig.4 là các ảnh chụp nhìn từ mặt trên cùng của các mẫu của các mối hàn được làm từ các hợp kim hàn của ví dụ 4, ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 6, trải qua phép đo độ cứng Vickers, Fig.4A là ví dụ 4, Fig.4B là ví dụ so sánh 4 và Fig.4C là ví dụ so sánh 6.

Fig.5 là hình vẽ minh họa các kết quả phép đo độ cứng Vickers của ví dụ so sánh 4, ví dụ 4 và ví dụ so sánh 6.

Fig.6 là hình vẽ minh họa các đồ thị Weibull của các kết quả thử nghiệm chu kỳ nhiệt của ví dụ 4, các ví dụ từ 25 đến 28, và các ví dụ so sánh từ 4 đến 7.

Fig.7 là hình vẽ minh họa các đường cong rão trong các vùng rão thứ cấp của ví dụ 4, ví dụ 18, ví dụ 23, ví dụ 28, ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 6.

Fig.8 là hình vẽ minh họa các kết quả thử nghiệm sức kháng EM của ví dụ 4, ví dụ 28 và ví dụ so sánh 4.

Fig.9 là các ảnh chụp mặt cắt ngang trước và sau các thử nghiệm sức kháng EM của các mối hàn được làm từ các bi hàn có các thành phần hợp kim của ví dụ 4, ví dụ 28 và ví dụ so sánh 4, Fig.9A là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 trước khi cấp điện, Fig.9B và Fig.9C là các ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 sau khi cấp điện 700 giờ, Fig.9D là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 trước khi cấp điện, Fig.9E và Fig.9F là các ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 sau khi cấp điện 700 giờ, Fig.9G là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 28 trước khi cấp điện và Fig.9H và Fig.9I là các ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 28 sau khi cấp điện 700 giờ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế được mô tả chi tiết hơn sau đây. Theo sáng chế, “%” liên quan đến thành phần hợp kim hàn đề cập đến “% khối lượng” trừ khi được nêu rõ khác đi. Trong hợp kim hàn của sáng chế, Bi, Ag, Cu, Ni và Sb là các nguyên tố thiết yếu, và P, Ge, Ga, As, Fe, Co, Pd, Zr, Zn và Pb là các nguyên tố tùy chọn.

1. Thành phần hợp kim của hợp kim hàn

(1)Bi: từ 30 đến 60%

Bi là nguyên tố được thêm vào để làm giảm điểm nóng chảy của hợp kim hàn, và có mối tương quan đến độ cứng và sức kháng chu kỳ nhiệt của hợp kim hàn. Ngoài ra, Bi có thể điều chỉnh độ dẫn điện của hợp kim hàn. Điểm nóng chảy của hợp kim euctecti Sn-Bi thấp bằng 139°C, và hàm lượng được mô tả ở trên vượt qua giới hạn hòa tan rắn trong Sn, vì thế Bi kết tủa thích hợp trong ma trận Sn.

Hàm lượng Bi nhỏ hơn 30% làm tăng điểm nóng chảy và ngăn cản mục tiêu gắn kết ở điểm nóng chảy thấp. Ngoài ra, sức kháng chu kỳ nhiệt bị suy giảm. Như được mô tả sau đây,

độ cứng và sức kháng chu kỳ nhiệt được cải thiện ở một mức độ nào đó bằng cách thêm Ag và Sb, tuy nhiên, sự tăng quá mức về hàm lượng của Ag và/hoặc Sb khiến cấu trúc hợp kim trở nên không đồng nhất, và gây ra sự gia tăng điểm nóng chảy, vì thế, theo sáng chế, các sự cải tiến đủ không thể được thu chỉ bằng cách bổ sung Ag và Sb. Xét theo giới hạn dưới, hàm lượng Bi lớn hơn hoặc bằng 30%, tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 35%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 36%, và tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 40%. Mặt khác, hàm lượng Bi lớn hơn 60% khiến cấu trúc hợp kim trở nên không đồng nhất do sự phân tách Bi, và gây ra độ giòn đáng kể và làm suy giảm độ cứng. Cùng với đó, đặc tính tiếp xúc chốt cũng suy giảm. Xét theo giới hạn trên, hàm lượng Bi nhỏ hơn hoặc bằng 60%, tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 58%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 50%, và tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 45%.

Khi nhấn mạnh vào sức kháng chu kỳ nhiệt, xét theo giới hạn dưới, hàm lượng Bi lớn hơn hoặc bằng 30%, tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 35%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 36%, tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 40%, cụ thể tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 45%, và tốt nhất là lớn hơn hoặc bằng 50%. Xét theo giới hạn trên, hàm lượng Bi nhỏ hơn hoặc bằng 60%, tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 58%.

Bi góp phần rất lớn vào tốc độ rão trong môi trường nhiệt độ cao. Các tốc độ rão thứ cấp là tốc độ rão nhỏ nhất trong môi trường nhiệt độ cao có thể thay đổi theo hàm lượng Bi. Do đó, độ cứng và sức kháng chu kỳ nhiệt có thể được cải thiện hơn nữa khi tốc độ rão thích hợp theo hàm lượng Bi. Theo sáng chế, có mối quan hệ ưu tiên giữa hàm lượng Bi và ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))).

Khi hàm lượng Bi nhỏ hơn hoặc bằng 42,0%, giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,25, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,24, tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,23, cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,22, và tốt nhất là nhỏ hơn hoặc bằng 0,21, và có thể nhỏ hơn hoặc bằng 0,20, nhỏ hơn hoặc bằng 0,19 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,18. Khi hàm lượng Bi lớn hơn 42,0% và nhỏ hơn hoặc bằng 50%, giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,15, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,13, tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,10, và cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,08. Khi hàm lượng Bi lớn hơn 50,0% và nhỏ hơn hoặc bằng 62%, giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,05, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,03, và tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,02. Giới hạn dưới của ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) phải là lớn hơn hoặc bằng 0,001 bất kể hàm lượng Bi. Khi thành phần hợp kim nằm trong phạm vi của sáng chế, và ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng)))

lượng))) nằm trong khoảng được mô tả ở trên, thì có độ cứng và sức kháng chu kỳ nhiệt tuyệt vời.

(2) Ag: từ 0,7 đến 2,0%

Ag là nguyên tố cải thiện tính thấm ướt với các điện cực, và làm tăng độ cứng trong môi trường nhiệt độ cao bởi sự kết tủa của Ag_3Sn . Vì hàm lượng Ag thích hợp gây ra sự hình thành cấu trúc hợp kim đồng nhất, điều này làm giảm các tốc độ rão thứ cấp và cải thiện sức kháng chu kỳ nhiệt. Ngoài ra, Ag là nguyên tố mà cũng cải thiện sức kháng EM vì nó chặn sự phân tách Bi. Hơn nữa, hàm lượng Ag thích hợp góp phần cho sự cải thiện về độ dẫn điện.

Hàm lượng Ag nhỏ hơn 0,7% khiến cho lượng kết tủa Ag_3Sn không đủ, và làm suy giảm độ cứng trong môi trường nhiệt độ cao và sức kháng chu kỳ nhiệt. Cùng với đó, đặc tính tiếp xúc chốt cũng suy giảm. Ngoài ra, sự phân tách Bi khó bị ức chế, vì thế sức kháng EM bị suy giảm. Xét theo giới hạn dưới, hàm lượng Ag lớn hơn hoặc bằng 0,7%, tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,8%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,9%, và tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 1,0%. Mặt khác, hàm lượng Ag lớn hơn 2,0% gây ra lượng kết tủa Ag_3Sn lớn, và theo đó, cấu trúc hợp kim trở nên không đồng nhất, và điểm nóng chảy tăng lên. Hơn nữa, sức kháng chu kỳ nhiệt bị suy giảm. Xét theo giới hạn trên, hàm lượng Ag nhỏ hơn hoặc bằng 2,0%, tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1,3%, và tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1,2%.

(3) Cu: lớn hơn 0% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%

Cu ngăn ngừa sự hòa tan của các điện cực, v.v., bao gồm Cu, và tạo thành lớp hợp chất của Cu_6Sn_5 , v.v., ở khớp nối, và có thể cải thiện sức kháng chu kỳ nhiệt bằng cách ngăn chặn sự phát triển sau đó của hợp chất tạo ra lớp hợp chất. Trong trường hợp trong đó hàm lượng Cu là 0%, ngay cả khi điện cực Cu được sử dụng, lớp hợp chất của Cu_6Sn_5 không thể được tạo ra đến mức độ đủ để ngăn chặn sự phát triển sau đó, và sức kháng chu kỳ nhiệt bị suy giảm. Xét theo giới hạn dưới, hàm lượng Cu lớn hơn 0%, tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,01%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,05%, tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,10%, cụ thể tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,20%, và tốt nhất là lớn hơn hoặc bằng 0,30%. Mặt khác, hàm lượng Cu lớn hơn 1,00% có thể làm cho hợp chất liên kim loại thô kết tủa, làm suy giảm tính đồng nhất của cấu trúc hợp kim, và gây ra sự gia tăng điểm nóng chảy. Xét theo giới hạn trên, hàm lượng Cu là nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%, tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,80%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,70%, cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,60%, và tốt nhất là nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%.

(4) Ni: từ 0,01 đến 1,00%

Ni là nguyên tố giả định có dạng $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ bằng cách thay thế một phần Cu của hợp chất chứa Cu_6Sn_5 được tạo ra ở khớp nối, và có thể ngăn chặn sự phát triển của hợp chất này sau khi tạo ra mối hàn, và nhờ đó cải thiện sức kháng chu kỳ nhiệt. Hàm lượng Ni nhỏ hơn 0,01% khiến cho lượng kết tủa $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ không đủ, không thể ngăn chặn sự phát triển của hợp chất, và làm suy giảm sức kháng chu kỳ nhiệt. Xét theo giới hạn dưới, hàm lượng Ni là lớn hơn hoặc bằng 0,01%, tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,02%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,03%. Mặt khác, hàm lượng Ni lớn hơn 1,00% có thể gây ra sự kết tủa của hợp chất liên kim loại thô và làm suy giảm tính đồng nhất của cấu trúc hợp kim, và gây ra sự gia tăng điểm nóng chảy. Xét theo giới hạn trên, hàm lượng Ni là nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%, tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,80%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%, tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%, cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%, và tốt nhất là nhỏ hơn hoặc bằng 0,05%.

(5) Sb: từ 0,2 đến 1,5%

Cũng như Ag, Sb là nguyên tố có thể cải thiện sức kháng EM cũng như độ cứng và sức kháng chu kỳ nhiệt. Sb cũng có thể cải thiện đặc tính tiếp xúc chốt. Sb gây ra sự kết tủa của hợp chất SbSn cứng với điểm nóng chảy cao, vì thế bằng cách kết hợp với Ag, độ cứng cao có thể được đảm bảo một cách ổn định hơn trong môi trường nhiệt độ cao. Do hàm lượng Sb thích hợp được thêm vào hợp kim hàn với hàm lượng Ag nằm trong khoảng được mô tả ở trên, các tốc độ rão thứ cấp giảm, và sức kháng chu kỳ nhiệt được cải thiện. Hơn nữa, cùng với sự hình thành cấu trúc hợp kim đồng nhất, sự phân tách Bi bị ngăn chặn, vì thế sự dịch chuyển của Sn được ngăn chặn, và sức kháng EM cũng được cải thiện.

Hàm lượng Sb nhỏ hơn 0,2% khiến cho lượng kết tủa SnSb không đủ, vì thế độ cứng suy giảm. Theo đó, đặc tính tiếp xúc chốt cũng suy giảm. Xét theo giới hạn dưới, hàm lượng Sb là lớn hơn hoặc bằng 0,2%, tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,3%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,4%, và tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,5%. Mặt khác, hàm lượng Sb lớn hơn 1,5% có thể gây ra sự kết tủa của hợp chất liên kim loại thô và làm suy giảm tính đồng nhất của cấu trúc hợp kim, và sự bổ sung Sb quá mức gây ra sự gia tăng điểm nóng chảy. Xét theo giới hạn trên, hàm lượng Sb là nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%, tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 1,3%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1,0%, tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,8%, cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,7%, và tốt nhất là nhỏ hơn hoặc bằng 0,6%.

(6) Ít nhất một trong số các hệ thức (1) đến (3)

$$13,00 \leq \text{Bi}/(\text{Ag}+\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Sb}) \leq 23,27 \text{ Hệ thức (1)}$$

$$0,017 \leq (\text{Ag}+\text{Cu}+\text{Ni})/\text{Sn} \leq 0,039 \text{ Hệ thức (2)}$$

$$70,9 \leq (\text{Bi}+\text{Ag}+\text{Sb})/(\text{Cu}+\text{Ni}) \leq 6349 \text{ Hệ thức (3)}$$

Sn, Bi, Ag, Cu, Ni và Sb trong các hệ thức (1) đến (3), mỗi chất thể hiện các hàm lượng (% khối lượng) của chúng trong hợp kim hàn.

Tốt hơn là hợp kim hàn theo sáng chế thỏa mãn ít nhất một trong số các hệ thức (1) đến (3) khi các nguyên tố cấu thành tương ứng nằm trong các khoảng được mô tả ở trên. Trong hệ thức (1), sự cân bằng giữa Bi mà là hợp kim hàn có điểm nóng chảy thấp thiết yếu và các nguyên tố phụ gia khác được xem xét. Bằng cách thỏa mãn hệ thức (1), các hiệu quả khác nhau của hợp kim hàn theo sáng chế, chẳng hạn như ngăn chặn sự tăng trưởng của hợp chất liên kim loại, độ cứng, sức kháng chu kỳ nhiệt, và sức kháng EM có thể được phát huy đồng thời. Trong hệ thức (2), sự cân bằng giữa tổng hàm lượng của nhóm gồm các nguyên tố có rủi ro gây ra sự tăng trưởng của hợp chất liên kim loại khi các hàm lượng của chúng là quá lớn, và hàm lượng của Sn tạo thành hợp chất cùng với nhóm nguyên tố này được xem xét. Bằng cách thỏa mãn hệ thức (2), lượng kết tủa của hợp chất liên kim loại được điều chỉnh thích hợp, vì thế sự tăng trưởng của hợp chất liên kim loại có thể được ngăn chặn một cách đầy đủ hơn, và độ cứng có thể được cải thiện hơn nữa. Trong hệ thức (3), sự cân bằng giữa tổng hàm lượng của nhóm gồm các nguyên tố cải thiện độ cứng của hợp kim hàn, và tổng hàm lượng của nhóm gồm các nguyên tố cấu thành hợp chất liên kim loại cần được tạo ra ở khớp nối được xem xét. Bằng cách thỏa mãn hệ thức (3), sự tăng trưởng của hợp chất liên kim loại được ngăn chặn, và sức kháng chu kỳ nhiệt và sức kháng EM được cải thiện hơn nữa.

Trong phép tính của các hệ thức (1) đến (3), các giá trị số như được thể hiện trên bảng 1 và bảng 2, mà là các giá trị được đo của thành phần hợp kim, đã được sử dụng. Trong phép tính, để đảm bảo rằng mỗi giá trị và mọi giá trị được sử dụng bao gồm số chữ số giống nhau (dựa trên các chữ số được thể hiện cho các giới hạn dưới và trên trong hệ thức tương ứng), các số 0 được thêm vào các giá trị được thể hiện trên các bảng, cho các chữ số mà không được thể hiện. Ví dụ, trong trường hợp là hàm lượng Ag được cho là 1,0 % khối lượng làm giá trị được đo, hàm lượng Ag được sử dụng trong phép tính của các hệ thức (1) đến (3) được sửa đổi để bao gồm các chữ số “0” bổ sung tùy thuộc vào sự điều chỉnh cần thiết. Đối với các hệ thức (1) đến (3), suy ra, từ các chữ số được cho trong các giới hạn trên và dưới, rằng hệ thức (1) được tính với các giá trị bao gồm hai chữ số thập phân, hệ thức (2) được tính có sử dụng ba chữ số thập

phân, trong khi hệ thức (3) được tính với chỉ một chữ số thập phân. Quy tắc phép tính này được sử dụng theo sáng chế và cũng được dự định để được sử dụng cho các phép tính trong hệ thức với các thành phần khác nữa được mô tả ở nơi khác, vì tất cả các thành phần phải được xử lý theo cùng cách. Liên quan đến lượng Sn trong hệ thức (2), các tạp chất không tránh được không được xem xét, nghĩa là lượng tương ứng của chúng được coi là 0 % khối lượng. Theo đó, chỉ các nguyên tố thiết yếu và tùy chọn được xem xét.

Từ quan điểm phát huy hơn nữa các hiệu quả được mô tả ở trên, xét theo giới hạn dưới, hệ thức (1) tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 13,00, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 13,20, tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 14,78, thậm chí tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 15,69, cụ thể tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 15,81, và tốt nhất là lớn hơn hoặc bằng 17,17. Xét theo giới hạn trên, hệ thức (1) tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 23,27, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 23,12, tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 22,99, và cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 22,92.

Xét theo giới hạn dưới, hệ thức (2) tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,017, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,021, tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,023, tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,024, và cụ thể tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,025. Xét theo giới hạn trên, hệ thức (2) tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,039, và tốt nhất là nhỏ hơn hoặc bằng 0,026.

Xét theo giới hạn dưới, hệ thức (3) tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 70,9, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 75,5, và tốt hơn thêm nữa là lớn hơn hoặc bằng 77,5. Xét theo giới hạn trên, hệ thức (3) tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 6349, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1042,5, tốt hơn thêm nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 500, cụ thể tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 180,4, và tốt nhất là nhỏ hơn hoặc bằng 116,0, và có thể nhỏ hơn hoặc bằng 113,2.

(7) Ít nhất một chất được chọn từ nhóm bao gồm, ít nhất một trong số P, Ge, Ga và As: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, ít nhất một trong số Fe và Co: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, Zr: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, Zn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, và Pb: nhỏ hơn hoặc bằng 0,02%.

Thành phần hợp kim của hợp kim hàn theo sáng chế có thể chứa ít nhất một trong số P, Ge, Ga, As, Fe, Co, Pd, Zr, Zn và Pb dưới dạng nguyên tố tùy chọn. Điều này sẽ được mô tả chi tiết sau đây, và tốt hơn là, thành phần hợp kim có thể chứa ít nhất một chất được chọn từ nhóm bao gồm, theo % khối lượng, ít nhất một trong số, P: nhỏ hơn 0,01%, Ge: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, Ga: nhỏ hơn 0,01%, và As: lớn hơn 0,001% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, Co: nhỏ hơn 0,01%, Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, và Pb: nhỏ hơn 0,004%.

(7-1) ít nhất một trong số P, Ge, Ga và As: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%

Các nguyên tố này là các nguyên tố tùy chọn mà có thể được bao gồm ở mức độ không làm cản trở các hiệu quả được mô tả ở trên. Ngoài ra, các nguyên tố này là các nguyên tố tùy chọn mà có thể ngăn chặn sự oxy hóa của Sn vì chúng ưu tiên bị oxy hóa hơn Sn. Theo các hiệu quả của sự cải tạo bề mặt và sự ngăn chặn oxy hóa của hợp kim hàn, sự oxy hóa tại thời điểm tạo ra hợp kim hàn và sự hình thành mối hàn và sự đổi màu lão hóa có thể được làm giảm, và tính thấm ướt có thể được cải thiện. Tổng hàm lượng của các nguyên tố này tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, và tốt hơn nữa là từ 0,003 đến 0,03%. Mặc dù các hàm lượng của các nguyên tố tương ứng không bị giới hạn cụ thể, để phát huy đủ các hiệu quả được mô tả ở trên, hàm lượng P tốt hơn là từ 0,0005 đến 0,010%, và tốt hơn nữa là từ 0,001 đến 0,008%, hàm lượng Ge tốt hơn là từ 0,0005 đến 0,01%, và tốt hơn nữa là từ 0,001 đến 0,008%, và hàm lượng Ga tốt hơn là từ 0,0005 đến 0,01%, và tốt hơn nữa là từ 0,001 đến 0,008%.

(7-2) ít nhất một trong số Fe và Co: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%

Các nguyên tố này là các nguyên tố tùy chọn mà có thể được bao gồm ở mức độ không làm cản trở các hiệu quả được mô tả ở trên. Các nguyên tố này là các nguyên tố tùy chọn mà có thể được lựa chọn khi thực hiện cấu trúc hợp kim đồng nhất hơn bằng cách điều chỉnh độ phân tán của các hợp chất trong hợp kim hàn. Trừ khi tổng hàm lượng của các nguyên tố này lớn hơn 0,1%, tính lưu động của hợp kim hàn trên bề mặt hàn không bị ức chế. Tổng hàm lượng của các nguyên tố này tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, và tốt hơn nữa là từ 0,002 đến 0,02%. Mặc dù các hàm lượng của các nguyên tố tương ứng không bị giới hạn cụ thể, để phát huy đủ các hiệu quả được mô tả ở trên, hàm lượng Fe tốt hơn là từ 0,001 đến 0,01%, và tốt hơn nữa là từ 0,002 đến 0,008%, và hàm lượng Co tốt hơn là từ 0,002 đến 0,01%, và tốt hơn nữa là từ 0,003 đến 0,008%.

(7-3) Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%

Pd là nguyên tố tùy chọn có thể được bao gồm ở mức độ không làm cản trở các hiệu quả được mô tả ở trên. Cũng như Ni, Pd được bố trí làm nguyên tố thay thế cho Cu trong Cu_6Sn_5 , và tạo thành $(\text{Cu}, \text{Ni}, \text{Pd})_6\text{Sn}_5$, và có thể ngăn chặn hơn nữa sự phát triển của hợp chất ở khớp nối. Pd cũng hoạt động để ngăn chặn sự tăng trưởng của cấu trúc hợp kim trong hợp kim hàn chứa Sn-Bi. Hàm lượng Pd tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, tốt hơn nữa là từ 0,0005 đến 0,01%, và tốt hơn thêm nữa là từ 0,001 đến 0,01%.

(7-4) Zr: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%

Nguyên tố này là nguyên tố tùy chọn có thể được bao gồm ở mức độ không làm cản trở các hiệu quả được mô tả ở trên. Zr có tác dụng làm giảm cacbit, và có thể làm giảm phần dư chất trợ dung cacbon hóa còn lại trên bề mặt kim loại sau khi lắp. Cũng như Fe và Co, Zr cũng có thể góp phần sửa đổi độ phân tán của hợp chất. Hàm lượng Zr tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, và tốt hơn nữa là từ 0,001 đến 0,01%.

(7-5) Zn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%

Nguyên tố này là nguyên tố tùy chọn có thể được bao gồm ở mức độ không làm cản trở các hiệu quả được mô tả ở trên. Ngoài ra, Zn có thể ngăn chặn sự tăng trưởng của cấu trúc hợp kim trong hợp kim hàn chứa Sn-Bi. Zn cũng được sử dụng để ngăn chặn sự phát triển của hợp chất được tạo ra ở khớp nối, và có thể làm giảm sự phân tách Bi. Hàm lượng Zn tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, và tốt hơn nữa là từ 0,001 đến 0,01%.

(7-6) Pb: nhỏ hơn hoặc bằng 0,02%

Nguyên tố này là nguyên tố tùy chọn có thể được bao gồm ở mức độ không làm cản trở các hiệu quả được mô tả ở trên. Ngoài ra, Pb làm giảm tỷ lệ thiếu và có thể được lựa chọn làm nguyên tố cải thiện đặc tính làm ướt. Hàm lượng Pb tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,02%, tốt hơn nữa là từ 0,0005 đến 0,003%, và tốt hơn thêm nữa là từ 0,001 đến 0,004%.

(8) Phần còn lại: Sn

Phần còn lại của hợp kim hàn theo sáng chế là Sn. Ngoài các nguyên tố được mô tả ở trên, tạp chất không thể tránh khỏi có thể được bao gồm. Phần còn lại của hợp kim hàn theo sáng chế có thể bao gồm Sn và các tạp chất không tránh được. Thậm chí khi tạp chất không thể tránh khỏi được bao gồm, nó không ảnh hưởng đến các hiệu quả được mô tả ở trên. Như được mô tả sau đây, ngay cả khi nguyên tố mà không được bao gồm theo sáng chế được bao gồm dưới dạng tạp chất không thể tránh khỏi, nó không ảnh hưởng đến các hiệu quả được mô tả ở trên. Các tạp chất không tránh được không phải là các nguyên tố được liệt kê là các nguyên tố thiết yếu (nghĩa là, Bi, Ag, Cu, Ni và Sb) cũng như không phải các thành phần tùy chọn (nghĩa là, P, Ge, Ga, As, Fe, Co, Pd, Zr, Zn và Pb).

(9) In, Ti, Ce

Tốt hơn là hợp kim hàn theo sáng chế không chứa các nguyên tố này. Mặc dù In góp phần cho sự giảm về điểm nóng chảy của hợp kim hàn, In có thể làm suy giảm sức kháng chu kỳ nhiệt, vì thế tốt hơn là In không được bao gồm trong hợp kim hàn theo sáng chế. Ti và Ce

làm tăng điểm nóng chảy và cản trở việc gắn kết ở điểm nóng chảy thấp, và thúc đẩy sự oxy hóa bề mặt của hợp kim hàn Sn-Bi, vì thế tốt hơn là Ti và Ce không được bao gồm trong hợp kim hàn theo sáng chế.

(10) Đồng nhất kết tủa

Là phương pháp để đo tính đồng nhất của kết tủa mà ảnh hưởng đến các đặc tính của hợp kim hàn, phương pháp được quy định dưới đây được sử dụng. Mặt cắt của mỗi hàn được chụp ở độ phóng đại là 350 bằng FE-SEM, các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi được xác định bằng EDS gắn vào SEM, diện tích (S) của mỗi pha được thu, và các kích thước hạt tinh thể của các pha hợp chất liên kim loại được thu bằng căn bậc hai của $(4S/\pi)$. Kích thước hạt tinh thể trung bình và kích thước hạt tinh thể lớn nhất được đo bằng cách trích xuất các pha hợp chất liên kim loại với các kích thước hạt tinh thể lớn hơn hoặc bằng 1 μm và khi các pha Bi với các kích thước hạt tinh thể lớn hơn hoặc bằng 5 μm có mặt, các pha Bi lớn hơn hoặc bằng 5 μm . Pha Bi thường được quan sát dưới dạng cấu trúc có kích thước hạt nhỏ, trong đó pha Bi và pha Sn được phối trộn theo cách chấp vá và pha Bi có bề mặt biên hạt cong, và pha Bi thường không được sử dụng để đánh giá tính đồng nhất, tuy nhiên, khi các hạt tinh thể Bi có các kích thước hạt tinh thể lớn hơn hoặc bằng 5 μm có mặt, thì các hạt tinh thể Bi lớn hơn hoặc bằng 5 μm được trích xuất. Liên quan đến các hạt tinh thể được xác định theo cách này, kích thước hạt tinh thể trung bình và kích thước hạt tinh thể lớn nhất của chúng được đo bằng cách sử dụng phần mềm phân tích hình ảnh (Scandium được sản xuất bởi EMSIS GmbH).

Cụ thể là, các phép tính sau được thực hiện. Số lượng và tổng diện tích của các pha hợp chất liên kim loại có các kích thước hạt tinh thể lớn hơn hoặc bằng 1 μm và các pha Bi có các kích thước hạt tinh thể lớn hơn hoặc bằng 5 μm được thu. Diện tích (S) trung bình được thu bằng cách chia tổng các diện tích của các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi lớn hơn hoặc bằng 5 μm cho tổng số lượng các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi lớn hơn hoặc bằng 5 μm . Căn bậc hai của $(4S/\pi)$ được thu là kích thước hạt tinh thể trung bình theo diện tích (S) trung bình thu được. Liên quan đến kích thước hạt tinh thể lớn nhất, pha hợp chất liên kim loại lớn nhất hoặc pha Bi được lựa chọn một cách trực quan từ hình ảnh được chụp ở độ phóng đại là 350 bằng FE-SEM, và căn bậc hai của $(4S/\pi)$ được thu là kích thước hạt tinh thể lớn nhất bởi diện tích (S) của nó. Kích thước hạt tinh thể trung bình tốt hơn là từ 3 μm đến 15 μm . Kích thước hạt tinh thể lớn nhất tốt hơn là lớn hơn 3 μm và nhỏ hơn hoặc bằng 30 μm , và tốt hơn nữa là từ 5 đến 20 μm . Nằm trong các khoảng này, kích thước hạt tinh thể không quá nhỏ cũng

không quá lớn, và điều này góp phần cho sự đồng nhất hóa hơn nữa của cấu trúc, và có thể mang lại hiệu quả kết tủa mà có cả độ cứng trong môi trường nhiệt độ cao và sức kháng chu kỳ nhiệt, và ngăn chặn sự suy giảm của các đặc tính EM gây ra bởi việc tinh chế quá mức cấu trúc kim loại của chất hàn Sn-Bi.

2. Bi hàn

Hợp kim hàn theo sáng chế có thể được sử dụng làm bi hàn. Bi hàn theo sáng chế được sử dụng để tạo thành các mối hàn của các điện cực và lớp nền của gói bán dẫn chẳng hạn như mảng lưới bi (Ball Grid Array, BGA). Đường kính của bi hàn theo sáng chế tốt hơn là nằm trong khoảng từ 1 đến 1000 μm . Bi hàn có thể được tạo ra bằng phương pháp tạo ra bi hàn nói chung.

3. Kem hàn

Hợp kim hàn theo sáng chế có thể được sử dụng làm kem hàn. Kem hàn được thu bằng cách phối trộn bột hợp kim hàn với lượng nhỏ chất trợ dung và xử lý chúng ở dạng bột nhão. Hợp kim hàn theo sáng chế có thể được sử dụng làm kem hàn để lắp thành phần điện tử vào bảng mạch in bằng phương pháp hàn nóng chảy lại. Chất trợ dung được sử dụng cho kem hàn có thể là chất trợ dung tan trong nước hoặc chất trợ dung không tan trong nước. Thông thường, chất trợ dung chứa nhựa thông là chất trợ dung chứa nhựa thông không tan trong nước được sử dụng.

4. Mối hàn

Mối hàn theo sáng chế kết nối chip IC và lớp nền (lớp xen giữa) của chip IC trong gói bán dẫn, hoặc nối và kết nối gói bán dẫn và bảng mạch in. Nghĩa là, mối hàn theo sáng chế là phần nối của điện cực, và có thể được tạo ra bằng cách sử dụng các điều kiện hàn nói chung.

5. Phương pháp tạo ra hợp kim hàn

Phương pháp tạo ra hợp kim hàn theo sáng chế có thể được thực hiện theo cách thông thường.

Khi tạo ra hợp kim hàn theo sáng chế, như trong trường hợp thông thường, khi hợp kim BiSb được tạo ra từ trước và sau đó Sn được thêm vào, sự hình thành hợp chất của Sb và Sn có thể bị ức chế. Khi dung dịch rắn của Bi và Sb được duy trì, sự hình thành cấu trúc hợp kim đồng nhất có thể bị ức chế. Do đó, quy trình tạo ra hợp kim hàn theo sáng chế không bị giới hạn cụ thể trừ khi Sn được thêm vào sau khi tạo ra hợp kim BiSb như được mô tả ở trên. Ví dụ sản xuất là, tốt hơn là các hợp kim của Sn và các nguyên tố phụ gia tương ứng được tạo ra, và các hợp

kim được cân sao cho các khối lượng của chúng như được xác định trước, và nóng chảy trong các điều kiện được mô tả ở trên. Ví dụ, Ag, Cu và Bi lần lượt được thêm vào Sn nóng chảy, và Sb và Ni có thể được thêm vào dưới dạng hợp kim SnSb hoặc hợp kim SnNi. Nghĩa là, xét theo các đặc tính của các nguyên tố cấu thành tương ứng, các nguyên tố cấu thành tương ứng tốt hơn là được thêm ở dạng nguyên tố duy nhất hoặc hợp kim vào Sn.

Bằng cách sử dụng nguyên liệu có tia alpha thấp làm nguyên liệu thô của hợp kim hàn theo sáng chế, hợp kim có tia alpha thấp có thể được tạo ra dưới dạng hợp kim hàn. Khi hợp kim có tia alpha thấp này được sử dụng để tạo thành các mối hàn xung quanh bộ nhớ, các lỗi phần mềm có thể được ngăn chặn.

Phương pháp nối sử dụng hợp kim hàn theo sáng chế có thể được thực hiện theo cách thông thường bằng cách sử dụng, ví dụ, phương pháp hàn nóng chảy lại. Nhiệt độ nóng chảy của hợp kim hàn khi việc hàn nóng chảy được thực hiện có thể là nhiệt độ xấp xỉ 20°C cao hơn nhiệt độ đường lỏng. Trong trường hợp nối bằng cách sử dụng hợp kim hàn theo sáng chế, cấu trúc hợp kim có thể được làm mịn hơn thích hợp bằng cách xem xét tốc độ làm nguội để hóa rắn. Ví dụ, mối hàn được làm nguội ở tốc độ làm nguội lớn hơn hoặc bằng từ 2 đến 3 °C/s. Các điều kiện nối khác có thể được điều chỉnh một cách thích hợp theo thành phần hợp kim của hợp kim hàn.

Các ví dụ

Các hợp kim hàn có các thành phần hợp kim được mô tả trên bảng 1 và bảng 2 được chuẩn bị, các cấu trúc hợp kim của chúng được đánh giá, các tính đồng nhất của các cấu trúc hợp kim được đánh giá, các điểm nóng chảy (các nhiệt độ đường lỏng) và các nhiệt độ đường rắn được đo, đánh giá nóng chảy 99,9% được thực hiện ở nhiệt độ bằng hoặc 200°C, các phép đo độ cứng bề mặt của các mối hàn cũng được thực hiện, và hơn nữa, thử nghiệm chu kỳ nhiệt được tiến hành như một thử nghiệm cho sức kháng TCT, các tốc độ rão thứ cấp được đo, và ngoài ra, các sức kháng EM được đánh giá.

- Quan sát các cấu trúc hợp kim và đánh giá các tính đồng nhất của các cấu trúc hợp kim

Các bi hàn có các thành phần hợp kim được mô tả trên bảng 1 và bảng 2 được tạo ra. Các bi hàn có đường kính là 0,24 mm được đặt trên các điện cực của lớp nền mà trên đó chất trợ dung hàn (tên sản phẩm: WF-6317 được sản xuất bởi Senju Metal Industry Co., Ltd.) được làm từ dung môi, chất hoạt hóa, chất xúc tác, và axit hữu cơ, v.v., đã được phủ, một thành phần BGA được gắn bởi thiết bị gắn, việc hàn nóng chảy lại được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ lớn

nhất là 190°C và thời gian giữ là 90 giây, và theo đó, lớp nền thử nghiệm được chế tạo. Phần được nối với thành phần được đúc từ nhựa và đất, và phần trong đó hợp kim hàn được mài khoảng một nửa được chụp ở độ phóng đại là 350 bằng FE-SEM. Sau đó, phần mặt cắt ngang được phân tích định tính bởi EDS gắn vào SEM và các pha hợp chất liên kim loại được xác định, và kích thước hạt tinh thể trung bình và kích thước hạt tinh thể lớn nhất được đo bằng cách sử dụng phần mềm phân tích hình ảnh (Scandium được sản xuất bởi EMSIS GmbH).

Liên quan đến kích thước hạt tinh thể trung bình, đầu tiên, các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi được xác định từ hình ảnh thu được bởi EDS, các diện tích (S) của chúng được thu, và các kích thước hạt tinh thể của các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi được thu bằng căn bậc hai của $(4S/\pi)$. Trong các phép đo này, các pha hợp chất liên kim loại có các kích thước hạt tinh thể lớn hơn hoặc bằng 1 μm và các pha Bi có các kích thước hạt tinh thể của lớn hơn hoặc bằng 5 μm được trích xuất. Số lượng và tổng diện tích của các pha hợp chất liên kim loại được trích xuất và các pha Bi được thu, và diện tích (S) trung bình được thu bằng cách chia tổng các diện tích của các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi cho tổng số lượng các pha hợp chất liên kim loại và các pha Bi. Căn bậc hai của $(4S/\pi)$ được thu là kích thước hạt tinh thể trung bình theo diện tích (S) trung bình thu được. Liên quan đến kích thước hạt tinh thể lớn nhất, pha hợp chất liên kim loại lớn nhất được lựa chọn một cách trực quan từ hình ảnh được chụp ở độ phóng đại là 350 bằng FE-SEM, và từ diện tích (S) của nó, kích thước hạt tinh thể lớn nhất được thu dưới dạng căn bậc hai của $(4S/\pi)$.

Trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể trung bình từ 3 đến 15 μm được đánh giá là “○,” và trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn 3 μm và trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể trung bình lớn hơn 15 μm được đánh giá là “×.” Liên quan đến kích thước hạt tinh thể lớn nhất, trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể lớn nhất lớn hơn 20 μm và nhỏ hơn hoặc bằng 30 μm được đánh giá là “○,” và trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể lớn nhất là từ 5 đến 20 μm được đánh giá là “○○.” Trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể lớn nhất lớn hơn 30 μm , và trường hợp trong đó kích thước hạt tinh thể lớn nhất nhỏ hơn 3 μm , được đánh giá là “×.” Trong các đánh giá này, “○” là đánh giá rằng không có vấn đề nào xảy ra khi sử dụng thực tế, “○○” là đánh giá là thực tế thỏa đáng, và “×” là đánh giá rằng có thể có vấn đề xảy ra khi sử dụng thực tế.

- Điểm nóng chảy (nhiệt độ đường lỏng), nhiệt độ đường rắn, và đánh giá nóng chảy 99,9% ở nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng 200°C

Các hợp kim hàn tương ứng được mô tả trên bảng 1 và bảng 2 được chuẩn bị, và các nhiệt độ đường lỏng và các nhiệt độ đường rắn của các hợp kim hàn được đo. Phép đo nhiệt độ đường rắn được thực hiện theo JIS Z3198-1: 2014. Phép đo nhiệt độ đường lỏng được thực hiện theo phương pháp sử dụng DSC tương tự với phương pháp đo nhiệt độ đường rắn của JIS Z3198-1: 2014, thay vì phép đo nhiệt độ đường lỏng của JIS Z3198-1: 2014.

Sau đó, như được biểu thị trên Fig.1, dựa trên đường cong nóng chảy được thu bởi DSC, tốc độ nóng chảy được đánh giá dựa trên tỷ lệ diện tích mà là giá trị được thu bằng cách chia toàn bộ diện tích được vẽ bởi phần cong biểu thị phản ứng nóng chảy của hợp kim hàn, nghĩa là, lượng calo phản ứng cần thiết để nóng chảy hoàn toàn (diện tích giữa đường lỏng và đường rắn) cho lượng calo phản ứng (diện tích của phần tô đậm) hoàn thành trước khi đạt 200°C, và nhân kết quả chia với 100. Trường hợp trong đó 99,9% được đánh giá là đã nóng chảy trước khi đạt 200°C được đánh giá là “○,” và trường hợp trong đó sự nóng chảy không đạt 99,9% được đánh giá là “×.” “○” là đánh giá là không có vấn đề khi sử dụng thực tế, và “×” là đánh giá rằng có thể có vấn đề xảy ra khi sử dụng thực tế.

- Đo độ cứng bề mặt của các mối hàn

Trong phép đo độ cứng bề mặt, mẫu số HM-100 được sản xuất bởi Mitutoyo Corporation được sử dụng, và tải trọng là 1,96N được tác dụng trong 60 giây ở 110°C, và 5 mối hàn ngẫu nhiên được đo, và giá trị trung bình của các kết quả đo được sử dụng làm độ cứng Vickers. Trường hợp trong đó độ cứng Vickers lớn hơn 9,0 Hv được đánh giá là “○○,” trường hợp trong đó độ cứng Vickers là từ 7,0 đến 9,0 Hv được đánh giá là “○,” và trường hợp trong đó độ cứng Vickers nhỏ hơn 7,0 Hv được đánh giá là “×.” “○” là đánh giá rằng không có vấn đề nào xảy ra khi sử dụng thực tế, “○○” là đánh giá là thực tế thỏa đáng, và “×” là đánh giá rằng có thể có vấn đề xảy ra khi sử dụng thực tế.

- Thử nghiệm chu kỳ nhiệt (độ chắc chắn)

Các bi hàn bao gồm các hợp kim hàn được mô tả trên bảng 1 và bảng 2 được tạo ra. Các bi hàn có đường kính là 0,24 mm được đặt trên các điện cực của lớp nền mà trên đó chất trợ dung hàn (tên sản phẩm: WF-6317 được sản xuất bởi Senju Metal Industry Co., Ltd.) được làm từ dung môi, chất hoạt hóa, chất xúc tác và axit hữu cơ, v.v., đã được phủ, 15 thành phần BGA được gắn bởi thiết bị gắn, việc hàn nóng chảy lại được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ lớn nhất là 190°C và thời gian giữ là 90 giây, và theo đó, lớp nền thử nghiệm được chế tạo.

Các lớp nền thử nghiệm mà trên đó việc hàn các hợp kim hàn tương ứng được thực hiện được đưa vào máy kiểm tra chu kỳ nhiệt được thiết lập thành các điều kiện nhiệt độ thấp là -40°C , nhiệt độ cao là $+100^{\circ}\text{C}$, và thời gian giữ là 10 phút, và các mối hàn của các lớp nền thử nghiệm trong máy kiểm tra được đánh giá. Số lượng các chu kỳ trong đó các mối hàn nổi 15 thành phần BGA và các lớp nền thử nghiệm bị gãy được đo, và số lượng trung bình của các chu kỳ gãy được thu. Đánh giá gãy được thực hiện theo các bản ghi giá trị điện trở nhờ sử dụng mạch nhánh hoa cúc, và việc đánh giá được thực hiện tại thời điểm giá trị điện trở đạt trên 200% kể từ khi bắt đầu thử nghiệm. Độ chắc chắn được đánh giá là “○○” khi số lượng chu kỳ lớn hơn 3500, độ chắc chắn được đánh giá là “○” khi số lượng chu kỳ là từ 3000 đến 3500, và độ chắc chắn được đánh giá là “×” khi số lượng chu kỳ nhỏ hơn 3000. “○” là đánh giá rằng không có vấn đề nào xảy ra khi sử dụng thực tế, “○○” là đánh giá là thực tế thỏa đáng, và “×” là đánh giá rằng có thể có vấn đề xảy ra khi sử dụng thực tế.

- Đo tốc độ rão thứ cấp (các đặc tính rão)

Thử nghiệm ứng suất (thiết bị đo: CCS-0002M (được sản xuất bởi GSE Co., Ltd)) được sử dụng, và mẫu thử nghiệm được chế tạo được đưa vào trong bể có nhiệt độ ổn định ở 110°C , thử nghiệm rão được tiến hành bằng cách tác dụng tải trọng là 6,25 MPa, tốc độ rão nhỏ nhất được tính từ đường cong rão thu được. Sơ đồ của đường cong rão được biểu thị trên Fig.2. Khi các kích thước của mẫu thử nghiệm bao gồm hợp kim hàn được mô tả trên bảng 1, khoảng cách giữa các điểm đo là 50 mm, và đường kính của phần song song là 10 mm.

Để đánh giá, các tốc độ rão thứ cấp trên mỗi hàm lượng Bi ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) được tính. Trong thành phần hợp kim với hàm lượng Bi nhỏ hơn hoặc bằng 42,0%, trường hợp trong đó giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) lớn hơn 0,23 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,25 được đánh giá là “Δ,” và trường hợp trong đó giá trị nhỏ hơn hoặc bằng 0,23 được đánh giá là “○.” Trong thành phần hợp kim với hàm lượng Bi lớn hơn 42,0% và nhỏ hơn hoặc bằng 50%, trường hợp trong đó giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) lớn hơn 0,13 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,15 được đánh giá là “Δ,” và trường hợp trong đó giá trị là nhỏ hơn hoặc bằng 0,13 được đánh giá là “○.” Trong thành phần hợp kim với hàm lượng Bi lớn hơn 50% và nhỏ hơn hoặc bằng 62%, trường hợp trong đó giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) lớn hơn 0,03 và nhỏ hơn hoặc bằng 0,05 được đánh giá là “Δ,” và trường hợp trong đó giá trị là nhỏ hơn hoặc bằng 0,03 được đánh giá là “○.” “Δ” là đánh giá rằng không có vấn đề nào xảy ra khi sử dụng thực tế, và “○” là đánh giá là thực tế thỏa đáng,

và khi các sự đánh giá này được đưa ra, độ cứng và/hoặc độ chắc chắn được đánh giá là ở mức không có vấn đề khi sử dụng thực tế. Trường hợp trong đó giá trị ((tốc độ rão)/(hàm lượng Bi (% khối lượng))) nằm ngoài các khoảng được mô tả ở trên, nghĩa là, tốc độ rão theo hàm lượng Bi là cao được đánh giá là “×.” “×” là đánh giá rằng có thể có vấn đề xảy ra khi sử dụng thực tế, và khi sự đánh giá này được đưa ra, độ cứng hoặc độ chắc chắn được đánh giá là gây ra vấn đề khi sử dụng thực tế.

- Sức kháng EM

Đối với mẫu thử nghiệm EM, gói được chế tạo bằng cách sử dụng các bi hàn có đường kính là 0,24 mm được làm từ hợp kim hàn được mô tả trên bảng 1 và thực hiện việc hàn nóng chảy lại trên lớp nền của gói có kích thước là 12 mm × 12 mm bao gồm các điện cực Cu có đường kính là 0,24 mm bằng cách sử dụng chất trợ dung tan trong nước. Sau đó, bằng cách trong kem hàn trên lớp nền epoxy thủy tinh (FR-4) có kích thước là 29 mm × 19 mm và có độ dày là 0,8 mm, và gắn gói được chế tạo như được mô tả ở trên, lớp nền thử nghiệm hàn nóng chảy lại được chế tạo trong điều kiện nhiệt độ lớn nhất là 190 °C và thời gian giữ là 90 giây.

Lớp nền thử nghiệm được chế tạo được nối với bộ nguồn chuyển đổi khả biến nhỏ gọn (PAK-A được sản xuất bởi KIKUSUI ELECTRONICS CORP.), và dòng điện được đưa vào trong bể dầu silicon được giữ ở 110°C. Trong khi tác dụng điện, điện trở của mẫu được đo liên tục, và thời gian cần thiết cho đến khi điện trở tăng lên 150% so với giá trị điện trở được đo ban đầu. Trường hợp trong đó thời gian lớn hơn 350 giờ được đánh giá là “○○,” trường hợp trong đó thời gian là từ 300 đến 350 giờ được đánh giá là “○,” và trường hợp trong đó thời gian nhỏ hơn 300 giờ được đánh giá là “×.” “○” là đánh giá rằng không có vấn đề nào xảy ra khi sử dụng thực tế, “○○” là đánh giá là thực tế thỏa đáng, và “×” là đánh giá rằng có thể có vấn đề xảy ra khi sử dụng thực tế.

Các thành phần được thử nghiệm trong các ví dụ được mô tả trên bảng 1 và bảng 2, và các kết quả đánh giá của các thành phần được thử nghiệm tương ứng được mô tả trên bảng 3 và bảng 4.

Bảng 1

	Thành phần hợp kim [% khối lượng]																			Hệ thức (1)	Hệ thức (2)	Hệ thức (3)
	Sn	Bi	Ag	Cu	Ni	Sb	Ge	P	Ga	As	Fe	Co	Pd	Zn	Zr	Pb	In	Ti	Ce			
Ví dụ 1	Phần còn lại	30	1,0	0,50	0,030	0,50														14,78	0,023	59,4
Ví dụ 2	Phần còn lại	35	1,0	0,50	0,030	0,50														17,24	0,024	68,9
Ví dụ 3	Phần còn lại	36	1,0	0,50	0,030	0,50														17,73	0,025	70,8
Ví dụ 4	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50														19,70	0,026	78,3
Ví dụ 5	Phần còn lại	45	1,0	0,50	0,030	0,40														23,32	0,029	87,5
Ví dụ 6	Phần còn lại	50	1,0	0,50	0,030	0,50														24,63	0,032	97,2
Ví dụ 7	Phần còn lại	58	1,0	0,50	0,030	0,50														28,57	0,038	112,3
Ví dụ 8	Phần còn lại	60	1,0	0,50	0,030	0,50														29,56	0,040	116,0
Ví dụ 9	Phần còn lại	40	0,7	0,50	0,030	0,50														23,12	0,021	77,7
Ví dụ 10	Phần còn lại	40	1,3	0,50	0,030	0,50														17,17	0,032	78,9
Ví dụ 11	Phần còn lại	40	2,0	0,50	0,030	0,50														13,20	0,044	80,2
Ví dụ	Phần	40	1,2	0,01	0,030	0,50														22,99	0,021	1042,5

[illegible]

Tiếp tục bảng 1

	Thành phần hợp kim [% khối lượng]																			Hệ thức (1)	Hệ thức (2)	Hệ thức (3)		
	Sn	Bi	Ag	Cu	Ni	Sb	Ge	P	Ga	As	Fe	Co	Pd	Zn	Zr	Pb	In	Ti	Ce					
Ví dụ 22	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,70															17,94	0,026	78,7	
Ví dụ 23	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	1,00																15,81	0,027	79,2

Bảng 2

	Thành phần hợp kim [% khối lượng]																		Hệ thức (1)	Hệ thức (2)	Hệ thức (3)	
	Sn	Bi	Ag	Cu	Ni	Sb	Ge	P	Ga	As	Fe	Co	Pd	Zn	Zr	Pb	In	Ti				Ce
Ví dụ 37	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50				0,01										19,70	0,026	78,3
Ví dụ 38	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50					0,001									19,70	0,026	78,3
Ví dụ 39	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50					0,01									19,70	0,026	78,3
Ví dụ 40	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50						0,001								19,70	0,026	78,3
Ví dụ 41	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50						0,01								19,70	0,026	78,3
Ví dụ 42	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50							0,001							19,70	0,026	78,3
Ví dụ 43	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50							0,01							19,70	0,026	78,3
Ví dụ 44	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50									0,001					19,70	0,026	78,3
Ví dụ 45	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50									0,01					19,70	0,026	78,3
Ví dụ 46	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50										0,001				19,70	0,026	78,3
Ví dụ 47	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50											0,01			19,70	0,026	78,3
Ví dụ 48	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50														19,70	0,026	78,3

Ví dụ 49	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50												0,004				19,70	0,026	78,3
Ví dụ 50	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001				19,70	0,026	78,3
Ví dụ so sánh 1	Phần còn lại	40	0	0,00	0,000	0,00																-	0,000	-
Ví dụ so sánh 2	Phần còn lại	29	1,0	0,50	0,030	0,50																14,29	0,022	57,5
Ví dụ so sánh 3	Phần còn lại	61	1,0	0,50	0,030	0,50																30,05	0,041	117,9
Ví dụ so sánh 4	Phần còn lại	40	0	0,50	0,030	0																75,47	0,009	75,5
Ví dụ so sánh 5	Phần còn lại	30	0	0,50	0,030	0																56,60	0,008	56,6
Ví dụ so sánh 6	Phần còn lại	58	0	0	0,015	0																3866,67	0,000	3866,7

Tiếp tục bảng 2

	Thành phần hợp kim [% khối lượng]																Hệ thức (1)	Hệ thức (2)	Hệ thức (3)
	Sn	Bi	Ag	Cu	Ni	Sb	Ge	P	Ga	As	Fe	Co	Pd	Zn	Zr	Pb	In	Ti	Ce
Ví dụ so sánh 7	Phần còn lại	40	0	0	0,030	0,50													
Ví dụ so sánh 8	Phần còn lại	45	0,5	0,10	0,500	1,50												1,5	1
Ví dụ so sánh 9	Phần còn lại	40	2,1	0,50	0,030	0,50													

Ví dụ so sánh 10	Phần còn lại	40	1,0	<u>0,00</u>	0,030	0,50													26,14	0,018	1383,3
Ví dụ sánh 11	Phần còn lại	40	1,0	<u>1,10</u>	0,030	0,50													15,21	0,037	36,7
Ví dụ so sánh 12	Phần còn lại	42	1,0	0,40	<u>0,004</u>	0,40													23,28	0,025	107,4
Ví dụ so sánh 13	Phần còn lại	40	1,0	0,50	<u>1,100</u>	0,50													12,90	0,046	25,9
Ví dụ so sánh 14	Phần còn lại	56,9	1,0	0,10	0,020	<u>0,10</u>													46,64	0,027	483,3
Ví dụ so sánh 15	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	<u>1,60</u>													12,78	0,027	80,4
Ví dụ so sánh 16	Phần còn lại	42,3	0,8	0,50	<u>1,200</u>	2,00													9,40	0,050	26,5
Ví dụ so sánh 17	Phần còn lại	40	1,0	0,50	0,030	0,50													19,70	0,026	78,3
Ví dụ so sánh 18	Phần còn lại	57,6	<u>0,4</u>	0,50	0,020	1,00													30,00	0,023	113,5

Dấu gạch chân biểu thị rằng giá trị không nằm trong phạm vi của sáng chế.

Bảng 3

	Điểm nóng chảy, trạng thái cấu trúc					Độ cứng bước hàn trong môi trường nhiệt độ cao		Sức kháng TCT					Sức kháng EM	
	Đường rần [độ C]	Đường lỏng [độ C]	Đánh giá nóng chảy 99,9% ở nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng 200°C	Đánh giá kích thước hạt trung bình kết tủa	Đánh giá kích thước hạt tinh thể lớn nhất kết tủa	Độ cứng bề mặt của các mối hàn [HV]	Đánh giá độ cứng	Số lượng chu kỳ gãy trung bình [chu kỳ]	Đánh giá độ chắc chắn	Tốc độ rão thử cấp [%/giờ]	(các tốc độ rão thử cấp)/Bị (% khối lượng) [%/giờ]	Đánh giá các đặc tính rão so với hàm lượng Bi	Sức kháng EM [giờ]	Đánh giá sức kháng EM
Ví dụ 1	140	199	o	o	o	13,7	oo	3010	o	6,77	0,23	o	303	o
Ví dụ 2	142	186	o	o	o	12,4	oo	3109	o	7,09	0,20	o	323	o
Ví dụ 3	138	185	o	o	o	12,1	oo	3251	o	7,19	0,20	o	331	o
Ví dụ 4	139	181	o	o	oo	11,1	oo	4169	oo	9,01	0,23	o	385	oo
Ví dụ 5	140	169	o	o	oo	9,3	oo	3411	o	5,81	0,13	o	398	oo
Ví dụ 6	139	166	o	o	oo	8,1	o	3621	oo	4,22	0,08	o	411	oo
Ví dụ 7	140	149	o	o	oo	7,7	o	4976	oo	1,28	0,02	o	434	oo
Ví dụ 8	141	152	o	o	o	7,2	o	4202	oo	3,00	0,05	△	342	o
Ví dụ 9	140	183	o	o	oo	11,1	oo	4040	oo	8,96	0,22	o	358	oo
Ví dụ 10	138	181	o	o	oo	10,2	oo	4234	oo	8,75	0,22	o	403	oo
Ví dụ 11	138	182	o	o	o	10,9	oo	3721	oo	6,25	0,16	o	419	oo
Ví dụ 12	138	182	o	o	oo	11,1	oo	3997	oo	8,94	0,22	o	395	oo
Ví dụ 13	139	181	o	o	oo	10,1	oo	3528	oo	8,92	0,22	o	371	oo

Ví dụ 14	139	184	o	o	oo	9,2	oo	3342	o	8,84	0,22	o	384	oo
----------	-----	-----	---	---	----	-----	----	------	---	------	------	---	-----	----

Tiếp tục bảng 3

	Điểm nóng chảy, trạng thái cấu trúc						Độ cứng bước hàn trong môi trường nhiệt độ cao		Sức kháng TCT				Sức kháng EM	
	Đường răn [độ C]	Đường lòng [độ C]	Đánh giá chảy 99,9% ở nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng 200°C	Đánh giá kích thước hạt trung bình kết tủa	Đánh giá kích thước hạt lớn nhất kết tủa	Độ cứng bề mặt của các mối hàn [Hv]	Đánh giá độ cứng	Số lượng chu kỳ gây trung bình [chu kỳ]	Đánh giá độ chắc chắn	Tốc độ rão thử cấp [%/giờ]	(các tốc độ rão thử cấp)/(hàm lượng Bi (% khối lượng)) [%/giờ]	Đánh giá các đặc tính so với hàm lượng Bi	Sức kháng EM [giờ]	Đánh giá sức kháng EM
Ví dụ 15	141	191	o	o	o	9,2	oo	4011	oo	8,29	0,21	o	396	oo
Ví dụ 16	139	183	o	o	oo	10,8	oo	4030	oo	7,51	0,19	o	356	oo
Ví dụ 17	140	186	o	o	oo	10,0	oo	4031	oo	8,72	0,22	o	387	oo
Ví dụ 18	141	185	o	o	oo	9,2	oo	3363	o	7,20	0,18	o	377	oo
Ví dụ 19	143	439	o	o	o	9,7	oo	3421	o	8,10	0,20	o	329	o
Ví dụ 20	140	179	o	o	oo	9,3	oo	3521	oo	9,00	0,22	o	344	o
Ví dụ 21	140	181	o	o	oo	10,5	oo	4112	oo	8,44	0,21	o	362	oo
Ví dụ 22	140	182	o	o	oo	10,2	oo	3855	oo	7,28	0,18	o	426	oo
Ví dụ 23	141	177	o	o	oo	9,1	oo	3612	oo	5,50	0,14	o	388	oo
Ví dụ 24	142	180	o	o	oo	10,0	oo	3720	oo	5,10	0,13	o	375	oo
Ví dụ 25	141	161	o	o	oo	9,6	oo	3598	oo	5,79	0,13	o	392	oo
Ví dụ 26	140	162	o	o	oo	9,2	oo	3991	oo	5,95	0,13	o	369	oo

Ví dụ 27	141	162	o	o	oo	9,2	oo	3696	oo	5,10	0,10	o	387	oo
Ví dụ 28	141	153	o	o	oo	9,2	oo	4723	oo	1,51	0,03	o	427	oo
Ví dụ 29	142	147	o	o	oo	9,4	oo	4670	oo	1,52	0,03	o	401	oo

Tiếp tục bảng 3

	Điểm nóng chảy, trạng thái cấu trúc					Độ cứng bước hàn trong môi trường nhiệt độ cao		Sức kháng TCT					Sức kháng EM	
	Đường rần [độ C]	Đường lòng [độ C]	Đánh giá nóng chảy 99,9% ở nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng 200°C	Đánh giá kích thước hạt trung bình kết tủa	Đánh giá kích thước hạt lớn nhất kết tủa	Độ cứng bề mặt của các mối hàn [HV]	Đánh giá độ cứng	Số lượng chu kỳ gây trung bình [chu kỳ]	Đánh giá độ chắc chắn	Tốc độ rần thử cấp [%/giờ]	(các tốc độ rần thử cấp)/(hàm lượng Bi (% khối lượng)) [%/giờ]	Đánh giá các đặc tính rần thử so với hàm lượng Bi	Sức kháng EM [giờ]	Đánh giá sức kháng EM
Ví dụ 30	139	179	o	o	oo	10,7	oo	3849	oo	8,91	0,22	o	384	oo
Ví dụ 31	140	180	o	o	oo	10,3	oo	3742	oo	9,10	0,23	o	402	oo
Ví dụ 32	140	180	o	o	oo	10,8	oo	3394	o	8,11	0,20	o	355	oo
Ví dụ 33	139	182	o	o	oo	10,0	oo	3529	oo	8,13	0,20	o	388	oo
Ví dụ 34	138	181	o	o	oo	11,0	oo	3511	oo	9,20	0,23	o	356	oo
Ví dụ 35	138	180	o	o	oo	11,2	oo	3208	o	10,10	0,25	Δ	371	oo
Ví dụ 36	140	180	o	o	oo	10,2	oo	3937	oo	8,93	0,22	o	344	o
Ví dụ 37	139	181	o	o	oo	9,6	oo	4021	oo	8,92	0,22	o	355	oo
Ví dụ 38	140	180	o	o	oo	9,2	oo	3581	oo	9,73	0,24	Δ	329	o
Ví dụ 39	140	181	o	o	oo	10,1	oo	3777	oo	9,58	0,24	Δ	337	o

Ví dụ 40	139	181	o	o	oo	11,1	oo	3878	oo	8,77	0,22	o	339	o
Ví dụ 41	140	182	o	o	oo	11,3	oo	4129	oo	8,76	0,22	o	391	oo
Ví dụ 42	139	183	o	o	oo	10,6	oo	4244	oo	8,92	0,22	o	371	oo

Bảng 4

	Điểm nóng chảy, trạng thái cấu trúc						Độ cứng bước hàn trong môi trường nhiệt độ cao		Sức kháng TCT					Sức kháng EM	
	Đườn g rắn [độ C]	Đườn g lỏng [độ C]	Đánh giá nóng chảy 99,9% ở nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng 200°C	Đánh giá kích thước hạt trung bình kết tủa	Đánh giá kích thước hạt trung bình kết tủa	Đánh giá kích thước hạt trung bình kết tủa	Độ cứng bề mặt của các mối hàn [HV]	Đánh giá độ cứng độ cứng	Số lượng chu kỳ gãy trung bình [chu kỳ]	Đánh giá độ chắc chắn	Tốc độ rão thứ cấp [%/giờ]	(các tốc độ rão thứ cấp)/ (hàm lượng Bi (% khối lượng)) [%/giờ]	Đánh giá các đặc tính rão so với hàm lượng Bi	Sức kháng EM [giờ]	Đánh giá sức kháng EM
Ví dụ 43	140	185	o	o	o	oo	11,6	oo	4281	oo	8,91	0,22	o	382	oo
Ví dụ 44	138	180	o	o	o	oo	9,3	oo	3027	o	9,89	0,25	Δ	349	o
Ví dụ 45	138	178	o	o	o	oo	10,2	oo	3765	oo	10,10	0,25	Δ	327	o
Ví dụ 46	138	182	o	o	o	oo	9,4	oo	3113	o	9,77	0,24	Δ	311	o
Ví dụ 47	139	187	o	o	o	oo	9,0	o	3442	o	9,79	0,24	Δ	323	o
Ví dụ 48	139	180	o	o	o	oo	10,2	oo	3665	oo	9,25	0,23	o	381	oo
Ví dụ 49	138	180	o	o	o	oo	10,4	oo	3557	oo	9,11	0,23	o	341	o
Ví dụ 50	138	180	o	o	o	oo	11,0	oo	4042	oo	8,88	0,22	o	403	oo
Ví dụ so sánh 1	138	175	o	x	x	x	9,0	o	2420	x	18,21	0,46	x	249	x

Ví dụ số sánh 2	141	196	o	o	oo	13,2	oo	2558	x	7,42	0,26	x	332	o
Ví dụ số sánh 3	141	152	o	x	x	6,5	x	3311	o	3,44	0,06	x	311	o
Ví dụ số sánh 4	139	174	o	x	x	8,8	x	2872	x	19,82	0,50	x	230	x
Ví dụ số sánh 5	140	193	o	x	x	12,1	oo	2048	x	22,90	0,76	x	278	x

Tiếp tục bảng 4

	Điểm nóng chảy, trạng thái cấu trúc					Độ cứng bước hàn trong môi trường nhiệt độ cao		Sức kháng TCT					Sức kháng EM	
	Đườn g rắn [độ C]	Đường lỏng [độ C]	Đánh giá nóng chảy 99,9% ở nhiệt độ nhỏ hơn hoặc bằng 200°C	Đánh giá kích thước hạt tính thể trung bình kết tủa	Đánh giá kích thước hạt tính thể lớn nhất kết tủa	Độ cứng bề mặt của các mối hàn [Hv]	Đánh giá độ cứng	Số lượng chu kỳ gây trung bình [chu kỳ]	Đánh giá độ chắc chắn	Tốc độ rão thứ cấp [%/giờ]	(các tốc độ rão thứ cấp)/ (hàm lượng Bi (% khối lượng)) [%/giờ]	Đánh giá các đặc tính rão so với hàm lượng Bi	Sức kháng EM [giờ]	Đánh giá sức kháng EM
Ví dụ so sánh 6	140	145	o	x	x	6,4	x	3538	oo	11,41	0,20	x	347	o
Ví dụ so sánh 7	141	183	o	x	x	9,3	oo	2544	x	15,30	0,38	x	269	x
Ví dụ so sánh 8	142	171	o	x	o	9,2	oo	2341	x	5,80	0,13	o	282	x
Ví dụ so sánh 9	141	210	x	o	x	11,4	oo	2963	x	8,10	0,20	o	432	oo
Ví dụ so	138	176	o	o	o	8,9	o	2881	x	10,21	0,26	x	313	o

35

Như được mô tả trên bảng 1, trong các ví dụ từ 1 đến 50, được nhận thấy rằng các tính đồng nhất của các cấu trúc hợp kim được thể hiện, và các hiệu quả tuyệt vời được tạo ra đối với độ cứng, sức kháng TCT và sức kháng EM. Cụ thể là, trong các ví dụ 4, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 21 đến 31, 33, 34, 37, 41 đến 43, 48 và 50 thỏa mãn các hệ thức (1) đến (3), các kết quả vượt trội được thu trong mỗi trong số các đánh giá. Trong số các nguyên tố tùy chọn, đối với P, Ge, Ga, As, Co, Pd và Pb, các kết quả vượt trội được thu trong các khoảng hàm lượng được kiểm soát tương ứng.

Mặt khác, trong ví dụ so sánh 1, nguyên tố phụ gia chỉ là Bi, vì thế sự sàng lọc và đồng nhất hóa của cấu trúc không thể được thể hiện, và sức kháng TCT và sức kháng EM là kém. Trong ví dụ so sánh 2, hàm lượng Bi là nhỏ, vì thế sức kháng TCT là kém. Trong ví dụ so sánh 3, hàm lượng Bi là lớn, vì thế sự sàng lọc và đồng nhất hóa của cấu trúc không thể được thể hiện, và độ cứng bị suy giảm.

Trong các ví dụ so sánh từ 4 đến 8, hàm lượng Ag là nhỏ, vì thế sự sàng lọc và đồng nhất hóa của cấu trúc không thể được thể hiện, và ít nhất một trong số độ cứng, sức kháng TCT và sức kháng EM là kém. Trong ví dụ so sánh 9, hàm lượng Ag là lớn, vì thế cấu trúc trở nên không đồng nhất và điểm nóng chảy tăng lên, và sức kháng TCT là kém.

Trong ví dụ so sánh 10, hàm lượng Cu là nhỏ, vì thế sức kháng TCT là kém. Trong ví dụ so sánh 11, hàm lượng Cu là lớn, vì thế sự đồng nhất hóa của cấu trúc không thể được thể hiện.

Trong ví dụ so sánh 12, hàm lượng Ni là nhỏ, vì thế sức kháng TCT là kém. Trong ví dụ so sánh 13, hàm lượng Ni là lớn, vì thế điểm nóng chảy tăng lên, cấu trúc không trở nên đồng nhất, và sức kháng TCT là kém.

Trong ví dụ so sánh 14, hàm lượng Sb là nhỏ, vì thế độ cứng là kém. Trong ví dụ so sánh 15, hàm lượng Sb là lớn, vì thế sự đồng nhất hóa của cấu trúc không thể được thể hiện. Trong ví dụ so sánh 16, hàm lượng Sb là quá lớn, vì thế điểm nóng chảy tăng lên, cấu trúc không trở nên đồng nhất, và sức kháng EM là kém.

Trong ví dụ so sánh 17, In được bao gồm, vì thế sức kháng TCT là kém. Trong ví dụ so sánh 18, In được bao gồm và hơn nữa hàm lượng Ag là nhỏ, vì thế cấu trúc không trở nên đồng nhất, và độ cứng và sức kháng EM là kém.

Các ví dụ và các ví dụ so sánh được trích xuất tùy ý trong số các hợp kim hàn được mô tả trên bảng 1 và bảng 2, và các chi tiết kết quả đo sẽ được mô tả dựa vào các hình vẽ. Fig.3 là

các ảnh chụp mặt cắt ngang của các mối hàn được làm từ các bi hàn có các thành phần hợp kim của ví dụ 4, ví dụ 7, ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 5, Fig.3A là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 được chụp ở độ phóng đại là 350, Fig.3B là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 được chụp ở độ phóng đại là 2000, Fig.3C là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 7 được chụp ở độ phóng đại là 350, Fig.3D là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 7 được chụp ở độ phóng đại là 2000, Fig.3E là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 được chụp ở độ phóng đại là 350, Fig.3F là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 được chụp ở độ phóng đại là 2000, Fig.3G là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 5 được chụp ở độ phóng đại là 350 và Fig.3H là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 5 được chụp ở độ phóng đại là 2000. Có thể thấy rõ ràng từ Fig.3, trong ví dụ 4 và ví dụ 7, như được biểu thị bởi các phần được khoanh trắng, nhận thấy được rằng kích thước hạt tinh thể trung bình của các hợp chất từ 3 đến 15 μm , và kích thước hạt tinh thể lớn nhất là từ 5 đến 20 μm . Các ví dụ khác cũng được thấy là cho các kết quả tương tự. Mặt khác, trong ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 5, như được biểu thị bởi các phần được khoanh trắng lớn, kích thước hạt tinh thể trung bình của các hợp chất được thấy là nhỏ hơn 3 μm .

Trên Fig.3, các điện cực là 1, 4, 5, 8, 10, 12, 14 và 16, các hợp chất là 2, 7, 9 và 13, các bi hàn là 3, 6, 11 và 15.

Các kết quả của các phép đo độ cứng Vickers của các mối hàn có các thành phần hợp kim của ví dụ 4, ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 6 được thể hiện. Fig.4 là các ảnh chụp nhìn từ mặt trên cùng của các mẫu của các mối hàn được làm từ các hợp kim hàn của ví dụ 4, ví dụ so sánh 4 và ví dụ so sánh 6, trải qua phép đo độ cứng Vickers và Fig.4A là ví dụ 4, Fig.4B là ví dụ so sánh 4 và Fig.4C là ví dụ so sánh 6. Như được biểu thị, ví dụ 4 trong đó độ cứng Vickers cao được thấy là có diện tích vết lõm 17 nhỏ và thể hiện độ cứng cao. Các kết quả của 5 phép đo được mô tả ở trên được thực hiện đối với mỗi thành phần được biểu thị trên Fig.5. Có thể thấy rõ ràng từ Fig.5, chúng có đủ các sự khác biệt đáng kể thậm chí xét theo sự thay đổi trong số các mẫu, và ví dụ 4 được thấy là thể hiện độ cứng cao ở nhiệt độ cao. Các ví dụ khác cũng được thấy là cho các kết quả tương tự.

Tiếp theo, các kết quả của các thử nghiệm chu kỳ nhiệt và các kết quả của các phép đo của các vùng rão thứ cấp lần lượt được biểu thị trên Fig.6 và Fig.7. Như được biểu thị trên Fig.6, nhận thấy được rằng, trong mỗi trong số các ví dụ 4 và 25 đến 28, số lượng chu kỳ là lớn, và độ chắc chắn là tuyệt vời so với các ví dụ so sánh từ 4 đến 7. Như được biểu thị trên Fig.7, nhận thấy được rằng, so với các ví dụ so sánh 4 và 6, trong mỗi trong số các ví dụ 4, 18, 23 và 28, độ

dốc của đường cong rã trong vùng rã thứ cấp là nhỏ, vì thế tốc độ rã thứ cấp là thấp. Các ví dụ khác cũng được thấy là cho các kết quả tương tự. Do đó, các ví dụ được thấy là thể hiện độ chắc chắn cao.

Tiếp theo, các kết quả của các thử nghiệm sức kháng EM được biểu thị trên Fig.8 và Fig.9. Có thể thấy rõ ràng từ Fig.8, nhận thấy được rằng, trong mỗi trong số các ví dụ 4 và 28, sự gia tăng giá trị điện trở được ngăn chặn so với ví dụ so sánh 4. Các ví dụ khác cũng được thấy là cho các kết quả tương tự. Do đó, nhận thấy được rằng sự xuất hiện của EM được ngăn chặn trong các ví dụ ngay cả khi dòng điện lớn được cấp.

Các ảnh chụp mặt cắt ngang của các mẫu này trước khi cấp điện và sau khi hết 700 giờ từ lúc cấp điện được biểu thị trên Fig.9. Fig.9 là các ảnh chụp mặt cắt ngang của các mối hàn được làm từ các bi hàn có các thành phần hợp kim của ví dụ 4, ví dụ 28 và ví dụ so sánh 4 trước và sau thử nghiệm sức kháng EM, Fig.9A là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 trước khi cấp điện, Fig.9B và Fig.9C lần lượt là các ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ so sánh 4 sau khi cấp điện 700 giờ, Fig.9D là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 trước khi cấp điện, Fig.9E và Fig.9F lần lượt là các ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 4 sau khi cấp điện 700 giờ, Fig.9G là ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 28 trước khi cấp điện và Fig.9H và Fig.9I lần lượt là các ảnh chụp mặt cắt ngang của ví dụ 28 sau khi cấp điện 700 giờ. Trên Fig.9, phần màu trắng thể hiện Bi, và phần màu xám thể hiện Sn. Mỗi trong số Fig.9B, Fig.9E và Fig.9H thể hiện sự dịch chuyển của các điện tử từ phía trên đến phía dưới trong ảnh chụp như được biểu thị trên Fig.9B, và mỗi trong số Fig.9C, Fig.9F và Fig.9I thể hiện sự dịch chuyển của các điện tử từ phía dưới đến phía trên trong ảnh chụp như được biểu thị trên Fig.9C.

Nhận thấy được rằng, so với các ảnh chụp trước khi cấp điện được biểu thị trên các hình vẽ từ Fig.9A đến Fig.9C, Bi được tích tụ ở phía dưới của mỗi ảnh chụp trên Fig.9B, Fig.9E và Fig.9H. Mặt khác, nhận thấy được rằng, so với Fig.9B biểu thị ví dụ so sánh 4, trạng thái phân tán của Bi được duy trì, và sự dịch chuyển của Bi được ngăn chặn trong mỗi trong số Fig.9E biểu thị ví dụ 4 và Fig.9H biểu thị ví dụ 28. Tương tự, trên Fig.9C, Fig.9F và Fig.9I trong đó hướng dịch chuyển điện tử là ngược lại, nhận thấy được rằng trạng thái phân tán của Bi được duy trì, và sự dịch chuyển của Bi được ngăn chặn trong mỗi trong số Fig.9F biểu thị ví dụ 4 và Fig.9I biểu thị ví dụ 28 so với Fig.9C minh họa ví dụ so sánh 4.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hợp kim hàn có thành phần hợp kim bao gồm, theo % khối lượng

Bi: từ 30 đến 60%,

Ag: từ 0,7 đến 2,0%,

Cu: lớn hơn 0% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%,

Ni: từ 0,01 đến 1,00%,

Sb: từ 0,2 đến 1,5%, còn lại là Sn.

2. Hợp kim hàn theo điểm 1, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm ít nhất một chất được chọn từ nhóm bao gồm,

ít nhất một trong số P, Ge, Ga và As: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%,

ít nhất một trong số Fe và Co: tổng cộng nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%,

Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%,

Zr: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%,

Zn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1%, và

Pb: nhỏ hơn hoặc bằng 0,02%.

3. Hợp kim hàn theo điểm 1, trong đó, theo % khối lượng

thành phần hợp kim còn bao gồm ít nhất một chất được chọn từ nhóm bao gồm,

ít nhất một trong số, P: nhỏ hơn 0,01%,

Ge: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%,

Ga: nhỏ hơn 0,01%, và

As: lớn hơn 0,001% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%,

Co: nhỏ hơn 0,01%,

Pd: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, và

Pb: nhỏ hơn 0,004%.

4. Hợp kim hàn theo điểm 1 hoặc điểm 2,

trong đó thành phần hợp kim thỏa mãn ít nhất một trong số các hệ thức (1) đến (3) sau:

$$13,00 \leq \text{Bi}/(\text{Ag}+\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Sb}) \leq 23,27 \text{ Hệ thức (1)}$$

$$0,017 \leq (\text{Ag}+\text{Cu}+\text{Ni})/\text{Sn} \leq 0,039 \text{ Hệ thức (2)}$$

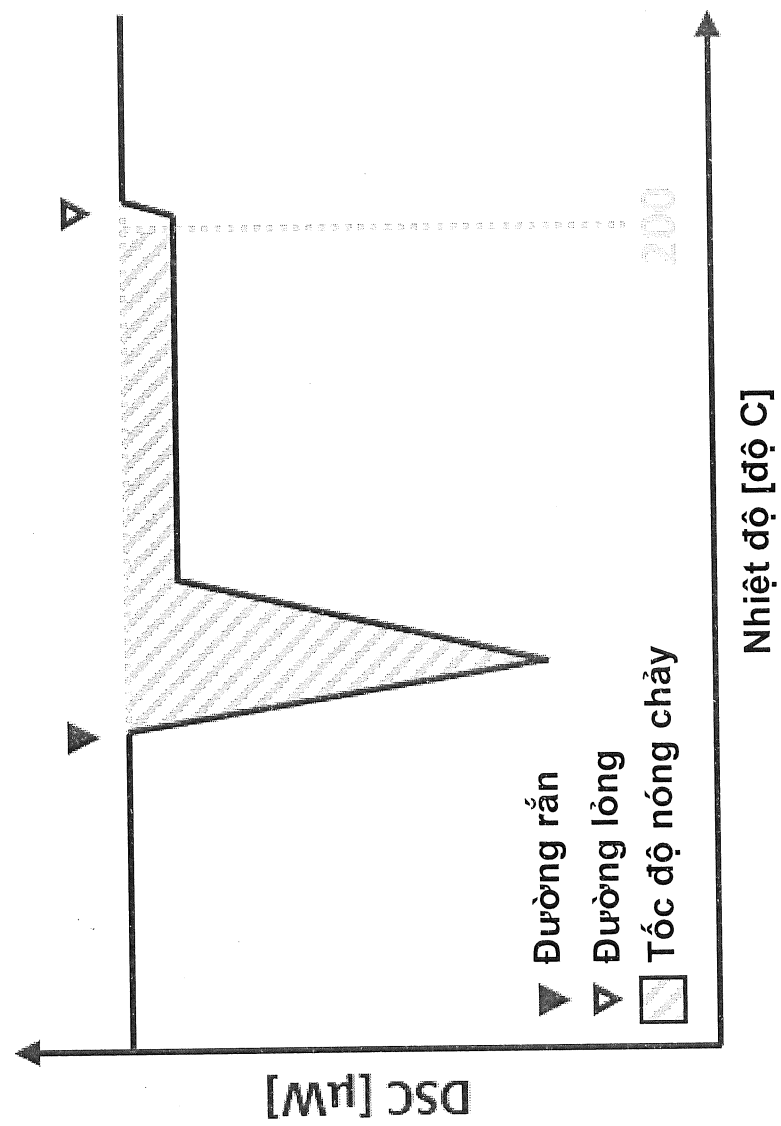
$$70,9 \leq (\text{Bi}+\text{Ag}+\text{Sb})/(\text{Cu}+\text{Ni}) \leq 6349 \text{ Hệ thức (3)}$$

trong đó Sn, Bi, Ag, Cu, Ni và Sb trong các hệ thức (1) đến (3), mỗi chất thể hiện các hàm lượng (% khối lượng) của chúng trong hợp kim hàn.

5. Bi hàn bao gồm hợp kim hàn theo điểm 1 hoặc điểm 2.
6. Kem hàn bao gồm bột hàn bao gồm hợp kim hàn theo điểm 1 hoặc điểm 2.
7. Mối hàn bao gồm hợp kim hàn theo điểm 1 hoặc điểm 2.

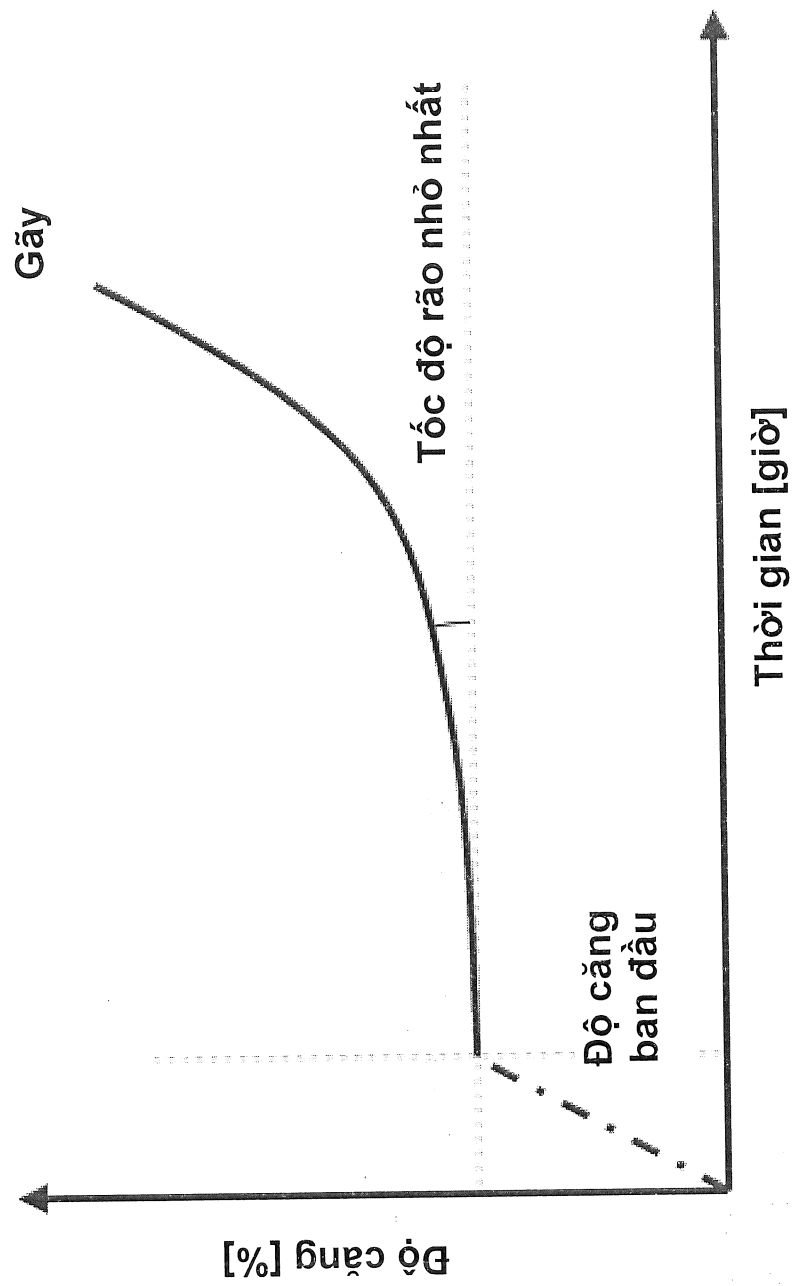
1/8

Fig. 1



2/8

Fig. 2



3/8

Fig. 3

Fig. 3A

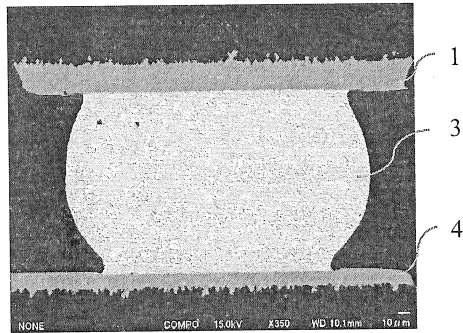


Fig. 3C

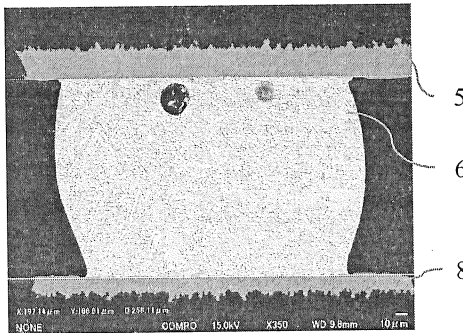


Fig. 3E

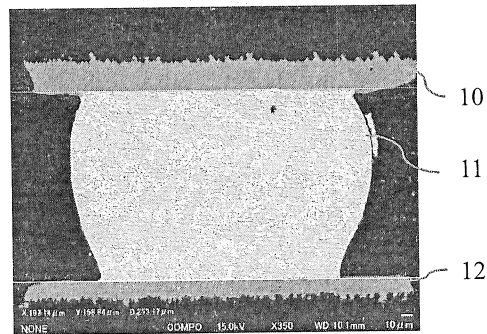


Fig. 3G

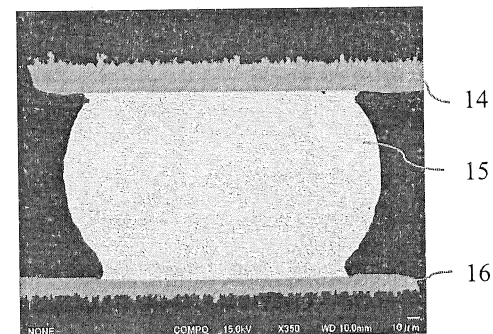


Fig. 3B

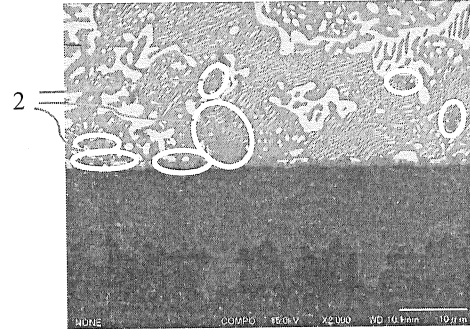


Fig. 3D

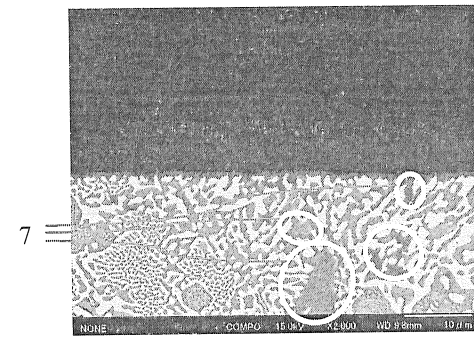


Fig. 3F

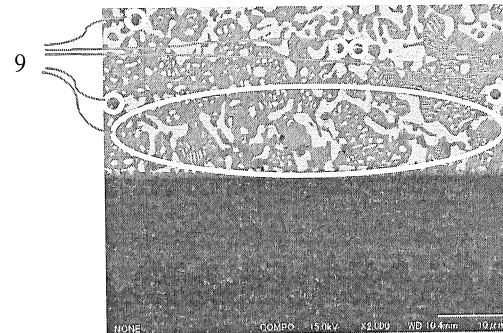
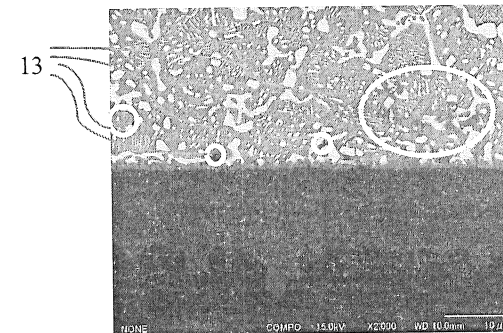


Fig. 3H



4/8

Fig. 4

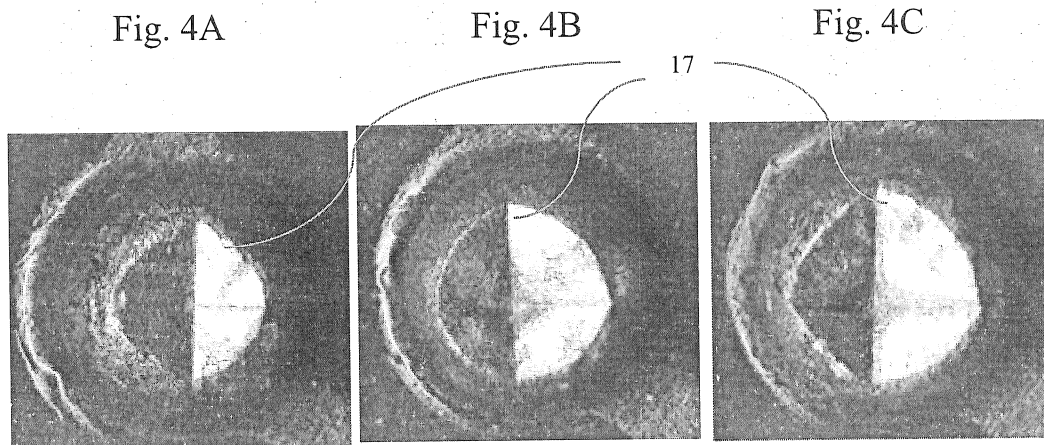
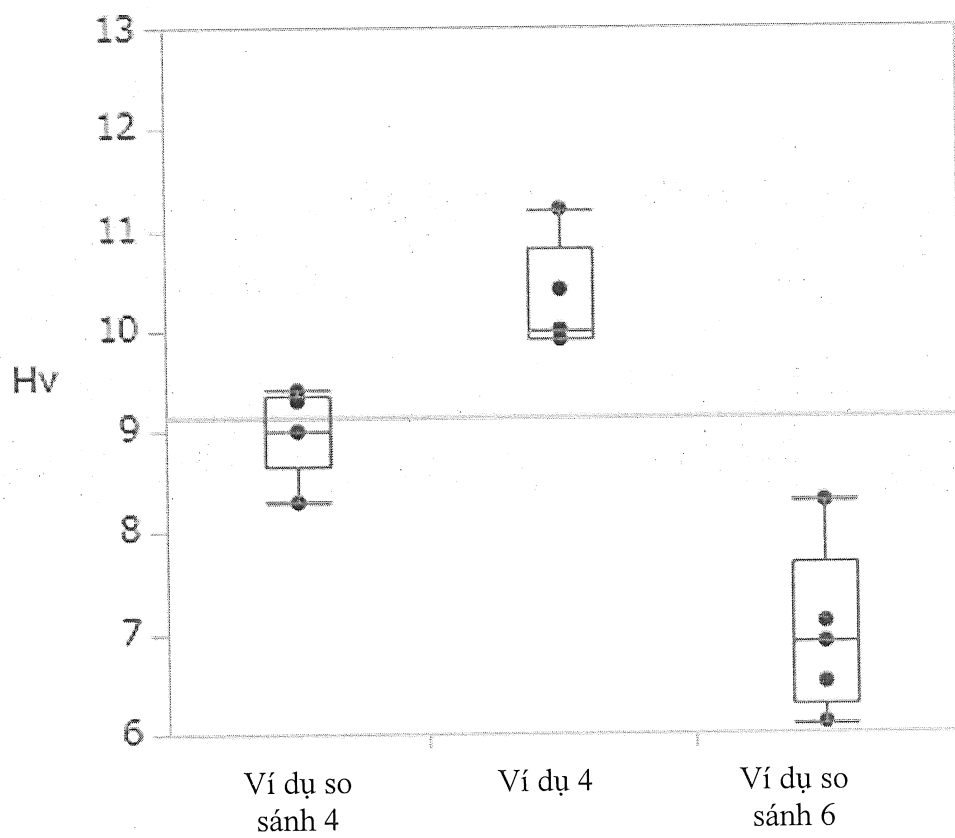
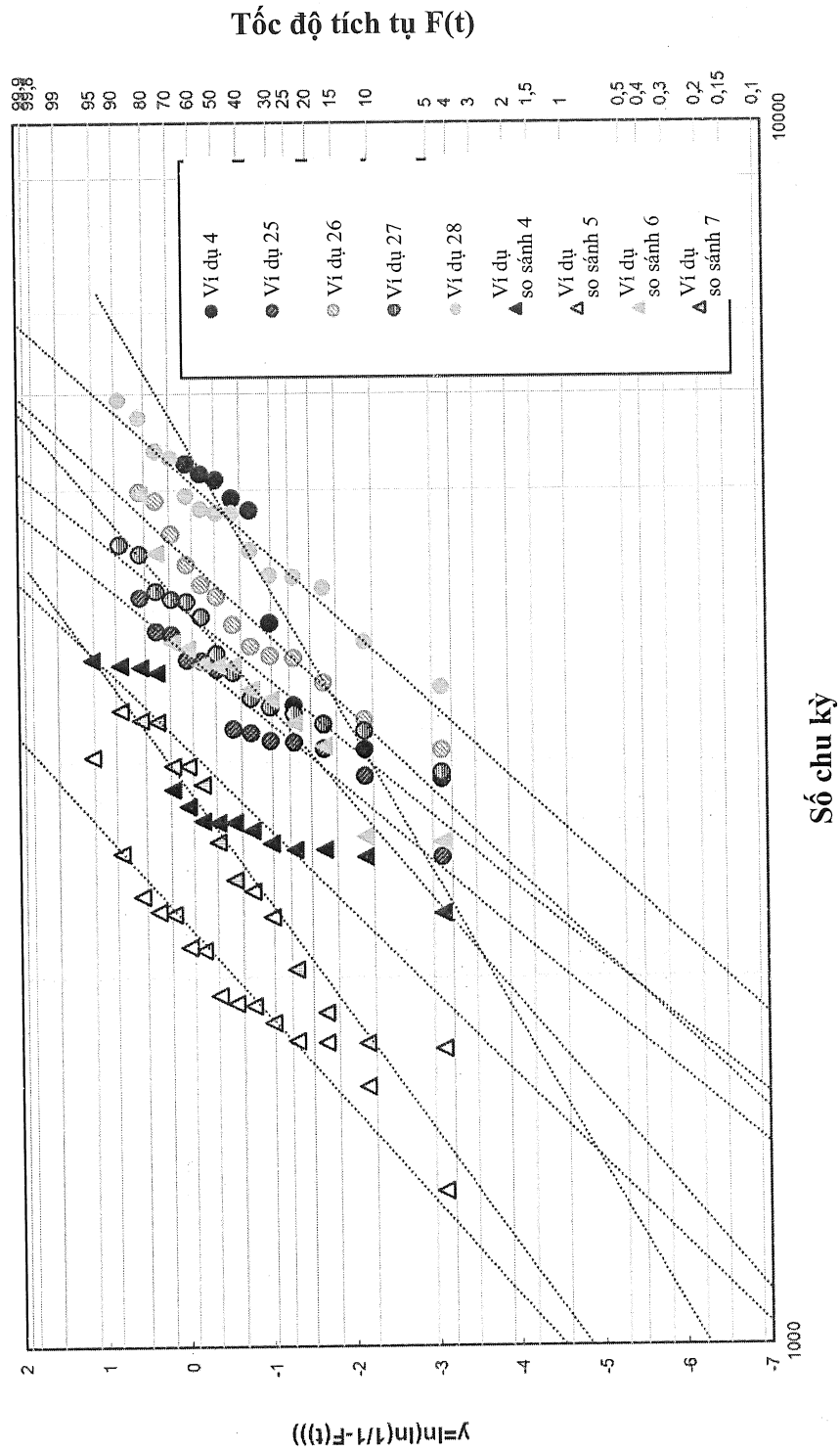


Fig. 5



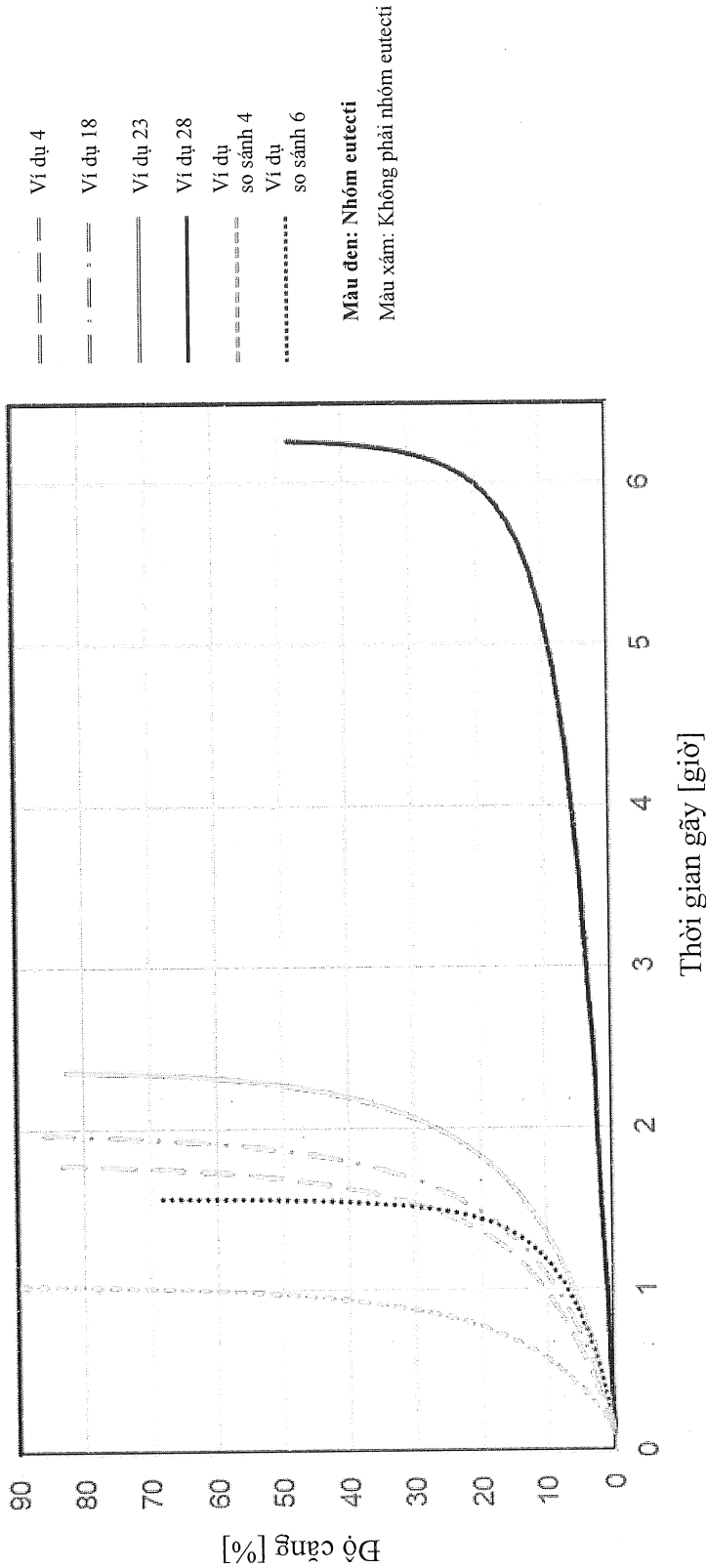
5/8

Fig. 6



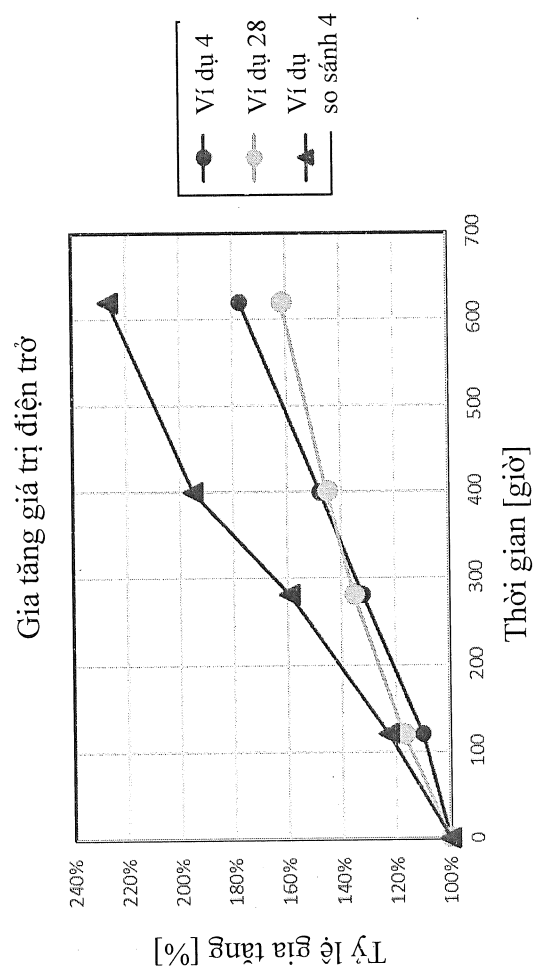
6/8

Fig. 7



7/8

Fig. 8



8/8

Fig. 9

Fig. 9A

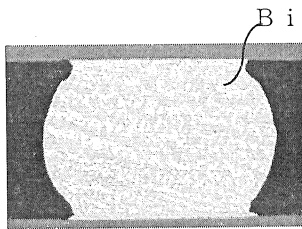


Fig. 9D

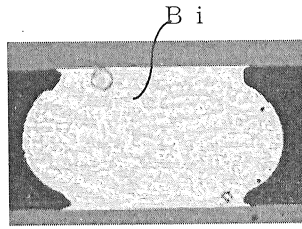


Fig. 9G

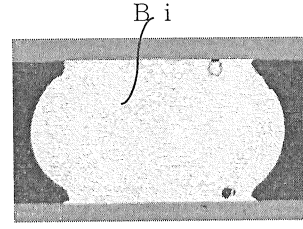


Fig. 9B

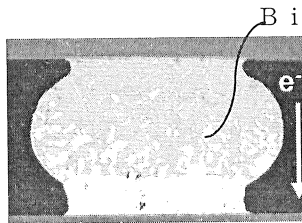


Fig. 9E

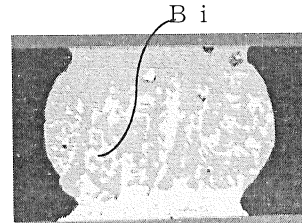


Fig. 9H

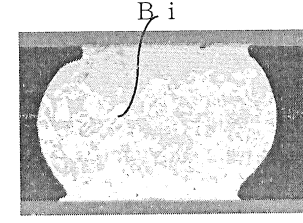


Fig. 9C

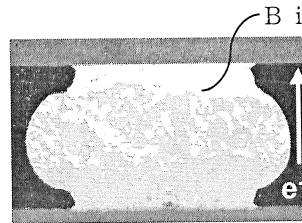


Fig. 9F

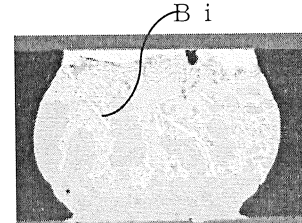


Fig. 9I

