

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO HỆ THỐNG THIÊU KẾT KIM LOẠI BẠC DẠNG BỘT CHO MẪU THỬ MICRO

DESIGN AND FABRICATION OF METAL SINTERING SYSTEM FOR AG POWDER IN MICRO SAMPLES

Lê Văn Dương, Tào Quang Bằng*, Phan Hải Đăng, Trần Phước Thanh, Đỗ Lê Hưng Toàn, Nguyễn Trí Hòa, Bùi Trung Hiếu, Nguyễn Phúc Lê Huy

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: tqbang@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 17/9/2023; Sửa bài / Revised: 13/11/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 21/11/2023)

Tóm tắt - Trong ngành công nghiệp vi mạch điện tử hiện nay, bột Bạc (Ag) nano đang trở thành vật liệu hàn không chì thay thế cho các loại vật liệu hàn và màn bám dính truyền thống vì có nhiều đặc tính nổi bật như tính dẫn điện và nhiệt cao, khả năng chịu đựng được nhiệt độ làm việc và tản nhiệt cao hơn. Trong nghiên cứu này, một hệ thống thiêu kết bột Ag nano đã được thiết kế và chế tạo thành công nhằm chế tạo ra các mẫu thử micro, ứng dụng trong các mối hàn chip của vi mạch điện tử. Thông qua các chương trình điều khiển tự động từ lực ép, áp suất, hành trình ép, thời gian và nhiệt độ của hệ thống gia nhiệt, máy có thể tạo ra các mẫu thiêu kết bột Ag nano có độ tin cậy cao với chiều dày khác nhau, gồm 0,5 mm, 1 mm. Nghiên cứu này là tiền đề giúp bổ sung kiến thức nâng cao về công nghệ thiêu kết và mở ra các nghiên cứu chuyên sâu mối liên kết chip bằng vật liệu Ag nano trong vi mạch điện tử.

Từ khóa - Luyện kim bột; Mẫu thử micro; Quá trình thiêu kết; bột Ag nano; vật liệu hàn Chip.

1. Đặt vấn đề

Với sự tiến bộ của khoa học và công nghệ, đặc biệt trong lĩnh vực chế tạo và phát triển, tìm kiếm vật liệu mới, công nghệ luyện kim từ vật liệu dạng bột ngày càng được ứng dụng rộng rãi để chế tạo các chi tiết phức tạp hoặc những chi tiết được ghép từ các loại vật liệu khác nhau như kim loại với chất dẻo, kim loại với thủy tinh,... nhằm mục đích tạo ra các chi tiết có độ bền, độ cứng cao, làm việc trong các điều kiện làm việc nhiệt độ cao trong các lĩnh vực như công nghiệp hạt nhân, hàng không vũ trụ,... [1-3]. Bên cạnh đó, các chi tiết được chế tạo bằng công nghệ luyện kim bột cũng đã và đang ứng dụng vào công nghiệp và đời sống như các liên kết của linh kiện trong vi mạch điện tử, cơ khí, quang học... Đối với ngành công nghiệp vi mạch điện tử, phương pháp chế tạo bằng thiêu kết kim loại dạng bột đang được sử dụng rộng rãi để thay thế cho kim loại khối với những ưu điểm vượt trội về cơ tính và các đặc tính hoá học, vật lý khác với cả những hợp kim hàn có chứa chì và không chì. Nhiệm vụ chính của vật liệu liên kết (mối hàn) là cung cấp mối liên kết giữa chip và tấm kim loại nền (substrate), với yêu cầu vật liệu hàn phải đảm bảo cơ tính và các đặc tính hoá – lý để thiết bị có thể hoạt động tốt và tuổi thọ cao. Các mối liên kết hàn thường phải làm việc trong điều kiện nhiệt độ cao và chu kỳ, chế độ làm việc thay đổi

Abstract - In the current electronic packaging industry, nanosilver (Ag) paste is becoming an alternative lead-free die attachment material compared to other traditional solders and adhesive films due to its highlight properties such as electrical and thermal conductivity, suffering at higher temperature operation and higher heat dissipation capability. In this study, a successful design and fabrication of a nanosilver paste sintering system were carried out to create micro samples for die attachment in microelectronic. Through the automated control programs, including loading, pressure, stroke, heating temperature, and time, the machine can produce highly reliable sintered specimens of nanosilver paste with different thicknesses, (0.5 mm and 1 mm). This research serves as a foundation to enhance knowledge in sintering technology and open up further in-depth studies on die attach using nano silver materials in microelectronic packaging.

Key words - Powder metallurgy; Micro-sample; Sintering process, Ag nano paste; Die attachment material.

liên tục. Trong đó, bột bạc nano được phát hiện là vật liệu hàn đầy hứa hẹn với nhiều ưu điểm hơn so với các vật liệu hàn truyền thống.

Một số nhà nghiên cứu trên thế giới đã nghiên cứu về cơ tính của vật liệu của vật liệu bạc nano dưới ảnh hưởng của các điều kiện khác nhau [4-6], những nghiên cứu này tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của các điều kiện thiêu kết đến cơ tính của vật liệu bạc nano như thời gian nung, nhiệt độ nung, áp suất ép... cũng như nghiên cứu độ bền của mối liên kết bạc nano thiêu kết và cấu trúc tế vi của mối hàn này. Trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã phát hiện ra rằng việc thiêu kết bạc để liên kết các linh kiện điện tử với tấm kim loại nền là một giải pháp thay thế tối ưu hơn so với các mối hàn thông thường vì chúng có khả năng chịu được nhiệt độ cao hơn, độ dẫn điện, dẫn nhiệt cao và đảm bảo độ bền cơ học [7-10]. Bên cạnh đó, công nghệ thiêu kết với nhiệt độ thiêu kết là 285°C, tốc độ gia nhiệt 10°C/phút và thời gian duy trì là 60 phút đã được giới thiệu bởi tác giả Wang T và cộng sự [11], đây cũng là tiền đề để công nghệ thiêu kết bạc đi vào ứng dụng thực tế. CH Tsai và cộng sự đã dùng công nghệ thiêu kết kim loại bạc để liên kết hai khối đồng với độ tinh khiết 99,9% lại với nhau ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau nhằm mô tả vi cấu trúc mặt cắt SEM của các mối nối micro-Ag sau khi

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Le Van Duong, Tao Quang Bang, Phan Hai Dang, Tran Phuoc Thanh, Do Le Hung Toan, Nguyen Tri Hoa, Bui Trung Hieu, Nguyen Phuc Le Huy)

thieu kết để đưa ra những nhận định về độ xốp của các khớp thieu kết bằng phần mềm ImageJ [12]. Việc chế tạo mẫu thử vật liệu trước khi đưa vào ứng dụng trong các lĩnh vực là rất quan trọng, nhằm kiểm nghiệm các đặc tính của mẫu thử. Để có được sản phẩm thieu kết (các mẫu thử) đạt yêu cầu, chúng ta phải nghiên cứu từ tổng quát đến cụ thể các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thieu kết và máy thieu kết. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thieu kết đã được đề cập nhiều trong các nghiên cứu trước đây [13-22]. Tuy nhiên, việc nghiên cứu, chế tạo máy thieu kết để tạo ra mẫu thử với những chiều dày khác nhau nhằm phân tích ảnh hưởng của các yếu tố như áp lực ép, nhiệt độ... đến đặc tính cơ học của sản phẩm thieu kết vẫn chưa được nghiên cứu rộng rãi.

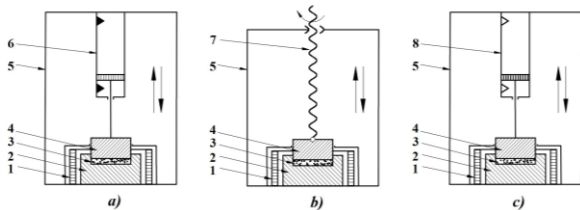
Nhận thấy được yêu cầu cấp thiết trên, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống thieu kết kim loại bạc dạng bột để tạo ra sản phẩm là các mẫu thử dưới kích thước micro. Máy được thiết kế hoạt động tự động, thông qua các chương trình điều khiển để có thể tạo ra những mẫu thử có chiều dày khác nhau. Quy trình chế tạo mẫu được xây dựng một cách khép kín từ quá trình gia nhiệt, ép vật liệu và kiểm soát áp suất ép để tạo thành mẫu. Bên cạnh đó, các số liệu thực nghiệm máy khi vận hành được kiểm nghiệm với tính toán thiết kế lý thuyết để chứng minh độ tin cậy của máy.

2. Thiết kế máy và xây dựng quy trình chế tạo sản phẩm mẫu

2.1. Thiết kế máy thieu kết kim loại cho mẫu thử micro

2.1.1. Phân tích lựa chọn phương án thiết kế máy

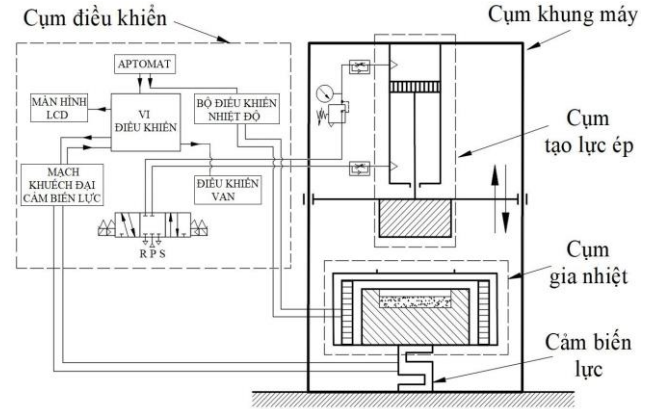
Với mục tiêu chế tạo máy có kết cấu nhỏ gọn, độ chính xác cao, ứng dụng để chế tạo những mẫu thử có kích thước micro, chi tiết vừa và nhỏ, qua quá trình nghiên cứu và phân tích, nhóm tác giả đưa ra các phương án thiết kế máy như Hình 1. Hình 1a, b, c lần lượt mô tả phương án sử dụng xilanh thủy lực, cơ cấu vít me – đai ốc, xi lanh khí nén để tạo lực ép. Căn cứ vào ưu điểm nổi bật như kết cấu nhỏ gọn, điều khiển chính xác và thuận lợi trong quá trình tích hợp các hệ thống điều khiển, nhóm tác giả đã lựa chọn phương án sử dụng xi lanh khí nén để tạo lực ép cho máy.



Hình 1. Các phương án thiết kế máy (1: Vòng gia nhiệt, 2: Khuôn dưới, 3: Bột kim loại, 4: Chày, 5: Khung máy, 6: Xilanh thủy lực, 7: Vít me – đai ốc, 8: Xilanh khí nén.)

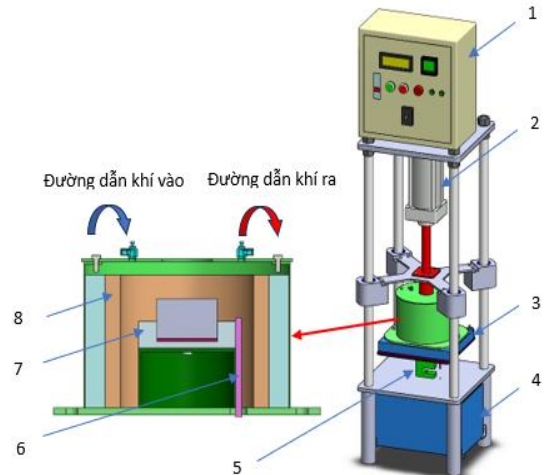
Sơ đồ động học và sơ đồ điều khiển của máy được thể hiện trên Hình 2. Nguyên lý hoạt động chính của máy như sau: Sau khi bật công tắc khởi động, xilanh khí nén mang chày chuyển động tịnh tiến đến khuôn ép và che kín khoảng trống của nắp lò. Đồng thời, bộ gia nhiệt hoạt động, gia nhiệt hỗn hợp theo chu trình nhiệt đã được thiết lập sẵn, ở giai đoạn này xi lanh khí nén sẽ đẩy chày ép lớp bột trong khuôn với áp suất do đã thiết lập. Bên cạnh đó, màn hình

LCD sẽ hiển thị rõ giá trị lực, thời gian chờ và nhiệt độ của quá trình thieu kết. Kết thúc chu trình thieu kết, xilanh lùi về, đồng thời bộ gia nhiệt sẽ ngưng hoạt động và tự làm nguội đến nhiệt độ phòng. Sau khi nguội, sản phẩm được lấy ra khỏi khuôn để tiến hành cắt mẫu cho mục đích thử nghiệm.



Hình 2. Sơ đồ động học và sơ đồ điều khiển

2.1.2. Thiết kế máy trên phần mềm 3D



Hình 3. Mô hình 3D toàn máy

Dựa vào các phương án thiết kế đã được phân tích và lựa chọn, nhóm tác giả đã hoàn thiện thiết kế máy bằng phần mềm thiết kế 3D, được thể hiện trên Hình 3. Cấu trúc máy được thể hiện trên Hình 3 gồm các bộ phận chính như: (1) hộp tủ điện, (2) xilanh, (3) bộ phận làm mát, (4) thùng chứa nước, (5) cảm biến lực và kết cấu buồng gia nhiệt có (6) cảm biến nhiệt độ, (7) bộ khuôn và vòng gia nhiệt (8) được bọc bên ngoài là lớp cách nhiệt và vỏ buồng. Bên cạnh đó, buồng gia nhiệt được thiết kế có hệ thống dẫn khí Argon vào và ra, nhằm ngăn chặn tác động của không khí đến hỗn hợp nung nóng trong quá trình thieu kết.

2.1.3. Tính chọn xilanh

Lực ép yêu cầu: $F = 0 \div 3000 \text{ N}$.

Áp suất khí nén thường dùng: $p = 6 \text{ Kg/cm}^2 = 0,6 \text{ N/mm}^2$.

Đường kính xilanh tối thiểu:

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{F \cdot 4}{p \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{3000 \cdot 4}{0,6 \cdot \pi}} = 79,78 \text{ mm}$$

Vì vậy, chọn đường kính xilanh $D_{xl} = 80 \text{ mm}$.

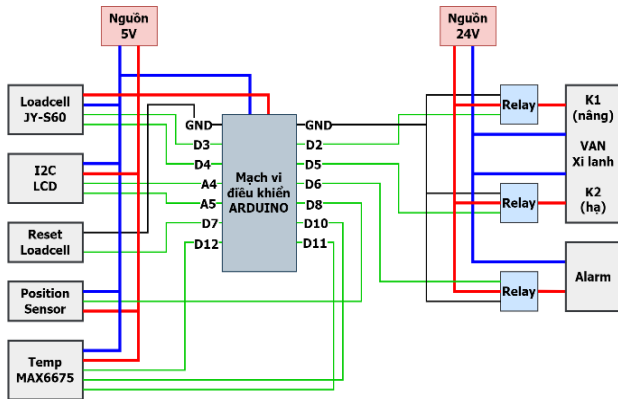
Chọn loại xilanh khí dạng vuông SC 80x100 [23] với các thông số được thể hiện cụ thể theo Bảng 1:

Bảng 1. Thông số của xilanh

| | |
|-----------------------|---------|
| Đường kính xilanh | Ø80 mm |
| Hành trình của xilanh | 100 mm |
| Đường kính cần piston | Ø25 mm |
| Nhiệt độ hoạt động | -5÷70°C |

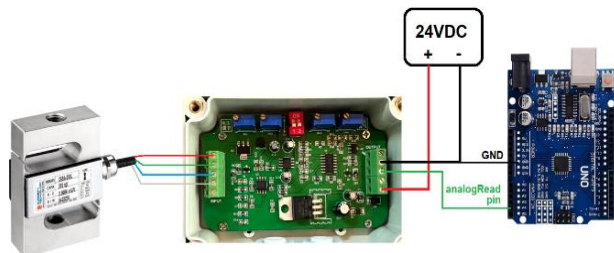
2.1.4. Thiết kế hệ thống điều khiển máy

Mạch điều khiển có thể chia 3 thành phần chính: Các thiết bị đầu vào, vi điều khiển trung tâm và các cơ cấu chấp hành được kết nối theo sơ đồ trên Hình 4. Các thiết bị đầu vào gồm các nút nhấn, công tắc điều khiển, các công tắc từ, cảm biến nhiệt độ, cảm biến lực thực hiện gửi tín hiệu điều khiển và đo đặc các thông số của hệ thống. Bộ vi điều khiển trung tâm có vai trò xử lý các tín hiệu đầu vào theo chu trình hoạt động để đưa ra tín hiệu điều khiển cho các cơ cấu chấp hành theo đúng chu trình hoạt động của máy. Các cơ cấu chấp hành gồm còi cảnh báo, đèn, màn hình LCD để hiển thị các thông số thiết lập, cảnh báo, nhắc nhở khi có sự kiện xảy ra. Các Relay trung gian thực hiện việc đóng để điều khiển hoạt động của động cơ theo chu trình và các tín hiệu từ thiết bị đầu vào.

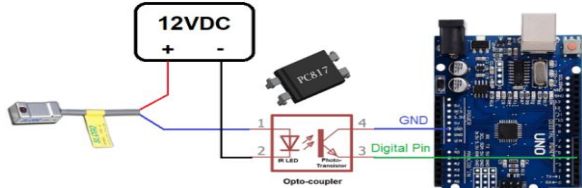


Hình 4. Sơ đồ kết nối mạch điều khiển

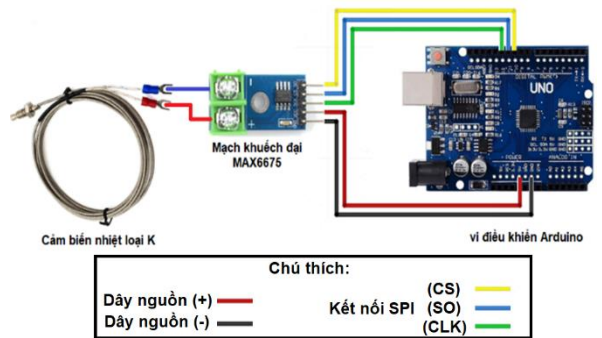
Sơ đồ kết nối đọc tín hiệu từ các cảm biến bao gồm cảm biến lực (loadcell), cảm biến hành trình của xi lanh, cảm biến nhiệt độ được thể hiện trên Hình 5a, b, c.



Hình 5a. Sơ đồ kết nối đọc tín hiệu từ cảm biến lực loại Z sử dụng bộ chuyển đổi tín hiệu JY-S60 [24]



Hình 5b. Sơ đồ kết nối đọc tín hiệu cảm biến hành trình CS1-U của xilanh



Hình 5c. Sơ đồ kết nối mạch điều khiển MAX6675 [25]



Hình 6. Sơ đồ kết nối bộ điều khiển nhiệt độ Rex-C100 với vòng gia nhiệt [26]

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng cảm biến lực thang 500 KG, khi có sự thay đổi về lực tác động, cảm biến cân nặng sẽ thay đổi giá trị nội trở bên trong, sự thay đổi này là rất tinh vi, khó để vi điều khiển phát hiện sự thay đổi nhỏ này nên tín hiệu sẽ được đọc thông qua một bộ chuyển đổi có khả năng khuếch đại sự thay đổi của điện trở đọc được và chuyển thành tín hiệu điện áp đầu ra ở thang đo tương thích với khả năng đọc tín hiệu đầu vào của vi xử lý. Ở nghiên cứu sử dụng cảm biến lực loại Z, với thông số được cho từ nhà sản xuất là có giá trị đo tối đa 500 Kg, tương đương với giá trị lực đo được sẽ nằm trong khoảng từ 0 đến 5000 Newtons. Thông số bộ chuyển đổi JY-S60 gồm điện áp nguồn cấp: 24V DC, điện áp đầu ra có hai thang giá trị: 0÷5V hoặc 0÷10V (sử dụng thang 5V để phù hợp với vi điều khiển), độ nhạy 2mV/V. Sau khi lắp đặt cảm biến bên dưới khuôn, thực hiện điều chỉnh V_{zero} trên bộ chuyển đổi để đầu ra trả về 0V (tính năng trừ bì), sau đó khi có giá trị lực tác động vào khuôn thay đổi, thông qua mạch chuyển đổi, tín hiệu đầu ra biến thiên tuyến tính trong khoảng từ 0÷5V, tín hiệu analog đọc được này sau đó được vi điều khiển chuyển về từ 0÷5000N theo như thông số đã cho của cảm biến lực và liên tục theo dõi giá trị này trên màn hình giám sát. Bên cạnh đó, nhóm tác giả sử dụng cảm biến từ CS1-U như là công tắc hành trình để xác định vị trí của xilanh trong quá trình ép nén. Tương tự như việc đọc giá trị lực, việc đọc giá trị nhiệt độ cũng thông qua một mạch khuếch đại có nhiệm vụ khuếch đại giá trị điện trở thay đổi rất nhỏ của đầu đo cảm biến nhiệt khi có sự thay đổi về nhiệt độ, sau đó thực hiện chuyển đổi về dạng tín hiệu khả dụng với vi điều khiển, ở đây nhóm sử dụng mạch khuếch đại MAX6675, được sử dụng phổ biến để giao tiếp cảm biến nhiệt độ loại K với vi điều khiển theo giao thức SPI. Thông số chính của mạch khuếch đại nhiệt độ là điện

áp hoạt động: 3,3÷5V, độ phân giải của mạch là 0,25°C, dải đo từ 0÷1000°C, cổng giao tiếp SPI với vi điều khiển, từ đó giúp nhóm theo dõi nhiệt độ do hệ thống gia nhiệt cung cấp trong quá trình thực hiện thiêu kết.

Bộ điều khiển nhiệt độ Rex-C100 điều khiển nhiệt độ của vòng gia nhiệt bằng cách liên tục theo dõi nhiệt độ trong lò gia nhiệt thông qua cảm biến nhiệt độ loại K và điều chỉnh tín hiệu điều khiển để đảm bảo rằng nhiệt độ duy trì ở gần với giá trị mục tiêu như đã thiết lập. Thông số của bộ điều khiển Rex-C100 và vòng gia nhiệt điện trở sử dụng thể hiện cụ thể theo Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Thông số của bộ điều khiển nhiệt độ Rex-C100 [27]

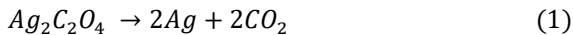
| | |
|--------------------|--------------|
| Phạm vi nhiệt độ | 0÷400°C |
| Độ chính xác đo | 0,5% FS |
| Nhiệt độ hoạt động | 0÷50°C |
| Kiểu đầu vào | K |
| Kiểu đầu ra | SSR |
| Chế độ điều khiển | PID, On-Off |
| Điện áp | 220V AC |
| Kích thước | 48x48x100 mm |

Bảng 3. Thông số của vòng gia nhiệt điện trở sứ [28]

| | |
|------------------|----------|
| Chất liệu vỏ | SUS430 |
| Dây đốt nóng | Cr20Ni80 |
| Đường kính trong | Ø110 mm |
| Chiều cao | 100 mm |
| Dải nhiệt độ | 20÷350°C |
| Điện áp | 220V AC |
| Công suất | 1700 W |

2.2. Xây dựng quy trình chế tạo sản phẩm mẫu

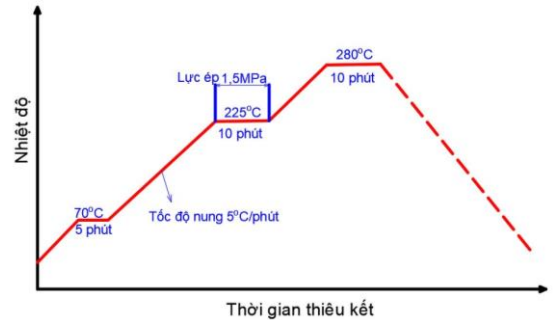
Trong nghiên cứu này, bột Ag được tạo ra bằng cách trộn bột Oxalate Ag với Ethylene glycol tinh khiết trong bể siêu âm. Ag Oxalate có thể bị phân hủy thành Ag kim loại với điều kiện nhiệt độ dưới 200°C trong môi trường được kiểm soát với chất khử (3% H₂), cho phép khử các oxide kim loại. Phản ứng phân hủy hóa học xảy ra như sau:



Trong phản ứng trên, Ag Oxalate bị phân hủy thành các hạt nano Ag tinh khiết và có khả năng phản ứng cao sau khi hàm lượng hữu cơ bay hơi do cả nhiệt độ được sử dụng và nhiệt bổ sung do quá trình phân hủy Oxalate tỏa nhiệt cao tạo ra. Ở giai đoạn này, các hạt kích thước nano bạc xấp xỉ thay thế các hạt Oxalate ban đầu và được liên kết một phần với nhau bằng các cầu kim loại nhỏ.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã đề xuất một quy trình tạo mẫu bằng công nghệ thiêu kết mới, quy trình được thực hiện khép kín trong lò từ gia nhiệt, ép mẫu được mô tả cụ thể như sau: Đầu tiên, tiến hành cho bột bạc nano vào khuôn, tiếp đến đổ vào lò theo đúng vị trí theo hai chốt định vị đã thiết kế. Sau đó, tiếp tục thiết lập tất cả các thông số về nhiệt độ, thời gian gia nhiệt, hành trình ép và áp suất đầu vào của khí nén để bắt đầu quá trình thiêu kết. Sau khi quá trình thiêu kết đã kết thúc, sản phẩm được làm nguội trong lò. Sau khi đã nguội đến nhiệt độ phòng, tiến hành lấy mẫu ra khỏi khuôn. Sản phẩm được tiếp tục cắt theo kích thước yêu cầu bằng phương pháp cắt dây (EDM) và cuối cùng chi

tiết được sử dụng cho thí nghiệm kéo và nén. Quy trình được lặp lại với những thiết lập thông số khác để có được những sản phẩm có chiều dày khác nhau. Trong quá trình thiêu kết, thời gian nung và tốc độ nung là yếu tố quan trọng để tạo ra mẫu có đặc tính cơ học cao và hạn chế các khuyết tật có thể xảy ra. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã ứng dụng chu trình gia nhiệt đã được công bố trước đây [17], chu trình đó được thể hiện như Hình 7.

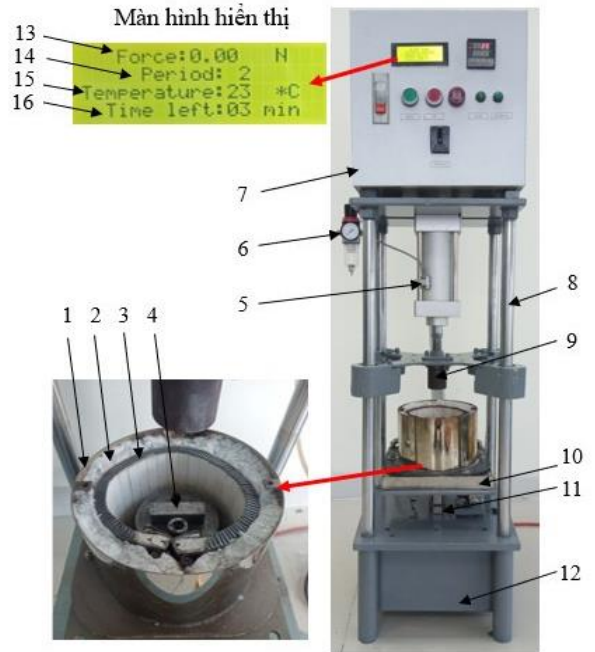


Hình 7. Chu trình gia nhiệt được sử dụng cho quá trình thiêu kết

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mô hình máy thực tế

Hình 8 thể hiện hệ thống thiêu kết kim loại bột bạc nano sau khi chế tạo hoàn thiện, gồm các chi tiết cấu tạo và thông số vận hành máy.



Hình 8. Máy thực tế sau khi chế tạo
(1: Vỏ inox, 2: Lớp cách nhiệt, 3: Vòng gia nhiệt, 4: Bộ khuôn, 5: Cảm biến hành trình, 6: Điều áp khí nén, 7: Tủ điện, 8: Thanh trượt, 9: Chày, 10: Hộp nước cách nhiệt, 11: Cảm biến lực, 12: Bể chứa nước, 13: Giá trị lực đo được, 14: Thử tự chu trình, 15: Nhiệt độ đo được, 16: Thời gian chờ)

3.2. Kiểm nghiệm lực ép của máy

Tiến hành thử với áp suất đầu vào p = 6 Kg/cm², lúc đó giá trị lực đo được trên loadcell hiển thị trên màn hình LCD là 2994 N. Theo thiết kế, giá trị lực được tính toán như sau:

$$F = Q + P_{chay} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p + P_{chay} \quad (2)$$

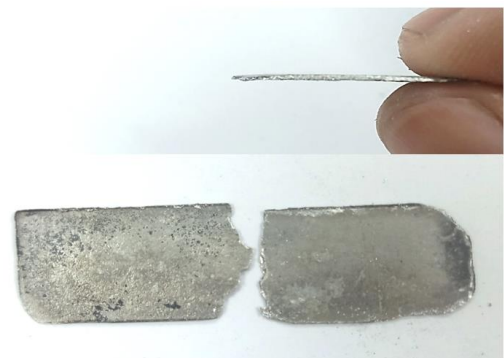
Với D là đường kính xi lanh, $D = 80\text{mm}$; p là áp suất đầu vào của xi lanh khí nén, $p = 0,6\text{ N/mm}^2$; P_{chay} là trọng lượng của chày, $P_{chay} = 113\text{ N}$. Thay tất cả giá trị vào phương trình trên, ta được $F = 3129\text{ N}$. Sự chênh lệch giữa giá trị lực thực tế và giá trị lực tính toán là $\Delta = \frac{3129 - 2994}{3129} \times 100\% = 4,31\%$. Giá trị chênh lệch nhỏ hơn giá trị cho phép trong thiết kế máy là 5%, vậy thiết kế đảm bảo độ tin cậy. Nguyên nhân sự chênh lệch này được cho là do ma sát giữa trục dẫn hướng và hiệu suất của các thiết bị truyền động khí nén.

3.3. Sản phẩm sau khi thiêu kết

Sau khi chế tạo và lắp ráp hoàn thiện máy, các thiết bị đo lường điện tử như cảm biến lực, cảm biến nhiệt độ được tiến hành căn chỉnh và thiết lập về giá trị chuẩn. Nhóm tác giả đã tiến hành cài đặt các thông số bao gồm nhiệt độ, áp suất và thời gian thiêu kết để tiến hành chạy vận hành máy, thiêu kết để tạo ra sản phẩm mẫu với chiều dày là 1 mm được thể hiện trên Hình 9. Ngoài ra, nhóm tác giả cũng thay đổi các thông số để tạo ra mẫu thử có chiều dày nhỏ hơn $0,5\text{ mm}$, thể hiện trên Hình 10. Qua quan sát cho thấy, đối với mẫu có chiều dày 1 mm , bề mặt mẫu có độ nhẵn bóng tương đối cao, không bị rỗ, cấu trúc nén chặt và các hạt kim loại có tính liên kết cao. Với mẫu có chiều dày $0,5\text{ mm}$, bề mặt mẫu có xuất hiện rỗ, chất lượng liên kết kim loại không cao, mẫu bị vỡ. Nguyên nhân có thể xuất phát từ lượng bột bạc ít, nên sự liên kết không đảm bảo dẫn đến mẫu bị vỡ. Quá trình này sẽ được nghiên cứu sâu hơn về đặc tính liên kết của mẫu thử bột bạc nano mà nhóm tác giả sẽ thực hiện trong tương lai.



Hình 9. Sản phẩm bột bạc nano sau khi thiêu kết dày 1 mm



Hình 10. Sản phẩm bột bạc nano sau khi thiêu kết dày $0,5\text{ mm}$

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã thiết kế và chế tạo thành công máy thiêu kết, tạo ra sản phẩm là mẫu thử bằng bột bạc nano. Kết quả cho thấy, bằng cách thiết lập các thông số thông qua các chương trình điều khiển máy bao gồm nhiệt độ, áp suất, thời gian thiêu kết đã chế tạo thành công các mẫu thử có chiều dày nhỏ là 1 mm và $0,5\text{ mm}$. Bên cạnh đó, thông số lực ép khi vận hành máy đã được đo và kiểm nghiệm so với tính toán lý thuyết, sự chênh lệch nhỏ dưới mức cho phép cho thấy máy có độ tin cậy cao. Ngoài ra, kết cấu buồng nung được thiết kế với cơ cấu định vị chuẩn, cho phép tháo lắp nhanh cơ cấu khuôn nhằm mục đích có thể sản xuất được nhiều chi tiết khác nhau bằng cách thay thế lòng khuôn. Thông số kỹ thuật của máy được thể hiện cụ thể theo Bảng 4.

Bảng 4. Thông số kỹ thuật của máy

| | |
|--|-----------------|
| Kích thước của máy | 300x300x1200 mm |
| Lực ép tối đa (với $p = 0,9\text{ N/mm}^2$) | 4524 N |
| Nhiệt độ thiêu kết | 20-350°C |
| Kích thước tối đa của khuôn | D100xH40 mm |
| Nguồn điện sử dụng cho máy | 220V AC |

Chế tạo thành công máy thiêu kết kim loại dạng bột và kiểm soát tốt các thông số công nghệ nhằm khẳng định sự am hiểu và làm chủ lĩnh vực công nghệ tiên tiến này của nhóm tác giả. Sản phẩm máy góp phần làm mô hình tham quan, học tập cho sinh viên trong các môn học về thiết kế máy, vật liệu học. Trong thời gian đến, nhóm tác giả sẽ mở rộng và ứng dụng các phần mềm điều khiển các thông số thí nghiệm qua chương trình ứng dụng và IoTs, thử nghiệm các đặc tính cơ học của mẫu để tối ưu hóa các thông số thiết lập trên máy.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài có mã số B2023.DNA.10.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. P. Mikell, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 5th Edition Wiley, 2012.
- [2] C. D. William, *Materials Science, and Engineering: an introduction*, 8th Edition, Wiley, 2010.
- [3] C. C. Barry C, *Ceramic Materials: Science and Engineering*, Springer, 2007.
- [4] A. J. Stuckner, Q. G. Lu, M. Mitsuhashi, T. W. Reynolds, and M. Murayama, "The Influence of Processing Conditions on the 3-D Interconnected Structure of Nanosilver Paste", *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 64, No. 2, p. 494-499, 2017.
- [5] S. Sakamoto, T. Sugahara, and K. Sugauma, "Microstructural stability of Ag sinter joining in thermal cycling", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 24, pp. 1332-1340, 2013.
- [6] S. K. Siow, "Mechanical properties of nano-silver joints as die attach materials", *Journal of alloys and compounds*, Vol. 514, pp. 6-19, 2012.
- [7] Z. Zhang and Q. G. Lu, "Pressure-assisted low-temperature sintering of silver paste as an alternative die-attach solution to solder reflow", *IEEE Transactions on electronics packaging manufacturing*, Vol. 25, No. 4, pp. 279-283, 2002.
- [8] G. J. Bai, Z. Z. Zhang, N. J. Calata, and Q. G. Lu, "Low-temperature sintered nanoscale silver as a novel semiconductor device-metallized substrate interconnect material", *IEEE Transactions on components and packaging technologies*, Vol. 29, No. 3, pp. 589-593, 2006.

- [9] W. Schmitt and H. W. Gmbh, "Novel silver contact paste lead free solution for die attach", In *2010 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems*, 2010, pp. 1-6.
- [10] H. Zheng, J. Calata, K. Ngo, S. Luo, and Q. G. Lu, "Low-pressure (< 5 MPa) low-temperature joining of large-area chips on copper using nanosilver paste", In *2012 7th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, 2012, pp. 1-6.
- [11] T. Wang, X. Chen, Q. G. Lu, and Y. G. Lei, "Low-temperature sintering with nano-silver paste in die-attached interconnection", *Journal of electronic materials*, Vol. 36, pp. 1333-1340, 2007.
- [12] H. C. Tsai, C. W. Huang, M. L. Chew, W. Schmitt, J. Li, H. Nishikawa, and R. C. Kao, "Low-pressure micro-silver sintering with the addition of indium for high-temperature power chips attachment", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 15, pp. 4541-4553, 2021.
- [13] C. C. Barry, *Ceramic Materials: Science and Engineering*, Springer, 2007.
- [14] N. K. Xuong, *Technical materials (manufacturing, structure, properties, drug selection and applications)*, Bach Khoa Publishing House, 2016.
- [15] E. Hering, *The theory of binocular vision*, New York: Plenum Press, 1977.
- [16] R. V. Manikam and Y. K. Cheong, "Die attach materials for high-temperature applications: A review", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 1, No. 4, pp. 457-478, 2011.
- [17] Y. S. Zhao, X. Li, H. Y. Mei, and Q. G. Lu, "Study on high-temperature bonding reliability of sintered nano-silver joint on bare copper plate", *Microelectronics Reliability*, Vol. 55, No. 12, pp. 2524-2531, 2015.
- [18] H. M. Hung, *Research and application of powder metallurgy technology to manufacture machine tool gears*. National Research Institute Of Mechanical Engineering, Hanoi, 2000.
- [19] C. T. Hang and V. H. Lan, *Research on the influence of welding mode on the formation of welds and the amount of molten flux when manufacturing sintered flux equivalent to type F7A(P)6 according to AWS A5.17-80*, Master's thesis, Hanoi University of Science and Technology, 2014.
- [20] P. T. Luan and V. H. Lan, *Research on optimization of sintering flux composition of Medium Base system*, Doctoral dissertation, Hanoi University of Science and Technology, 2019.
- [21] T. Q. Bang and N. L. Hung, "Designing and Manufacturing a Metal Powder Sintering Machine". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, Vol. 19, No. 9, pp. 49-52, 2021.
- [22] T. Q. Bang, L. Benabou, L. Vivet, L. K. Tan, J. M. Morelle, N. V. Le, and F. O. Ben, "A design of a new miniature device for solder joints' mechanical properties evaluation", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 231, No. 20, pp. 3818-3830, 2017.
- [23] Danang Technical Equipment Ltd., "STNC catalog", *SC square cylinder* 16/7/2018, [Online]. Available: <https://tudonghoadanang.com/products/xi-lanh-vuong-sc/> [Accessed: 25/7/2023]
- [24] Henry, "Load Cell Weight Transmitter Amplifier JY-S60 Series", *Sensors and Solutions*, 22/5/2018, [Online]. Available: [Load Cell Weight Transmitter Amplifier JY-S60 Series - CALT Sensor](#) [Accessed 25/7/2023]
- [25] T. Setyawan, "MAX6675 K-Type Thermocouple with Arduino", *Arduino Tutorials*, 27/11/2022, [Online]. Available: <https://microcontrollerslab.com/max6675-thermocouple-arduino-tutorial/> [Accessed 26/7/2023]
- [26] N. Feng, "Rex-C100 Temperature Controller", *uncategorized*, 13/9/2021, [Online], Available: <https://www.omch.co/rex-c100-temperature-controller/> [Accessed 26/7/2023]
- [27] Saigon People's Market, "Electrical measurement", *Digital 220V AC PID REX-C100 Temperature Controller Max.40A SSR K Thermocouple - intl*, 18/8/2020, [Online]. Available: <https://chodansinhsaigon.com/digital-220v-ac-pid-rex-c100-temperature-controller-max40a-ssr-k-thermocouple-intl.html> [Accessed: 01/8/2023]
- [28] Asian Thermal Power, "Resistor heating heating ring, ceramic heating ring, extruder ceramic heating ring", *Burning resistor*, 16/6/2019, [Online]. Available: <https://dientronhiet.com.vn/san-pham/vong-op-nhiet-gia-nhiet-dien-tro-vong-su-gia-nhiet-vong-gia-nhiet-su-may-dun-3/> [Accessed: 01/8/2023]