

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÁY THIÊU KẾT KIM LOẠI DẠNG BỘT

DESIGNING AND MANUFACTURING A METAL POWDER SINTERING MACHINE

Tào Quang Bằng^{1*}, Nguyễn Lê Hưng¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: tqbang@dut.udn.vn

(Nhận bài: 19/4/2021; Chấp nhận đăng: 23/6/2021)

Tóm tắt - Ngày nay, công nghệ luyện kim bột đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới để chế tạo các chi tiết máy có biên dạng phức tạp, độ cứng cao và chịu được nhiệt độ làm việc khắc nghiệt trong nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Bài báo này trình bày về quá trình nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy thiêu kết kim loại dạng bột nhằm ứng dụng chế tạo các chi tiết máy có kích thước vừa và nhỏ. Quá trình ép định hình là tạo ra biên dạng và kích thước của chi tiết theo yêu cầu thiết kế, đồng thời giúp cho chi tiết có độ bền cần thiết đảm bảo giữ nguyên được hình dạng trong quá trình thiêu kết. Máy chế tạo có thể ứng dụng trong việc chế tạo các chi tiết cơ khí từ kim loại bột như bánh răng, bạc lót... Việc chế tạo thành công máy này cũng như nắm rõ quy trình chế tạo chi tiết từ kim loại dạng bột giúp làm chủ được quá trình nghiên cứu, chế tạo chi tiết.

Từ khóa - Máy thiêu kết kim loại dạng bột; Luyện kim bột; Bột kim loại; Thiêu kết; Chế tạo.

1. Đặt vấn đề

Lĩnh vực luyện kim bột hiện đại có niên đại đầu thế kỷ XIX, khi có một quan tâm đến kim loại bạch kim. Năm 1815, William Wollaston đã phát triển một kỹ thuật để chuẩn bị bột bạch kim, nén chúng dưới áp suất cao, và thiêu kết chúng ở nhiệt độ dưới nóng chảy [1, 2]. Hiện nay, với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật và cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 yêu cầu các chi tiết, thiết bị máy móc ngày càng chính xác, tinh xảo đồng thời đòi hỏi những phương pháp chế tạo mới bắt kịp xu hướng mà các phương pháp chế tạo vật liệu truyền thống chưa đáp ứng được hoặc gặp rất nhiều khó khăn để chế tạo. Sự phát triển công nghệ luyện kim sử dụng vật liệu bột là một trong những công nghệ mới góp phần đáp ứng được các yêu cầu đặt ra. Khác với phương pháp truyền thống là nấu chảy hỗn hợp kim loại và đổ vào khuôn đúc từ các vật liệu dạng thanh, thỏi là kim loại hoặc hợp kim kết hợp với các chất phụ gia khác, vật liệu kim loại bột được chế tạo trên cơ sở của phương pháp luyện kim bột, điểm khác biệt của phương pháp này so với phương pháp nấu đúc truyền thống là không có quá trình nấu chảy kim loại hoặc hợp kim, mà hỗn hợp bột kim loại sau đó được ép tạo hình thành các chi tiết có hình dạng, kích thước và khối lượng nhất định. Các chi tiết tạo hình sau đó được nung tới nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ nóng chảy của cấu tử chính để tăng độ bền và sự liên kết của các phần tử bột. Quá trình nung này được gọi là sự thiêu kết [3, 4]. Sau quá trình thiêu kết, các chi tiết được gia công cơ khí làm nguội để đạt được kích thước và yêu cầu kỹ thuật đề ra. Luyện kim bột đã và đang được áp dụng ngày càng rộng rãi trong ngành kỹ thuật chế tạo. Công

Abstract - Nowadays, Powder metallurgy technology has been widely applied in the world to manufacture machine parts which have complex profiles, high hardness, and withstand harsh working temperatures in many different industries. This paper presents the process of researching, designing, and manufacturing a powder metal sintering machine for application in manufacturing small and medium sized machine parts. The molding process is to create the profile and size of the part according to the design requirements, and at the same time help the part have the necessary strength to keep the shape during the sintering process. The fabrication machine can be applied in manufacturing mechanical parts from powdered metal such as gears, bearings, etc. The successful manufacture of this machine as well as understanding the detailed manufacturing process from powdered metal helps master the research and manufacturing process in detail.

Key words - Metal powder sintering machine; Powder Metallurgy; Metal powder; Sintering; Processing

nghệ luyện kim bột được ứng dụng ngày càng rộng rãi trên thế giới để chế tạo các chi tiết máy có yêu cầu kỹ thuật phức tạp, có độ cứng cao và chịu được điều kiện làm việc khắc nghiệt thí dụ như trong ngành công nghiệp hạt nhân, vũ trụ. Tuy nhiên, ở nước ta ngành công nghiệp luyện kim loại bột đang mới hình thành và phát triển ở mức thấp. Rất nhiều chi tiết, vật liệu chế tạo theo phương pháp kim loại bột phải được đặt mua từ nước ngoài với giá thành đắt và không chủ động thời gian giao nhận. Đây là lĩnh vực cần chú trọng đầu tư và phát triển bởi nó có nhiều tiềm năng và triển vọng trong tương lai.

Để chế tạo được các sản phẩm từ phương pháp thiêu kết, việc chế tạo máy thiêu kết đóng vai trò quan trọng. Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam, các máy thiêu kết kim loại bột đa số được nhập khẩu từ nước ngoài với giá thành rất đắt và không chủ động trong việc làm chủ công nghệ. Nhận thấy được điều đó, tác giả đã tiến hành nghiên cứu để thiết kế và chế tạo thành công máy thiêu kết kim loại dạng bột, đưa vào chạy thử nghiệm từ đó chế tạo được sản phẩm như mong muốn. Trong tương lai phát triển và tối ưu hóa các thiết kế để đưa vào sản xuất thực tế, sử dụng trong các nhà máy với quy mô lớn hơn. Đồng thời tìm hiểu và kết hợp với các loại máy khác để tạo ra được các sản phẩm đa dạng và thực tế hơn nữa.

2. Nội dung

2.1. Thiêu kết kim loại bột

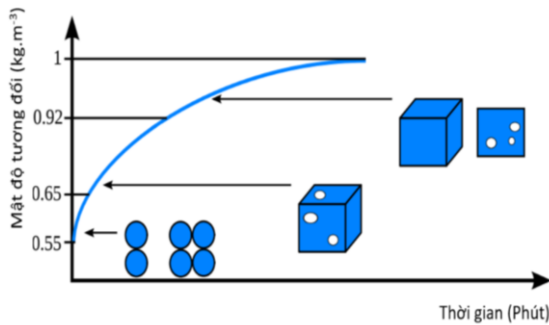
2.1.1. Các quá trình xảy ra khi thiêu kết

Thiêu kết bao gồm hai quá trình chính: Kết tinh lại và khuếch tán các nguyên tử.

¹ The University of Danang – University of Science and Technology (Tào Quang Bằng, Nguyễn Lê Hưng)

Quá trình kết tinh lại xảy ra tương tự như khi kim loại bị biến dạng dẻo tạo ra các hạt tinh thể mới. Lưu ý các yếu tố có thể ảnh hưởng tới cơ tính của chi tiết đó là thời gian và nhiệt độ thiêu kết. Thiêu kết trong khoảng thời gian dài hoặc nhiệt độ cao vượt ngưỡng thiêu kết sẽ xảy ra hiện tượng các hạt tinh thể phát triển kích thước làm phá vỡ cấu trúc liên kết dẫn đến giảm cơ tính vật liệu [5, 6].

Sự kết tinh lại cùng với sự sinh trưởng và phát triển các hạt tinh thể mới được xem như một phần quá trình khuếch tán. Ở đây nói thêm tới sự kết hợp của các nguyên tử khác nhau để tạo thành dung dịch rắn hoặc các pha liên kim loại. Trong các hỗn hợp bột kim loại có nhiều cấu trúc phân tử, thông qua quá trình khuếch tán các hạt kim loại di chuyển hỗn độn xen kẽ, không hoà tan vào nhau. Tuy nhiên, chúng cũng có thể hoà tan vào nhau tạo thành các dung dịch rắn chắc hoặc các hạt kim loại khó nóng chảy nằm phân tán trên một mạng gồm tổ hợp các hạt có tính chất tương tự nhau.



Hình 1. Sự tiến hóa của mật độ tương đối trong quá trình thiêu kết [2]

2.1.2. Vật liệu dùng để thiêu kết

Kim loại bột được chọn thử nghiệm cho phương pháp thiêu kết ở nghiên cứu này là hạt Bạc nano sản xuất từ công nghệ NBE Tech [1], với các thông số như sau:

- Bạc hạt nano đúng mật độ: 10,5 g/cm³;
- Bạc hạt nano độ tinh khiết: 99,99%;
- Bạc hạt nano APS: 30-50 nm;
- Bạc hạt nano SSA: ~ 16-20 m²/G;
- Bạc hạt nano màu sắc: Đen;
- Bạc hạt nano hình thái học: Hình cầu;
- Phụ gia: Chất kết dính, chất phân tán, chất pha loãng.



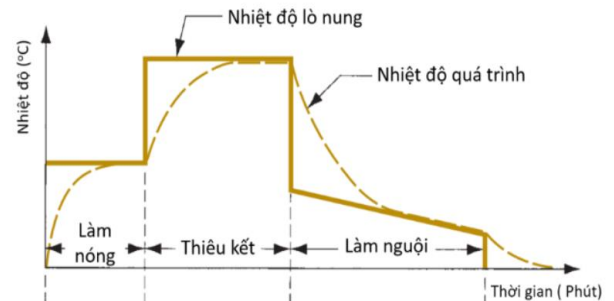
Hình 2. Bạc hạt nano

2.1.3. Nhiệt độ thiêu kết

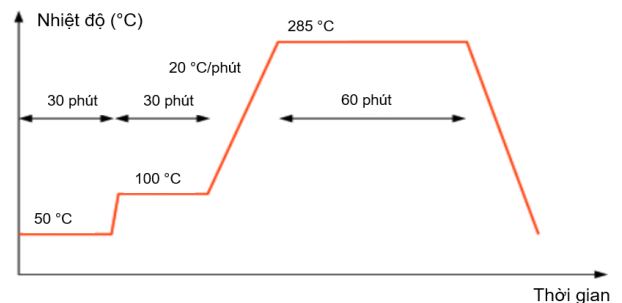
Trong công nghệ chế tạo chi tiết bằng vật liệu kim loại bột thì nhiệt độ thiêu kết đóng vai trò thiếu yếu. Tính toán và lựa chọn nhiệt độ thiêu kết phải bảo đảm yêu cầu đồng thời hai quá trình kết tinh lại và khuếch tán xảy ra trong điều kiện thuận lợi để vật liệu có cơ, lý, hoá tính cần thiết. Nhiệt độ thiêu kết cao hơn ngưỡng thiêu kết sẽ làm các hạt tinh thể phát triển lớn về mặt cấu trúc dẫn đến cơ tính vật liệu sẽ thấp hơn. Bên cạnh đó, nếu nhiệt độ thiêu kết thấp làm quá trình kết tinh xảy ra chậm và thời gian thiêu kết phải dài. Thông qua các thí nghiệm thực tiễn, thông thường lựa chọn nhiệt độ thiêu kết bằng (2/3÷3/4) nhiệt độ nóng chảy của bột kim loại [4-6].

2.1.4. Thời gian thiêu kết

Thời gian thiêu kết cũng là một thông số quan trọng ảnh hưởng tới mật độ hạt tinh thể vật liệu kim loại bột. Thời gian thiêu kết quá ngắn, quá trình kết tinh và khuếch tán các hạt tinh thể xảy ra chưa đạt hiệu suất cao nhất, làm cho vật liệu không đồng nhất về cấu trúc dẫn đến chi tiết chưa đủ bền. Thời gian thiêu kết quá dài ảnh hưởng đến kích thước các hạt tinh thể, kích thước hạt lớn, phá vỡ cấu trúc cũng giảm độ bền. Thời gian nung nóng khi thiêu kết phụ thuộc vào khối lượng, chế độ truyền nhiệt và cách sắp xếp vật liệu trong một mẻ nung. Thời gian giữ nhiệt khi thiêu kết phụ thuộc vào kích thước hạt kim loại bột sử dụng thiêu kết chi tiết, thông thường chọn từ 1-3 giờ (Hình 3 và Hình 4).



Hình 3. Chu kỳ xử lý nhiệt trong quá trình thiêu kết



Hình 4. Tỷ lệ thời gian, nhiệt độ được sử dụng cho quá trình thiêu kết một lần

2.1.5. Áp suất thiêu kết

Động học thiêu kết điều chỉnh bởi định luật Herring [7]: Hai bột kim loại có kích thước hạt tương ứng là r_1 và r_2 sẽ đạt cùng một trạng thái thiêu kết trong thời gian tương ứng là t_1 và t_2 có mối quan hệ theo công thức sau:

$$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^m = \frac{t_2}{t_1} \quad (1)$$

Trong đó, m là hằng số có giá trị (2-4), được định nghĩa

bởi cơ chế dịch chuyển xảy ra trong quá trình thiêu kết (khuếch tán thể tích, khuếch tán bề mặt...). Rõ ràng từ công thức (1) các hạt có kích thước nhỏ sẽ thiêu kết nhanh hơn nhiều so với các hạt có kích thước lớn hơn. Điều này cho phép giảm nhiệt độ thiêu kết hoặc áp suất cần thiết. Trong trường hợp đặc biệt các hạt có đường kính vài nanometers sẽ phản ứng mạnh đến mức chúng có thể thiêu kết ở nhiệt độ phòng mà không cần áp dụng bất kì áp suất nào.

Các loại bột mịn dựa trên hạt nano như vậy có sẵn từ một số nhà sản xuất: NBETech, Cookson (Argomax) hoặc Henkel (SSP2000). Tất cả các loại bột mịn này được thiết kế để thiêu kết ở nhiệt độ 250-300°C với áp suất thấp (<5 MPa) đến áp suất bằng 0 ở trong môi trường bình thường.

2.2. Phương án thiết kế

Mục tiêu của nghiên cứu này là thiết kế, chế tạo được máy thiêu kết kim loại dạng bột nhỏ gọn, phù hợp sử dụng cho phòng thí nghiệm. Các yêu cầu kỹ thuật của máy như sau:

- Kích thước: 1000 x 1000 x 1500 mm (dài x rộng x cao);
- Lực ép: 0 – 700 N;
- Nhiệt độ: max. 350°C.

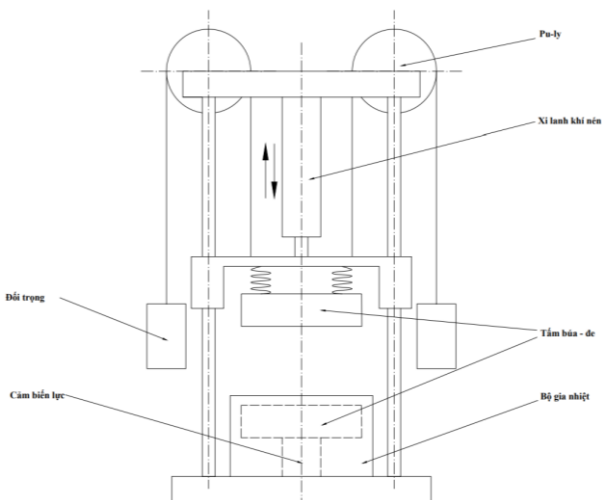
Với các yêu cầu kỹ thuật như trên và sau khi nghiên cứu về quá trình thiêu kết kim loại dạng bột, nhóm tác giả đã tiến hành đưa ra các phương án để thiết kế. Ba phương án thiết kế đưa ra trong Bảng 1 thể hiện rõ ưu và nhược điểm để từ đó nhóm nghiên cứu chọn ra phương án tối ưu nhất.

Bảng 1. Các phương án thiết kế

STT	Nội dung	Ưu, nhược điểm
1	Sử dụng kích thủy lực để tạo lực ép định hình bột kim loại trong khuôn	Kết cấu thô sơ khó điều khiển tự động
2	Sử dụng bộ truyền trục vít đai ốc để tạo lực ép định hình bột kim loại trong khuôn	Giá trị lực ép nhỏ, khó điều chỉnh theo yêu cầu
3	Sử dụng xilanh khí nén để tạo lực ép định hình bột kim loại trong khuôn	Chọn làm phương án thực hiện

2.3. Kết quả

2.3.1. Sơ đồ động học toàn máy và nguyên lý hoạt động



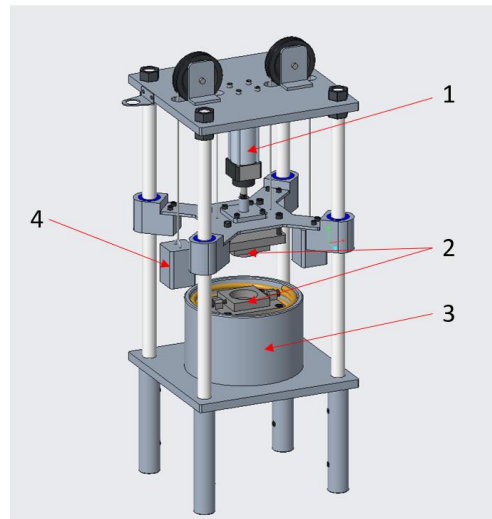
Hình 5. Sơ đồ động học toàn máy

Sơ đồ động học toàn máy được thể hiện như Hình 5. Sau khi kim loại dạng bột được đưa vào lòng khuôn dưới,

ta nhấn nút START để bắt đầu quá trình thiêu kết. Xilanh được cấp khí, bắt đầu hành trình xuôi thẳng mang theo khuôn trên đi xuống vị trí hợp với khuôn dưới đã được thiết lập trước và ép định hình kim loại dạng bột trong khuôn, đồng thời bộ gia nhiệt được khởi động bắt đầu gia nhiệt từ nhiệt độ trong phòng tới 285°C và giữ nguyên nhiệt độ này trong 60 phút. Quá trình thiêu kết bột kim loại đã được định hình trong khuôn diễn ra làm thay đổi cấu trúc hạt bột kim loại giúp chúng đồng nhất với nhau tạo thành khối. Sau khi rơ le thời gian đếm hết 60 phút, xi lanh tự động lùi hành trình về vị trí ban đầu kết thúc quá trình ép định hình, đồng thời bộ gia nhiệt bắt đầu ngừng gia nhiệt và tự làm nguội ngoài không khí tới nhiệt độ trong phòng. Kết thúc quá trình ép định hình và thiêu kết bột kim loại, ta mở bộ khuôn dưới và lấy ra thành sản phẩm.

2.3.2. Thiết kế và mô phỏng máy trên phần mềm 3D

Sau khi lựa chọn phương án thiết kế nhóm đã thực hiện việc phác họa 3D toàn máy bằng việc sử dụng phần mềm mô phỏng Creo Parametric 5.0. Hình 6 thể hiện đầy đủ kết cấu, phương án bố trí toàn máy trên phần mềm mô phỏng, với các bộ phận chính



Hình 6. Mô hình 3D toàn máy

- 1- Xilanh khí nén
- 2- Bộ khuôn ép
- 3- Bộ gia nhiệt
- 4- Đồi trọng

2.3.3. Tính toán lực ép piston-xylanh

Lực ép piston-xylanh được thiết kế để đạt được lực ép như yêu cầu ≤ 700 N.

Lực ép của piston-xylanh được tính toán để có thể gia công nhiều loại bột kim loại khác nhau với lực ép tối đa 700N, cụ thể:

- Lực ép yêu cầu 0÷700 N;
- Áp suất khí nén lựa chọn: P = 6 bar = 6,1183 Kg/cm²;
- Hành trình của xylanh: L_{xl} = 100 mm;
- Tải trọng cần đáp ứng: F = 700 N = 70 Kg;
- Thời gian dẫn động: T = 0,5 s;
- Đường kính xi lanh tối thiểu:

$$D = \sqrt{\frac{F \times 4}{P \times \pi}} = \sqrt{\frac{70 \times 4}{6,1183 \times \pi}} = 3,818 \text{ cm}$$

Vì vậy, lựa chọn đường kính xilanh D_{xl} = 4 cm = 40 mm.

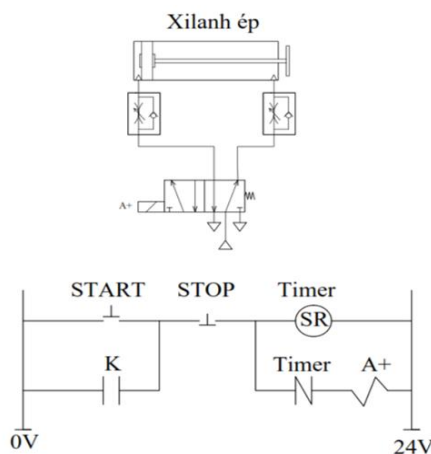
Tra bảng tính lực đẩy của xylanh khí nén, loại xylanh Airtac SC 40x100 được chọn [8]. Thông số của xylanh như sau:

- Đường kính xylanh $\varnothing 40$ mm.
- Hành trình của xylanh 100 mm.
- Lực đẩy max (ép xuống) của xylanh: 1256 (N).
- Lực kéo về max: 1055 (N).

Lực ép phụ thuộc vào áp suất khí nén đưa vào, từ đó ta có thể điều chỉnh lực ép thông qua việc điều chỉnh áp suất khí nén đầu vào.

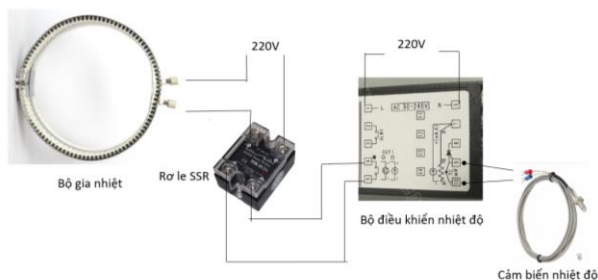
2.3.4. Thiết kế hệ thống điều khiển

a. Điều khiển xi lanh khí nén



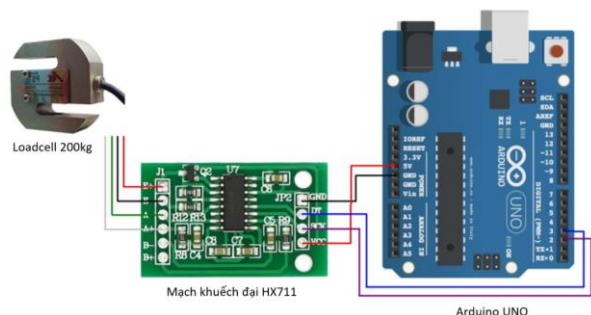
Hình 7. Sơ đồ kết nối mạch điện điều khiển xi lanh

b. Điều khiển bộ gia nhiệt



Hình 8. Sơ đồ kết nối mạch điện bộ gia nhiệt

c. Điều khiển Loadcell



Hình 9. Sơ đồ kết nối mạch điện điều khiển loadcell

2.4. Máy thiêu kết kim loại dạng bột

Kết quả sau quá trình thiết kế, chế tạo máy thiêu kết kim loại dạng bột và sản phẩm thu được sau quá trình thiêu kết thể hiện lần lượt ở Hình 10 và Hình 11.



Hình 10. Máy thiêu kết kim loại dạng bột



Hình 11. Chi tiết bánh răng sau quá trình thiêu kết

3. Kết luận

Nghiên cứu này thực hiện thành công nhờ việc nghiên cứu cấu trúc của từng phần tử kim loại, nghiên cứu về kim loại bột và phương pháp thiêu kết. Đồng thời vận dụng kiến thức về các cơ cấu cơ khí, phân tích, tính toán lực ép của xylanh để định hình bột kim loại trong khuôn và thời gian cùng với nhiệt độ trong quá trình thiêu kết. Máy chế tạo thành công được ứng dụng trong quy mô sản xuất nhỏ, đơn chiếc hoặc phục vụ cho quá trình học tập và nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, hoàn toàn có thể đáp ứng cho việc sản xuất các sản phẩm có kích thước tương tự, khi chỉ cần thay đổi bộ khuôn ép định hình để có những sản phẩm theo nhu cầu sử dụng. Trong thời gian tiếp theo nhóm sẽ tiếp tục việc nghiên cứu tự động hóa toàn bộ quá trình sản xuất từ giai đoạn cấp phối ban đầu và giai đoạn lấy ra thành phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://www.nbetech.com/products>
- [2] Mikell P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 5th Edition Wiley, 2012.
- [3] William D. Callister, *Materials Science and Engineering: an introduction*, 8th Edition, Wiley, 2010.
- [4] Barry C. Carter, *Ceramic Materials: Science and Engineering*, Springer, 2007.
- [5] V. Manikam and K. Y. Cheong, "Die Attach Materials for High Temperature Applications: A Review, Components, Packaging and Manufacturing Technology", *IEEE Transactions on Component Packaging and Manufacturing Technology*, 2011, Vol. 1, No. 4, pp. 457 - 478.
- [6] Nguyễn Khắc Xương, *Vật liệu kỹ thuật (chế tạo, cấu trúc, tính chất, lựa chọn và ứng dụng)*, NXB Bách khoa Hà Nội, 2016.
- [7] Hering Ewald, *The theory of binocular vision*, New York: Plenum Press, 1977.
- [8] <https://global.airtac.co>