

# THỰC NGHIỆM NHIỆT ĐỘ CỦA LÒNG KHUÔN ÂM VỚI CÁC THÔNG SỐ GIA NHIỆT KHÁC NHAU

## EXPERIMENT ON THE TEMPERATURE OF THE NEGATIVE MOLD CORE WITH DIFFERENT HEATING PARAMETERS

**Hồ Minh Trí, Dương Văn Linh, Nguyễn Văn Tú, Trần Thanh Lam\***

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: 22144215@student.hcmute.edu.vn;

linhdv@hcmute.edu.vn;

tunv@hcmute.edu.vn;

\*lamtt@hcmute.edu.vn

### TÓM TẮT

*Trong xã hội hiện đại, sự tiến bộ công nghệ thúc đẩy phát triển vượt bậc trong khoa học và sáng tạo. Nhờ đó, các sản phẩm và thiết bị ngày càng nhỏ gọn, nhẹ, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cao, thẩm mỹ và giá trị kinh tế. Điều này đặt ra thách thức lớn cho ngành nhựa. Khi xử lý khuôn truyền nhiệt, nếu nhiệt độ tạo hình được duy trì gần với nhiệt độ chuyển pha của nhựa, khả năng điền đầy các chi tiết phức tạp ở quy mô nhỏ sẽ tăng. Nhiệt độ bề mặt khuôn cao giúp quá trình đổ nhựa đơn giản hơn, cải thiện chất lượng bề mặt sản phẩm. Tuy nhiên, nhiệt độ khuôn cao làm chậm quá trình làm nguội, kéo dài chu kỳ ép phun và tăng chi phí. Do đó, việc thiết kế hệ thống làm mát hiệu quả là cần thiết để đáp ứng yêu cầu sản phẩm. Hiện nay, nhiều khuôn ép nhựa sử dụng kênh làm mát thẳng, gây làm mát không đều, dẫn đến sai lệch không mong muốn. Các phương pháp mới, như làm mát qua lớp làm mát, đang được nghiên cứu để đảm bảo làm mát đồng đều, giảm thời gian và lỗi trong ép phun.*

**Từ khóa:** Nhiệt độ lòng khuôn; Thông số gia nhiệt; Ép phun nhựa; Làm mát khuôn; Chất lượng bề mặt.

### ABSTRACT

*In today's society, technological advancements drive significant progress in science and innovation. This leads to the development of compact, lightweight products and devices that meet stringent technical requirements, offer high aesthetics, and maintain economic value. Such demands pose modern challenges in the plastics industry. During heat transfer molding, maintaining the molding temperature close to the phase transition temperature of the plastic resin enhances the ability to fill intricate shapes with small-scale precision. Generally, higher surface temperatures simplify the resin injection process, improving product surface quality in most cases. However, elevated mold temperatures delay the cooling process, extending injection molding cycles and increasing production costs. Therefore, designing an efficient cooling system is crucial to meet specific product and shape requirements. Currently, most injection molds with straight cooling*

*channels result in uneven cooling, causing temperature variations across mold surfaces and undesirable defects. Emerging methods, such as conformal cooling, aim to achieve uniform cooling, reducing time and errors in injection molding. Motivated by these challenges, our team decided to research and develop the topic: “Design and Fabrication of Conformal Cooling Layers and Thin-Walled Molds”. By overcoming experimental parameters, we aim to apply our findings to practical industrial production.*

**Keywords:** *Mold core temperature; Heating parameters; Plastic injection molding; Mold cooling; Surface quality.*

## 1. TỔNG QUAN

Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp sản xuất nhựa, việc kiểm soát và điều chỉnh nhiệt độ trong khuôn ép đóng vai trò then chốt đối với chất lượng sản phẩm và hiệu suất sản xuất. Quá trình ép nhựa chịu ảnh hưởng mạnh từ sự chênh lệch nhiệt độ giữa các bề mặt khuôn và vật liệu nhựa nóng chảy, làm phát sinh các hiện tượng như co rút, cong vênh, rỗ khí hoặc tạo bavia nếu không được kiểm soát tốt [1]. Do đó, hệ thống giải nhiệt hiệu quả không chỉ giúp duy trì nhiệt độ khuôn ở mức ổn định mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác, độ bóng bề mặt, và thời gian chu kỳ của sản phẩm [2].

Các phương pháp truyền thống như kênh làm mát tròn được gia công bằng khoan thẳng tuy phổ biến nhưng lại tồn tại nhiều hạn chế, đặc biệt là ở các khuôn có hình dạng phức tạp. Kết cấu này thường dẫn đến sự phân bố nhiệt không đồng đều, từ đó gây biến dạng sản phẩm và giảm tuổi thọ khuôn [3]. Nhằm khắc phục những nhược điểm trên, nhiều nghiên cứu gần đây đã tập trung vào phát triển các hệ thống làm mát tối ưu, trong đó nổi bật là giải pháp hệ thống giải nhiệt dạng lớp (layer cooling system) – một hướng tiếp cận mang tính đột phá, đặc biệt phù hợp với khuôn có hình dạng phức tạp hoặc yêu cầu nhiệt độ chính xác cao [4].

Hệ thống giải nhiệt dạng lớp là một cải tiến dựa trên nguyên lý tăng diện tích truyền nhiệt thông qua việc sử dụng các kênh dạng phẳng hoặc các hốc tản nhiệt, kết hợp với các bi thép hoặc bi sắt đóng vai trò như vật trung gian truyền nhiệt. Cấu trúc này không những mở rộng diện tích tiếp xúc giữa chất lỏng làm mát và khuôn mà còn làm tăng khả năng phân bố đồng đều nhiệt độ trong lòng khuôn, từ đó đảm bảo chất lượng sản phẩm ổn định hơn [5]. Thực nghiệm cho thấy rằng, với cùng điều kiện vận hành, khuôn sử dụng hệ thống giải nhiệt layer có thể giảm thời gian làm mát lên đến 20-30% so với hệ thống làm mát truyền thống [6].

Một số nghiên cứu sử dụng công nghệ in 3D kim loại hoặc gia công CNC chính xác để tạo các lớp kênh tản nhiệt phức tạp, từ đó tạo điều kiện cho thiết kế giải nhiệt linh hoạt, phù hợp với từng vùng yêu cầu nhiệt độ riêng biệt trong khuôn [7]. Thêm vào đó, một số nhóm nghiên cứu còn đề xuất phương án sử dụng bi thép có kích thước tương đương độ sâu hốc để hỗ trợ việc truyền nhiệt hiệu quả hơn, đồng thời ngăn ngừa hiện tượng vỡ hoặc bung vỡ của các lớp kênh khi chịu áp lực cao trong quá trình ép nhựa [8].

Việc cải thiện khả năng kiểm soát nhiệt độ trong khuôn ép nhựa thông qua hệ thống giải nhiệt layer mang lại lợi ích rõ rệt trong

việc nâng cao chất lượng sản phẩm, đồng thời tăng tuổi thọ khuôn và giảm chi phí bảo trì. Tuy nhiên, không thể phủ nhận rằng việc áp dụng hệ thống này còn đối mặt với một số thách thức như chi phí chế tạo cao, yêu cầu độ chính xác gia công cao và khó khăn trong bảo trì hệ thống kênh nhiều lớp [9]. Đặc biệt, khi các bi thép bị ăn mòn hoặc kẹt do cặn bẩn trong chất lỏng làm mát, việc tháo lắp bảo trì gặp nhiều trở ngại và có thể ảnh hưởng tới toàn bộ chu trình sản xuất [8].

Trong các thí nghiệm thực tế, nhóm nghiên cứu đã tiến hành so sánh nhiệt độ phân bố trong khuôn giữa hệ thống giải nhiệt layer và hệ thống kênh tròn truyền thống. Kết quả cho thấy rằng, với cùng một thông số nhiệt đầu vào, hệ thống layer cho ra kết quả nhiệt độ bề mặt khuôn đồng đều hơn, với sai số nhiệt độ giữa các điểm đo giảm đáng kể, chỉ dao động dưới 2°C so với trên 5°C trong hệ thống truyền thống [1], [6]. Điều này chứng minh tính ưu việt của hệ thống layer trong việc kiểm soát chất lượng nhiệt, đặc biệt phù hợp với các sản phẩm đòi hỏi dung sai kích thước chặt chẽ hoặc có hình dạng mỏng, phức tạp [3], [7].

Ngoài ra, một số giải pháp hỗ trợ như việc tối ưu hóa hình học của kênh làm mát, áp dụng mô phỏng nhiệt độ qua phần mềm CFD (Computational Fluid Dynamics), hay tích hợp cảm biến nhiệt độ trong khuôn đang được tích cực nghiên cứu nhằm nâng cao hơn nữa hiệu quả của hệ thống giải nhiệt dạng lớp [5], [9]. Những tiến bộ này hướng tới mục tiêu xây dựng một hệ thống khuôn thông minh, có khả năng tự điều chỉnh dòng chảy hoặc nhiệt độ làm mát theo điều kiện thực tế để duy trì trạng thái vận hành tối ưu [8].

Từ những nền tảng lý thuyết và thực nghiệm trên, bài báo này tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng của các thông số gia nhiệt

đến nhiệt độ thực tế bên trong lòng khuôn. Việc hiểu rõ mối tương quan giữa thông số gia nhiệt và sự phân bố nhiệt trong lòng khuôn không chỉ giúp tối ưu hóa thiết kế hệ thống giải nhiệt mà còn là cơ sở để triển khai các chiến lược kiểm soát nhiệt độ tiên tiến trong sản xuất công nghiệp.

## 2. QUY TRÌNH GIA CÔNG KHUÔN

Tấm kẹp trước, hay còn gọi là tấm kẹp di động, là một bộ phận quan trọng của khuôn ép nhựa. Được gắn trên máy ép nhựa, tấm này có nhiệm vụ giữ chặt nửa khuôn di động trong suốt quá trình ép. Tấm kẹp trước di chuyển cùng máy ép, tạo ra lực kẹp cần thiết để giữ hai nửa khuôn (di động và cố định) chặt chẽ với nhau khi nhựa nóng chảy được tiêm vào khuôn. Ngoài ra, nó còn là điểm gắn vòng định vị và bạc cuống phun.

- Chức năng chính: Giữ chặt khuôn. Tấm kẹp trước đảm bảo nửa khuôn di động và cố định được giữ chặt trong suốt quá trình ép, ngăn khuôn xô dịch hoặc mở ra khi nhựa nóng chảy được tiêm, từ đó tránh các lỗi trên sản phẩm.

- Phân bố áp lực: Giúp phân phối đều áp lực kẹp lên toàn bộ bề mặt khuôn, đảm bảo sản phẩm nhựa được tạo hình chính xác, đồng đều, tránh hiện tượng sai lệch hoặc biến dạng.

- Dẫn hướng di chuyển: Thường được gắn trên các thanh dẫn hướng, tấm kẹp trước đảm bảo sự di chuyển mượt mà và chính xác của nửa khuôn di động khi máy ép đóng và mở, góp phần duy trì độ ổn định trong sản xuất.

- Vật liệu và thiết kế: Tấm kẹp trước được thiết kế chú trọng đến độ bền và độ chính xác, sử dụng vật liệu có độ bền cao, chịu

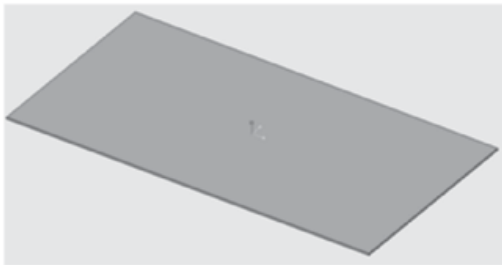
được lực lớn và ứng suất nhiệt trong quá trình ép nhựa. Kích thước của tấm được tính toán cẩn thận để phù hợp với cấu trúc tổng thể của khuôn và thông số kỹ thuật của máy ép. Độ dày và diện tích bề mặt của tấm được tối ưu để chịu được lực kẹp cần thiết đồng thời đảm bảo độ bền cấu trúc.

• Vai trò trong quá trình ép nhựa: Tấm kẹp trước đóng vai trò then chốt trong việc tạo ra sản phẩm nhựa chất lượng cao. Khả năng giữ

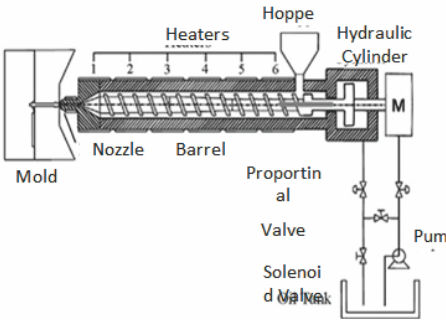
chặt khuôn, phân bố áp lực đồng đều và hỗ trợ di chuyển chính xác ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác và tính đồng nhất của sản phẩm. Một tấm kẹp trước được thiết kế tốt giúp giảm thiểu lỗi sản xuất như hiện tượng nhựa tràn hoặc điền đầy không hoàn chỉnh, đồng thời nâng cao hiệu suất của quá trình ép. Việc tích hợp với các bộ phận như vòng định vị và bạc cố định phun đảm bảo căn chỉnh chính xác và dòng chảy vật liệu mượt mà, góp phần tạo ra sản phẩm không lỗi.

Bảng 1. Danh mục phôi

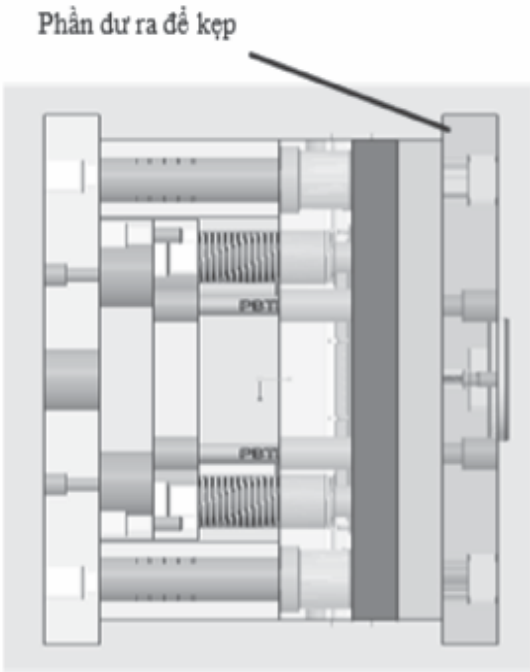
| STT | Chi tiết        | Kích thước phôi (mm) | Vật liệu | Số lượng | Máy gia công |
|-----|-----------------|----------------------|----------|----------|--------------|
| 1   | Tấm kẹp trên    | 430×400×30           | Thép C45 | 1        | Máy phay CNC |
| 2   | Tấm kẹp dưới    | 430×400×30           | Thép C45 | 1        |              |
| 3   | Tấm runner      | 430×390×25           | Thép CT3 | 1        |              |
| 4   | Tấm khuôn âm    | 430×390×25           | Thép CT3 | 1        |              |
| 5   | Tấm khuôn dương | 430×390×40           | Thép CT3 | 1        |              |
| 6   | Gối đỡ          | 400×63×100           | Thép CT3 | 2        |              |



Hình 1. Sản phẩm thiết kế



Hình 2. Gia nhiệt khuôn bằng dầu nhiệt



Hình 3. Vị trí tấm kẹp trên trên bộ khuôn

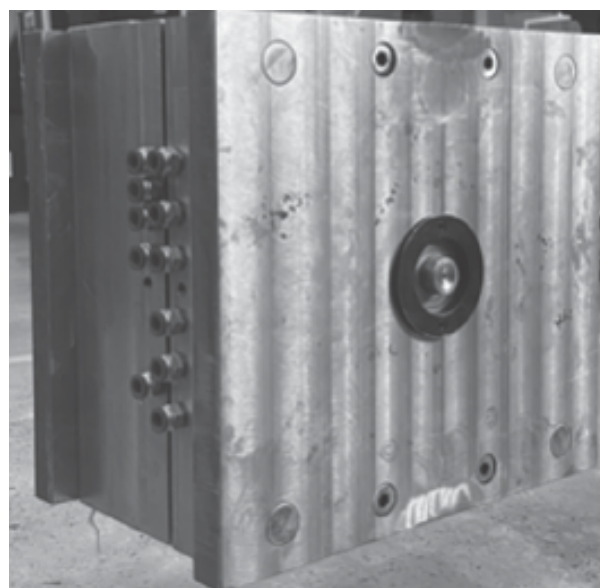
### 3. LẮP GHÉP KHUÔN VÀ THỬ NGHIỆM

Quá trình gia công và lắp ráp bộ khuôn ép nhựa được nhóm nghiên cứu thực hiện cẩn thận nhằm đảm bảo độ chính xác và hiệu suất vận hành của hệ thống. Mỗi tấm khuôn được gia công riêng lẻ bằng máy CNC với độ chính xác cao, sử dụng kỹ thuật phay hóc để tạo các kênh làm mát dạng lớp layer theo thiết kế đã được tối ưu hóa từ các nghiên cứu trước [1]. Sau khi hoàn tất gia công, các tấm khuôn được kiểm tra kỹ lưỡng để đảm bảo không có sai sót về kích thước hoặc khuyết tật bề mặt, điều này đặc biệt quan trọng để tránh các vấn đề như rò rỉ chất làm mát hoặc biến dạng sản phẩm trong quá trình ép phun [2]. Việc lắp ráp các tấm khuôn thành một bộ khuôn hoàn chỉnh được thực hiện với sự hỗ trợ của các dụng cụ căn chỉnh chính xác, đảm bảo các kênh làm mát được kết nối liền mạch và không xảy ra hiện tượng sai lệch vị trí [3].

Sau khi hoàn tất lắp ráp, nhóm tiến hành ép thử sản phẩm để đánh giá hiệu suất của bộ khuôn và hệ thống làm mát. Quá trình ép thử được thực hiện trên máy ép phun công nghiệp với các thông số được điều chỉnh dựa trên đặc tính vật liệu nhựa và yêu cầu kỹ thuật của sản phẩm [4]. Kết quả cho thấy sản phẩm thu được không bị biến dạng, không xuất hiện ba via (flash), và các chi tiết được điền đầy hoàn toàn, đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn chất lượng [5]. Hình 5 minh họa sản phẩm ép thử với bề mặt mịn, không có khuyết tật, chứng minh rằng quá trình truyền nhiệt từ khuôn ra môi trường xung quanh được kiểm soát hiệu quả nhờ hệ thống làm mát dạng lớp layer [6].

Hệ thống đường nước làm mát, một trong những yếu tố quan trọng nhất của bộ khuôn, được kiểm tra kỹ lưỡng trong giai đoạn thử nghiệm. Các kênh làm mát được thiết kế để

tối ưu hóa dòng chảy của chất làm mát, sử dụng bi thép lắp đầy hốc gia công nhằm tăng diện tích tiếp xúc và cải thiện hiệu suất truyền nhiệt [7]. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống làm mát hoạt động ổn định, không có hiện tượng rò rỉ hay tắc nghẽn trong suốt quá trình vận hành [8]. Nhiệt độ bề mặt khuôn được duy trì đồng đều, với độ lệch nhiệt độ giữa các vùng khuôn giảm đáng kể so với các hệ thống làm mát truyền thống, điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về hiệu quả của kênh làm mát dạng lớp layer [9].



Hình 4. Hình ảnh khuôn được lắp ghép hoàn chỉnh

Mặc dù đạt được nhiều kết quả tích cực, quá trình thực nghiệm cũng bộc lộ một số hạn chế của bộ khuôn. Trước hết, kích thước khuôn còn cồng kềnh, dẫn đến khó khăn trong việc vận chuyển và lắp đặt trên các máy ép phun có kích thước giới hạn [8]. Thứ hai, chi phí gia công cao là một trở ngại lớn, chủ yếu do yêu cầu sử dụng máy CNC hiện đại và vật liệu chất lượng cao để đảm bảo độ bền và độ chính xác của khuôn [3]. Những hạn chế này làm giảm tính kinh tế của hệ thống, đặc biệt khi áp dụng vào sản xuất quy mô lớn [5]. Nhóm nghiên cứu



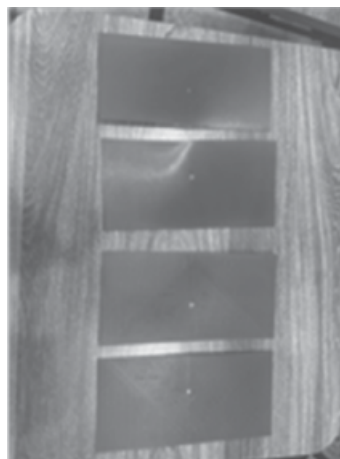
nhận thấy rằng việc tối ưu hóa thiết kế khuôn, chẳng hạn như giảm số lượng tấm khuôn hoặc đơn giản hóa cấu trúc kênh làm mát, có thể giúp giảm chi phí và kích thước tổng thể mà vẫn duy trì hiệu suất làm mát [7].

Trong tương lai, nhóm nghiên cứu dự kiến tập trung vào các hướng cải tiến thiết kế để nâng cao hiệu quả và tính khả thi kinh tế của bộ khuôn. Một trong những giải pháp tiềm năng là ứng dụng các kỹ thuật in 3D (additive manufacturing) để chế tạo các kênh làm mát phức tạp, giúp giảm thời gian gia công và chi phí sản xuất [1]. Ngoài ra, việc sử dụng các vật liệu dẫn nhiệt cao hoặc lớp phủ bề mặt tiên tiến có thể cải thiện hiệu suất truyền nhiệt mà không cần tăng kích thước khuôn [9]. Các nghiên cứu tiếp theo cũng sẽ tập trung vào việc mô phỏng và tối ưu hóa dòng chảy chất làm mát bằng phương pháp CFD để xác định các thông số vận hành tối ưu, từ đó giảm thiểu tiêu thụ năng lượng và thời gian chu kỳ sản xuất [4].

Hình 4 minh họa bộ khuôn được lắp ghép hoàn chỉnh, cho thấy sự chính xác trong thiết kế và gia công của các tấm khuôn. Hình 5 thể hiện sản phẩm ép thử, với các chi tiết rõ ràng và không có khuyết tật, khẳng định hiệu quả của hệ thống làm mát trong việc kiểm soát nhiệt độ khuôn. Những kết quả này không chỉ chứng minh tính khả thi của hệ thống làm mát dạng lớp layer mà còn đặt nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm cải thiện công nghệ khuôn ép nhựa.

Tóm lại, quá trình gia công, lắp ráp, và thử nghiệm bộ khuôn ép nhựa với hệ thống làm mát dạng lớp layer đã mang lại kết quả khả quan, với sản phẩm đạt chất lượng cao và hệ thống làm mát hoạt động ổn định. Tuy nhiên, các hạn chế về kích thước và chi phí gia công đòi hỏi các giải pháp cải tiến trong thiết kế và

quy trình sản xuất. Những nỗ lực trong tương lai sẽ tập trung vào việc tối ưu hóa thiết kế khuôn, ứng dụng công nghệ mới, và giảm chi phí để đưa công nghệ này vào ứng dụng thực tiễn một cách hiệu quả hơn.



Hình 5. Sản phẩm thu được khi ép thử

## 4. KẾT LUẬN

Sau quá trình nghiên cứu, thiết kế và thử nghiệm khuôn ba tấm cùng hệ thống làm mát, nhóm chúng tôi rút ra các kết luận chính như sau:

- **Chất lượng sản phẩm:** Sản phẩm ép thử đạt yêu cầu, không xuất hiện biến dạng bề mặt, không có ba vìa, và được điền đầy hoàn toàn, đảm bảo tính chính xác và thẩm mỹ theo thiết kế ban đầu.
- **Hiệu suất khuôn:** Bộ khuôn ba tấm hoạt động ổn định, tấm kẹp trước giữ chặt khuôn hiệu quả, phân bố áp lực đều, hỗ trợ di chuyển chính xác, góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm.
- **Hệ thống làm mát:** Đường nước làm mát được lắp ráp hoàn chỉnh, vận hành trơn tru, không rò rỉ, đảm bảo khả năng làm mát đồng đều, giúp rút ngắn thời gian chu kỳ ép.

• Hạn chế: Khuôn có kích thước lớn, công kênh, dẫn đến chi phí gia công cao hơn so với các loại khuôn thông thường, gây khó khăn trong việc tối ưu chi phí sản xuất.

• Hướng phát triển: Nhóm sẽ tiếp tục nghiên cứu để thu gọn kích thước khuôn, cải tiến thiết kế hệ thống làm mát, và tìm giải pháp giảm chi phí gia công, nhằm nâng cao tính kinh tế và ứng dụng thực tiễn trong sản xuất công nghiệp.

#### (\*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Võ Kim Hằng;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Hồ Minh Trí, Dương Văn Linh, Nguyễn Văn Tú, Trần Thanh Lam.

#### Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí cũng như hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: SV2025-340.❖

Ngày nhận bài: 05/5/2025

Ngày phản biện: 19/5/2025

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kuo, C. C., Xu, J.-Y., Zhu, Y.-J., & Lee, C.-H. (2022), "Effects of different mold materials and coolant media on the cooling performance of epoxy-based injection molds". *Polymers*, 14(2), 280. <https://doi.org/10.3390/polym14020280>
- [2]. Li, X. P., Zhao, G. Q., & Guan, Y. J. (2011), "Characteristic of rapid heating cycle moulding and warpage analysis of products". *Plastics, Rubber and Composites*, 40, 425-432. <https://doi.org/10.1179/1743289810Y.0000000017>
- [3]. Wang, G., Hui, Y., Zhang, L., & Zhao, G. (2018), "Research on temperature and pressure responses in the rapid mold heating and cooling method based on annular cooling channels and electric heating". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 1192-1203. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.102>
- [4]. Shen, J. L., Zhang, Y. C., & Xing, T. T. (2018), "The study on the measurement accuracy of non-steady state temperature field under different emissivity using infrared thermal image". *Infrared Physics & Technology*, 94, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.08.010>
- [5]. Kuo, C. C., & Zhu, Y.-J. (2022), "Characterization of epoxy-based rapid mold with profiled conformal cooling channel". *Polymers*, 14(15), 3017. <https://doi.org/10.3390/polym14153017>
- [6]. Li, J., Li, T., Xu, F., & Jiang, S. (2019), "A quantitative evaluation of the appearance quality of weld lines in RHCM parts". *Emergent Materials Research*, 8, 253-257. <https://doi.org/10.1680/jemmr.18.00036>
- [7]. Huzaim, N. H., Rahim, S. Z., Musa, L., Abdellah, A. E.-H., Abdullah, M. M. A. B., Rennie, A., Rahman, R., Garus, S., Bloch, K., & Sandu, A. V., et al. (2022), "Potential of rapid tooling in rapid heat cycle molding: A review". *Materials*, 15(11), 3725. <https://doi.org/10.3390/ma15113725>
- [8]. Crema, L., Sorgato, M., & Lucchetta, G. (2017), "Thermal optimization of deterministic porous mold inserts for rapid heat cycle molding". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 109, 462-469. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.02.031>
- [9]. Wang, G., Zhao, G., & Wang, X. (2013), "Effects of cavity surface temperature on reinforced plastic part surface appearance in rapid heat cycle moulding". *Materials & Design*, 44, 509-520. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.08.030>