

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO KHUÔN ÉP PHUN NHỰA CHI TIẾT ĐỂ NỒI CƠM ĐIỆN SỬ DỤNG PHẦN MỀM CATIA

RESEARCH ON THE DESIGN AND MANUFACTURING PROCESS OF AN
INJECTION MOLD FOR A RICE COOKER BASE USING CATIA SOFTWARE

PGS, TS. **Phan Văn Hiếu**
Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội
Email: hieu.phanvan@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu thiết kế khuôn và xây dựng quy trình chế tạo khuôn ép phun chi tiết để nồi cơm điện sử dụng giải pháp tích hợp CAD/CAM/CAE trên phần mềm CATIA. Với sản phẩm dạng hộp tròn sâu và nhiều gân phức tạp, nghiên cứu đã thiết kế hoàn chỉnh bộ khuôn 3 tấm, kết cấu 1 lòng khuôn, kết hợp hệ thống cấp nhựa cổng phun điểm và đường nước làm mát vòng quanh tối ưu. Kết quả mô phỏng dòng chảy nhựa xác định thời gian điền đầy đạt 1,85 giây, áp suất phun 85 MPa và kiểm soát độ cong vênh dưới 0,5 mm. Nghiên cứu cũng xây dựng quy trình công nghệ chế tạo lòng khuôn gồm 09 nguyên công và xuất mã G-code gia công CNC ổn định. Giải pháp này giúp rút ngắn 35-40% thời gian sản xuất so với phương pháp truyền thống, góp phần nâng cao năng lực chủ động công nghệ khuôn mẫu nội địa.

Từ khóa: Khuôn ép phun nhựa; Phần mềm CATIA; Quy trình công nghệ; Gia công CNC; Để nồi cơm điện.

ABSTRACT

This research paper studies the design of molds and the development of a manufacturing process for injection molding a rice cooker base using an integrated CAD/CAM/CAE solution on CATIA software. For a deep, round box-shaped product with complex ribs, the study designed a complete 3-plate mold with a single cavity structure, incorporating an optimized point-gate injection molding system and a surrounding cooling water system. Simulation results of the plastic flow determined a filling time of 1.85 seconds, an injection pressure of 85 MPa, and warping control of less than 0.5 mm. The study also developed a manufacturing process for the cavity consisting of 9 operations and generated stable CNC machining G-code. This solution helps shorten production time by 35-40% compared to traditional methods, contributing to the enhancement of domestic mold technology capabilities.

Keywords: Injection mold; CATIA; Manufacturing process; CNC machining; Rice cooker base.

1. GIỚI THIỆU

Trong nền sản xuất hiện đại, ngành khuôn mẫu đóng vai trò cốt lõi để chế tạo hàng loạt sản phẩm nhựa chất lượng cao. Việc ứng dụng giải pháp tích hợp CAD/CAM/CAE trên phần mềm CATIA là xu hướng tất yếu giúp đồng bộ hóa dữ liệu, tối ưu hóa kết cấu khuôn và rút ngắn chu kỳ sản xuất.

Đế nôi com điện là chi tiết nhựa gia dụng phổ biến nhưng có kết cấu phức tạp với hệ thống gân tăng cứng dày đặc và lỗ thoát khí. Sản phẩm đòi hỏi độ chính xác hình học cao và yêu cầu độ bền cơ lý cao. Do cấu trúc dạng hộp tròn sâu, việc thiết kế mặt phân khuôn và hệ thống lùa đẩy rất dễ xảy ra khuyết tật kẹt hoặc biến dạng sản phẩm nếu không được tính toán kỹ lưỡng.

Các nghiên cứu trước đây trên CATIA thường tập trung riêng lẻ vào khâu thiết kế (CAD) hoặc gia công (CAM). Nghiên cứu này kế thừa các phương pháp tách khuôn tiên tiến, đồng thời cải tiến bằng cách xây dựng một quy trình công nghệ tích hợp toàn diện và đồng bộ từ khâu phân tích công nghệ sản phẩm đến lập trình CNC.

Bài báo này tập trung vào thiết kế hoàn chỉnh bộ khuôn ép phun và xây dựng quy trình công nghệ gia công CNC tối ưu cho chi tiết đế nôi com điện trên phần mềm CATIA, góp phần nâng cao năng suất và chất lượng chế tạo khuôn mẫu nội địa.



Hình 1. Hình ảnh thực tế của đế nôi com điện Midea

2. THIẾT KẾ KHUÔN ÉP ĐẾ NÔI CƠM ĐIỆN

Thiết kế tổng thể của khuôn bao gồm hai phần chính là: Thiết kế kết cấu bộ khuôn và hệ thống công nghệ trên khuôn.

2.1. Thiết kế kết cấu bộ khuôn

Phần kết cấu bộ khuôn cơ bản gồm các phần sau: Vùng lòng khuôn; Bộ phận dẫn vật liệu; Thiết bị đẩy lấy sản phẩm; Bộ phận điều tiết nhiệt độ khuôn; Bộ gá lắp khuôn vào máy; Chi tiết khuôn cơ bản.

Vùng lòng khuôn là vùng trực tiếp tạo ra sản phẩm và được hình thành từ hai nửa khuôn. Độ chính xác kích thước và trạng thái bề mặt của vùng lòng khuôn có ý nghĩa đến chất lượng sản phẩm, do vậy vùng lòng khuôn là bộ phận quan trọng nhất. Cấu tạo vùng lòng khuôn có quan hệ sâu sắc với bộ phận dẫn liệu và ứng với các phương pháp tạo hình khác nhau mà có kết cấu khuôn đặc thù khác nhau.

Phần tiếp xúc giữa lõi và lòng khuôn gọi là đường (mặt) phân khuôn.

Theo chức năng, bộ khuôn còn được thiết kế thành các bộ phận chính (1÷19) dưới đây:

1) Tấm kẹp phía trước: Kẹp tấm cố định của khuôn vào máy.

2) Tấm khuôn trước: Là phần cố định của khuôn tạo thành phần trong và phần ngoài của sản phẩm.

3) Vùng định vị: Đảm bảo vị trí thích hợp của khuôn và vòi phun.

4) Bạc cuốn phun: Nối vòi phun và kênh nhựa với nhau qua tấm kẹp phía trước và tấm khuôn trước.



5) Sản phẩm.

6) Bộ định vị: Đảm bảo cho sự phù hợp giữa phần cố định và phần chuyển động của khuôn.

7) Tấm đỡ: Giữ cho mảnh ghép của khuôn không bị rơi ra ngoài.

8) Khối đỡ: Dùng làm phần ngăn giữa tấm đỡ và tấm kẹp phía sau để cho tấm đẩy hoạt động được.

9) Tấm kẹp phía sau: Kẹp phần chuyển động của khuôn vào máy.

10) Chốt đẩy sản phẩm: Dùng để đẩy sản phẩm ra khỏi khuôn bị mở.

11) Tấm giữ: Giữ chốt đẩy và tấm đẩy.

12) Tấm đẩy: Đẩy chốt đẩy đồng thời với quá trình đẩy.

13) Bạc dẫn hướng chốt: Để tránh cho mòn và hỏng chốt đỡ, tấm đẩy và tấm giữ do sự chuyển động của chúng.

14) Chốt hồi về: Làm cho chốt đẩy có thể hồi về khi khuôn đóng lại.

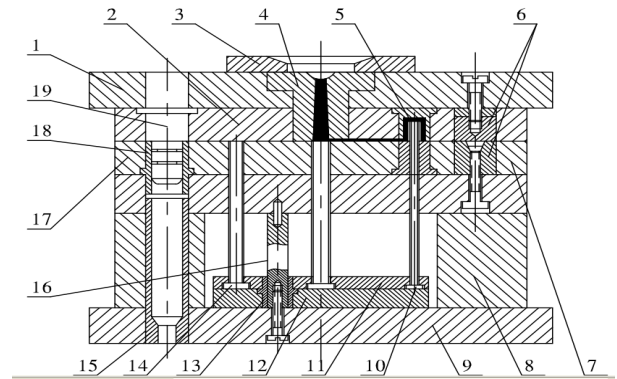
15) Bạc mở rộng: Dùng làm bạc kẹp để tránh mài mòn, hỏng tấm kẹp phía sau tấm đỡ và khối đỡ.

16) Chốt đỡ: Dẫn hướng chuyển động và đỡ cho tấm đẩy, tránh cho tấm khuôn khỏi bị cong do áp lực đẩy cao.

17) Tấm khuôn sau: Là phần chuyển động của khuôn tạo lên phần trong và phần ngoài của sản phẩm.

18) Bạc dẫn hướng: Để tránh mài mòn nhiều làm hỏng tấm khuôn sau.

19) Chốt dẫn hướng: Dẫn phần chuyển động tới phần cố định của khuôn [1].



Hình 2. Mô hình tổng thể khuôn đã thiết kế

2.2. Thiết kế các hệ thống công nghệ trên khuôn

Dựa trên kết quả phân tích công nghệ chi tiết để nối com điện, cấu trúc bộ khuôn được thiết kế tối ưu trên module Mold Tooling Design của CATIA với các hệ thống chính sau:

Hệ thống cấp nhựa: Sử dụng kênh dẫn nhựa ba tấm dạng tròn ($\phi 8\text{mm}$) để cân bằng dòng chảy. Hệ thống sử dụng cổng phun điểm (Point Gate, $\phi 1.5\text{mm}$) đặt trực tiếp tại tâm đáy chi tiết. Thiết kế này giúp dòng nhựa phân bố đều đến các gân, tự động cắt đuôi keo khi mở khuôn và đảm bảo thẩm mỹ cho bề mặt ngoài sản phẩm.

Hệ thống làm mát: Để giải nhiệt đồng đều cho chi tiết hộp tròn sâu, các đường nước làm mát ($\phi 10\text{mm}$) được thiết kế chạy vòng quanh (vòng lòng khuôn và vòng lõi khuôn). Khoảng cách từ tâm đường nước đến bề mặt lòng khuôn được tối ưu từ (15-20mm), đảm bảo hạ nhiệt độ nhựa nhanh, giảm chu kỳ ép và tránh biến dạng cong vênh.

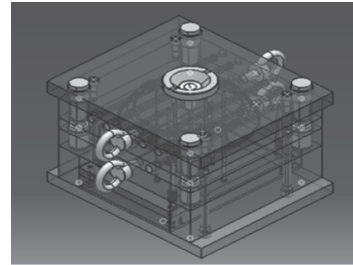
Hệ thống lùa đẩy sản phẩm: Do lực bám dính của đế nôi com điện vào lõi khuôn (Core) rất lớn khi co rút, hệ thống đẩy được thiết kế kết hợp: Sử dụng tấm gạt (Stripper Plate) dọc theo chu vi ngoài cùng hệ thống chốt đẩy, ($\phi 6\text{mm}$) tại chân các gân tăng cứng. Sự kết hợp này giúp phân bố đều lực đẩy, tránh gây nứt vỡ hoặc để lại vết lõm lớn trên chi tiết.

2.3. Mô phỏng khuôn

Công tác mô phỏng được thực hiện nhằm kiểm tra động học kết cấu khuôn và đánh giá tính công nghệ của quá trình ép phun:

Mô phỏng động học đóng/mở khuôn: Sử dụng module DMU Kinematics trên CATIA để mô phỏng chu trình hoạt động của khuôn 3 tấm. Kết quả mô phỏng xác nhận: Khoảng mở giữa tấm kẹp trước và tấm gạt cuốn phun đủ để đuôi keo rơi tự do; khoảng mở giữa tấm tĩnh và tấm động đủ để hệ thống giàn đẩy đưa sản phẩm ra ngoài an toàn. Toàn bộ chu trình không xảy ra va chạm hình học giữa các chi tiết chuyển động.

Mô phỏng dòng chảy nhựa (CAE): Mô hình hình học từ CATIA được xuất sang môi trường mô phỏng dòng chảy chuyên dụng để đánh giá thiết kế. Kết quả cho thấy: Với áp suất phun (85MPa) và nhiệt độ khuôn (60°C), dòng nhựa PP+GF điền đầy hoàn toàn lòng khuôn (100%) trong thời gian (1.85 giây). Các vị trí bẫy khí và đường hàn nhựa chỉ xuất hiện nhỏ ở rìa mép ngoài, không ảnh hưởng đến cơ tính và thẩm mỹ của đế nôi com điện [2], [4].



Hình 3. Hệ thống khuôn thiết kế hoàn thiện.

3. XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG LÒNG KHUÔN VÀ QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT CHI TIẾT ĐẾ NÔI COM ĐIỆN

3.1. Xây dựng quy trình công nghệ gia công lòng khuôn

Phân tích chức năng làm việc của lòng khuôn: Lòng khuôn yêu cầu phải có độ cứng, độ bền nhiệt và độ bóng cao do phải tiếp xúc với chất dẻo nóng chảy.

Phân tích tính công nghệ trong kết cấu của lòng khuôn: chi tiết dạng hộp; Các yêu cầu kỹ thuật chung bao gồm:

- Độ phẳng và độ song song của các bề mặt chính trong khoảng $0,05\text{-}0,1\text{ mm}$ trên toàn bộ chiều dài, độ nhám bề mặt $Ra = 1,25\text{ }\mu\text{m}$.
- Các lỗ độ chính xác cấp IT7...IT8 và độ nhám bề mặt $Ra = 1.25\text{-}0,63\text{ }\mu\text{m}$.
- Độ vuông góc giữa mặt đầu và tâm lỗ trong khoảng $0,01\text{-}0,05\text{ mm}/100\text{ mm}$.
- Chi tiết đủ độ cứng vững khi gia công, không bị biến dạng và có thể dùng chế độ cắt cao để đạt năng suất cao.

Ở đây, với mục đích nghiên cứu và thử nghiệm, ta chọn dạng sản xuất đơn chiếc loạt nhỏ. ☞

Vật liệu được chọn để chế tạo lòng khuôn là thép 2316, là thép hợp kim Crôm Molybden không gỉ đã được tôi và ram sẵn với các đặc tính sau: Khả năng chống gỉ cao, đánh bóng tốt, chống mài mòn cao, gia công dễ dàng, độ cứng đồng nhất mọi kích thước, chi phí bảo trì khuôn thấp.

- Vật liệu của tấm kẹp trước, tấm kẹp sau, tấm giữ tấm đáy: Chọn là thép C45.

Chọn phương án công nghệ và lập thứ tự nguyên công chế tạo chi tiết lòng khuôn.

Chọn phương án chế tạo phôi: Phôi tấm.

* Lập thứ tự nguyên công:

Nguyên công 1: Cắt phôi kích thước $300 \times 300 \times 47$ mm.

Nguyên công 2: Phay 2 mặt phẳng đáy đạt kích thước $44^{+0,1}$ mm.

Nguyên công 3: Phay 4 mặt bên của phôi đạt kích thước $296^{+0,2}$ mm.

Nguyên công 4: Khoan 4 lỗ $\phi 10$ và khoan 8 lỗ $\phi 15$ tạo kênh dẫn nước. Khoan 2 lỗ $\phi 15$ (để chuẩn bị taro 2 lỗ M16 lắp móc treo ở nguyên công sau).

Nguyên công 5: Mài 2 mặt đáy đạt kích thước $43^{+0,05}$ và độ nhám $Ra = 0,63 \mu m$.

Nguyên công 6: Gia công mặt dưới của chi tiết. Khoan lỗ $\phi 18$; 4 lỗ $\phi 23$ và khoan 4 lỗ $\phi 9$. Thực hiện trên máy CNC.

Nguyên công 7: Gia công toàn bộ lòng khuôn (mặt trên). Thực hiện trên máy CNC.

Nguyên công 8: Taro 4 lỗ ren M10; Taro 10 lỗ ren M16; Đánh bóng toàn bộ lòng khuôn.

Nguyên công 9: Tổng kiểm tra.

3.2. Lập trình gia công lòng khuôn trên phần mềm CATIA

Sau khi gia công xong lòng khuôn, từ Manufacturing Program trên cây thư mục, chọn

Generate NC Code Interactively.

Chọn kiểu xuất là NC Code tại ô NC Data type.

Tại thẻ NC Code chọn Execute để tiến hành xuất chương trình gia công.

Cuối cùng, ta được chương trình NC như sau:

```
%
O0001
N1 G94 G01 X3761.359 Y7673.34 Z179.137
F300. S70 M3
N2 Z-74.863
N3 Y7518.4
N4 X7518.4 F1000.
N5 Y0.
N6 X0.
N7 Y7518.4
N8 X3761.359
N9 Y7482.205
N10 Y7446.01
N11 X7444.214
N12 X7453.359 Y7453.359
N13 X7446.01 Y7444.214
N14 Y74.186
N15 X7453.359 Y65.041
N16 X7444.214 Y72.39
N17 X74.186
N18 X65.041 Y65.041
...
N14064 Y7518.171 Z-323.798
N14065 X6601.46
N14066 Y7163.74 Z-323.452
N14067 X6576.06 Y7125.792 Z-323.415
N14068 Y7518.171 Z-323.798
N14069 X6550.66
N14070 Y7065.461 Z-323.356
N14071 Z-170.956
N14072 G5 P0
N14073 M5
N14074 G91 G28 Z0.
```

N14075 G28 X0. Y0.
N14076 M30
% [3].

Các hình ảnh bộ khuôn thực tế:



Hình 4. Bộ khuôn thực tế

3.3. Quá trình sản xuất chi tiết đế nôi côm điện trên khuôn ép phun với máy XY1600

Quá trình sản xuất thực tế chi tiết đế nôi côm điện sử dụng bộ khuôn đã thiết kế được thực hiện trên máy ép phun nhựa thủy lực 160 tấn với chu trình công nghệ gồm 4 giai đoạn cốt lõi:

Giai đoạn 1 – Chuẩn bị vật liệu và Kẹp khuôn (Clamping): Hạt nhựa nguyên sinh PP gia cường sợi thủy tinh (PP+GF) được sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong 2-3 giờ để loại bỏ độ ẩm. Nhựa sau đó được cấp vào phễu chứa. Máy ép tiến hành đóng khuôn; hệ thống thủy lực tạo ra lực kẹp lớn (tính toán lý thuyết $P_{kp} \geq 150$ tấn) để giữ chặt tấm động và tấm tĩnh, chống lại áp suất đẩy ngược từ dòng nhựa nóng chảy.

Giai đoạn 2 – Phun nhựa và Điền đầy (Plasticating & Injection): Nhựa được trực vít gia nhiệt nóng chảy đến trạng thái lỏng (210°C-230°C). Trục vít chuyển động tịnh tiến về phía trước như một pittông, đẩy dòng nhựa qua bạc cuốn phun, hệ thống kênh dẫn 3 tấm và cổng phun điểm (Point Gate) để điền đầy hoàn toàn lòng khuôn. Áp suất phun được duy trì ổn định ở mức 80-90 MPa.

Giai đoạn 3 – Duy trì áp suất và Làm nguội (Holding & Cooling): Sau khi nhựa điền đầy 100% lòng khuôn, máy chuyển sang giai đoạn giữ áp (áp suất duy trì khoảng 60-70% áp suất phun) để bù lại lượng nhựa bị co rút khi nguội, ngăn ngừa khuyết tật vết lõm ở các chân gân dày. Đồng thời, hệ thống nước làm mát thiết kế vòng quanh lòng và lõi khuôn hoạt động liên tục nhằm hạ nhiệt độ sản phẩm xuống dưới nhiệt độ biến dạng nhiệt ($T_{\text{khuôn}} \approx 50-60^\circ\text{C}$).

Giai đoạn 4 – Mở khuôn và Đẩy sản phẩm (Opening & Ejection): Khi chi tiết đã đông cứng hoàn toàn, tấm động lùi về phía sau theo trục Z. Nhờ kết cấu khuôn 3 tấm, hệ thống kênh dẫn nhựa được tách rời và tự động cắt đứt khỏi sản phẩm tại vị trí cổng phun điểm. Hệ thống giàn đẩy kích hoạt, đẩy tấm gạt (Stripper Plate) kết hợp các chốt đẩy (Ejector Pins) tác động đều lên chu vi và chân gân để đẩy đế nôi côm điện rơi ra ngoài an toàn, kết thúc một chu kỳ ép (Cycle time $\approx 25-30$ giây).



Hình 5. Máy ép phun XY1600

Quá trình ép tạo sản phẩm gồm các bước sau:

Bước 1: Nhào trộn và gia nhiệt trong xylanh máy ép.

Bước 2: Quá trình ép phun giữ áp suất ép và làm mát.

Bước 3: Vận hành hệ thống làm mát, mở khuôn lấy sản phẩm.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công giải pháp tích hợp CAD/CAM/CAE trên phần mềm CATIA để hoàn thiện quy trình thiết kế và chế tạo khuôn ép phun cho chi tiết đế nồi cơm điện, đạt được các kết quả định lượng cụ thể:

Hiệu suất và thời gian thiết kế: Việc ứng dụng giải pháp CAD/CAM đồng bộ trên CATIA giúp rút ngắn thời gian thiết kế kết cấu bộ khuôn và lập trình gia công xuống từ 35% đến 40%. Do sử dụng chung một cơ sở dữ liệu, mọi thay đổi hình học từ chi tiết đế nồi cơm điện 3D sẽ tự động cập nhật sang lòng khuôn, lõi khuôn và đường chạy dao CNC, triệt tiêu hoàn toàn thời gian sửa lỗi thủ công.

Độ chính xác hình học: Công nghệ mô hình hóa bề mặt nâng cao (Generative Shape Design) đảm bảo độ chính xác hình học của lòng khuôn và lõi khuôn đạt dung sai bề mặt dưới (± 0.01) mm. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các biên dạng tròn sâu, hệ thống gân tăng cứng phức tạp và các lỗ thoát khí của đế nồi cơm điện, giúp loại bỏ hiện tượng sai lệch kích thước lắp ghép và giảm thời gian rà gá, đánh bóng sửa khuôn thực tế.

Tối ưu hóa hệ thống công nghệ qua mô phỏng Moldflow: Kết quả phân tích dòng chảy nhựa từ Autodesk Moldflow đã chứng minh tính đúng đắn của việc thiết kế hệ thống cấp nhựa.

Với cổng phun điểm (Point Gate) đặt tại tâm đáy chi tiết, thời gian điền đầy nhựa PP+GF đạt (1.85 giây) với áp suất phun cân bằng ổn định ở mức (85 Mpa).

Kiểm soát khuyết tật sản phẩm: Mô phỏng dòng chảy xác nhận nhiệt độ dòng nhựa tại cuối kỳ điền đầy không bị giảm quá (5°C), ngăn ngừa hiện tượng nghẽn dòng hoặc thiếu liệu tại các gân mỏng. Các đường hàn nhựa (weld lines) và bẫy khí (air traps) được kiểm soát đầy hoàn toàn ra rìa biên ngoài của chi tiết – nơi bố trí các rãnh thoát khí trên tấm khuôn – giúp bề mặt sản phẩm không bị rỗ, cháy khét hay suy giảm cơ tính. Hiện tượng co rút thể tích được bù đắp tốt thông qua giai đoạn giữ áp, đảm bảo độ cong vênh tối đa của sản phẩm sau khi làm nguội nằm trong giới hạn cho phép (< 0.5 mm).

Hướng phát triển tiếp theo là ứng dụng các thuật toán tối ưu hóa thông minh (như Thuật toán di truyền – GA, Bề mặt đáp ứng – RSM) nhằm tối ưu hóa các thông số chế độ cắt khi phay CNC thép 2316. Nghiên cứu quá trình mô phỏng dòng chảy trong khuôn, từ đó ta xác định được nhiệt độ, áp suất, khả năng điền đầy của khuôn, giảm khuyết tật khuôn. ❖

Ngày nhận bài: 25/5/2026

Ngày phản biện: 03/6/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phan Văn Hiếu, “Thiết kế khuôn thổi bình tông đựng nước”, 2000.
- [2]. GVC, TS. Phan Văn Hiếu, “Đồ họa kỹ thuật nâng cao với CATIA”. NXB. Bách khoa Hà Nội, 2021.
- [3]. Trần Thế San, Nguyễn Ngọc Phương, “Hướng dẫn lập trình CNC trên máy công cụ”. NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2009.
- [4]. TS. Vũ Hoài Ân, “Thiết kế khuôn cho sản phẩm nhựa”. Viện Máy công cụ IMI, Trung tâm đào tạo và thực hành CAD/CAM, 1995.