

ĐỘT PHÁ CÔNG NGHỆ IN 3D SLA TRONG QUY TRÌNH ÉP PHUN NHỰA

BREAKTHROUGH IN 3D SLA PRINTING TECHNOLOGY IN THE INJECTION MOLDING PROCESS

**Đỗ Thanh Bình, Trần Ngọc Thiện*, Nguyễn Lê Trung Thế, Võ Quốc Kiên, Tạ Hải Duy,
Nguyễn Hoàng Phúc An, Trần Tuấn Anh, Trần Văn Tú**
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

TÓM TẮT

Ngày nay, người tiêu dùng có nhu cầu sử dụng các sản phẩm nhựa rất phong phú và đa dạng. Vì vậy, sản lượng sản xuất các sản phẩm nhựa ngày càng giảm và thay đổi mẫu mã liên tục. Điều này dẫn đến giá thành sản phẩm sẽ tăng theo vì quá trình sản xuất cần phải thay đổi khuôn ép phun. Hiện nay, với sự bùng nổ của công nghệ in 3D SLA, đặc biệt là sự phát triển của vật liệu in 3D đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này đã ứng dụng công nghệ in 3D SLA với vật liệu chuyên dụng Rigid 10K nhằm chế tạo tấm lòng khuôn để tạo hình cho sản phẩm nhựa có sản lượng nhỏ hoặc vòng đời ngắn. Mục đích của nghiên cứu này nhằm nâng cao chất lượng ngoại quan sản phẩm và chất lượng sản phẩm ép phun. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng đánh giá khả năng làm việc của tấm lòng khuôn được in 3D SLA sau 50 chu kỳ ép. Kết quả cho thấy rằng, khả năng đáp ứng việc chế tạo khuôn rất đáng kể, bề mặt ngoại quan sản phẩm ép là như khuôn kim loại truyền thống. Tuy nhiên, chu kỳ ép một sản phẩm dài hơn và độ bền kéo đối với sản phẩm nhựa giảm so với sản phẩm được ép bằng khuôn truyền thống. Bên cạnh đó, nghiên cứu này làm lộ ra những hạn chế như vấn đề bôi trơn bề mặt khuôn và giải nhiệt khuôn cần được xem xét tiếp theo.

Từ khóa: In 3D khuôn ép nhựa; In 3D SLA; Khuôn ép phun; Sản lượng ép phun nhỏ; PA6; EVA.

ABSTRACT

Today, consumers have a growing demand for a wide variety of plastic products. Consequently, the production volume of plastic items is decreasing, and the designs are constantly changing. This leads to increased production costs as the injection molding process necessitates mold changes. With the recent explosion of SLA 3D printing technology, especially the development of 3D printing materials applied across various fields, this study seeks to employ SLA 3D printing technology using specialized Rigid 10K material for creating mold inserts for low-volume or short-lifecycle plastic products. The objective of this research is to enhance the visualization and quality of injection-molded products. Additionally, this study evaluates the working capabilities of SLA 3D printed mold inserts after 50 molding cycles. The results demonstrate a significant ability to create a mold insert in a short time, the visual quality of products is similar to traditional metal molds. However, the molding cycle for each product is longer, and the tensile strength of the plastic products is reduced compared to those molded using traditional molds. Furthermore, this research highlights limitations such as surface lubrication and mold cooling issues that require further consideration.

Keywords: 3D SLA printing; Mold Insert; Low-volume; PA6; EVA; Polymer blended. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ép phun là một trong các phương pháp phổ biến được dùng để sản xuất các sản phẩm nhựa ngày càng đa dạng về chủng loại, số lượng lớn và năng suất cao. Vì thế, việc thiết kế và chế tạo khuôn ép phun ngày nay đã được tiêu chuẩn hóa với vỏ khuôn với độ chính xác cao, việc còn lại là phụ thuộc vào quá trình thiết kế và chế tạo tấm lòng khuôn (tấm tạo hình cho sản phẩm). Đối với trước đây, lòng khuôn được làm bằng kim loại và chế tạo bằng các phương pháp gia công cắt gọt. Điều này dẫn đến chi phí đầu tư cho một bộ khuôn là rất lớn và mất nhiều thời gian nên chỉ phù hợp cho dạng sản xuất hàng loạt lớn trở lên. Còn đối với các dạng sản xuất hàng loạt vừa trở xuống thì tính kinh tế sẽ không được đảm bảo nếu sử dụng phương pháp ép phun để chế tạo.

Ngày nay, in 3D đang phát triển với tốc độ nhanh chóng về công nghệ và vật liệu nhằm hỗ trợ tối ưu cho các phương pháp truyền thống là điều hết sức cần thiết [1]. Cùng với xu hướng này, việc ứng dụng công nghệ in 3D vào việc chế tạo lòng khuôn ép phun ngày càng thu hút được sự quan tâm của các nhà sản xuất máy in và giới khoa học vì giải pháp này giải quyết được vấn đề tiết kiệm vật liệu và thời gian khi chế tạo khuôn cho các loạt sản phẩm có thể tích nhỏ và số lượng không đáng kể, đặc biệt là các sản phẩm trong giai đoạn ép thử. Trong nghiên cứu của Novus Applications tạo hàng trăm nắp ren với khuôn in 3D sử dụng vật liệu Rigid 10K. Họ đã tiến hành khoảng một trăm chu kỳ ép phun, sản phẩm có tính ổn định tốt khi độ sai lệch trung bình kích thước đường kính là $\pm 0,04$ mm. Họ đã tiết kiệm rất nhiều thời gian và đơn giản hóa quy trình phức tạp trước đây và ước tính rằng việc in 3D khuôn có giá thấp hơn một nửa so với việc gia công như trước đây [2]. Cùng với đó, Holimaker đã tiến hành ép phun

trên khuôn in 3D nhựa Grey Pro [3] với 100 lần phun đối với vật liệu PA ở mức nhiệt độ 270°C và 100 lần phun đối với PP, TPE, hoặc POM ở nhiệt độ thấp hơn. Holimaker cũng đã thiết kế một hệ thống làm mát tích hợp trong khuôn để giúp giảm chu kỳ lấy sản phẩm. Họ đã sản xuất khuôn trong một tuần và chi phí giảm 4-5 lần so với khuôn kim loại [2]. Braskem chế tạo hàng nghìn dây đeo khẩu trang trong một tuần với khuôn in 3D sử dụng nhựa High Temp Resin [4]. Họ dùng vật liệu bôi trơn để thuận tiện cho việc tách sản phẩm, phun sau mỗi 50 đến 60 lần phun, tổng thời gian chu kỳ trung bình là 30 giây, bao gồm cả việc làm mát và tách thủ công. Đối với nghiên cứu này, Braskem đã đi từ ý tưởng đến sản xuất trong vòng một tuần, tiết kiệm được 90-94% thời gian và 80-97% chi phí so với các giải pháp thay thế [2]. Stratasys cũng đã sử dụng khuôn ép in 3D để sản xuất và thử nghiệm các bộ phận bọc kín nước cho các linh kiện điện tử sử dụng vật liệu nhựa ABS [2].

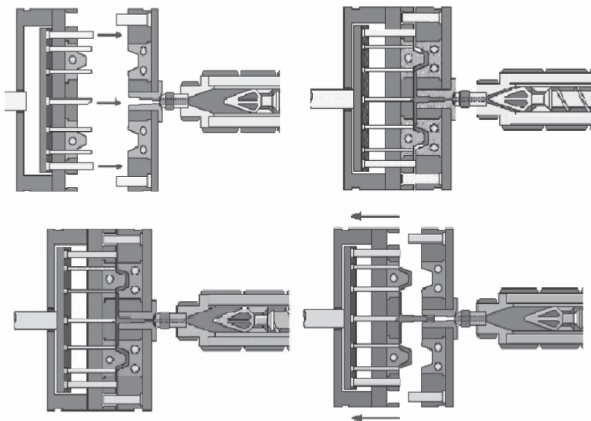
Từ những nghiên cứu này cho thấy việc chế tạo khuôn bằng công nghệ in 3D hiện nay đang là xu thế mới trong việc sản xuất các sản phẩm nhựa có khối lượng nhỏ ở dạng sản xuất vừa và nhỏ hoặc là các sản phẩm thử nghiệm ban đầu trước khi sản xuất hàng loạt. Tuy nhiên, vật liệu in trong công nghệ in 3D SLA hiện còn nhiều hạn chế và tuổi thọ khuôn in 3D cũng cần được nghiên cứu nhiều hơn nữa để đánh giá khả năng ứng dụng của chúng trong ngành sản xuất sản phẩm nhựa. Vì thế, trong nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc thiết kế, mô phỏng và chế tạo lòng khuôn in 3D kết hợp với vỏ khuôn kim loại để tạo ra các mẫu thử kéo, sau đó so sánh độ bền kéo của mẫu được ép bằng khuôn in 3D với các mẫu được ép bằng khuôn truyền thống. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy một số vấn đề cần lưu ý khi chế tạo lòng khuôn bằng công nghệ in 3D SLA.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

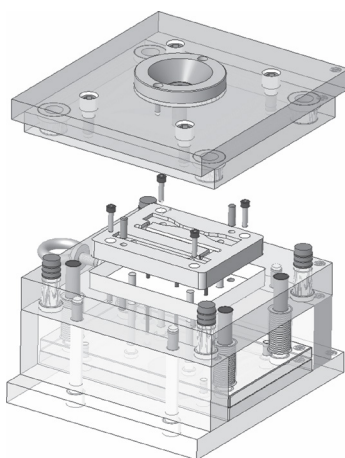
2.1. Phương pháp ép phun

2.1.1. Ép phun nhựa

Là quy trình chế tạo sản phẩm nhựa mà trong đó hạt nhựa được định lượng và hóa dẻo bằng hệ thống cấp liệu trước khi bơm với áp lực cao vào bên trong lòng khuôn đã được đóng kín. Sau quá trình nguội sơ bộ thì khuôn sẽ mở ra, sản phẩm sẽ được hình thành và cùng lúc này hệ thống ty đẩy sẽ đẩy sản phẩm ra khỏi khuôn. Chu kỳ này sẽ được lặp đi lặp lại trong suốt quá trình sản xuất sản phẩm (Hình 1).



Hình 1. Quy trình ép phun.



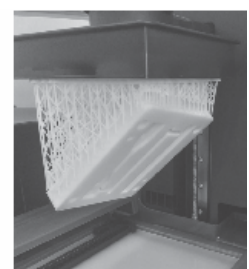
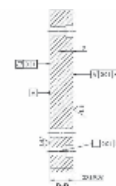
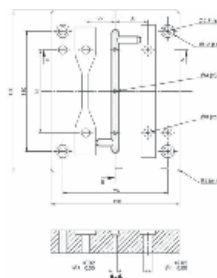
Hình 2. Khuôn ép.

2.1.2. Lòng khuôn ép nhựa được in 3D SLA

Khác với khuôn truyền thống, lòng khuôn tạo hình sản phẩm được làm từ vật liệu kim loại và được gia công cắt gọt và gia công CNC thì điểm nổi bật của nghiên cứu này là lòng khuôn được chế tạo bằng nhựa chịu nhiệt chuyên dụng Rigid 10K trong công nghệ in 3D SLA do hãng Formlabs nghiên cứu phát triển. Tám lòng khuôn trong nghiên cứu này là khuôn family để tạo hình cho hai mẫu kiểm nghiệm độ bền kéo và uốn với mục đích so sánh kết quả với hai mẫu tương tự được ép phun bởi khuôn kim loại truyền thống (Hình 2). Kích thước tám lòng khuôn được thiết kế để có thể in trên máy in 3D SLA Form 2 của hãng Formlab (Hình 3).

2.1.3. Vật liệu và thông số ép

Vật liệu được sử dụng để thử khuôn trong thí nghiệm này là hỗn hợp nhựa gồm 70% PA6 + 30% EVA theo khối lượng [6]. Với vật liệu PA6 hay còn được gọi là “nylon”, nổi bật với độ cứng cao, độ bền tốt, khả năng chống ăn mòn tốt, chịu nhiệt độ thấp, dễ gia công, độ trơn bóng cao, không độc, dễ pha màu nhưng tính chịu axit kém, không thể nhuộm màu với chất nhuộm có tính axit. Trong khi nhựa EVA có khả năng chịu lực cao và không độc hại nhưng khả năng chịu lực cao và không độc hại. Vì thế, trong nghiên cứu này đã trộn hai loại nhựa này lại với nhau để giảm nhiệt độ nhựa vào khuôn và cải thiện cơ tính sản phẩm ép.



Hình 3. Tám lòng khuôn family



Hỗn hợp nhựa PA6 và EVA được cho vào trong bồn máy theo % khối lượng, khuấy và trộn liên tục, sau đó sẽ được mang đi sấy khô trong 8 tiếng trước khi ép trên máy Haitan Mars 1200 III với các thông số ép được nêu ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số ép phun

Áp suất phun (bar)	50
Nhiệt độ phun (°C)	230
Tốc độ phun (%)	60
Thời gian phun (s)	2.8
Thời gian làm nguội (s)	40

2.2. Vật liệu và quy trình in 3D tấm lòng khuôn

2.2.1. Vật liệu in 3D SLA

Nhựa in được sử dụng trong nghiên cứu này là nhựa Rigid 10K có độ cứng cao nhất mà Formlabs nghiên cứu và phát triển. Rigid 10K thích hợp cho các bộ phận công nghiệp chính xác cần chịu được tải trọng đáng kể mà không bị uốn cong. Nhựa Rigid 10K có bề mặt mờ mịn và có khả năng chịu nhiệt và hóa chất cao [5]. Nhựa Rigid 10K thường được ứng dụng vào việc chế tạo khuôn ép và lòng khuôn tuổi thọ ngắn hoặc các bộ phận, đồ gá và đồ đặc chịu nhiệt và tiếp xúc với chất lỏng.

Bảng 2. Một số tính chất của nhựa Rigid 10K

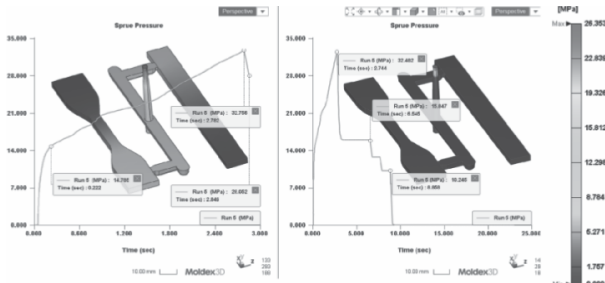
	Green	UV Post-cured	UV + Thermal
Tính chất bền kéo			
Độ bền kéo (MPa)	55	65	53
Modul kéo (GPa)	7.5	10	7.5
Độ giãn dài giới hạn (%)	2	2	2
Thuộc tính uốn			
Độ bền uốn (MPa)	84	126	103
Môđun uốn (GPa)	6	9	10
Thuộc tính tác động			
Độ bền va đập IOZD (J/m)	16	16	18
Tính chất nhiệt			
Nhiệt độ lệch nhiệt 1.8 MPa (°C)	56	82	110
Nhiệt độ lệch nhiệt 0.45 MPa (°C)	65	163	218
Sự giãn nở nhiệt 0 ÷ 150°C (µm/m/°C)	48	47	46

2.2.2. Phân tích mẫu ép

Dựa vào kết quả phân tích trên phần mềm Modex 3D (Hình 4), giá trị áp suất tập trung lớn nhất ở phần miệng cuống phun, sau đó giảm dần đến hệ thống kênh dẫn và cuối cùng đến sản phẩm. Quá trình điền đầy: áp suất lúc đầu tăng tương đối nhanh đến thời điểm 0.222s

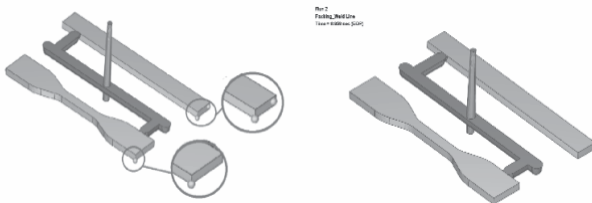
đạt giá trị 14.785 MPa, sau đó áp suất tăng đến cực đại tại thời điểm 2.782s với áp suất 32.756 MPa rồi tiếp tục giảm xuống khoảng 28.052 MPa trong khoảng thời gian còn lại của quá trình điền đầy. Quá trình giữ áp: áp suất giảm từ cuối quá trình điền đầy tiếp tục giảm nhanh tại thời điểm 6.545 s với giá trị 15.847 MPa, sau đó giảm dần về giá trị 10.245 MPa tại thời

điểm 8,858 s. Cuối cùng áp suất giảm về giá trị 0 và kết thúc một chu kỳ ép phun. Dựa vào kết quả mô phỏng, ta thấy áp suất suất lớn nhất trong quá trình ép khoảng 32.8 MPa và chu kỳ ép là khoảng 9s.



Hình 4. Kết quả phân tích áp suất mẫu ép.

Nhìn chung giá trị áp suất khoảng từ 12.2 MPa đến 15.8 MPa phân bố ở hệ thống kênh dẫn, cũng là khoảng giá trị lớn nhất tác động lên tấm lòng khuôn. Từ đó, ta sẽ lấy giá trị 16 MPa để phân tích độ bền cho lòng khuôn.



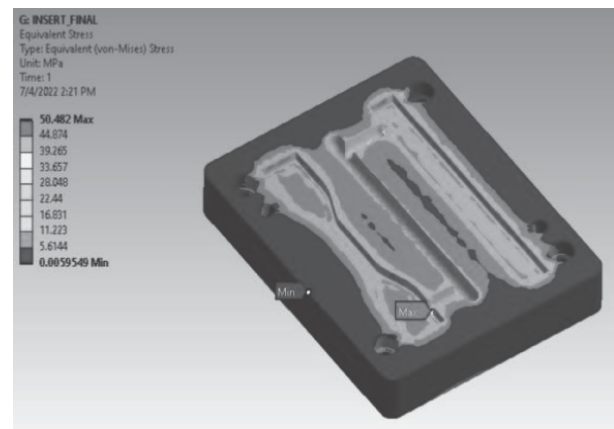
Hình 5. Kết quả phân tích rỗ khí và đường hàn.

Dựa vào kết quả mô phỏng ở Hình 5, ta có thể thấy các rỗ khí xuất hiện ở các góc nhọn của sản phẩm. Vì vậy trong việc thiết kế tấm lòng khuôn cần được bố trí rãnh thoát khí. Bên cạnh đó, khi phân tích đường hàn cho thấy sản phẩm không xuất hiện đường hàn do không có sự đối đầu của hai dòng chảy. Vì vậy, cần xem xét đến áp lực và nhiệt độ của dòng chảy phù hợp để tăng độ bền khuôn.

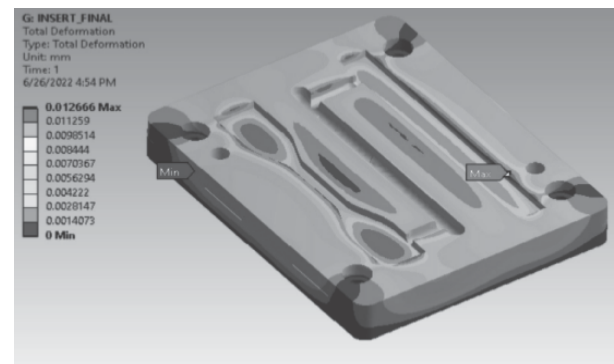
2.2.3. Phân tích tấm lòng khuôn

Qua kết quả phân tích ứng suất trên

phần mềm Ansys (Hình 6) cho thấy ứng suất phân bố đều trên bề mặt lòng khuôn và có nhỏ hơn ứng suất ở kênh dẫn. Giá trị ứng suất cao nhất 50.482 MPa là tại vị trí cổng vào nhựa và thấp hơn độ bền uốn và độ bền kéo của Rigid 10K (Bảng 2) sau xử lý UV lần lượt là 126 MPa và 65 MPa, qua đó thỏa mãn điều kiện bền của vật liệu.



Hình 6. Kết quả phân tích ứng suất tấm lòng khuôn.



Hình 7. Kết quả phân tích biến dạng tấm lòng khuôn.

Bên cạnh đó, với kết quả mô phỏng biến dạng tấm lòng khuôn cho thấy vùng biến dạng lớn nhất có giá trị 0.0127 mm tại hai khu vực chứa nhiều nhựa của mẫu kéo và các cạnh của mẫu độ bền uốn (Hình 7). Tuy rằng hai vị trí này không gây ảnh hưởng lớn đến kết quả kiểm nghiệm nhưng cần phải lưu ý về khả năng hình thành ba-via khi số lượt ép ngày càng tăng lên về sau.

2.2.4. Quy trình in 3D SLA tấm lòng khuôn



Bước 1: Nhằm thiết lập các thông số in đạt độ cứng cao nhất cho chi tiết, mỗi lớp in là 0.05mm (độ dày mỗi lớp in nhỏ nhất cho vật liệu Rigid 10K). Độ nghiêng của tấm lòng khuôn so với bàn in là 45 độ với hệ thống đỡ như hình 3 [7].

Bước 2: Sau khi in xong, bàn in sẽ được tháo ra khỏi máy in 3D SLA và được gá đặt vào máy Form Wash để làm sạch nhựa bằng dung môi IPA trong 20 phút (thời gian này được khuyến cáo bởi Formlabs cho nhựa Rigid 10K).

Bước 3: Sấy UV. Sau khi quá trình rửa mẫu in hoàn tất, mẫu được lấy ra khỏi bàn in trước khi đến công đoạn sấy tia UV để tăng độ cứng cho lòng khuôn in 3D. Sấy ở mức nhiệt 60 độ và trong 60 phút [5].

Bước 4: Ủ nhiệt bổ sung. Ủ nhiệt bổ sung để giảm khả năng biến dạng nhiệt cho chi tiết được in với nhiệt độ 90°C trong thời gian 125 phút [5].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả mẫu sau khi ép

3.1.1. Ngoại quan

Sau 50 chu kỳ ép, kết quả thu được mẫu 30%EVA + PA6 được ép bằng khuôn in 3D có ngoại quan tương tự với mẫu được ép bởi khuôn kim loại [6]. Tuy nhiên, quan sát Hình 8 thấy có ba-via xuất hiện xung quanh các mẫu ép do khuôn chưa kín trong quá trình phun. Nguyên nhân của lỗi này có thể là do quá trình xử lý hệ thống đỡ chi tiết in chưa phẳng hoặc hóc dulong

để lắp ghép trên vỏ khuôn gia công chưa phẳng.

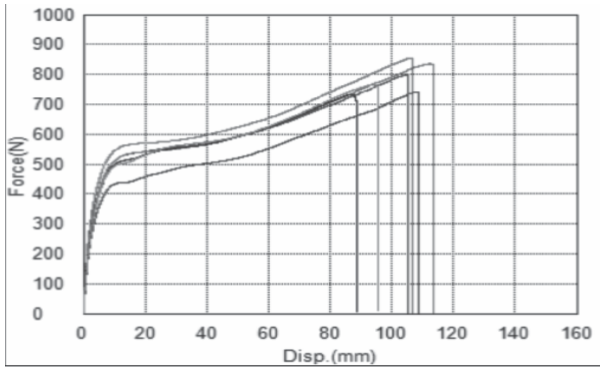


Hình 8. Sản phẩm sau khi ép

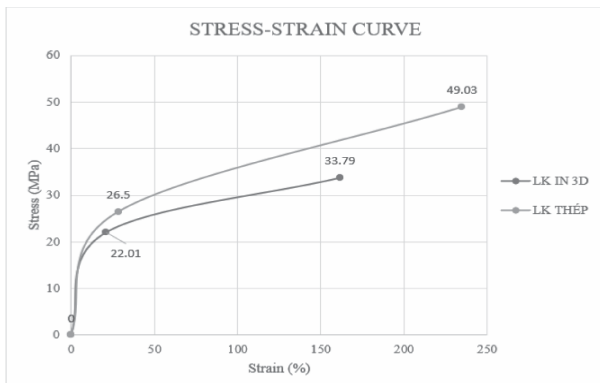
3.1.2. Độ bền kéo

Đồ thị biến dạng của các mẫu chịu kéo đo được trong quá trình thí nghiệm thu được có hình dạng của một biểu đồ nhựa dẻo thông thường (Hình 9), mẫu bị kéo đứt nằm trong khoảng đứt cho phép với độ giãn dài trung bình của mẫu chịu kéo là 105.10 mm, nhỏ hơn 15.72 mm của mẫu được ép bằng khuôn kim loại. Lý do khả năng chịu kéo của mẫu được ép bằng khuôn in 3D là do tốc độ giải nhiệt của khuôn nhựa chậm hơn khuôn kim loại. Vì vậy, thời gian làm nguội sẽ dài hơn và đó là nguyên nhân dẫn đến độ bền kéo của mẫu trong nghiên cứu này nhỏ hơn mẫu truyền thống [8]. Đây nhược điểm lớn cần phải được nghiên cứu khắc phục khi sử dụng tấm lòng khuôn bằng nhựa in 3D.

Biểu đồ so sánh các đường cong ứng suất – biến dạng (Hình 10) đưa ra kết quả đo được thấp hơn khi so sánh với sản phẩm từ khuôn truyền thống với hai thông số lần lượt là: ứng suất tại điểm đứt là 33.79 MPa so với 49.03 MPa và ứng suất điểm chảy là 22.01 MPa so với 26.5 MPa. Điều này tiếp tục cho thấy thời gian nguội của khuôn in 3D sẽ ảnh hưởng đáng kể đến cơ tính sản phẩm nhựa nói chung và độ bền kéo nói riêng, vì thế cần tiếp tục nghiên cứu để khắc phục vấn đề này.



Hình 9. Kết quả độ biến dạng của các mẫu ép.



Hình 10. Biểu đồ so sánh đường cong ứng suất – biến dạng giữa hai loại khuôn.

4. KẾT LUẬN

Ứng dụng in 3D vào khuôn ép phun để chế tạo lòng khuôn cho việc sản xuất cho các sản phẩm nhựa có sản lượng hoặc sản xuất thử nghiệm trước khi đưa vào sản xuất hàng loạt là điều cần thiết. Và trong nghiên cứu cũng cho thấy rằng:

- Việc thiết kế và chế tạo khuôn ép nhựa kết hợp giữa vỏ khuôn kim loại và tấm lòng khuôn in 3D cho loạt sản xuất nhỏ sẽ tiết kiệm vật liệu, thời gian và sự chủ động trong việc sản xuất.

- Lòng khuôn được in từ nhựa Rigid 10K có khả năng đáp ứng được các điều kiện ép phun sản phẩm nhựa có sản lượng nhỏ.

- Sau 50 lượt sản phẩm được ép, độ bền lòng khuôn vẫn được đảm bảo. Bên cạnh đó có

thể thay đổi thông số, quy trình in và xử lý sau in để cải thiện thêm cơ tính của khuôn in 3D SLA.

- Chất lượng ngoại quan sản phẩm ép tương đồng với sản phẩm được ép bằng khuôn kim loại.

- Tuy nhiên, các chỉ số về độ bền kéo nhỏ hơn nhiều so với khuôn truyền thống do thời gian nguội trong khuôn còn quá lớn. Cần xem xét để cải thiện vấn đề này ở các nghiên cứu tiếp theo.

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 thực hiện nghiên cứu này thông qua đề tài mã số SV2023-95. ❖

Ngày nhận bài: 25/9/2023

Ngày phản biện: 16/10/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez, "A Review of Additive Manufacturing", International Scholarly Research Notices, vol. 2012, 2012, 10 trang.
- [2]. Formlabs, "Low – Volume Rapid Injection Molding With 3D Printed Molds", formlabs.com, 2020, <https://3d.formlabs.com/injection-molding>, 06/06/2023.
- [3]. Formlabs, "Grey Pro Technical Data sheet", formlabs.com, 2020, <https://formlabs.com/asia/materials/standard/#grey-pro-resin>, 6/6/2023.
- [4]. Formlabs, "High Temp Technical Data sheet", formlabs.com, 2020, <https://formlabs.com/asia/materials/jewelry/#high-temp>, 6/6/23.
- [5]. Formlabs, "Rigid 10K Technical Data sheet", formlabs.com, 2020, <https://formlabs.com/asia/materials/rigid>, 6/6/2023.
- [6]. Minh-Nhat Nguyen, Quy-Long Nguyen, Ngoc-Thien Tran, "A Study of The Tensile Strength for The Mixing Ratio of Eva in PA6/EVA Blends", Proceeding of 6th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 2022, page 482-485.
- [7]. Michaela Tayag Espino, Brian Jumaquio Tuazon, Gerald Sanqui Robles, John Ryan Cortez Dizon (2020), "Application of Taguchi Methodology in Evaluating the Rockwell Hardness of SLA 3D Printed Polymers", Material Science Forum, vol.1055, 2020, page 166-173.
- [8]. Muhammad Khan, S. Kamran Afaq, Nizar Ullah Khan, and Saboor Ahmad, "Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design", International Scholarly Research Notices, vol. 2014, 2014, 8 pages.