ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MOLDFLOW TRONG MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH ÉP PHUN NHỰA

APPLICATION OF MOLDFLOW SIMULATION IN PLASTIC INJECTION MOLDING PROCESSES

Nguyễn Thị Hiên[1*], Hoàng Long[2]

[1] Khoa Cơ - Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

[2]Sinh viên Khoa Cơ - Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

Ngày nhận bài: 03/4/2023 Ngày chấp nhận đăng: 04/7/2023, Phản biện: TS. Nguyễn Hồng Lĩnh

Tóm tắt:

Bài báo trình bày ứng dụng phần mềm Moldflow để mô phỏng dòng chảy của nhựa trong quá trình ép phun sản phẩm. Với chi tiết ép phun là miếng ghép hình lego sử dụng nhựa ABS XR-409, kết quả mô phỏng được thể hiện trực quan với hình ảnh 3D của sản phẩm hoặc ở dạng đồ thị cung cấp cái nhìn tổng quát, từ đó có thể phân tích các thông số, đưa ra nhận định nhằm tối ưu hóa trong thiết kế cũng như trong quá trình gia công. Kết quả mô phỏng sẽ là cơ sở quan trọng trong thiết kế, chế tạo khuôn và ép phun sản phẩm trong thực tế.

Từ khóa:

Moldflow, ép phun, mô phỏng.

Abstract:

This paper presents an application of Moldflow software in simulating the flow of plastic in injection molding process. ABS XR-409 plastic is used for the products of lego jigsaw, the simulation results are intuitively shown with 3D images of the product or in the form of graphs that provides useful information about injection molding process. From that, we can analyze and optimize in design as well as machining process. These will be important bases for the design, manufacture of molds and plastic injection molding in reality.

Keywords:

Moldflow, injection molding, simulation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, sản phẩm nhựa rất đa dạng và ngày càng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực do tính chất ưu việt của nhựa về màu sắc, chất lượng, độ bền… kéo theo đó là các lĩnh vực tạo hình và chế tạo các sản phẩm từ nhựa cũng phát triển, trong đó phải kể đến ngành công nghiệp chế tạo khuôn cho các sản phẩm với đủ kiểu dáng, kích cỡ, chủng loại… phục vụ cho đời sống con người cũng như các lĩnh vực sản xuất.

Trong lĩnh vực sản xuất nhựa, ép phun là một công nghệ phổ biến nhất để tạo ra các sản phẩm, chi tiết nhựa [1], [2]. Quy trình ép phun diễn ra bằng cách bơm nhựa nhiệt dẻo vào khuôn với áp lực cao để tạo hình sản phẩm. Việc tạo các sản phẩm, chi tiết có biến dạng phức tạp sẽ kéo theo sự phức tạp của lòng khuôn và lõi khuôn, dẫn đến việc gia công khuôn theo các phương pháp truyền thống gặp rất nhiều khó khăn. Hơn nữa, việc chế tạo khuôn còn phụ thuộc rất nhiều vào trình độ người thợ, thời gian chế tạo khuôn dài và độ chính xác lòng khuôn không cao. Cùng với sự phát triển của khoa học - kỹ thuật, các công nghệ gia công mới cũng phát triển rất mạnh, một loạt các phần mềm máy tính ra đời, hỗ trợ mạnh mẽ trong việc giải quyết các vấn đề kỹ thuật của các ngành sản xuất. Đặc biệt, trong lĩnh vực gia công khuôn mẫu và ép phun nhựa, sự hỗ trợ của các phần mềm máy tính đã giải quyết được các khó khăn trước đây và đem lại hiệu quả kinh tế cao [3], [4].

Mô phỏng là quá trình phát triển mô hình hoá để giả lập quá trình hoạt động của đối tượng nghiên cứu trong điều kiện hoạt động giống hoặc tương tự môi trường làm việc thực tế. Thay cho việc phải thực hiện trên đối tượng thực, cụ thể mà nhiều khi là không thể tiến hành hoặc tiến hành được nhưng tốn kém, người ta mô hình hoá đối tượng đó bằng phần mềm, trong phòng thí nghiệm và thực hiện nghiên cứu đối tượng dựa trên mô hình này. Công nghệ mô phỏng có thể mang lại nhiều lợi ích như tiết kiệm thời gian, chi phí, nguyên vật liệu, tránh được những rủi ro, nguy hiểm trong điều kiện thực, giảm tác động xấu tới môi trường…

Moldflow là một công cụ mô phỏng mạnh trong lĩnh vực ép phun nhựa [2], [5], [6], [7], [8]. Với thư viện đồ sộ, Moldflow cho phép mô phỏng chính xác và trực quan dòng chảy của nhựa trong khuôn, từ đó phân tích, đưa ra nhận định và tối ưu hóa quá trình. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ tập trung nghiên cứu sử dụng moldflow trong mô phỏng quá trình ép phun với sản phẩm là miếng ghép hình lego, sử dụng nhựa ABS XR-409. Kết quả mô phỏng cung cấp cái nhìn đầy đủ, trực quan về quá trình ép phun (quá trình điền đầy, quá trình gia áp, quá trình đông đặc,…). Đây sẽ là cơ sở quan trọng trong thiết kế, gia công, chế tạo khuôn và ép phun sản phẩm trong thực tế.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Công nghệ ép phun [1], [2]

Công nghệ ép phun nhựa là quá trình phun nhựa nóng chảy điền đầy lòng khuôn. Hình dạng của khuôn sẽ tạo ra hình dạng của sản phẩm. Sau khi được định hình và làm nguội trong lòng khuôn, khuôn được mở ra và sản phẩm được đẩy ra khỏi khuôn. Quá trình được lặp lại theo chu kỳ. Thời gian chu kỳ phụ thuộc vào kích thước, trọng lượng của sản phẩm, nhiệt độ của nước làm mát và hiệu quả của hệ thống làm mát (nếu có). Chất lượng và năng suất của sản phẩm phụ thuộc vào chất lượng máy ép phun, đặc biệt là chất lượng của khuôn mẫu.

2.2. Phần mềm Moldflow

Moldflow là phần mềm mô phỏng được

Công ty Autodesk (USA) phát triển năm 2008. Với khả năng mô phỏng chính xác và trực quan quá trình điền đầy nhựa vào lòng khuôn, thiết kế các bộ phận, moldflow cho phép người dùng kiểm soát các chuỗi phân tích, bố cục khuôn, vật liệu và tối ưu hóa quá trình. Đây là một trong những công cụ hỗ trợ mô phỏng dòng chảy tốt nhất trong lĩnh vực ép phun nhựa, đặc biệt là trong quá trình thiết kế khuôn ép nhựa [2], [5], [6], [7], [8].

Trước khi Moldflow và một số phần mềm mô phỏng dòng chảy nhựa ra đời, người thiết kế làm khuôn thường dựa vào yếu tố kinh nghiệm để thiết kế. Điều này dẫn đến những sai sót tiềm ẩn và không ổn định.

Ngày nay, việc sử dụng các phần mềm mô phỏng giúp người làm khuôn có được một cái nhìn trực quan hơn trong quá trình điền đầy nhựa nóng chảy vào lòng khuôn, từ đó có thể phân tích các khuyết tật, tối ưu hóa thiết kế, tránh được những rủi ro không đáng có.

2.3. Vật liệu nghiên cứu

- ***Vật liệu ép phun***

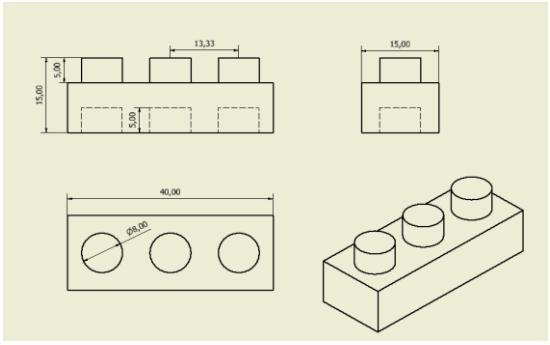
Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu là nhựa ABS XR-409 có nhiệt độ nóng chảy: 260^{o}C, nhiệt dung riêng: 1887 J/kg.^{o}C, độ dẫn nhiệt 0,13 W/m.^{o}C. Với loại nhựa này, các thông số của quá trình ép phun được khuyến cáo:

- Nhiệt độ bề mặt khuôn: 40-80℃ ;
- Nhiệt độ nóng chảy: 240-280℃ ;
- Nhiệt độ nóng chảy tối đa: 300℃.

Các thông số này có thể điều chỉnh khi vận hành thực tế để đạt được tốc độ và kết quả ép phun mong muốn. Tuy nhiên, điều này đòi hỏi kinh nghiệm và tay nghề của người vận hành. Nếu chúng ta tăng nhiệt độ của bề mặt khuôn (mold surface temperature) thì quá trình điền đầy khuôn sẽ tốt hơn nhưng thời gian làm nguội sẽ dài, làm cho chu kỳ ép phun lâu hơn. Nếu nhiệt độ nóng chảy (melt temperature) cao thì nhựa sẽ bị loãng hơn, tính dẻo và độ nhớt thấp nên sẽ dễ điền đầy lòng khuôn nhưng năng lượng tiêu hao nhiều hơn, nhiệt độ nóng chảy cao quá còn có thể dẫn đến cháy nguyên liệu. Ngược lại, nếu nhiệt độ nóng chảy thấp, tiêu thụ ít năng lượng hơn nhưng làm cho độ nhớt của nhựa cao khiến quá trình điền đầy khuôn chậm hoặc không thể điền đầy khuôn [7].

Với loại nhựa được sử dụng trong nghiên cứu (ABS XR-409), nhiệt độ để có thể lấy sản phẩm ra khỏi khuôn mà không bị biến dạng (ejection temparature) là 125℃, nếu để sản phẩm nguội hơn, chi tiết sẽ cứng hơn, khả năng bị biến dạng ít hơn, tuy nhiên thời gian làm nguội và do đó, chu kỳ ép phun sẽ dài ra, dẫn đến năng suất giảm xuống.

- ***Sản phẩm nhựa ép***



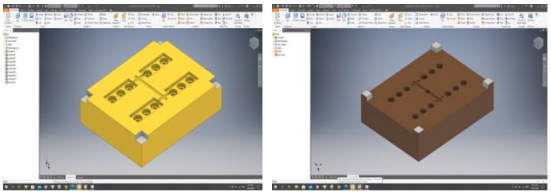
Hình 1. Kích thước và hình dáng sản phẩm lego

Sản phẩm được lựa chọn trong nghiên

cứu là miếng ghép hình lego có hình dáng và kích thước như trên Hình 1.

- ***Loại khuôn***

Khuôn được sử dụng trong nghiên cứu là loại khuôn 2 tấm, bao gồm một tấm cố định (khuôn âm) và một tấm di chuyển (khuôn dương) như mô tả trên Hình 2.



a) b)

Hình 2. Thiết kế 3D của khuôn dương (a) và khuôn âm (b)

- ***Vật liệu làm khuôn***

Vật liệu làm khuôn ảnh hưởng rất lớn tới quá trình ép bởi khả năng dẫn nhiệt khác nhau của chúng [9]. Trong nghiên cứu, khuôn được chế tạo từ vật liệu thép S50C, có khả năng chịu nhiệt cao, bề mặt kháng lực tốt cũng như khả năng đánh bóng tốt. Các thông số cơ bản của vật liệu thép S50C [9]:

- Khối lượng riêng của vật liệu: 7,85 g/cm^3;

- Nhiệt dung riêng của vật liệu: 480 J/kg.^{o}C;

- Độ dẫn nhiệt của vật liệu: 49,8 W/m.^{o}C;

- Độ đàn hồi: 30458 MPa;

- Tỉ số biến dạng: 0,3.

- ***Loại máy ép nhựa***

Máy ép nhựa được sử dụng trong nghiên cứu là máy Battenfeld BA 2700/1900 BK trong thư viện của phần mềm Moldflow với các thông số cơ bản: đường kính trục vít: 65 mm, hành trình phun tối đa: 325 mm, áp suất phun tối đa: 17,5 MPa, năng suất phun tối đa: 360 cm^3/s.

2.4. Thông số quá trình mô phỏng

Quá trình mô phỏng ép phun sử dụng nhựa ABS XR-409 với máy ép Battenfeld BA 2700/1900 BK, các thông số được thiết lập như sau:

- Nhiệt độ bề mặt khuôn: 60℃;

- Nhiệt độ nóng chảy: 260℃;

- Áp suất phun tối đa: 177,173 Mpa;

- Lực kẹp tối đa: 275,238 tấn.

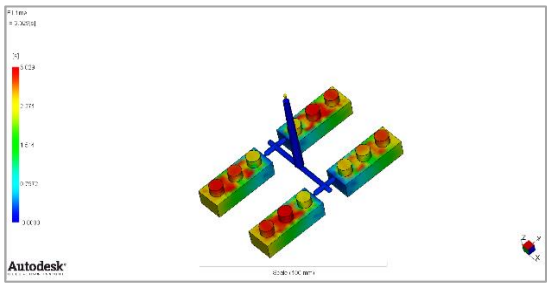
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Mô phỏng quá trình điền đầy

Các mô hình 3D của chi tiết và khuôn được thiết kế bằng phần mềm Inventor, sau đó sử dụng phần mềm Moldflow để chia lưới theo phương pháp Dual Domain với 5041 phần tử. Sau khi thiết kế hệ thống dẫn vật liệu, thiết lập các dữ liệu cần thiết liên quan đến quá trình ép phun, chọn Start Analyst để phần mềm Moldflow mô phỏng quá trình ép phun nhựa. Kết quả mô phỏng quá trình ép phun cụ thể như sau:

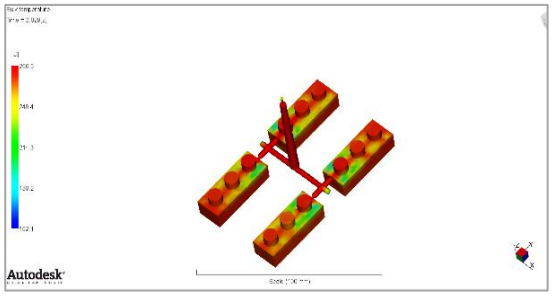
- ***Thời gian điền đầy (Fill time)***: Kết quả mô phỏng ở Hình 3 cho thấy, nhựa được đổ đầy dần vào khuôn từ cuống phun theo kênh dẫn và lấp dần từ dưới lên trên. Những góc trên cùng và xa cuống phun có thời gian điền đầy dài nhất là 3,029 s. Thời gian điền đầy ngắn nhất là từ cuống phun xuống tới kênh dẫn. Dòng chảy được cân bằng, thể hiện nhựa được điền

đầy như nhau ở tất cả các lòng khuôn.



Hình 3. Kết quả mô phỏng thời gian điền đầy

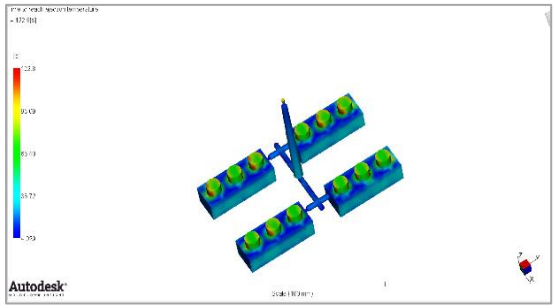
- ***Nhiệt độ dòng chảy (Bulk temperature)***: Hình 4 cho thấy nhiệt độ của khuôn sau khi quá trình điền đầy hoàn thành không có quá nhiều khác biệt, mức nhiệt khá đồng đều, dao động từ 250-260℃. Điều này có thể lý giải được là do chi tiết ép phun có kích thước không lớn, nên hành trình để nhựa lỏng điền đầy khuôn không dài, không phân tán nhiều nhiệt lượng do quãng đường đi ngắn. Ngoài ra, do vật liệu ép phun là nhựa ABS - XR409 có yêu cầu lượng nhiệt lớn để có thể nung chảy nên sau khi hoàn thành quá trình điền đầy, vật liệu vẫn còn duy trì ở nhiệt độ cao.



Hình 4. Kết quả mô phỏng nhiệt độ dòng chảy

- ***Thời gian cần thiết để tách sản phẩm khỏi khuôn (Time to reach ejection temperature)***:

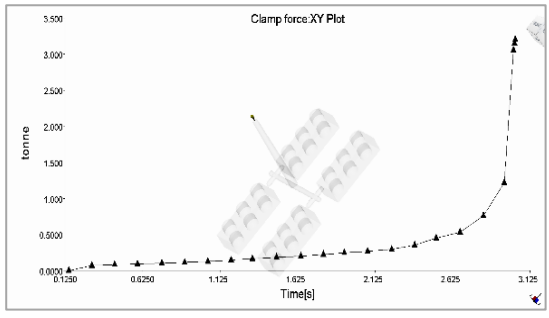
Kết quả mô phỏng ở Hình 5 cho thấy thời gian cần thiết để sản phẩm đạt được nhiệt độ có thể lấy ra khỏi khuôn là 122,8 s. Phần mất nhiều thời gian làm nguội nhất nằm ở khu vực hình thành các răng ăn khớp hình tròn của chi tiết lego, mức thời gian nằm trong khoảng từ 63,4 tới 122,8s, những phần còn lại của chi tiết đều nguội rất nhanh và đồng đều với chỉ 4,029 tới 33,72 s là có thể tách ra được khỏi khuôn.



Hình 5. Kết quả mô phỏng thời gian để lấy sản phẩm ra khỏi khuôn

Có thể thấy, thời gian để phần chi tiết răng khớp hình tròn có thể tách ra được khỏi khuôn lên tới 122,8 s sẽ ảnh hưởng rất lớn đến chu kỳ ép phun, và dẫn tới làm giảm năng suất của máy. Để khắc phục được nhược điểm trên, ta cần thiết kế các kênh dẫn làm mát đi qua phần chi tiết răng ăn khớp của chi tiết để cắt giảm được lượng thời gian chờ cho sản phẩm nguội, giúp máy hoạt động năng suất hơn.

- ***Lực kẹp (Clamp force)***:

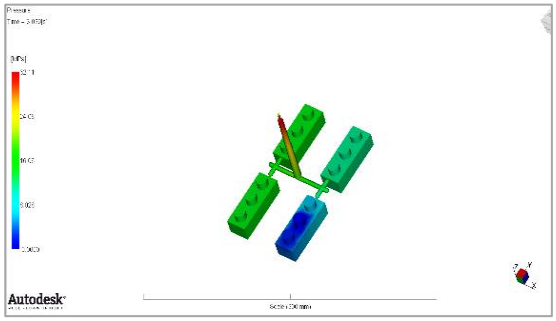


Hình 6. Biểu đồ lực kẹp

Biểu đồ lực kẹp thể hiện trên hình 6 cho thấy lực kẹp sẽ tăng dần theo thời gian phun. Ở cuối quá trình điền đầy, áp suất tác dụng lên lòng khuôn sẽ rất lớn khiến cho các nửa khuôn có thể bị tách rời nhau ra. Vì vậy, máy cũng cần phải sinh ra lực kẹp lớn để có thể giữ khuôn được ổn định với lực kẹp lên tới xấp xỉ 3,5 tấn ở giây thứ ba của quá trình ép phun.

- ***Áp suất phun (Pressure)***:

Kết quả mô phỏng hình 7 thể hiện áp suất của vòi phun khi bắt đầu quá trình phun nhựa vào khuôn và giảm dần về mức 0 khi kết thúc hành trình lấp đầy khuôn.

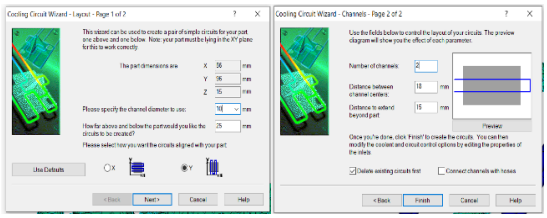


Hình 7. Kết quả mô phỏng áp suất phun ép nhựa

Phần áp suất cao nhất được biểu thị ở phần vòi phun đạt 32,11 MPa và cuống phun lạnh 24,08 MPa. Nhựa nóng chảy luôn di chuyển theo hướng của gradient áp suất âm, từ áp suất cao đến nơi có áp suất thấp. Do đó, áp suất cao nhất xảy ra tại vị trí vòi phun và áp suất nhỏ nhất xảy ra ở đầu dòng chảy nhựa trong giai đoạn điền đầy. Khi nhựa chạy dần quanh khuôn và lấp dần các khoảng trống thì áp suất cũng đã giảm dần theo hành trình của nhựa. Có thể thấy cột màu thể hiện áp suất của từng sản phẩm (cột bên trái) có sự chênh lệch, không đều nhau.

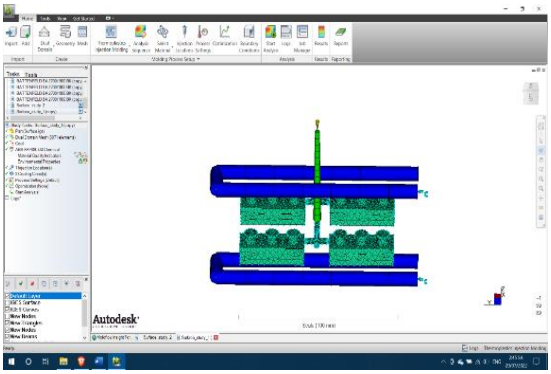
3.2. Mô phỏng quá trình làm mát

Nhựa ABS - XR409 có nhiệt độ hóa lỏng khá cao (trong nghiên cứu nhiệt độ hóa lỏng được thiết lập là 260°C). Vì vậy, thời gian cần thiết cho sản phẩm nguội một cách tự nhiên và có thể tách ra khỏi khuôn khá lâu, ảnh hưởng trực tiếp tới năng suất của máy. Kết quả mô phỏng đã cho thấy: thời gian làm nguội lớn nhất lên tới 122,8 s. Để có thể giảm chu kỳ ép phun (tăng năng suất máy), ta cần khắc phục nhược điểm đó bằng cách thiết kế thêm hệ thống làm mát cho khuôn. Phương án làm mát tự động được nhóm thiết kế bằng cách đưa nước chảy bên trong hai tấm khuôn và lưu thông một cách liên tục để tăng tốc độ làm mát, từ đó nâng cao năng suất của máy. Hệ thống làm mát bằng nước được thiết kế với 2 kênh làm mát song song theo trục Y có đường kính kênh: 10 mm, khoảng cách giữa các kênh là 18 mm, khoảng cách giữa mặt phẳng của kênh làm mát tới chi tiết là 19,25 mm như mô tả ở Hình 8 và Hình 9. Nhiệt độ nước đầu vào là 25^{o}C, lưu lượng nước bơm vào là 5 lít/phút.



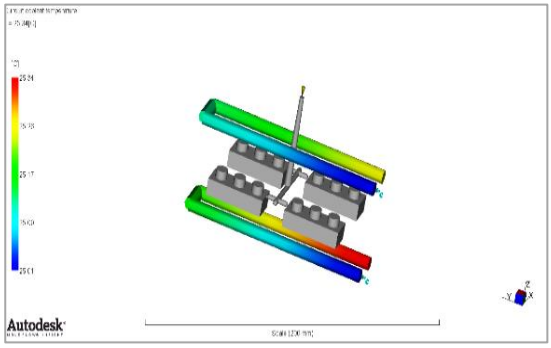
Hình 8. Thông số thiết kế hệ thống làm mát

Sau khi thiết kế kênh làm mát, chọn Start Analyst để phần mềm Moldflow mô phỏng quá trình làm mát. Kết quả mô phỏng cụ thể như sau:



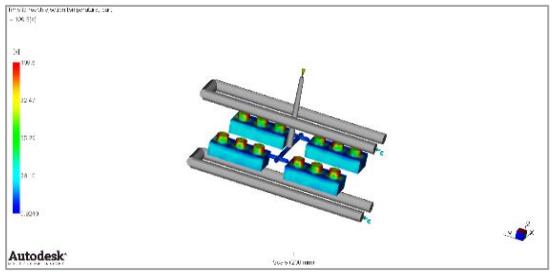
Hình 9. Hệ thống làm mát sau khi thiết kế

- ***Nhiệt độ của nước trong kênh làm mát (Circuit coolant temperature)***: Nhiệt độ nước đầu vào kênh làm mát là 25,01℃ còn đầu ra là 25,34℃ được thể hiện trên hình 10. Độ chênh lệch nhiệt độ là 0,33℃, không vượt 3℃ nên hệ thống làm mát thiết kế đạt yêu cầu kỹ thuật.



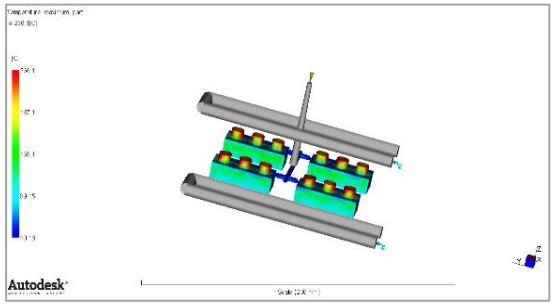
Hình 10. Nhiệt độ của nước trong kênh làm mát

- ***Thời gian cần thiết để có thể tách sản phẩm ra khỏi khuôn (Time to reach ejection temperature)***: Kết quả mô phỏng trên hình 11 cho thấy thời gian để có thể lấy sản phẩm ra khỏi khuôn mà không bị biến dạng sau khi có thêm hệ thống 2 kênh làm mát bằng nước đã giảm từ 122,8 s xuống còn 109,6 s. Ở những phần chi tiết đơn giản hơn chỉ mất 0,924 s để đông cứng và có thể tách ra được.



Hình 11. Thời gian cần thiết để lấy sản phẩm khỏi khuôn sau khi có kênh làm mát

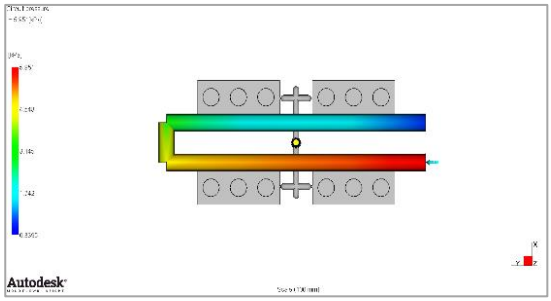
- ***Nhiệt độ trên chi tiết (Tempearture, maximum, part)***: Hình 12 cho thấy nhiệt độ lớn nhất trên chi tiết sau khi có kênh làm mát là 236,1℃, nhiệt độ thấp nhất là 40,16℃. Có thể thấy chi tiết nguội không đồng đều, những khu vực có màu xanh là khu vực được tiếp xúc nhiều với khuôn nên sẽ nguội nhanh hơn, nhiệt độ thấp hơn, những phần màu xanh dương đậm là những phần được lấp đầy cuối cùng và cũng được tiếp xúc với bề mặt khuôn nhiều nhất là những phần nguội nhanh nhất. Còn những phần chi tiết răng khớp tròn của lego là những phần đỏ đậm (có nhiệt độ cao nhất) là những phần tỏa nhiệt nhiều, tập trung nhiệt nhiều nhưng tỏa nhiệt không tốt, tiếp xúc với khuôn ít nên nhiệt độ cao hơn.



Hình 12. Nhiệt độ trên chi tiết

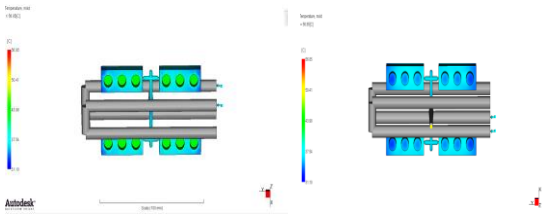
- ***Áp suất trong hệ thống kênh làm mát (Circuit pressure)***: Trong kênh làm mát, áp suất đầu vào luôn cao hơn áp suất đầu

ra. Khi nước được phun vào, áp suất của nước sẽ cao nhất với giá trị 5,951 kPa, hành trình đi qua kênh làm mát khiến cho áp suất của nước bị giảm và đạt mức thấp nhất ở đầu ra là 0,3395 kPa (Hình 13).



Hình 13. Áp suất trong hệ thống kênh làm mát

- ***Nhiệt độ của bề mặt làm khuôn (Temperature, mold)***: Trong quá trình hình thành sản phẩm, chi tiết nhựa đúc sẽ ôm lấy lõi (khuôn dương) nên nhiệt độ bề mặt của lõi hay nhiệt độ bề mặt của khuôn dương sẽ luôn lớn hơn so với nhiệt độ bề mặt của khuôn âm. Kết quả mô phỏng biểu diễn trên Hình 14 cho thấy phần chi tiết khớp răng tròn ôm lấy khuôn dương tập trung nhiệt nhiều hơn những phần còn lại của chi tiết lego, không gian kín hơn và tiếp xúc với bề mặt khuôn ít nên tỏa nhiệt không tốt, nhiệt độ nằm ở mức 43,98℃ (Hình 14a). Còn bề mặt bên khuôn âm được tiếp xúc và tản nhiệt tốt hơn nên nhiệt độ thấp hơn (Hình 14b).



a) **b)**

Hình 14. Nhiệt độ bề mặt của khuôn dương (a) và khuôn âm (b)

3.3. Nhận xét, đánh giá

Qua những kết quả mô phỏng trên, có thể rút ra một số thông số của quá trình ép phun, dùng nhựa ABS - XR409 với chi tiết là miếng ghép hình lego:

- Thời gian điền đầy sản phẩm: 3,029 s;

- Nhiệt độ dòng chảy: dao động trong khoảng 250-260^{o}C;

- Áp suất phun lớn nhất: 32,11 Mpa;

- Lực kẹp tối đa: 3,5 tấn;

- Thời gian có thể lấy sản phẩm khi làm mát tự nhiên: 122,8 s, còn khi có 2 kênh làm mát bằng nước thời gian giảm xuống còn 109,6 s.

Hệ thống làm mát đã đáp ứng được những yêu cầu cơ bản của một hệ thống làm mát tự động và đơn giản, có thể hoạt động ổn định trong thời gian dài mà không phát sinh lỗi.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh rằng: việc ứng dụng phần mềm Moldflow vào mô phỏng dòng chảy của nhựa ABS - XR409 trong quá trình ép phun miếng ghép hình lego nói riêng và các sản phẩm nhựa nói chung, giúp các cơ sở sản xuất có thêm nhiều thông tin về các đặc tính vật lý (nhiệt độ, áp suất, lực…) cũng như chu kỳ sản xuất (thông qua thời gian điền đầy, thời gian có thể lấy sản phẩm ra khỏi khuôn...) trong quá trình gia công. Kết quả mô phỏng quá trình ép phun có thể sử dụng làm cơ sở quan trọng giúp đưa ra các nhận định tối ưu hóa quá trình thiết kế và gia công ép phun nhựa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Phạm Sơn Minh & Trần Minh Thế Uyên (2014). Giáo trình Mô phỏng quy trình phun ép nhựa. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.

[2] Đỗ Minh Tâm, Nguyễn Tấn Thịnh, Phạm Xuân Mai, Ngô Quốc Thắng, Phạm Đình Lành (2019). Thiết kế và công nghệ chế tạo khuôn ép phun cho chi tiết linh kiện ô tô. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, số 17 (3), trang 23 - 28.

[3] Đinh Phú Công (2013). Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật CAD/CAM trong chế tạo khuôn mẫu chính xác. Luận văn Thạc sỹ khoa học, Đại học Bách khoa Hà Nội.

[4] Nguyễn Hữu Lộc (2010). Kỹ thuật CAD/CAE. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

[5] Piotr Tutak (2017). Application of Moldflow simulation in injection molding of plastic tank. JACSM 2017, Vol. 9, No. 1, pp. 79 - 88.

[6] Salunke M.D., R. Kate, and V. Lomate (2017). Injection molding methods design, analysis and Simulation of plastic cup by mold flow analysis. International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR), Vol. 4(6), pp. 4 - 8.

[7] Vijaykumar V.A. and S.R. Dulange (2017). Injection molding methods design, optimization, simulation of plastic flow reducer part by mold flow analysis. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 4(06), pp. 1742 – 1746.

[8] Chandrashekhar N.S. and S.S. Shinde (2019). Simulation and analysis of step light mid part using mold flow analysis. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 06(05), pp. 6333 - 6340.

[9] Nguyễn Thành Công, Nguyễn Chí Bảo, Nguyễn Như Tùng, Phạm Thị Thiều Thoa, Nguyễn Văn Cảnh, Hoàng Tiến Dũng (2021). Dự đoán ảnh hưởng của chế độ cắt, lưu lượng và áp suất bôi trơn tối thiểu đến lực cắt và nhám bề mặt khi phay vật liệu thép S50C tôi trên trung tâm gia công CNC 5 trục. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Vol. 57, No. 5, pp. 63 - 70

Giới thiệu tác giả:

Tác giả Nguyễn Thị Hiên tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam vào các năm 2000 và 2002; nhận bằng Tiến sĩ ngành mô hình hóa và điều khiển hệ thống tại Trường Đại học Kanazawa University, Nhật Bản năm 2013. Hiện nay tác giả công tác tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

Hướng nghiên cứu chính: điều khiển hệ thống, điều khiển truyền động điện, ứng dụng các phần mềm trong mô phỏng và điều khiển các hệ thống cơ điện tử.

Tác giả Hoàng Long là sinh viên ngành công nghệ kỹ thuật cơ điện tử của Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

Lĩnh vực nghiên cứu quan tâm: hệ cơ điện tử và các phần mềm mô phỏng, điều khiển hệ thống cơ điện tử.