

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY NHỰA BẰNG PHẦN MỀM NX: SO SÁNH CỔNG PIN POINT VÀ SIDE GATE

STUDY ON PLASTIC FLOW SIMULATION USING NX SOFTWARE: COMPARISON OF PIN POINT GATE AND SIDE GATE

Trương Chí Công*, Trần Quang Giang, Chu Văn Hiếu, Vũ Trọng Nam, Nguyễn Việt Anh

Trường Cơ khí – Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: truongchicong@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng dòng chảy nhựa của một chi tiết mẫu trên phần mềm NX EasyFill (công nghệ Moldex3D) với hai phương án cổng phun khác nhau: cổng điểm (Pin Point Gate) ở trung tâm sản phẩm và cổng cạnh (Side Gate) ở rìa sản phẩm. Kết quả mô phỏng cho thấy phương án Side Gate cho thời gian điền đầy ngắn hơn (0,65 s so với 0,76 s) nhưng đòi hỏi áp suất phun lớn hơn (khoảng 81,7 MPa so với 49,4 MPa), đồng thời dẫn tới dòng chảy lệch và ứng suất trượt cao hơn. Trong khi đó, phương án Pin Point Gate mang lại dòng chảy cân bằng hơn và tổn hao nhựa tối thiểu, nhưng gây xuất hiện vết phun ở mặt sản phẩm và nguy cơ nghẹt khí trên bề mặt. Dựa trên phân tích ưu nhược điểm, nhóm nghiên cứu chọn phương án Side Gate để đảm bảo tính thẩm mỹ sản phẩm.

Từ khóa: NX EasyFill; Mô phỏng dòng chảy nhựa; Cổng phun Pin Point; Cổng phun Side Gate; Đặc tính vật liệu nhựa.

ABSTRACT

The article presents the results of plastic flow simulation of a sample part on NX EasyFill software (Modex3D technology) with two different injection gate options: Pin Point Gate in the center of the product and Side Gate at the edge of the product. The simulation results show that the Side Gate option gives a shorter filling time (0.65s vs. 0.76s) but requires a larger injection pressure (about 81.7MPa vs. 49.4MPa), and also leads to a skewed flow and higher shear stress. Mean while, the Pin Point Gate option provides a more balanced flow and minimal plastic loss, but causes spray marks on the product surface and the risk of air blockage on the surface. Based on the analysis of advantages and disadvantages, the research team chose the Side Gate option to ensure the aesthetics of the product.

Keywords: NX EasyFill; Plastic flow simulation; Pin Point gate; Side Gate; Plastic material properties. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ép phun (injection molding) là một trong những phương pháp chế tạo sản phẩm nhựa phổ biến nhất trong công nghiệp, đòi hỏi quy trình thiết kế khuôn và lựa chọn thông số phức tạp. Việc bố trí cổng phun hợp lý và tối ưu hóa thông số công nghệ là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng sản phẩm nhựa, bao gồm độ đầy khuôn, tạp chất đường hàn (weld line), nghẹt khí (air trap), và ứng suất dư. Phần mềm mô phỏng dòng chảy nhựa (mold flow simulation) là công cụ hỗ trợ đắc lực trong quá trình thiết kế khuôn, giúp dự đoán trước các khuyết tật tiềm ẩn và tối ưu vị trí cổng phun mà không cần phải thử nghiệm vật lý tốn kém. Theo Narowski và Wilczyński [1, 2], chất lượng kết quả mô phỏng phụ thuộc rất mạnh vào dữ liệu đầu vào về vật liệu và thông số quá trình.

Phần mềm Siemens NX cung cấp module EasyFill tích hợp để mô phỏng dòng chảy nhựa ngay trong môi trường thiết kế CAD. NX EasyFill cho phép tạo lưới tự động 3D từ mô hình CAD [3, 4, 5], sử dụng thư viện vật liệu nhựa phong phú (hơn 5000 loại) và mô phỏng đa cửa cổng một cách trực quan. Phần mềm này hỗ trợ đánh giá các hiện tượng như hoàn thành khuôn, áp suất ép, nhiệt độ phôi, đường hàn và nghẹt khí. Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng của một chi tiết nhựa (mẫu ốp điện thoại) với hai vị trí cổng phun: cổng điểm ở trung tâm và cổng cạnh ở rìa. Sau khi phân tích kết quả: thời gian đầy, áp suất phun, vị trí đường hàn/nghẹt khí, nhiệt độ bề mặt, ứng suất trượt, các tác giả đã so sánh ưu, nhược điểm của hai phương án.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

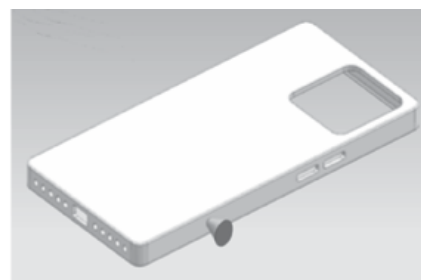
NX EasyFill cho phép người thiết kế dễ

dàng thiết lập mô phỏng chỉ với một vài thao tác, đồng thời hỗ trợ đánh giá các lỗi gia công thông qua mô phỏng và trực quan hóa dòng chảy nhựa. Nhờ tích hợp chặt chẽ với NX, phương pháp này giúp nhanh chóng xác định các khuyết tật tiềm ẩn như short-shot, air trap, weld line và cũng cho phép tối ưu hóa vị trí cổng, thông số phun sớm trong giai đoạn thiết kế. Để đảm bảo tính khách quan, các kết quả mô phỏng được đối chiếu theo tiêu chí kỹ thuật (fill time, gate pressure, melt front temperature, v.v.) cho từng phương án.

Mô hình thử nghiệm được lập trên phần mềm NX với module EasyFill Analysis (công nghệ Moldex3D), sử dụng mô hình CAD chi tiết sản phẩm mẫu ốp điện thoại. Quy trình mô phỏng gồm việc lựa chọn vật liệu nhựa, cổng phun (gate) và các thông số phun ép tiêu chuẩn. NX EasyFill tự động tạo lưới 3D từ mô hình CAD mà không cần thao tác chuyển đổi thủ công, đồng thời cung cấp thư viện vật liệu lớn để chọn (cụ thể các thông số lưu biến, nhiệt của vật liệu).



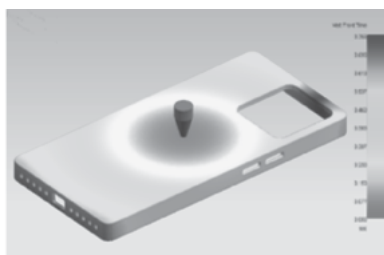
Hình 1. Pin Point Gate đặt tại trung tâm mặt đúc



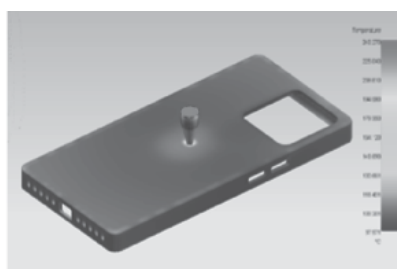
Hình 2. Side Gate đặt ở cạnh sản phẩm

Trong nội dung nghiên cứu này, các tác giả đã thiết lập hai phương án vị trí cổng: (1) Pin Point Gate đặt tại trung tâm mặt đúc (Hình 1); (2) Side Gate đặt ở cạnh sản phẩm (Hình 2). Các điều kiện vận hành như nhiệt độ nóng chảy (gần 240°C), nhiệt độ khuôn ($80\text{-}100^{\circ}\text{C}$) và áp suất phun được giả định giống nhau giữa hai phương án để so sánh tương đối. Sau khi chạy mô phỏng lấp đầy (fill analysis), phần mềm thu thập kết quả các chỉ tiêu: thời gian điền đầy, áp suất tại cổng, nhiệt độ bề mặt sản phẩm khi đầy khuôn, vị trí tiềm ẩn xảy ra nghẹt khí và đường hàn, cũng như ứng suất trượt cực đại trong quá trình đầy đầy.

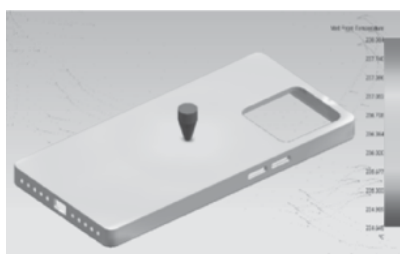
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG



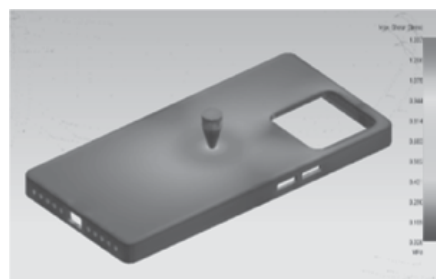
Hình 3. Thời gian điền đầy



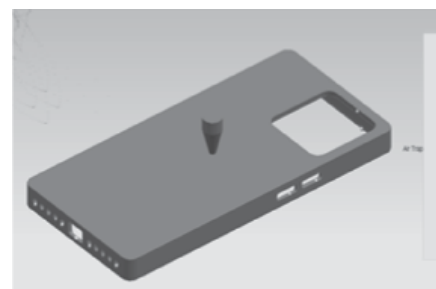
Hình 4. Nhiệt độ bề mặt khi điền đầy



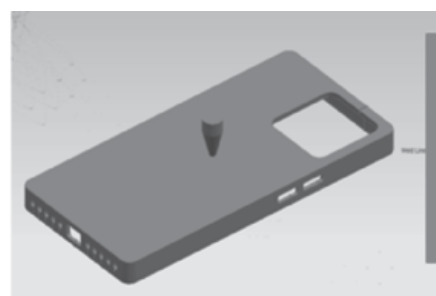
Hình 5. Nhiệt độ khi phun ở mặt trước



Hình 6. Ứng suất trượt tại thời điểm phun



Hình 7. Vị trí nghẹt khí

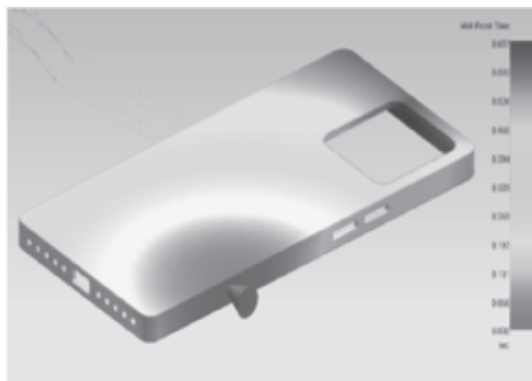


Hình 8. Vị trí đường hàn xuất hiện

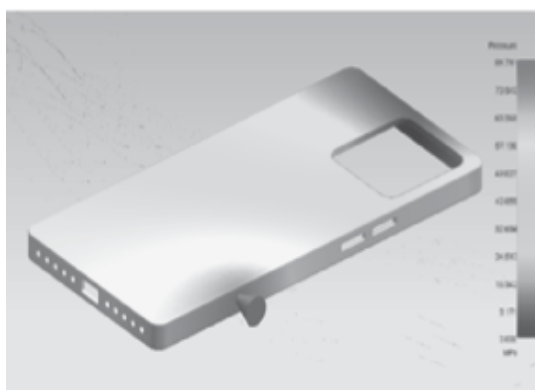
• Phương án 1 – Pin Point Gate: Vị trí cổng phun ở giữa sản phẩm dẫn tới đường đi của dòng chảy dần đều tới các góc. Kết quả cho thấy thời gian điền đầy khuôn khoảng 0,76 s (Hình 3), áp suất phun tại cổng khoảng 49,38 MPa, nhiệt độ bề mặt sản phẩm khi đầy khuôn khoảng 87°C (Hình 4) và nhiệt độ nhựa khi phun ở mặt trước sản phẩm là $235\text{-}237^{\circ}\text{C}$ (Hình 5). Ứng suất trượt cực đại trong sản phẩm tại thời điểm phun khoảng 0,03-0,40 MPa (Hình 6). Mô phỏng cũng nhận diện vị trí tiềm ẩn xảy ra nghẹt khí ở gần mặt trên (Hình 7) và đường hàn xuất hiện đối xứng xung quanh trung tâm sản phẩm (Hình 8). Ưu điểm của phương án này là



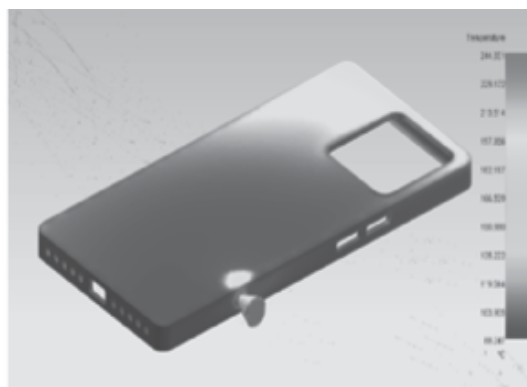
luồng chảy nhựa được điền đầy cân bằng (các góc sản phẩm đầy cùng lúc), kênh dẫn ngắn và hiệu quả vật liệu cao; nhược điểm là đầu phun nằm ở trung tâm mặt sản phẩm, đồng thời có nguy cơ xuất hiện khuyết tật nghẹt khí trên bề mặt (Hình 7).



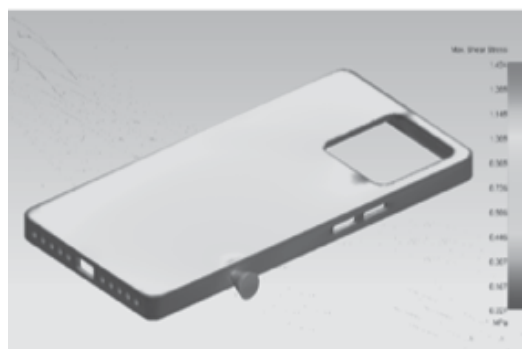
Hình 9. Thời gian điền đầy



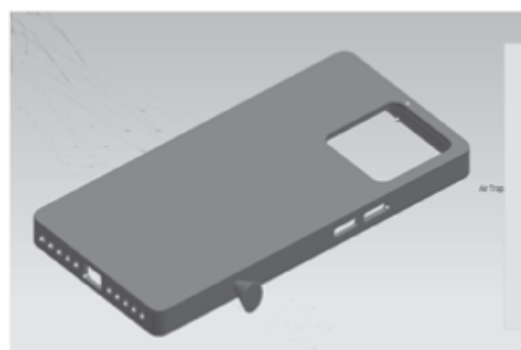
Hình 10. Áp suất trên bề mặt sản phẩm



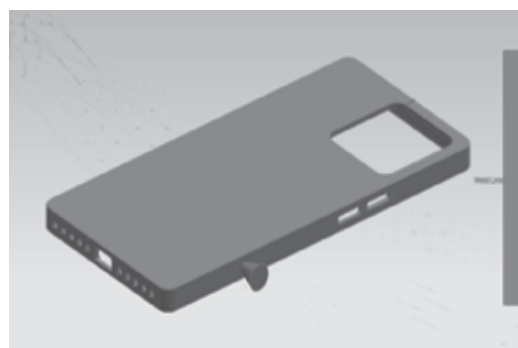
Hình 11. Nhiệt độ bề mặt khi điền đầy



Hình 12. Ứng suất trượt tại thời điểm phun



Hình 13. Vị trí nghẹt khí



Hình 14. Vị trí đường hàn xuất hiện

• Phương án 2 – Side Gate: Vị trí cổng phun ở cạnh sản phẩm tạo luồng chảy lệch về một phía. Thời gian điền đầy giảm xuống 0,65 s (Hình 9), nhanh hơn phương án 1 do khoảng cách ngắn đến các vùng sản phẩm; tuy nhiên áp suất cần thiết tăng lên khoảng 81,71 MPa (Hình 10). Nhiệt độ bề mặt khi đầy đạt 120 °C (Hình 11), lớn hơn đáng kể so với phương án 1, chỉ ra rằng nhiệt độ nhựa cao hơn và dòng chảy bất

cân bằng gây ma sát nhiệt cao hơn. Ứng suất trượt cực đại lên tới 0,50 MPa (Hình 12), cao hơn phương án Pin Point do gradient áp suất lớn. Hình ảnh mô phỏng cho thấy các khuyết tật nghẹt khí được gom về khu vực cuối luồng ở phần lưng sản phẩm (Hình 13), không xuất hiện trên mặt ngoài; đường hàn có xu hướng lệch một phía. Ưu điểm của Side Gate là khắc phục được vấn đề vết phun ở mặt chính của sản phẩm và hạn chế khí bị kẹt ở mặt quan sát được. Nhược điểm là dòng chảy không cân bằng, cần áp suất phun lớn và có thể tạo ra đường hàn không đối xứng (Hình 14).

So sánh giữa hai phương án: phương án Pin Point Gate yêu cầu áp suất thấp hơn và kinh tế tốt hơn (ít hao hụt vật liệu runner hơn), cho luồng chảy cân bằng hơn, tuy nhiên lại để lại vết phun ở chính giữa sản phẩm. Ngược lại, Side Gate rút ngắn thời gian phun nhưng đòi hỏi áp suất phun cao hơn và dòng chảy lệch, đồng thời dòng khí kẹt được gom về phía mặt sau sản phẩm đem lại tính thẩm mỹ cho sản phẩm. Căn cứ kết quả mô phỏng và các tiêu chí thẩm mỹ, nhóm nghiên cứu quyết định ưu tiên phương án Side Gate để đảm bảo tính thẩm mỹ của sản phẩm.

4. THẢO LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy rõ sự đánh đổi giữa hai giải pháp cổng phun. Về thời gian điền đầy, Side Gate giúp giảm khoảng 14 % thời gian so với Pin Point, nhờ luồng phun ngắn hơn. Tuy nhiên, áp suất phun yêu cầu tăng cao (tăng xấp xỉ 65 %) cho thấy Side Gate tạo ra dòng chảy bất cân đối, cần lực đẩy lớn hơn. Áp suất phun cao có thể dẫn đến hao mòn khuôn nhanh hơn và tiêu tốn năng lượng hơn. Đối với nghẹt khí (air trap) và đường hàn (weld line), NX EasyFill có khả năng xác định và đánh giá các vùng này trong quá trình đầy đầy. Mô phỏng

cho thấy cổng tâm dễ tạo đường hàn đối xứng và khí kẹt trên mặt quay ra, trong khi cổng cạnh gom khí về phía lưng sản phẩm, do đó không gây lỗi nhìn thấy trên bề mặt chính. Điều này cho thấy Side Gate có ưu thế về ngoại quan, mặc dù kỹ thuật không tối ưu bằng. Nhiệt độ bề mặt sản phẩm cao hơn rõ rệt trong phương án Side Gate (120 °C so với 87 °C) cho thấy dòng chảy cao nhiệt và ma sát lớn hơn khi luồng nhựa di chuyển sâu vào khuôn. Sự khác biệt này có thể ảnh hưởng đến đặc tính cơ lý của vật liệu và thời gian làm nguội (cooling). Cuối cùng, ứng suất trượt (shear stress) cực đại có xu hướng cao hơn ở Side Gate (0,50 vs 0,40 MPa), do gradient áp suất lớn hơn, điều này có thể khiến bề mặt sản phẩm dễ bị phồng rộp hoặc tạo vết mòn.

Pin Point Gate có ưu thế về mặt kỹ thuật (flow cân bằng, áp suất thấp, chi phí thấp) nhưng bất lợi về thẩm mỹ (xuất hiện vết phun ngay trung tâm). Side Gate ngược lại đạt thẩm mỹ cao nhưng phải đánh đổi với áp suất và ứng suất lớn hơn. Kết quả này tương tự với nhận xét trong tài liệu: áp suất phun của cổng tâm ít hơn cổng cạnh và có lợi hơn về kinh tế, tuy nhiên cổng ở tâm để lại vết phun ảnh hưởng đến tính thẩm mỹ. Do vậy, trong trường hợp sản phẩm yêu cầu tính thẩm mỹ, Side Gate là lựa chọn thích hợp hơn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phân tích chi tiết hai phương án bố trí cổng phun cho một chi tiết nhựa trên phần mềm NX EasyFill. Kết quả mô phỏng cho thấy phương án Pin Point Gate tạo ra dòng chảy cân bằng với áp suất phun thấp và ít hao hụt vật liệu, nhưng nhược điểm là để lại vết phun ở tâm sản phẩm và tiềm ẩn hiện tượng nghẹt khí mặt ngoài. Trong khi đó, Side Gate rút ngắn được thời gian điền đầy và ẩn được



khuyết tật khí, tuy nhiên đòi hỏi áp suất cao hơn và dòng chảy bị lệch. Căn cứ các tiêu chí trên, nhóm nghiên cứu lựa chọn Side Gate để tối ưu tính thẩm mỹ của sản phẩm.❖

Ngày nhận bài: **09/4/2025**

Ngày phản biện: **28/4/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Narowski, P., Wilczyński, K. (2010), “*Simulation of Polymer Injection Molding: A New Practical Approach to Improve Computation Accuracy*”. Nanotechnologies and Materials, pp.25-28.
- [2]. Przemysław Narowski and Krzysztof Wilczyński (2024), “*A Global Approach to Modeling Injection Molding*”. Polymers 16.147.
- [3]. Nguyễn Thị Hiền, Hoàng Long (2023), “*Ứng dụng phần mềm Moldflow trong mô phỏng quá trình ép phun nhựa*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ năng lượng, Trường Đại học Điện lực (ISSN: 1859 - 4557), Số 32, pp.53-61.
- [4]. 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.
- [5]. Siemens PLM Software & CoreTech/ Moldex3D (2012), “*NX™ EasyFill Analysis - MoldFlow Analysis for Plastic Part Designers*” (Fact Sheet). <https://www.moldex3d.com/assets/2012/12/Siemens-PLM-NX-EasyFill-Analysis-fs-X13.pdf>