

# ĐIỀU CHỈNH NHIỆT ĐỘ KHUÔN BẰNG QUÁ TRÌNH LÀM NGUỘI THEO XUNG ĐỘNG DÒNG CHẢY

Phạm Sơn Minh<sup>1,\*</sup>, Thanh Trung Do<sup>1</sup>

*Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. HCM, 01 Võ Văn Ngân, Quận Thủ Đức, TP. HCM*

\*Email: *minhps@hcmute.edu.vn*

Đến Tòa soạn: 10/9/2013; Chấp nhận đăng: 20/1/2014

## TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, ngày càng có nhiều kỹ thuật mới được ứng dụng trong công nghệ đúc phun nhựa (Injection molding). Trong đó, phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy (Pulsed cooling) được ứng dụng nhằm nâng cao hiệu suất làm nguội trong quá trình đúc phun, cũng như rút ngắn thời gian gia công sản phẩm. Tuy nhiên, do hệ thống này khá phức tạp, cũng như ảnh hưởng của quá trình làm nguội đối với khuôn và sản phẩm vẫn chưa được nghiên cứu rõ, vì vậy, điều chỉnh các thông số của quá trình làm nguội theo phương pháp gián đoạn vẫn còn là bài toán khó đối với người vận hành máy đúc phun. Trong bài báo này, thông qua phương pháp mô phỏng, ảnh hưởng của các thông số trong quá trình làm nguội theo xung động dòng chảy bao gồm: thời gian làm nguội, nhiệt độ nước làm nguội, và nhiệt độ khuôn sẽ được nghiên cứu. Ngoài ra, bằng thực nghiệm, các thông số trên sẽ được kiểm chứng với kết quả mô phỏng.

*Từ khóa:* khuôn đúc phun nhựa, quá trình làm nguội theo xung động, nhiệt độ khuôn.

## 1. TỔNG QUAN

Trong công nghệ gia công sản phẩm nhựa bằng phương pháp đúc phun, nhiệt độ bề mặt lòng khuôn là một trong những thông số quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm nhựa. Khi đúc phun với nhiệt độ bề mặt khuôn cao, chất lượng sản phẩm sẽ được nâng cao đáng kể, tuy nhiên, thời gian làm nguội, cũng như thời gian gia công sản phẩm sẽ tăng đáng kể. Ngược lại, nếu giảm nhiệt độ bề mặt khuôn trong quá trình đúc phun, thời gian làm nguội có thể được rút ngắn, nhưng chất lượng bề mặt sẽ giảm hoặc các khuyết tật của sản phẩm đúc phun sẽ xuất hiện nhiều hơn. Do đó, việc rút ngắn thời gian chu kỳ đúc phun nhưng vẫn đảm bảo chất lượng sản phẩm là vấn đề được đặt ra cho các nghiên cứu về khuôn đúc phun nói chung và quá trình điều khiển nhiệt độ cho khuôn nói riêng.

Với quá trình làm nguội cho khuôn đúc phun, hiện nay có hai phương pháp làm nguội chính [1]: làm nguội liên tục (phương pháp truyền thống - Traditional cooling) và làm nguội theo xung động dòng chảy (Phương pháp mới - Pulsed cooling). Khi làm nguội theo phương pháp liên tục, nước làm nguội sẽ chảy liên tục trong các kênh làm nguội của khuôn. Do đó, nhiệt độ của nước thường được chọn bằng với nhiệt độ yêu cầu của khuôn. Ngược lại, với phương

pháp làm nguội theo xung động dòng chảy, nước sẽ được điều khiển theo 2 trạng thái: chảy trong kênh làm nguội và dừng lại trong những khoảng thời gian nhất định của quá trình đúc phun. Nhìn chung, trong các nghiên cứu trước đây, phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy có khả năng rút ngắn thời gian làm nguội nhưng nhiệt độ bề mặt khuôn vẫn được giữ ở mức cao. Ngoài ra, tổng năng lượng tiêu hao của hệ thống sẽ được giảm đáng kể [2 – 4]. Trong nghiên cứu của *Chen S. C.* [5], khi nhựa Polycarbonat (PC) được sử dụng cho quá trình đúc phun, phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy có thể rút ngắn 20 % thời gian chu kỳ so với phương pháp truyền thống do nhiệt độ nước được giảm từ 40 °C xuống 32 °C. Kết quả này được thực nghiệm kiểm chứng trên nhiều loại bề mặt sản phẩm khác nhau, ứng với nhiều nhiệt độ khác nhau của nước làm nguội và bốn mức nhiệt độ khuôn: 20 °C, 25 °C, 35 °C và 50 °C [5]. Ngoài ra, phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy cũng được áp dụng cho khuôn phun ép (Injection – Compression Molding) trong hệ thống chế tạo đĩa CD (Blue-ray disc). Kết quả cho thấy hệ thống làm nguội theo xung động dòng chảy có thể giảm cong vênh cho đĩa sau khi gia công, và chất lượng các rãnh micro trên bề mặt đĩa cũng được cải thiện đáng kể. Ngoài ra, so với phương pháp làm nguội truyền thống, trong phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy, khi nhiệt độ đầu vào của nước làm nguội giảm 8 °C (từ 40 °C xuống 32 °C) và thời gian làm nguội được rút ngắn 10 % [6]. Trong nghiên cứu gần đây nhất được thực hiện bởi công ty Moldex3D, với phương pháp mô phỏng và thực nghiệm, qui trình làm nguội theo xung động dòng chảy cho khuôn đúc phun nhựa đã được áp dụng và nhiệt độ khuôn có thể nâng cao thêm 5 °C [7].

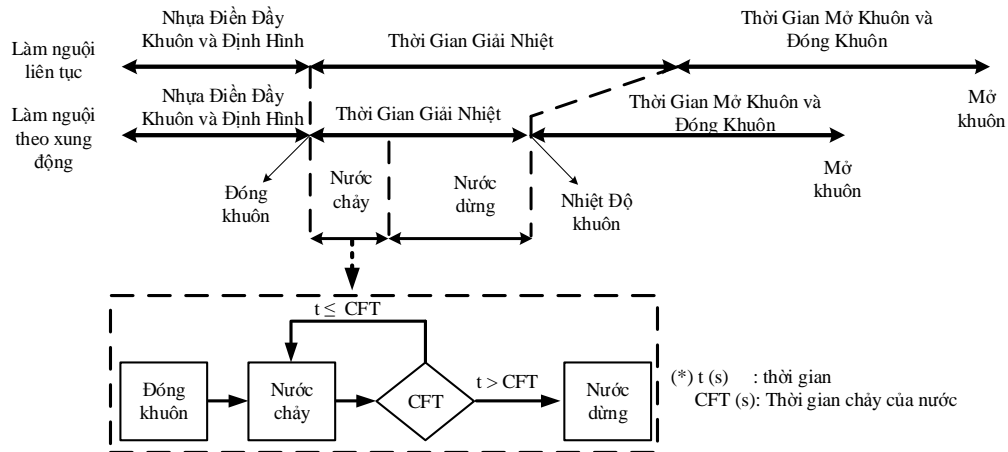
Như trình bày trên, phương pháp truyền thống có các ưu điểm như: nhiệt độ khuôn ổn định và nước làm nguội chảy liên tục trong kênh làm nguội của khuôn. Nếu trong quá trình làm nguội, nước này được dừng lại, nhằm thỏa mãn các yêu cầu của quá trình làm nguội, một hoặc cả hai điều kiện sau sẽ phải xảy ra:

- (1) Thời gian làm nguội sẽ gia tăng để nhiệt độ nhựa đạt đến nhiệt độ mở khuôn.
- (2) Nhiệt độ nước phải thấp hơn nhiệt độ khuôn nhằm nâng cao hiệu suất làm nguội.

Với điều kiện (1), nếu gia tăng thời gian làm nguội, thời gian chu kỳ của sản phẩm sẽ tăng thêm. Đây là điều kiện bất khả thi trong các ứng dụng thực tế. Do đó, nếu muốn ứng dụng phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy nhằm nâng cao hiệu suất làm nguội, nhiệt độ nước làm nguội phải thấp hơn nhiệt độ khuôn. Trên cơ sở này, với cùng hệ thống trang thiết bị và điều kiện của dòng chảy (tốc độ, áp suất, độ nhớt dòng chảy,...) những điểm nổi bật của phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy so với phương pháp truyền thống là [3, 5]: nhiệt độ nước làm nguội thấp hơn nhiệt độ khuôn và thời gian làm nguội sẽ ngắn hơn. Trong nghiên cứu này, nhiệt độ nước làm nguội và thời gian làm nguội sẽ được điều chỉnh nhằm thỏa mãn nhiệt độ bề mặt khuôn tương tự như phương pháp truyền thống. Bên cạnh đó, các thông số về thời gian làm nguội, thời gian nước chảy và nhiệt độ khuôn cũng sẽ được quan sát, ghi nhận và so sánh.

## 2. ĐỊNH NGHĨA VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ

Trong bài báo này, 3 thông số chính của quá trình làm nguội theo xung động dòng chảy (hình 1) sẽ được nghiên cứu:



Hình 1. Chu kỳ đúc phun nhựa với phương pháp làm nguội liên tục và làm nguội theo xung động dòng chảy.

### 2.1. Thời gian chảy của nước làm nguội (Coolant Flow Time – CFT)

CFT là 1 phần của thời gian làm nguội trong chu kỳ gia công sản phẩm nhựa. Đối với phương pháp làm nguội truyền thống, do nước làm nguội luôn chảy trong hệ thống kênh làm nguội, do đó, CFT chính là thời gian làm nguội của toàn chu kỳ gia công sản phẩm nhựa. Ngược lại, với phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy, trong suốt quá trình đúc phun, nước làm nguội sẽ có 2 trạng thái: chảy và dừng (ứ đọng) trong các kênh làm nguội này. Do đó, trong nghiên cứu này, CFT được định nghĩa là thời gian nước làm nguội chảy trong hệ thống các kênh làm nguội để làm nguội, đông cứng nhựa nóng chảy và giữ giá trị nhiệt độ khuôn theo yêu cầu. Khi sử dụng phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy, nếu CFT quá dài, phần nhiệt năng được nước hấp thu và mang ra khỏi khuôn sẽ vượt quá giới hạn cho phép, điều này sẽ làm nhiệt độ khuôn giảm theo từng chu kỳ sản phẩm, nếu quá trình này tiếp tục, nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ thấp hơn giá trị cho phép. Ngược lại, nếu CFT không đủ, nhiệt năng được truyền ra ngoài sẽ không thỏa mãn cho quá trình làm nguội của một chu kỳ sản phẩm, vì vậy, sau mỗi chu kỳ đúc phun, nhiệt năng trong khuôn sẽ tăng lên, và nhiệt độ của khuôn sẽ gia tăng, vượt quá giới hạn cho phép của quá trình đúc phun.

### 2.2. Thời gian làm nguội (Cooling time)

Khi làm nguội cho khuôn đúc phun theo phương pháp truyền thống, nước làm nguội sẽ lưu thông liên tục trong kênh làm nguội. Nhiệt lượng sẽ truyền từ nhựa nóng sang khuôn thông qua bề mặt lòng khuôn, sau đó, toàn bộ lượng nhiệt này sẽ được truyền sang nước làm nguội thông qua quá trình đối lưu nhiệt giữa bề mặt kênh làm nguội và nước làm nguội. Khi nước làm nguội được đưa ra ngoài khuôn thông qua bơm, lượng nhiệt này sẽ được thải ra môi trường thông qua nước làm nguội. Với quá trình làm nguội truyền thống, nước liên tục chảy trong hệ thống các kênh làm nguội nên quá trình truyền nhiệt năng từ nhựa nóng chảy sang vật liệu khuôn và được đưa ra ngoài sẽ được thực hiện liên tục. Vì vậy, phương pháp này còn được gọi là “làm nguội liên tục”. Ngược với phương pháp liên tục là phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy. Trong phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy, tương tự như phương pháp “liên tục”, quá trình nhiệt năng truyền từ nhựa nóng chảy sang vật liệu khuôn vẫn mang tính “liên tục” do

trong suốt chu kỳ đúc phun, nhựa và vật liệu khuôn luôn tiếp xúc nhau thông qua bề mặt lòng khuôn. Tuy nhiên, quá trình truyền nhiệt từ tấm khuôn sang nước làm nguội được chia thành 2 trạng thái:

- Khi chất làm nguội lưu thông trong kênh làm nguội, nhiệt năng sẽ truyền từ khuôn sang nước thông qua quá trình đối lưu nhiệt tại bề mặt tiếp xúc. Lượng nhiệt truyền từ khuôn sang nước được tính theo công thức [8]:

$$q = \alpha (t_C - t_F) \quad (1)$$

Với:  $q$ : Dòng nhiệt truyền từ khuôn sang nước làm nguội ( $\text{W/m}^2$ ),  $t_C$ : Nhiệt độ tại thành của kênh làm nguội ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t_F$ : nhiệt độ nước làm nguội ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha$ : hệ số trao đổi nhiệt tại thành kênh dẫn nhiệt ( $\text{W/m}^2\text{C}$ ).

Số với phương pháp liên tục, thời gian chảy của nước làm nguội ngắn hơn, do đó, để đảm bảo lượng nhiệt cần truyền ra ngoài tương tự như quá trình làm nguội liên tục, dòng nhiệt truyền từ khuôn sang nước trong trường hợp gián đoạn cần được gia tăng. Theo công thức (1), để tăng  $q$ , ta có thể tăng hiệu suất hấp thu nhiệt đối lưu ( $\alpha$ ) hoặc tăng độ chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt thành kênh làm nguội ( $t_C$ ) và nước làm nguội ( $t_F$ ). Để tăng  $\alpha$ , vận tốc nước làm nguội sẽ phải gia tăng. Tuy nhiên, do giới hạn của trang thiết bị, cũng như mục tiêu tiết kiệm năng lượng trong quá trình sản xuất, đây là giải pháp không khả thi. Do đó, để tăng dòng nhiệt từ khuôn sang chất làm nguội khi thời gian chảy của nước được rút ngắn, cách duy nhất là: tăng độ chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt thành kênh làm nguội ( $t_C$ ) và nhiệt độ nước ( $t_F$ ). Trong 2 thông số này, nhiệt độ bề mặt thành kênh làm nguội ( $t_C$ ) được quyết định bởi nhiệt lượng truyền từ nhựa nóng trong lòng khuôn. Do đó, sự thay đổi của  $t_C$  rất khó có thể điều chỉnh theo yêu cầu của quá trình làm nguội. Ngược lại, với nhiệt độ nước ( $t_F$ ), ta có thể điều chỉnh bằng hệ thống điều chỉnh nhiệt độ khuôn (Mold temperature control). Đây là thiết bị thông dụng trong ngành khuôn mẫu nói riêng và trong công nghiệp nói chung. Mặt khác, do nhiệt độ thành kênh làm nguội luôn cao hơn nhiệt độ nước làm nguội, nên để tăng độ chênh lệch nhiệt độ giữa 2 giá trị này, ta chỉ cần giảm nhiệt độ nước làm nguội ( $t_F$ ). Khi  $t_F$  giảm, dòng nhiệt truyền từ khuôn sang nước sẽ tăng, mặt khác, ta có thể giảm được năng lượng cần thiết để giữ nước này ở nhiệt độ cao như phương pháp truyền thống đang sử dụng.

- Khi nước làm nguội không lưu thông (ứ đọng) trong kênh làm nguội, do hệ số truyền nhiệt của chất làm nguội (thông thường được chọn là nước, dầu hoặc nước pha dầu) rất thấp, vì vậy trong trường hợp này, nhiệt độ nước tại bề mặt tiếp xúc giữa chất làm nguội và thành kênh làm nguội sẽ gia tăng với tốc độ rất nhanh đến giá trị nhiệt độ của thành kênh làm nguội. Lúc này, nhiệt độ của bề mặt thành kênh làm nguội ( $t_C$ ) và nhiệt độ bề mặt nước ( $t_F$ ) sẽ tương đương nhau. Do đó, theo công thức (1), dòng nhiệt truyền từ khuôn sang nước làm nguội sẽ gần bằng 0 [2, 4]. Thực tế, nhiệt năng tại bề mặt tiếp xúc giữa nước làm nguội và thành kênh làm nguội sẽ được truyền theo hướng tâm của tiết diện kênh làm nguội. Tuy nhiên, do hệ số truyền nhiệt của chất làm nguội rất thấp, tương tự như các nghiên cứu của tác giả *Chen S. C.* [5] và *Smith G.* [2], phần năng lượng này được giả thuyết là không đáng kể, và không ảnh hưởng đến quá trình làm nguội của khuôn đúc phun.

Tóm lại, trong quá trình làm nguội của khuôn đúc phun nhựa, khi áp dụng kỹ thuật làm nguội theo xung động dòng chảy, nhiệt lượng trong toàn hệ thống chỉ được đưa ra ngoài khi nước làm nguội lưu thông trong các kênh làm nguội, phần thời gian còn lại của chu kỳ gia công nhựa, nước này sẽ dừng trong kênh làm nguội, và nhiệt năng chỉ được truyền từ nhựa nóng sang vật liệu khuôn.

### 2.3. Nhiệt độ khuôn (Mold temperature)

Nhiệt độ khuôn là nhiệt độ tại bề mặt của lòng khuôn khi khuôn được mở ra để lấy sản phẩm (kết thúc 1 chu kỳ gia công sản phẩm). Nếu nhiệt độ khuôn quá cao, sản phẩm sẽ mắc phải những khuyết tật như cong vênh, độ co rút vượt quá giới hạn cho phép, quá trình lấy sản phẩm ra khỏi khuôn sẽ rất khó vì sản phẩm chưa đạt đủ độ cứng cho phép,... Ngược lại, nếu nhiệt độ khuôn quá thấp, thời gian chu kỳ gia công sản phẩm nhựa sẽ bị kéo dài, làm giảm hiệu suất trong quá trình gia công.

### 3. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG VÀ THÍ NGHIỆM

Phương trình tổng quát dùng trong quá trình mô phỏng truyền nhiệt và làm nguội của khuôn đúc phun như sau [9]:

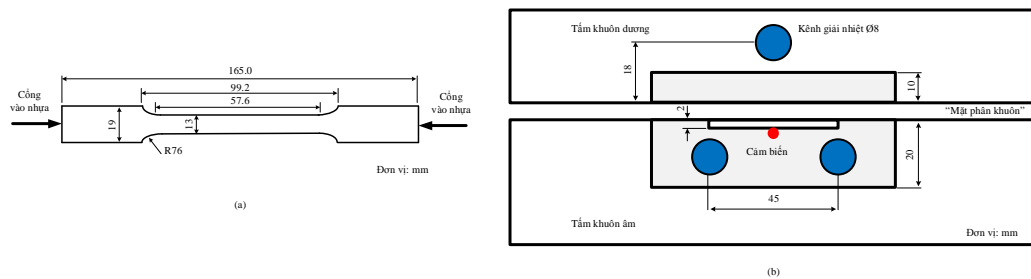
$$k_m \left( \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_m}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (2)$$

Quá trình truyền nhiệt từ nhựa nóng sang khuôn được biểu diễn theo công thức Poisson,

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k_m \left( \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_m}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

với:  $T_m$ : Nhiệt độ khuôn;  $k_m$ : Hệ số truyền nhiệt của vật liệu khuôn;  $\rho$ : Tỷ trọng của vật liệu khuôn;  $C_p$ : Nhiệt dung riêng của vật liệu khuôn;  $t$ : Thời gian truyền nhiệt (thời gian chu kỳ của quá trình đúc phun);  $x, y, z$ : Hệ trục tọa độ.

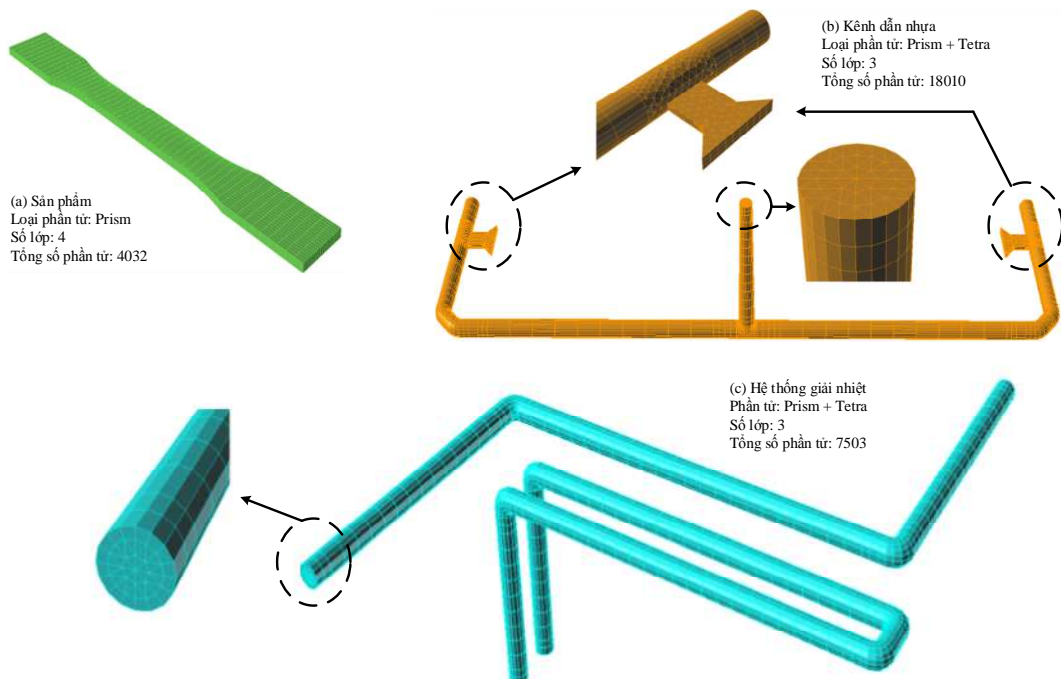
Trong nghiên cứu này, cả 2 phương pháp làm nguội: liên tục và gián đoạn sẽ được mô phỏng bằng phần mềm Moldex3D. Nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy đối với quá trình làm nguội của khuôn đúc phun nhựa, khuôn đúc phun của sản phẩm thanh Tensile Bar với chiều dày 2 mm sẽ được sử dụng trong quá trình mô phỏng, cũng như thí nghiệm thực tế. Hình 2a trình bày các thông số kỹ thuật, cũng như kích thước của sản phẩm. Để quan sát ảnh hưởng của 2 phương pháp làm nguội trên nhiệt độ khuôn, cảm biến nhiệt được thiết kế như Hình 2b.



Hình 2. Kích thước sản phẩm (a) và kết cấu khuôn đúc phun (b).

Hình 3 trình bày mô hình lưới của sản phẩm (hình 3a), hệ thống kênh dẫn (hình 3b), và hệ thống kênh làm nguội (hình 3c). Với sản phẩm, mô hình lưới được xây dựng trên cơ sở phần tử Prism với 4 lớp lưới theo chiều dày, tổng số phần tử của sản phẩm là 4032 phần tử. Với hệ thống kênh dẫn và cổng phun nhựa, phần tử dạng Prism và Tetra được sử dụng cho quá trình mô phỏng làm nguội. Với kênh dẫn nhựa, lưới dạng Prism với 3 lớp theo hướng kính sẽ được sử dụng. Tổng số phần tử của kênh dẫn và cổng phun là 18010 phần tử. Đối với các kênh làm nguội, phần

tử Tetra được sử dụng với phương pháp chia lưới tự động, và 3 lớp lưới theo chiều hướng tâm. Tổng số phần tử của các kênh làm nguội là 7503. Trong nghiên cứu này, vật liệu khuôn được chọn là P20 với tỉ trọng và nhiệt dung riêng lần lượt là:  $7750 \text{ kg/m}^3$  và  $465 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ . Vật liệu nhựa được chọn là: PC (Polycacbonat) được sản xuất bởi công ty Teijin – Đài Loan. Thông số gia công của nhựa PC được trình bày như Bảng 1. Do đặc điểm của quá trình đúc phun, các thông số sẽ đạt đến trạng thái ổn định sau một số chu kì. Do đó, dựa vào các nghiên cứu trước đây [1, 3, 6], trong nghiên cứu này, nhiệt độ khuôn sẽ được ghi nhận và so sánh sau 30 chu kì đúc phun.



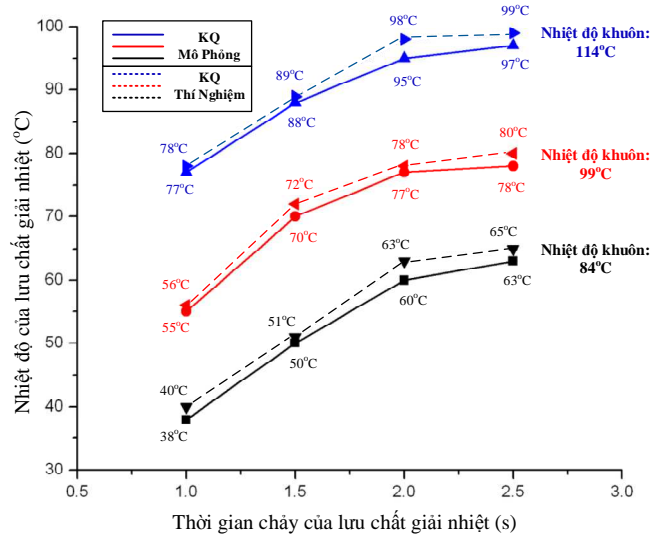
Hình 3. Mô hình lưới của hệ thống khuôn đúc phun.

Bảng 1. Thông số cơ bản của quá trình đúc phun truyền thống.

Thông số của quá trình phun ép	
Thời gian điền đầy	0.18 s
Thời gian định hình	0.2 s
Thời gian giải nhiệt	15 s
Thời gian mở và đóng khuôn	9 s
Tốc độ ohun	300 mm/s
Áp suất định hình	120 MPa
Nhiệt độ khuôn	75 – 120 $^\circ\text{C}$
Nhiệt độ nhựa	280 – 350 $^\circ\text{C}$

#### 4. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

Trong nghiên cứu này, thời gian chảy và nhiệt độ của nước làm nguội sẽ được điều chỉnh nhằm giữ nhiệt độ khuôn ở 3 mức giá trị: 84 °C, 99 °C và 114 °C. Các thông số khác của quá trình đúc phun được giữ ở giá trị như sau: nhiệt độ nhựa: 330 °C, thời gian làm nguội (phương pháp gián đoạn): 3 s; thời gian chu kỳ: 24 s với phương pháp làm nguội liên tục và 12 giây với phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy. Kết quả thí nghiệm và mô phỏng được trình bày như hình 4 và bảng 2. Các kết quả cho thấy: khi tăng thời gian chảy của nước làm nguội, giá trị nhiệt độ của nước này cần tăng theo nhằm đảm bảo nhiệt độ khuôn được giữ ở mức yêu cầu. Để giải thích hiện tượng này, tương tự như phần trên, dựa vào nguyên tắc bảo lưu phân nhiệt năng trong khuôn nằm trong khoảng cho phép, khi tăng thời gian chảy của nước làm nguội, lượng nhiệt được thải ra ngoài môi trường sẽ tăng theo. Do đó, để đảm bảo lượng nhiệt thải ra ngoài này tương đương với trường hợp làm nguội liên tục, nhiệt độ của nước làm nguội sẽ được điều chỉnh tăng lên nhằm hạn chế quá trình truyền nhiệt đối lưu giữa bề mặt thành kênh làm nguội và nước làm nguội. Kết quả thí nghiệm và mô phỏng cho thấy khi nhiệt độ khuôn được yêu cầu là 99 °C, nếu thời gian chảy của nước làm nguội tăng từ 1 s lên 2.5 s, nhiệt độ của nước cần tăng từ 55 °C lên 80 °C. Ngoài ra, nếu nhiệt độ khuôn được yêu cầu 114 °C, nhiệt độ của nước cần tăng từ 77 °C đến 99 °C.



Hình 4. Quan hệ giữa thời gian chảy và nhiệt độ của nước làm nguội ứng với các giá trị nhiệt độ khuôn khác nhau.

Theo kết quả như hình 4, khi tăng nhiệt độ khuôn (từ 84 °C lên 99 °C và 114 °C), với cùng thời gian chảy của nước làm nguội, nhiệt độ nước phải tăng lên. Hiện tượng này có thể được giải thích theo công thức (1): khi tăng nhiệt độ khuôn, nhiệt độ tại thành kênh làm nguội  $T_c$  sẽ tăng theo. Do đó, sự chênh lệch nhiệt độ giữa thành kênh làm nguội và nước làm nguội sẽ gia tăng. Như vậy, với cùng thời gian chảy, cùng hiệu suất hấp thụ nhiệt  $\alpha$ , dòng nhiệt truyền từ khuôn sang chất làm nguội sẽ gia tăng, kích thích quá trình làm nguội sẽ mạnh hơn. Vì vậy, đây là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng giảm nhiệt độ khuôn xuống dưới nhiệt độ cho phép. Do đó, nhằm hạn chế lượng nhiệt thải ra ngoài, phương pháp tăng nhiệt độ nước làm nguội sẽ được

thực hiện. Thông qua mô phỏng và thí nghiệm, khi thời gian chảy của nước làm nguội lần lượt là 1,0 giây, 1,5 giây, 2,0 giây và 2,5 giây, và nhiệt độ khuôn được yêu cầu tăng từ: 84 °C lên 114 °C, nhiệt độ đầu vào của nước làm nguội cần được điều chỉnh tăng lần lượt như sau: 38 °C lên 78 °C, 50 °C lên 89 °C và 63 °C lên 99 °C.

Ngoài ra, thông qua thí nghiệm, các số liệu đo được từ cảm biến cho thấy kết quả mô phỏng đạt độ chính xác khá cao. Bảng 2 trình bày chênh lệch nhiệt độ giữa mô phỏng và thí nghiệm luôn nằm trong khoảng 5 °C. Đây là giới hạn được chấp nhận trong các nghiên cứu về nhiệt độ trong khuôn đúc phun nhựa [1 – 7].

Bảng 2. Nhiệt khuôn khi thời gian chảy và nhiệt độ nước làm nguội thay đổi.

Phương pháp	Thời gian (giây)			Nhiệt độ (°C)			
	Lưu chất chảy	Giải nhiệt	Chu kỳ	Khuôn	Nhựa nóng chảy	Nước giải nhiệt (Mô phỏng / Thí nghiệm)	Khuôn
Liên tục	15	15	24	84,0		84 / 84	85,63
Gián đoạn	1	3	12			38 / 40	87,00
	1,5					50 / 51	86,79
	2					60 / 63	86,75
	2,5					63 / 65	87,16
Liên tục	15	15	24	99,0	330	99 / 99	102,40
Gián đoạn	1	3	12			55 / 56	102,88
	1,5					70 / 72	103,96
	2					77 / 78	103,23
	2,5					78 / 80	102,99
Liên tục	15	15	24	114,0		114 / 114	117,35
Gián đoạn	1	3	12			77 / 78	119,22
	1,5					88 / 89	118,75
	2					95 / 98	118,35
	2,5					97 / 99	118,67

Về hiệu quả của quá trình làm nguội theo xung động dòng chảy, bảng 2 cho thấy: ứng với các nhiệt độ khuôn khác nhau, phương pháp gián đoạn có thể thỏa mãn các giá trị nhiệt độ khuôn như phương pháp làm nguội liên tục. Tuy nhiên, trong các trường hợp làm nguội theo xung động dòng chảy, thời gian làm nguội được rút ngắn từ 15 giây xuống 3 giây và thời gian chu kỳ được rút ngắn từ 24 giây xuống 12 giây.



## 5. KẾT LUẬN

Qua quá trình mô phỏng và thí nghiệm, mô hình thanh Tensile Bar với chiều dày thanh 2 mm được sử dụng nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn với quá trình làm nguội cho khuôn đúc phun nhựa theo phương pháp gián đoạn. Thông qua mô phỏng với phần mềm Moldex3D và thí nghiệm kiểm chứng, các thông số của quá trình làm nguội đã được nghiên cứu với các kết quả nhận được như sau:

- Về hiệu quả của quá trình làm nguội: Phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy có hiệu suất làm nguội cao hơn phương pháp làm nguội liên tục. Ngoài ra, phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy có thể rút ngắn thời gian làm nguội từ 15 giây xuống 3 giây (giảm 80 %). Thông qua đó, thời gian chu kỳ gia công sản phẩm nhựa được rút ngắn từ 24 giây xuống 12 giây (50 %).

- Khi tăng thời gian chảy của nước làm nguội, nhiệt độ của nước này cần được gia tăng.

- Khi sử dụng phương pháp làm nguội theo xung động dòng chảy cho khuôn với nhiệt độ khuôn được yêu cầu cao hơn, nhiệt độ nước làm nguội cũng cần gia tăng.

*Lời cảm ơn.* Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí nghiên cứu từ phòng thí nghiệm khuôn mẫu thuộc trường Đại học Chung Yuan Christian – Đài Loan và trường Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. HCM.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chen S. C., Chang Y., Chang T. H., Chien R. D. - Influence of using pulsed cooling for mold temperature control on microgroove duplication accuracy and warpage of the Blu-ray Disc, *International Journal of Heat and Mass Transfer* **35** (2) (2008) 130-138.
2. Smith G., Wrobel L. C., McCalla B. A., Allan P. S., and Hornsby P. R. - Optimisation of continuous and pulsed cooling in injection moulding processes, *Plastics, Rubber and Composites: Macromolecular Engineering* **36** (3) (2007) 93 – 100.
3. McCalla B. A., Allan P. S. and Hornsby P. R. - An evaluation of heat management in injection mould tools, *Plastics, Rubber and Composites: Macromolecular Engineering* **36** (1) (2007) 26-33.
4. McCalla B. A., Allan P. S., and Hornsby P. R. - A computational model for the cooling phase of injection moulding, *Journal of Materials Processing Technology* **195** (1-3) (2008) 305-313.
5. Chen S. C., Wang Y. C., Liu S. C., Cin J. C. - Mold temperature variation for assisting micro-molding of DVD micro-featured substrate and dummy using pulsed cooling, *International Journal of Heat and Mass Transfer* **151** (1) (2009) 87-93.
6. Chen S. C., Tarnng S. H., and Tseng C. Y. - Using pulsed cooling to reduce cycle time and improve part warpage, *SPE Antec Technical Paper* **52** (2010) 1421-1425.
7. Minh P. S., Huang S. W., Chiou Y. C., Wang H. C. - Effect of processing parameters on pulse cooling efficiency in injection molding, *SPE Antec Technical Paper* **52** (2010) 760-764.
8. Hans Dieter Baehr, Karl Stephan - *Heat and mass transfer*, Springer, 2011, pp. 41 – 43.
9. *Moldex3D Design guide*, 2012, pp. 200 – 205.

**ABSTRACT**

**MOLD TEMPERATURE CONTROL BY PULSED COOLING PROCESS**

Phạm Sơn Minh\*, Thanh Trung Do

*University of Technical Education of Ho Chi Minh City*

\*Email: *minhps@hcmute.edu.vn*

In recent years, there are many new technologies which are applied in injection molding field. One of them is the pulsed cooling method, which is used to improve the cooling process, as well as reduce the molding cycle of plastic part. However, due to the complex of mold structure and the influence of cooling step on the product quality is still not investigated clearly, the pulsed cooling method still has many troubles for the operator. In this paper, by simulation, the effect of mold temperature on the pulsed cooling process is studied. Furthermore, by experiment, simulation results will be verified by the experiment measurement.

*Keywords:* injection molding, pulsed cooling, mold temperature.