

# MÔ PHỎNG VÀ DỰ ĐOÁN NGUỒN NHIỆT TRONG QUÁ TRÌNH GIA NHIỆT TRỰC TIẾP TRÊN KHUÔN DẬP VUỐT PHÔI DẠNG HÌNH CHỮ NHẬT

SIMULATING AND PREDICTING HEAT SOURCES DURING DIRECT HEATING ON DRAWING MOLD FOR RECTANGULAR BLANK

Trần Ngọc Thành

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

## TÓM TẮT

Gia nhiệt trong quá trình dập vuốt có vai trò nâng cao sự đồng đều chiều dày của chi tiết và giảm sai số của sản phẩm. Trong bài báo này, nhiệt độ phân bố trên chi tiết dạng hình chữ nhật trong quá trình gia nhiệt được mô phỏng trên phần mềm Comsol. Khi nhiệt độ trên phôi đồng đều sẽ giúp sản phẩm dập có chất lượng tốt nhất. Để đạt được mục đích này, vị trí và giá trị nguồn gia nhiệt được dự đoán sử dụng lý thuyết ngược dựa trên phương pháp bình phương tối thiểu. Kết quả chỉ ra khi sử dụng 6 thanh gia nhiệt, nhiệt độ trên phôi đạt được sự đồng đều tốt với mức tiêu hao năng lượng thấp hơn. Kết quả bài báo cung cấp thông tin hữu ích giúp lựa chọn được số nguồn nhiệt gia nhiệt phù hợp đảm bảo nhiệt độ phân bố đồng đều trên phôi với hình dạng khác nhau.

**Từ khóa:** Gia nhiệt trực tiếp; Khuôn dập vuốt; Thanh gia nhiệt; Bình phương tối thiểu.

## ABSTRACT

Heating in a drawing process plays an important role of improving the thickness uniformity and reducing error of the product. In this study, temperature distribution on a rectangular blank during the heating process is simulated on Comsol software. With the uniform temperature on the blank, the quality of drawing product is good. To obtain this target, the locations and value of heating sources are predicted using inverse method based on the Least Squares Method. Results show that using 6 heating rods, the temperature on the blank achieves good uniformity with lower energy consumption. Research results provide useful information to help choose appropriate number of heating sources to ensure uniform temperature distribution on different workpieces.

**Keywords:** Direct heating; Drawing mold; Heating rods; Least squares method.

## 1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, phương pháp gia nhiệt trong quá trình dập đang được ứng dụng rộng rãi trong công nghệ tạo hình tấm, đặc biệt là công nghệ dập sâu. Gia nhiệt sẽ giúp nâng cao sự đồng đều bề dày chi tiết và giảm sai hỏng trong quá trình dập. Tuy nhiên, sử dụng thực nghiệm để nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ trên phôi và khuôn thường mất nhiều thời gian và kinh phí do phải thử nghiệm nhiều lần. Một số khuôn có hình dạng, kết cấu phức tạp cũng gây khó khăn cho quá trình bố trí và đo nhiệt độ trên phôi và khuôn dập.

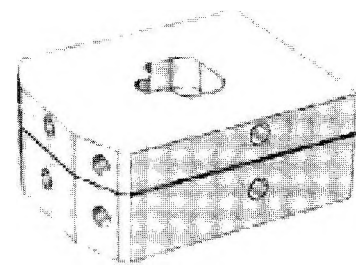
Alinia cùng cộng sự [1] nghiên cứu ảnh hưởng của bốn tham số quá trình, cụ thể là nhiệt độ, lực chặn phôi, bán kính góc lượn của chày và bán kính góc lượn của cối. Ngô Thị Thảo và cộng sự [2] đã nghiên cứu ảnh hưởng của độ nhám và lực chặn phôi đến quá trình gia nhiệt trực tiếp trên khuôn. Thi-Thao Ngo và cộng sự cũng đã áp dụng phương pháp mô phỏng số để dự đoán nhiệt độ trong quá trình gia nhiệt trên khuôn. Luyen The-Thanh và cộng sự [3, 4] áp dụng phương pháp thực nghiệm, sau đó dùng hàm số để mô tả nhiệt độ của phôi trong quá trình gia nhiệt. Nhiệt độ đồng đều trên phôi trong quá trình gia nhiệt sẽ giúp sản phẩm dập đạt được chất lượng tốt nhất. Trong nghiên cứu này, vị trí và nhiệt lượng sử dụng tại mỗi vị trí tương ứng trên khuôn sẽ được tối ưu hóa cho mô hình khuôn không tròn xoay. Điều này sẽ giúp bố trí vị trí thanh gia nhiệt phù hợp, tiết kiệm nhiệt lượng mà vẫn đảm bảo khả năng đồng đều nhiệt độ trên phôi.

## 2. MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH GIA NHIỆT BẰNG COMSOL

COMSOL Multiphysics là một phần mềm mô phỏng, mô hình hóa dựa trên các cơ sở vật lý (Physics) được xây dựng sẵn mà người dùng có thể tiếp cận một cách trực quan. COMSOL Multiphysics là một môi trường tương tác mạnh mẽ cho việc mô hình hóa và giải quyết các vấn đề khoa học và kỹ thuật khác nhau. Phần mềm này được ứng dụng rộng rãi trong các ngành kỹ thuật. Trong ngành

Cơ khí, COMSOL mô phỏng các thiết bị cơ khí với các hình dạng cấu trúc khác nhau (Structural Mechanics). Trong các bài toán truyền nhiệt, các cơ chế truyền nhiệt – dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ được nghiên cứu thông qua các công cụ mô phỏng tích hợp trên Module truyền nhiệt.

Trong nghiên cứu này, mô hình khuôn gia nhiệt được xây dựng trên phần mềm thiết kế Inventer (Hình 1), sau đó đưa vào Module truyền nhiệt trên phần mềm Comsol để mô phỏng nhiệt phân bố trên khuôn trong quá trình gia nhiệt. Toàn bộ quá trình mô phỏng nhiệt được tóm tắt trong Hình 2.



Hình 1. Mô hình khuôn gia nhiệt

Bắt đầu

Thiết lập mô hình 3D (Hình 1)  
Đưa mô hình vào phần mềm

Thiết lập vật liệu

- Phân tích nhiệt
- Thiết lập nguồn nhiệt
  - Điều kiện biên
  - Thời gian

Giải mô hình nhiệt

Nuốt kết quả

Kết thúc

Hình 2. Quy trình mô phỏng nhiệt trên phần mềm Comsol

Nhiệt độ phân bố trên chi tiết khi đưa vào dập vuốt đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo chất lượng của sản phẩm sau khi dập. Nhiệt độ này có thể được kiểm soát dựa trên kết quả nhiệt độ mô phỏng phân bố trên chi tiết trong quá trình gia nhiệt.

### 3. TỐI ƯU HÓA NGUỒN NHIỆT

Trong quá trình gia nhiệt cho chi tiết cần nhiệt độ đồng đều trên toàn bộ phôi. Tuy nhiên với dạng phôi và khuôn hình chữ nhật không có tính tròn xoay nên việc xác định giá trị nguồn nhiệt ở từng vị trí là rất khó khăn. Không thể sử dụng một nguồn nhiệt như nhau tại các vị trí. Điều này gây tiêu tốn công suất mà không mang lại hiệu quả phân bố nhiệt đồng đều trên chi tiết như mong muốn. Do đó, trong phần này, tối ưu hóa giá trị nguồn nhiệt trên khuôn nhằm đạt được sự đồng đều nhiệt độ trên phôi sẽ được tiến hành.

Bài toán lý thuyết ngược được xây dựng để dự đoán các nguồn nhiệt sử dụng trong gia nhiệt. Nguồn nhiệt gia nhiệt cần dự đoán được gán như sau:

$$\bar{w} = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ \dots \ q_n] \quad (1)$$

$n$  là số nguồn nhiệt gia nhiệt. Số lượng nguồn nhiệt cũng không được bố trí quá nhiều vì nó sẽ gây ra giảm độ bền của khuôn. Nhiệt độ mục tiêu trên chi tiết được thiết lập và thể hiện thông qua phương trình sau:

$$J(\bar{w}) = \sum_{i=1}^M [T(x_i, y_i, z_i) - T_m(x_i, y_i, z_i)]^2 \quad (2)$$

Trong đó,  $T(x_i, y_i, z_i)$  là nhiệt độ xác định từ giải bài toán nhiệt trên phần mềm Comsol khi cập nhật giá trị của nguồn nhiệt gia nhiệt  $\bar{w}$ .  $T_m(x_i, y_i, z_i)$  là nhiệt độ đo tại các vị trí đo nhiệt độ,  $M$  là số điểm đo. Thuật toán giải

bài toán tối ưu sử dụng lý thuyết ngược được tóm tắt theo các bước sau:

Bước 1:  $k = 0$ , đặt giá trị ban đầu của nguồn nhiệt:

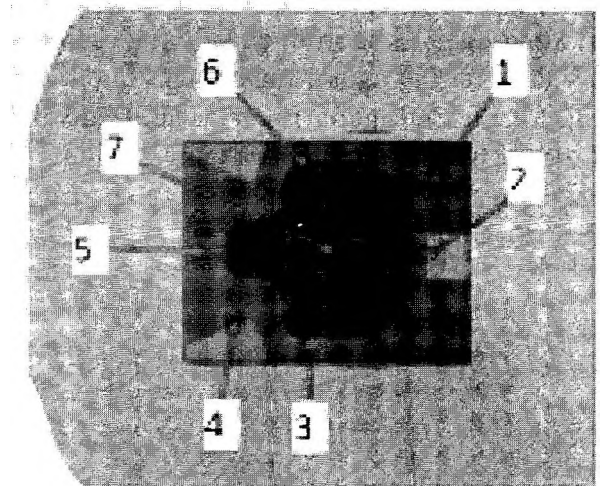
$$\bar{w}^{(0)} = [q_1^{(0)} \ q_2^{(0)} \ q_3^{(0)} \ \dots \ q_n^{(0)}] = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$$

Bước 2: Giải bài toán nhiệt trên phần mềm Comsol để nhận nhiệt độ phân bố  $T(x_i, y_i, z_i)$ .

Bước 3: Giải bài toán tối ưu hóa sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu nhỏ nhất trên phần mềm Comsol.

Bước 4: Kiểm tra điều kiện lặp  $J$ , nếu thỏa mãn điều kiện hội tụ, dừng quá trình lặp. Nếu không thỏa mãn, đặt  $k = k + 1$  và quay lại bước 2.

Giả thiết trên chi tiết sử dụng 7 điểm để so sánh nhiệt độ tại các vị trí khác nhau.



Hình 3. Vị trí các điểm kiểm tra nhiệt độ

Vị trí tọa độ các điểm kiểm tra nhiệt độ được trình bày trong Bảng 1.

# NGHIÊN CỨU - TRAO ĐỔI

Bảng 1. Tọa độ các điểm kiểm tra nhiệt độ

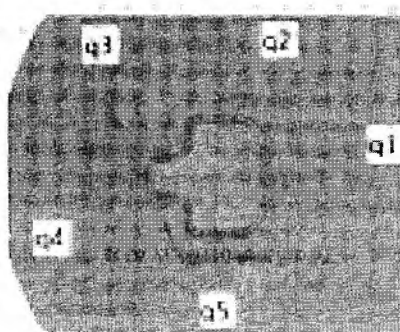
Điểm đo	x (mm)	y (mm)	z (mm)
1	304.45	194.96	150.39
2	310.35	194.96	271.84
3	144.72	194.96	260.15
4	221.34	194.96	145.11
5	140.84	194.96	212.39
6	235.19	194.96	272.45
7	146.27	194.96	150.01

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

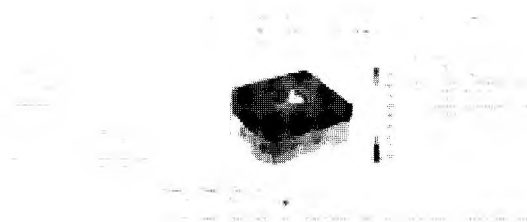
Trong các trường hợp tối ưu xem xét ở đây, nhiệt độ trên phôi được chọn là 473,15 độ K (tương ứng 200°C).

### 4.1. Sử dụng 5 nguồn nhiệt

Trường hợp thứ nhất, 5 nguồn nhiệt bố trí xung quanh khuôn được sử dụng. Hình 4 mô tả vị trí các nguồn nhiệt trên khuôn. Kết quả tối ưu các nguồn nhiệt và nhiệt độ thu được thể hiện trên Hình 5 và Bảng 2. Chúng ta thấy rằng, nhiệt lượng cần cung cấp cho các vị trí là khác nhau.



Hình 4. Vị trí các thanh gia nhiệt



Hình 5. Giá trị của các nguồn nhiệt

Bảng 2. Nhiệt lượng tối ưu khi dùng 5 nguồn nhiệt

Nguồn nhiệt	Nhiệt lượng dự đoán (W)	Tổng nhiệt lượng (W)
$q_1$	164.04	561.5
$q_2$	68.009	
$q_3$	130.83	
$q_4$	80.14	
$q_5$	118.52	

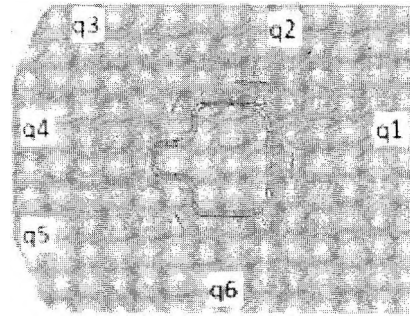
Nhiệt độ tại 7 điểm đo được trích xuất và tổng hợp trong Bảng 3. Kết quả của 7 điểm đo sau đó được trích xuất và đưa ra trên Bảng 3. Kết quả cho thấy nhiệt độ dự đoán  $T$  có sai lệch với nhiệt độ mục tiêu. Tuy nhiên, sai lệch lớn nhất của nhiệt độ dự đoán so với nhiệt độ mục tiêu chỉ là 2,3 độ K, tương ứng với 0,49%. Trung bình sai lệch nhiệt độ của 7 điểm là 1,3 độ K. Điều này chứng tỏ phương pháp đề xuất đã tìm được giá trị tối ưu cho 5 nguồn nhiệt giúp nhiệt độ trên phôi đồng đều.

Bảng 3. Nhiệt độ tại các điểm khi dùng 5 nguồn nhiệt

Vị trí đo	Nhiệt độ $T$ (°C)	Sai số	
		$ T - T_m $ (K)	(%)
1	199.83	0.17	0.30
2	199.91	0.17	0.49
3	200.29	0.09	0.09
4	199.86	0.29	0.09
5	199.09	0.14	0.27
6	199.78	0.91	0.44
7	200.19	0.22	0.70
Trung bình		0.28	0.14

4.2. Sử dụng 6 nguồn nhiệt

Trong trường hợp sử dụng 6 nguồn nhiệt, vị trí của các thanh nhiệt được mô tả trên Hình 6. Tương tự như trường hợp trên, sau khi giải bài toán tối ưu, giá trị nguồn nhiệt tại 6 vị trí được tìm ra như trên Bảng 4. Sự khác biệt về giá trị nhiệt lượng của các nguồn nhiệt cũng được thể hiện thông qua kết quả. Giá trị nguồn nhiệt lớn nhất là  $q_1 = 5823,6 \text{ W/m}^2$  và nhiệt lượng nhỏ nhất tại vị trí  $q_3 = 1543,5 \text{ W/m}^2$ .



Hình 6. Vị trí 6 thanh gia nhiệt

Bảng 4. Nhiệt lượng tối ưu khi dùng 6 nguồn nhiệt

Nguồn nhiệt	Nhiệt lượng dự đoán (W)	Tổng nhiệt lượng (W)
$q_1$	147.14	558.7
$q_2$	89.948	
$q_3$	70.132	
$q_4$	98.905	
$q_5$	71.377	
$q_6$	81.198	

Với giá trị nguồn nhiệt như trên, nhiệt độ trên phôi tại 7 điểm được tìm ra như trong Bảng 5.

Bảng 5. Nhiệt độ 7 điểm trường hợp 6 nguồn nhiệt

Vị trí đo	Nhiệt độ $T_p$ (K)	Sai số	
		$ T_p - T_{target} $ (K)	(%)
1	199.82	0.18	0.09
2	199.88	0.12	0.06
3	199.86	0.14	0.07
4	199.88	0.12	0.06
5	199.83	0.17	0.08
6	199.82	0.18	0.09
7	199.85	0.15	0.07
Trung bình		0.15	0.08

Chúng ta thấy rằng, sai lệch nhiệt độ tại các điểm đã giảm rõ rệt; lớn nhất chỉ còn 0,58 độ K, tương ứng với 0,12%. Sai số trung bình cũng chỉ còn 0,24 độ K. Như vậy, các điểm bề mặt phôi đã đạt trạng thái đồng đều rất cao khi sử dụng 6 nguồn nhiệt để gia nhiệt.

Bảng 6. Tổng hợp kết quả tối ưu

Số nguồn nhiệt	Tổng nhiệt lượng (W/m <sup>2</sup> )	TB sai lệch nhiệt độ (K)
5	19701.5	1.3
6	18790.5	0.24

Để làm rõ hơn hiệu quả của việc sử dụng 5 và 6 nguồn nhiệt, Bảng 6 đã tổng hợp nhiệt lượng cũng như sai lệch khi áp dụng hai trường hợp này. Qua bảng chúng ta thấy, trường hợp sử dụng 5 nguồn nhiệt, nhiệt lượng tiêu hao giảm là 19701,5 W/m<sup>2</sup> và sai lệch nhiệt độ trung bình là 1,3K. Tuy nhiên, khi dùng 6 nguồn nhiệt, nhiệt lượng nhỏ hơn trường hợp trước (18790,5 W/m<sup>2</sup>) và chênh lệch nhiệt độ cũng giảm mạnh chỉ còn 0,22 độ. Điều này do việc phân bố nhiều nguồn nhiệt sẽ dễ tạo đồng đều nhiệt độ hơn. Mặc dù dùng nhiều nguồn nhiệt, nhưng tổng công suất của nó lại giảm. Vì vậy, đối với bộ khuôn này, chúng ta nên dùng 6 nguồn nhiệt để tiết kiệm công suất tiêu hao đồng thời đạt được sự đồng đều nhiệt độ tốt nhất.

## 5. KẾT LUẬN

Phần mềm Comsol được sử dụng để mô phỏng nhiệt độ phân bố trên khuôn dập vuốt hình chữ nhật trong quá trình gia nhiệt. Vị trí và giá trị nguồn nhiệt gia nhiệt được tối ưu hóa thông qua phương pháp bình phương tối thiểu. Nhiệt độ trên chi tiết đạt được sự đồng đều tốt nhất khi sử dụng 6 thanh gia nhiệt với công suất nhiệt nhỏ hơn khi sử dụng 5 thanh

gia nhiệt. Qua kết quả nghiên cứu có thể thấy, sử dụng lý thuyết ngược cùng với phần mềm Comsol có thể dự đoán được nguồn nhiệt và vị trí đặt nguồn nhiệt gia nhiệt cho phôi dập hình dạng phức tạp trước khi đưa vào thực nghiệm giúp giảm thời gian và chi phí. ❖

Ngày nhận bài: 12/02/2022

Ngày phản biện: 15/3/2022

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. S. Alinia, R. Khamedi, and I. Ahmadi, "The Investigation and Optimization of Process Parameters in Warm Deep Drawing of ASS304 Steel Using Box Behnken Design and Applying Temperature Gradient", Exp. Tech., vol. 42, no. 6, pp. 645–657, 2018.
- [2]. Ngo Thi Thao, Than Van The, Luyen The Thanh, & Dinh Van Tung, (2021). "Ảnh hưởng của độ nhám và lực chặn phôi đến quá trình gia nhiệt trong công nghệ dập vuốt". UTEHY Journal of Science and Technology, (30), 55-59.
- [3]. Luyen The Thanh, Mac Thi Bich, Than Van The, Banh Tien Long, & Nguyen Duc Toan. (2020). "A STUDY ON HEATING PROCESS FOR DEEP DRAWING". UTEHY Journal of Science and Technology, 25, 7-13.
- [4]. The-Thanh Luyen, Thi-Bich Mac, Tien-Long Banh and Duc-Toan Nguyen. "A study on heating and determining the temperature generation on the sheet metal before the deep drawing process", International Journal of Modern Physics B Vol. 34, No. 22n24, 2040133 (2020).