

# PHÂN TÍCH PHÂN BỐ NHIỆT VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ ĐẾN CHI TIẾT TRONG QUÁ TRÌNH GIA CÔNG KIM LOẠI

ANALYSIS OF HEAT DISTRIBUTION AND ITS EFFECT ON WORKING DETAILS IN METAL PROCESSING

ThS. Phan Trọng Đức

Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

Email: [ptduc@uneti.edu.vn](mailto:ptduc@uneti.edu.vn)

## TÓM TẮT

Trong những năm qua, các nhà nghiên cứu cắt kim loại đã phát triển một số kỹ thuật mô hình hóa, trong đó phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) đặc biệt trở thành công cụ phổ biến nhất để mô phỏng các quá trình cắt kim loại. Trong quá trình gia công, lượng nhiệt tối đa được tạo ra trong vùng tiếp xúc giữa dao và phôi. Mặc dù phần lớn nhiệt sinh ra được tập trung vào phoi, nhưng lượng nhiệt phân phối trong chi tiết gia công có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của chi tiết gia công. Trong bài báo này, sự phân bố nhiệt độ trong chi tiết gia công được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả của nghiên cứu được sử dụng cho các nghiên cứu mở rộng về ảnh hưởng của nhiệt độ trong quá trình gia công vĩ mô.

**Từ khóa:** Nhiệt độ gia công; Phần tử hữu hạn; Phân bố nhiệt độ.

## ABSTRACT

Over the years, metal cutting researchers have developed a number of modeling techniques, of which the finite element method (FEM) in particular has become the most popular tool for simulating metal cutting processes. During machining, the maximum amount of heat is generated in the contact area between the tool and the workpiece. Although most of the heat generated is concentrated on the chip, the amount of heat distributed in the work piece has a great influence on the quality of the workpiece. In this paper, the temperature distribution in the work piece is simulated by the finite element method. The results of the study are used for extensive studies on the effect of temperature in macromachining.

**Keywords:** Machining temperature; Finite element; Temperature distribution.

## 1. GIỚI THIỆU

Gia công kim loại bằng phương pháp cắt gọt là một quá trình nhiệt – cơ phức tạp, trong đó phần lớn cơ năng được chuyển hóa thành nhiệt năng tại vùng tiếp xúc giữa dao và

phôi [1]. Merchant chỉ ra rằng nhiệt sinh ra từ biến dạng dẻo và ma sát ở vùng cắt ảnh hưởng trực tiếp đến lực cắt, ứng suất và chất lượng bề mặt chi tiết [1].

Để làm rõ các hiện tượng này, nhiều

mô hình mô phỏng đã được phát triển, trong đó phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được xem là công cụ hiệu quả nhất nhờ khả năng mô tả chính xác tương tác giữa biến dạng dẻo, ma sát và truyền nhiệt [2]. Pantale và cộng sự đã chứng minh rằng mô phỏng FEM có thể tái hiện sự hình thành phoi, vùng nhiệt độ cao và trạng thái ứng suất tại lưỡi cắt với độ tin cậy cao [2]. Denkena tiếp tục mở rộng mô hình FEM sang phân tích nhiệt – cơ liên hợp, cho phép dự đoán trường nhiệt và ứng suất dư sau gia công trong nhiều điều kiện công nghệ khác nhau [3]. Ngoài ra, Ozel và Altan cho thấy FEM có thể dự đoán lực cắt, nhiệt độ và ứng suất tương đồng với thực nghiệm, kể cả trong gia công tốc độ cao [4].

Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu cũng đã tập trung vào ảnh hưởng của nhiệt độ trong quá trình cắt gọt. Nguyễn Tất Tiến và Trần Văn Địch đã khảo sát ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhiệt độ khi tiện thép C45, cho thấy nhiệt độ tăng mạnh khi tăng tốc độ cắt và chiều sâu cắt [5]. Bên cạnh đó, Phạm Văn Hùng và Lê Quang Sơn đã ứng dụng FEM để phân tích phân bố nhiệt trong quá trình phay, chứng minh tiềm năng của mô phỏng số trong đánh giá trường nhiệt trong chi tiết gia công [6].

Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung vào nhiệt độ tại vùng cắt hoặc nhiệt độ của dụng cụ, trong khi sự lan truyền nhiệt vào bên trong chi tiết gia công – yếu tố quyết định biên dạng nhiệt, độ chính xác kích thước và ứng suất dư – vẫn chưa được phân tích đầy đủ. Khoảng trống này đặc biệt quan trọng trong gia công vĩ mô, khi thể tích chi tiết lớn làm tăng khả năng tích nhiệt và gây biến dạng không mong muốn.

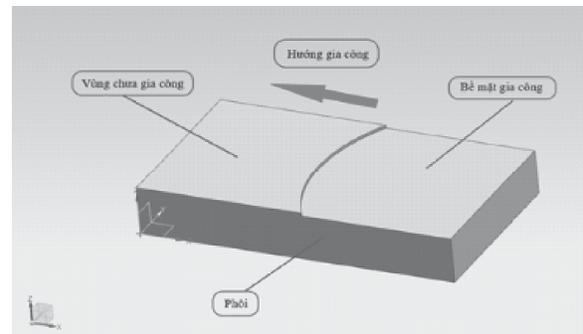
Xuất phát từ thực tế đó, bài báo này tập trung mô phỏng sự phân bố nhiệt trong toàn bộ chi tiết gia công bằng phương pháp phần tử

hữu hạn. Mục tiêu của nghiên cứu là xác định trường nhiệt phân bố theo thời gian và không gian bên trong phôi, từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho các nghiên cứu tiếp theo về ảnh hưởng của nhiệt độ đến chất lượng gia công và tối ưu hoá chế độ cắt.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thông thường, ta đã được biết sẵn những điều kiện biên về nhiệt như nhiệt độ môi trường hay giá trị của nguồn nhiệt, nhưng không biết trường nhiệt độ trong toàn bộ kích thước phôi. Đây là chủ đề của tính toán truyền nhiệt.

Sự dẫn nhiệt cùng với sự đối lưu diễn ra đối với các bài toán một, hai và ba chiều. Các điều kiện biên và điều kiện đặt cho quá trình gia công bao gồm thông lượng nhiệt duy định, bề mặt cách nhiệt, nhiệt độ quy định và đối lưu.



Hình 1. Mô hình hóa phôi trong quá trình gia công.

Các thông số gia công được chọn khi xem xét tốc độ cắt cao hơn cùng với độ sâu cắt vừa phải, đây là một lựa chọn phổ biến trong thực tế chung của quá trình làm thí nghiệm. Sau đây là các thông số được chọn để phay ngón phôi AISI H11 có độ cứng trung bình là 25 HRC:

- Tốc độ cắt: 200.000 m/ph;
- Chiều sâu cắt: 1.25 mm;

- Bước tiến dao/răng: 0.25 mm.

Các tính chất vật lý của vật liệu phôi cần thiết cho quá trình mô phỏng được đưa ra trong bảng 1.

Bảng 1. Tính chất vật lý của vật liệu AISI H11.

STT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng riêng	g/cc	7.60
2	Hệ số dẫn nở nhiệt	W/m-K	29.6
3	Nhiệt dung riêng	J/g-°C	0.460

Trong quá trình mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn, mô hình 3D được thiết lập để phân tích truyền nhiệt. Loại phần tử được chọn trong quá trình chia lưới có thể là khối tứ diện, khối tứ giác, khối lập phương,... Cách chọn chủ yếu dựa trên độ phức tạp của chi tiết cần gia công. Trong nghiên cứu này, phần tử được chọn khối tứ diện để phù hợp với các biên dạng gia công. Các phần tử lưới được chia gọi là các nút. Để thể hiện mối quan hệ giữa các nút với nhau, ta sử dụng ma trận độ cứng tổng thể. Cơ sở lý thuyết của phương pháp dựa trên phương trình rời rạc phân bố nhiệt độ tổng quát như sau:

$$T(x, y, z) = \sum_{i=1}^M N_i(x, y, z) T_i = [N][T]$$

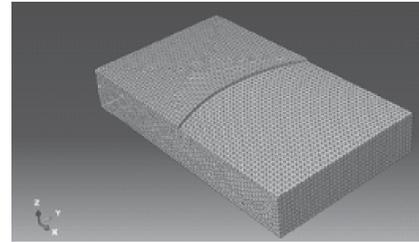
Trong đó:

- N là số nút;
- M là số thứ tự của nút.

Trong trường hợp truyền nhiệt ba chiều, chúng ta có ba loại điều kiện biên giống như trong hai chiều: Một là nhiệt độ xác định, hai là dòng nhiệt xác định và ba là điều kiện đối lưu.

Để minh họa, hình 2 ở trên cho thấy các phần tử tứ diện có chung một mặt trong mô

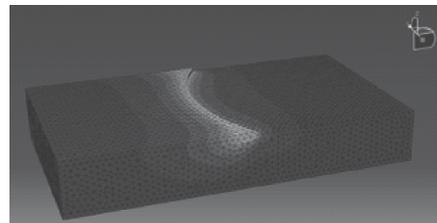
hình phần tử hữu hạn. Với 19063 phần tử lưới tứ diện được tạo bởi phần mềm Abaqus để phục vụ quá trình mô phỏng phân tích.



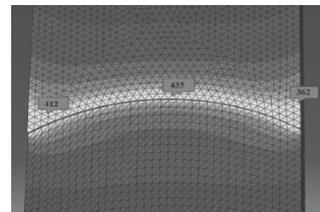
Hình 2. Phôi sau khi tạo lưới tứ diện 3D.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mối quan hệ giữa các thông số gia công và nhiệt độ được tạo ra tại vùng gia công đã được tính toán bằng cách sử dụng công cụ trợ giúp Abaqus. Như được thể hiện trong hình 4, vùng gia công đạt nhiệt độ tối đa khoảng 4500C được tập trung gần lưỡi cắt. Các vùng tiếp xúc lân cận do có sự khuếch tán nhiệt trong kim loại nên tương đối mát hơn, khoảng 4000C. Phân bố nhiệt độ của phôi trong gia công được hiển thị trong hình 3 và hình 4 từ các góc nhìn khác nhau.



Hình 3. Các vùng khuếch tán nhiệt độ từ nguồn nhiệt tại vùng gia công.



Hình 4. Mô hình nhiệt độ mô phỏng tại vùng gia công.

Lý do đằng sau việc tạo ra nhiệt độ cao tại vùng gia công chủ yếu là do ma sát giữa cạnh công cụ và phôi, làm cho vật liệu hình thành vết nứt tế vi, vết nứt này sẽ phát triển dần theo chiều tiến dao. Sau đó xảy ra quá trình hình thành phoi, phoi mới cắt sẽ chảy vào vùng biến dạng thứ hai. Tại đây phoi sẽ tiếp tục được ép đùn và sẽ tiếp xúc nhiều hơn với dụng cụ dẫn đến ma sát lớn. Do đó, nhiệt độ của phoi thường sẽ cao hơn các vùng tiếp xúc khác và nhiệt độ trung bình của nó trong điều kiện gia công bình thường sẽ vào khoảng 6250C.

Từ hình 4, rõ ràng là sự hình thành phoi đang diễn ra tại vùng tiếp xúc giữa chi tiết gia công và dụng cụ cắt. Tại đó còn xảy ra quá trình biến dạng dẻo. Nhiệt độ tại vị trí phoi sẽ cao hơn, nhiệt độ tại vị trí cắt sẽ giảm nhanh do được khuếch tán vào trong chi tiết. Thời gian cần thiết để cắt một lớp vật liệu với một vòng quay của dao là khoảng 150ms, tức là tốc độ dao cắt ở khoảng 3340 v/ph và cho chiều rộng vết cắt là 20mm. Do đó, có thể phân tích thêm, mở rộng thêm quá trình làm mát hoặc làm nguội nhanh vật liệu phôi gây ra hiện tượng biến cứng bề mặt, sự thay đổi nhanh chóng của vùng dẻo – đàn hồi ảnh hưởng đến cường độ chảy của vật liệu từ kết quả của nghiên cứu này.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phân bố nhiệt độ trong chi tiết gia công đã được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm Abaqus. Kết quả mô phỏng cho thấy vùng tiếp xúc giữa dao và phôi là nơi phát sinh nhiệt lớn nhất, với nhiệt độ cực đại đạt khoảng 450°C. Nhiệt độ giảm dần từ vùng cắt vào sâu bên trong vật liệu do quá trình khuếch tán nhiệt, tạo ra sự chênh lệch đáng kể giữa các vùng của chi tiết. Bên cạnh đó, phoi được xác định là khu vực có nhiệt độ cao hơn so với bề mặt phôi do chịu biến dạng dẻo mạnh và ma sát lớn trong quá trình ép đùn.

Những quan sát từ mô phỏng đã góp phần làm sáng tỏ cơ chế hình thành nhiệt trong gia công kim loại, đồng thời chứng minh FEM là công cụ hiệu quả để phân tích trường nhiệt trong các quá trình cắt gọt phức tạp. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở quan trọng cho việc tối ưu hóa thông số gia công nhằm giảm nhiệt độ cắt, hạn chế biến dạng nhiệt và nâng cao chất lượng bề mặt chi tiết.

Trong tương lai, nghiên cứu có thể được mở rộng theo các hướng: xem xét ảnh hưởng của điều kiện làm mát – bôi trơn, đánh giá sự thay đổi ứng suất dư do trường nhiệt không đồng đều, hoặc tích hợp mô hình nhiệt – cơ liên hợp để phân tích sâu hơn quá trình suy giảm độ cứng và mòn dụng cụ. Những hướng phát triển này sẽ góp phần hoàn thiện mô hình gia công và nâng cao độ chính xác của dự đoán trong thực tế sản xuất. ❖

Ngày nhận bài: **06/12/2025**

Ngày phản biện: **17/12/2025**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. M. E. Merchant, “*Mechanics of the Metal Cutting Process*”. Journal of Applied Physics, vol. 16, no. 5, pp. 267-275, 1945.
- [2]. O. Pantale, M. Bacaria, S. Dalverny, A. Hamdi, and J. Salcedo, “*2D and 3D numerical models of metal cutting with damage effects*”. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 193, no. 39-41, pp. 4383-4399, 2004.
- [3]. B. Denkena, J. Koehler, and B. Lorenzen, “*Thermo-mechanical coupled simulation of metal cutting*”. CIRP Annals – Manufacturing Technology, vol. 60, no. 1, pp. 61-64, 2011.
- [4]. M. Özel and T. Altan, “*Process simulation using finite element method – Prediction of cutting forces, tool stresses and temperature*”. Machining Science and Technology, vol. 5, no. 1, pp. 63-84, 2001.
- [5]. Nguyễn Tất Tiên, Trần Văn Địch, “*Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cắt đến nhiệt độ trong quá trình tiện thép C45*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên, vol. 112, pp. 45-52, 2015.
- [6]. Phạm Văn Hùng, Lê Quang Sơn, “*Mô phỏng và đánh giá phân bố nhiệt trong quá trình phay bằng phương pháp phần tử hữu hạn*”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, no. 9, pp. 25-30, 2019.