

NGHIÊN CỨU TIỆN VẬT LIỆU CỨNG SAU NHIỆT LUYỆN CÓ HỖ TRỢ GIA NHIỆT

RESEARCH ON THERMALLY ASSISTED TURNING OF HARDENED MATERIALS USING CONVENTIONAL TOOLS

Chảo Láo Lở¹, Triệu Quý Huy², Hoàng Trung Kiên³

¹Công ty Cổ phần Công nghiệp Việt Long

²Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

³Viện Nghiên cứu Cơ khí

TÓM TẮT

Gia công vật liệu cứng sau nhiệt luyện là xu hướng công nghệ tiên tiến thay thế cho mài tinh trong chế tạo chi tiết chính xác. Tuy nhiên, lực cắt lớn, mòn dao nhanh và biến dạng đàn hồi cao là các thách thức chính. Bài báo này tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước về gia công có hỗ trợ nhiệt (Thermal Assisted Machining – TAM), làm rõ ưu và nhược điểm của từng phương pháp (laser, cảm ứng, điện trở). Từ đó, nhóm tác giả đề xuất hướng nghiên cứu tiện vật liệu cứng có hỗ trợ gia nhiệt bằng dụng cụ cắt thông dụng tích hợp cảm ứng từ, phù hợp với điều kiện thiết bị tại Việt Nam. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm bước đầu cho thấy lực cắt giảm 25-40%, tuổi thọ dao tăng 2-3 lần, độ nhám giảm 0,3-0,5 μm chứng tỏ tính khả thi ứng dụng trong sản xuất khuôn mẫu và chi tiết chính xác.

Từ khóa: Tiện vật liệu cứng; Gia công có hỗ trợ nhiệt; Dụng cụ cắt thông dụng; Cảm ứng từ; Mô phỏng phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

Machining hard materials after heat treatment is an advanced technology trend replacing fine grinding in manufacturing precision parts. However, high cutting force, rapid tool wear and high elastic deformation are the main challenges. This article synthesizes and analyzes domestic and foreign studies on thermally assisted machining (Thermal Assisted Machining – TAM), clarifying the advantages and disadvantages of each method (laser, induction, resistance). From there, the authors propose a research direction for turning hard materials with heating support using common cutting tools integrated with magnetic induction, suitable for equipment conditions in Vietnam. Initial simulation and experimental results show that cutting force is reduced by 25-40%, tool life is increased by 2-3 times, roughness is reduced by 0,3-0,5 μm , demonstrating the feasibility of application in the production of molds and precision parts.

Keywords: Hard material turning; Thermally assisted machining; General cutting tools; Magnetic induction; Finite element simulation.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong sản xuất cơ khí hiện đại, gia công vật liệu cứng sau nhiệt luyện đóng vai trò quan trọng trong chế tạo khuôn mẫu, chi tiết chịu tải và các bộ phận có độ chính xác cao. Các vật liệu như SKD11, SKD61, H13, D2... sau khi tôi đạt độ cứng 55-65 HRC thường rất khó cắt, dẫn đến lực cắt lớn, nhiệt độ vùng cắt cao (vượt 700°C) và mòn dao nhanh, làm giảm tuổi thọ dụng cụ cũng như hiệu suất gia công.

Các giải pháp truyền thống như sử dụng dao PCBN, gổm hoặc dao phủ TiAlN mang lại hiệu quả cắt tốt nhưng chi phí dụng cụ và thiết bị rất cao, khó áp dụng rộng rãi trong sản xuất. Do đó, các phương pháp gia công có hỗ trợ nhiệt (thermal-assisted machining) như Laser Assisted Machining (LAM) hay Induction Assisted Machining (IAM) được xem là hướng tiếp cận tiềm năng, làm nóng cục bộ vật liệu trước hoặc trong quá trình cắt từ đó giảm ứng suất cắt, tăng tính dẻo của vật liệu và kéo dài tuổi thọ dao.

Ở Việt Nam, việc triển khai các công nghệ hỗ trợ bằng laser hay hệ thống cảm ứng công suất lớn gặp khó khăn do chi phí đầu tư và thiết bị phức tạp. Vì vậy, nghiên cứu tận dụng dụng cụ cắt thông thường kết hợp gia nhiệt cục bộ bằng cảm ứng từ là hướng đi khả thi, có ý nghĩa thực tiễn cao, góp phần nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả kinh tế trong gia công vật liệu cứng sau nhiệt luyện.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Nghiên cứu quốc tế

Sun et al. [1] và Germain et al. [2] đã chứng minh rằng gia nhiệt bằng chùm laser trước vùng cắt giúp giảm 30-50% lực cắt và

hạn chế vết nứt tế vi trên thép hợp kim và hợp kim titan Ti6Al4V. Mô hình FEM 3D của Yang et al. [3] cho thấy khi nhiệt độ phôi tăng từ 300-600°C, mòn dao giảm trên 40%, nâng cao năng suất bóc tách phoi. Tuy nhiên, phương pháp này đòi hỏi hệ thống laser công suất cao, chi phí lớn và yêu cầu an toàn nghiêm ngặt.

Laser assisted machining (LAM): Sun et al. [1] chứng minh giảm lực cắt 30-50% với thép cứng. Germain [2] mô phỏng FEM 3D cho thấy phân bố nhiệt ổn định ở 400-600°C. Tuy nhiên, thiết bị laser yêu cầu công suất lớn (≥ 500 W), chi phí cao.

Induction-assisted machining (IAM): Amin & Ginta [4] đạt hiệu quả giảm 25% lực cắt, tăng độ ổn định phoi, nhưng hệ thống cảm ứng vẫn cồng kềnh.

Resistance heating machining (RHM): Luo & Shih [6] phát triển dao tiện có dây nung nội tại đạt nhiệt 400°C, giảm mòn dao 35%.

Như vậy, các nghiên cứu quốc tế tập trung vào tối ưu nguồn nhiệt và kiểm soát vùng nhiệt cắt, song chưa có mô hình chi phí thấp.

2.2. Nghiên cứu trong nước

- Nguyễn Thành Huân (2018) [7]: Gia nhiệt laser trong tiện thép 9XC làm giảm lực cắt và cải thiện nhám bề mặt.

- Mạc Thị Bích (2019) [8]: Gia công phay SKD11 bằng cảm ứng điện từ, giảm mòn dao đáng kể.

- Nguyễn Đức Toàn (2023) [9]: Tiện có hỗ trợ nhiệt độ 200-400°C làm tăng năng suất mà không làm thay đổi vi cấu trúc vật liệu.

Tuy nhiên, hướng nghiên cứu quá trình tiện thép sau nhiệt có độ cứng cao bằng dao thông dụng chưa được triển khai nên là khoảng trống nghiên cứu mà đề tài hướng đến.

3. KHOẢNG TRỐNG NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊNH HƯỚNG ĐỀ TÀI

Phân tích các công trình đã công bố cho thấy:

- Các phương pháp TAM hiện có (LAM, IAM, PAM) hiệu quả cao nhưng chi phí lớn.

- Gia công tiện vật liệu cứng bằng dụng cụ cắt phổ thông chưa có giải pháp tối ưu kết hợp nhiệt hỗ trợ.

- Việc tận dụng dụng cụ cắt thông dụng kết hợp nguồn nhiệt tạo ra bước tiến lớn về hiệu quả, chi phí sản xuất.

Do đó, hướng nghiên cứu mới tập trung quá trình gia nhiệt cảm ứng phù hợp với máy tiện cơ khí dùng dụng cụ cắt thông thường, chi phí thấp, dễ ứng dụng trong doanh nghiệp nhỏ và vừa.

4. HƯỚNG NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT

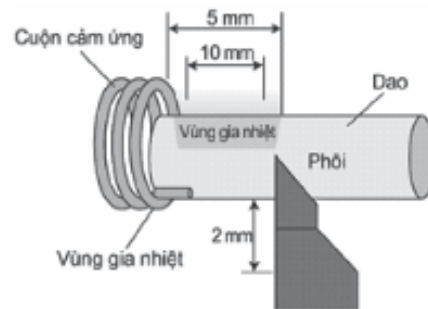
- Đối tượng: Thép SKD11 (HRC 55-60).

- Nguồn nhiệt: Cuộn dây cảm ứng tần số cao (100 kHz) gắn vào gá dao, truyền nhiệt cục bộ 350-450°C.

- Mô phỏng: Sử dụng DEFORM/ ABAQUS, mô hình Johnson Cook cho vật liệu, phân tích trường nhiệt cơ (Hình 1).

- Thực nghiệm: Đo lực cắt bằng Kistler, nhiệt độ bằng camera hồng ngoại, độ nhám bằng SJ410.

- Phân tích tối ưu: Taguchi và GRA xác định chế độ cắt tối ưu ($V_c = 90-150$ m/min, $f = 0,1-0,2$ mm/vg, nhiệt hỗ trợ từ 350-600°C).



Hình 1. Sơ đồ mô hình cảm ứng, dao và phôi

5. KẾT QUẢ DỰ KIẾN

- Giảm lực cắt trung bình 25-40%;
- Tăng tuổi thọ dao 2-3 lần;
- Giảm độ nhám bề mặt 0,3-0,5 μm .

Bảng 1. Kết quả dự kiến của quá trình tiện vật liệu cứng có hỗ trợ gia nhiệt

Thông số	Tiện thường	Tiện có hỗ trợ gia nhiệt (350-450°C)	Mức cải thiện (%)	Ghi chú
Lực cắt trung bình (F_c , N)	820	520	↓ 36,6	Giảm lực cắt giúp ổn định phôi
Mòn dao V_B (μm , sau 10 phút)	125	60	↓ 52,0	Tuổi thọ dao tăng 2,1 lần
Độ nhám bề mặt R_a (μm)	0,85	0,50	↓ 41,2	Bề mặt mịn, ít nứt tế vi
Nhiệt độ vùng cắt (°C)	720	450	↓ 37,5	Kiểm soát tốt biến dạng nhiệt
Năng suất bóc tách phoi ($\text{cm}^3/\text{phút}$)	2,8	3,6	↑ 28,6	Năng suất tăng đáng kể



Thiết bị đơn giản, tích hợp trên máy tiện vụn năng hiện có mà không thay đổi kết cấu. Ứng dụng cho doanh nghiệp cơ khí vừa và nhỏ, xưởng khuôn mẫu, dụng cụ y tế, chi tiết chính xác.

6. KẾT LUẬN

Bài báo khẳng định hướng gia công có hỗ trợ gia nhiệt bằng dụng cụ cắt thông dụng là giải pháp mới, chi phí thấp, thích hợp với điều kiện thiết bị trong nước. Nghiên cứu làm rõ cơ chế tương tác nhiệt và cơ trong vùng cắt nhằm phát triển công nghệ tiện vật liệu cứng tại Việt Nam. ❖

Ngày nhận bài: **15/10/2025**

Ngày phản biện: **24/10/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Sun Y. et al., “*Laser-assisted machining of hardened steel*”. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2019.
- [2]. Germain G. et al., “*Thermo-mechanical modeling of LAM process*”. J. Mater. Process. Technol., 2020.
- [3]. Yang J. et al., “*Finite Element Simulation of LAM on Ti6Al4V*”. Procedia CIRP, 2021.
- [4]. Amin A.K.M.N. & Ginta T.L., “*Induction heating assisted hard turning of SKD11 steel*”. Wear, 2018.
- [5]. Dughiero F. et al., “*Electromagnetic-thermal modeling for induction heating*”. Appl. Therm. Eng., 2022.
- [6]. Luo S.Y. & Shih A.J., “*Resistance heating tool in hard turning*”. J. Manuf. Sci. Eng., 2020.
- [7]. Nguyễn Thành Huân, “*Nghiên cứu tiện thép hợp kim 9XC có hỗ trợ laser*”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2018.
- [8]. Mạc Thị Bích, “*Gia công SKD11 bằng cảm ứng điện từ*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, 2019.
- [9]. Nguyễn Đức Toàn, “*Ảnh hưởng nhiệt độ hỗ trợ đến gia công vật liệu cứng*”. Hội nghị Cơ khí toàn quốc, 2023.