

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN CẮT VÀ GIA NHIỆT ĐẾN CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI TIỆN THÉP SKD61 BẰNG DAO HSS

INFLUENCE OF CUTTING AND HEATING CONDITIONS ON SURFACE QUALITY WHEN TURNING SKD61 STEEL WITH HSS TOOLS

Đỗ Anh Tuấn¹, Hoàng Trung Kiên², Triệu Quý Huy^{3,*}

¹Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh (Nghiên cứu sinh Viện Nghiên cứu Cơ khí)

²Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

³Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

*Email: tqhuy@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Thép SKD61 là loại thép dụng cụ làm nguội bằng không khí, sử dụng phổ biến trong ngành công nghiệp khuôn đúc và chịu nhiệt. Do độ cứng cao, việc gia công thép SKD61 bằng dao thép gió (HSS) có độ cứng thấp hơn phôi gặp nhiều khó khăn, dẫn đến mòn dao nhanh và chất lượng bề mặt kém. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số cắt (tốc độ cắt, lượng chạy dao, chiều sâu cắt) và quá trình gia nhiệt cảm ứng từ tại vùng cắt đến chất lượng bề mặt của chi tiết khi tiện thép SKD61 bằng dao HSS. Thông qua các thí nghiệm thực nghiệm và phân tích thống kê, kết quả cho thấy quá trình gia nhiệt có vai trò quan trọng trong việc giảm lực cắt, cải thiện độ nhẵn bề mặt và giảm tốc độ mòn dao.

Từ khóa: SKD61; Tiện cứng; HSS; Gia nhiệt cảm ứng; Độ nhám bề mặt; Chất lượng gia công.

ABSTRACT

SKD61 steel is an air-cooled tool steel commonly used in the mold and heat-resistant industries. Due to its high hardness, machining SKD61 steel with high-speed steel (HSS) tools, which have lower hardness than the workpiece, is difficult, leading to rapid tool wear and poor surface quality. This paper presents the results of a study on the influence of cutting parameters (cutting speed, feed rate, depth of cut) and the induction heating process in the cutting zone on the surface quality of a workpiece when turning SKD61 steel with HSS tools. Through experimental experiments and statistical analysis, the results show that the heating process plays an important role in reducing cutting force, improving surface roughness and reducing tool wear rate.

Keywords: SKD61; Hard turning; HSS; Induction heating; Surface roughness; Machining quality.



1. GIỚI THIỆU

Gia công các vật liệu có độ cứng cao SKD61 là một thách thức lớn trong ngành cơ khí chế tạo do lực cắt lớn, mòn dao nhanh và chất lượng bề mặt khó kiểm soát [4], [6]. Khi độ cứng của vật liệu tăng, quá trình cắt phát sinh nhiệt độ và ứng suất cao tại vùng tiếp xúc dao-phôi làm giảm tuổi thọ dụng cụ và ảnh hưởng đến tính toàn vẹn bề mặt chi tiết [7], [8]. Vì vậy, việc nghiên cứu các phương pháp hỗ trợ gia công nhằm giảm lực cắt và cải thiện chất lượng bề mặt đang nhận được nhiều sự quan tâm.

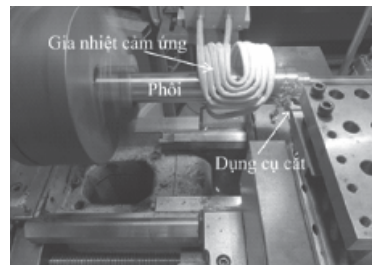
Trong gia công tiện cứng, các loại dụng cụ như CBN, PCBN được sử dụng để đảm bảo khả năng cắt ổn định. Tuy nhiên, chi phí của các loại dụng cụ này khá cao và khó áp dụng rộng rãi trong điều kiện sản xuất quy mô nhỏ [2]. Một hướng tiếp cận hiệu quả là áp dụng các phương pháp gia nhiệt hỗ trợ nhằm làm giảm độ cứng cục bộ của vật liệu tại vùng cắt.

Các nghiên cứu trước đây gia nhiệt hỗ trợ bằng laser, cảm ứng để cải thiện khả năng gia công các vật liệu cứng bằng cách giảm lực cắt, hạn chế mòn dao và nâng cao chất lượng bề mặt [5]. Phương pháp gia nhiệt cảm ứng có ưu điểm về khả năng gia nhiệt cục bộ nhanh và dễ tích hợp với hệ thống máy công cụ [3]. Một số nghiên cứu thực nghiệm cũng chỉ ra gia nhiệt hỗ trợ cải thiện độ nhẵn bề mặt khi tiện thép cứng [1].

Xuất phát từ những vấn đề trên, nghiên cứu này tập trung phân tích ảnh hưởng của điều kiện cắt và quá trình gia nhiệt cảm ứng đến chất lượng bề mặt khi tiện thép SKD61 bằng dao thép gió (HSS) nhằm đề xuất giải pháp gia công hiệu quả với chi phí dụng cụ thấp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thiết bị



Hình 1. Tiến hành thí nghiệm

- Phôi: Thép SKD61 đã tôi đến độ cứng 50-52 HRC.
- Dụng cụ: Dao tiện HSS không phủ, hình học cắt tiêu chuẩn ISO.
- Hệ thống gia nhiệt: Cảm ứng từ tần số cao (30-50 kHz), cuộn dây bố trí song song trục phôi, khoảng cách từ vùng cắt 3 mm.
- Thiết bị đo: Máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-210, camera nhiệt, máy tiện CNC.

2.2. Thiết kế thí nghiệm

Bảng 1. Các yếu tố và mức thí nghiệm

Ký hiệu	Yếu tố	Đơn vị	Mức -1	Mức 0	Mức +1
V_c	Tốc độ cắt	m/ph	60	90	120
f	Lượng chạy dao	mm/vg	0,05	0,10	0,15
a_p	Chiều sâu cắt	mm	0,10	0,20	0,30
T	Nhiệt độ gia nhiệt	°C	Không gia nhiệt	200	400

Các yếu tố công nghệ và các mức thí nghiệm sử dụng trong thiết kế thí nghiệm theo phương pháp Box–Behnken (BBD) với ba mức mã hóa (–1, 0, +1) theo Bảng 1. Các biến đầu vào bao gồm tốc độ cắt (V_c), lượng chạy dao (f), chiều sâu cắt (a_p) và nhiệt độ gia nhiệt cảm ứng (T) được lựa chọn dựa trên điều kiện gia công thực tế và các nghiên cứu trước đây nhằm đảm bảo tính ổn định của quá trình cắt. Ba mức của mỗi yếu tố đại diện cho giá trị thấp, trung bình và cao để đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ tương tác giữa các yếu tố đến độ nhám bề mặt Ra. Việc mã hóa các mức thí nghiệm sẽ chuẩn hóa dữ liệu và thuận lợi cho quá trình xây dựng mô hình hồi quy bậc hai trong phương pháp RSM. Thiết kế BBD giảm số lượng thí nghiệm cần thực hiện nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy thống kê của mô hình.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ gia nhiệt

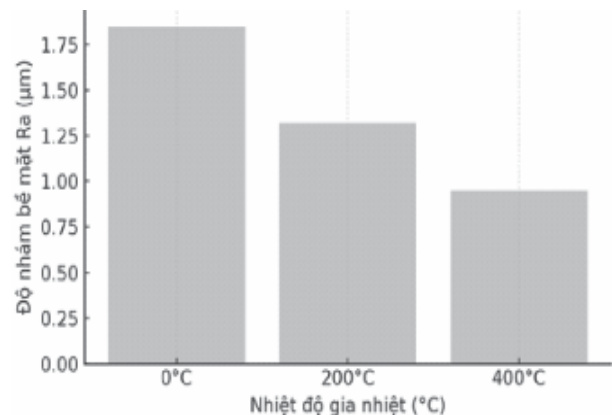
Gia nhiệt cảm ứng làm mềm lớp bề mặt phôi tại thời điểm cắt, từ đó:

- Giảm lực cắt 20-30% so với không gia nhiệt (hình 1);
- Giảm độ nhám bề mặt từ 1,85 μm xuống còn 0,95 μm khi gia nhiệt ở mức 400°C (hình 2);
- Giảm hiện tượng mẻ dao, mài mòn mũi dao HSS duy trì ổn định qua 2-3 lần gia công liên tục.

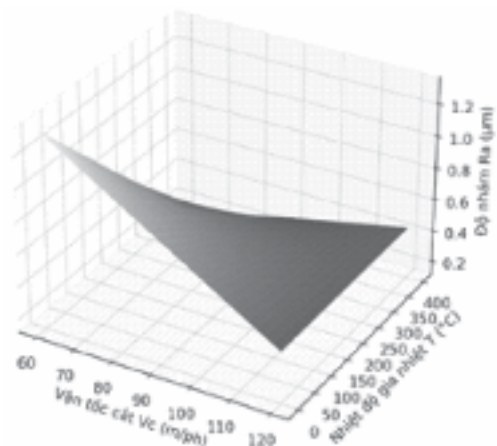
Hình 1 thể hiện ảnh hưởng của nhiệt độ gia nhiệt cảm ứng đến độ nhám bề mặt Ra khi tiện thép SKD61 bằng dao HSS. Khi tăng nhiệt độ gia nhiệt từ 0°C lên 200°C và 400°C, giá trị Ra giảm rõ rệt chứng tỏ quá trình gia nhiệt làm giảm độ cứng cục bộ của vật liệu tại vùng cắt,

giảm lực cắt và cải thiện điều kiện hình thành phoi nhờ đó bề mặt gia công trở nên mịn hơn và quá trình cắt ổn định hơn.

Hình 2 biểu diễn biểu đồ đáp ứng bề mặt 3D của độ nhám Ra theo vận tốc cắt V_c và nhiệt độ gia nhiệt T . Khi tăng đồng thời vận tốc cắt và nhiệt độ gia nhiệt, độ nhám bề mặt có xu hướng giảm cho thấy sự kết hợp giữa gia nhiệt hỗ trợ và chế độ cắt phù hợp cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt gia công. Xu hướng của bề mặt đáp ứng cũng cho thấy vùng thông số tối ưu nằm ở vận tốc cắt trung bình cao và nhiệt độ gia nhiệt khoảng 400°C.



Hình 2. Ảnh hưởng của gia nhiệt đến độ nhám bề mặt Ra



Hình 3. Biểu đồ đáp ứng bề mặt Ra theo vận tốc cắt V_c và gia nhiệt T

3.2. Ảnh hưởng của thông số cắt

- Các thông số cắt như vận tốc cắt V_c , lượng chạy dao f và chiều sâu cắt a_p có ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng bề mặt khi tiện thép SKD61 bằng dao HSS. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi tăng vận tốc cắt, độ nhám bề mặt có xu hướng giảm do quá trình cắt diễn ra ổn định hơn và phoi được hình thành liên tục, vận tốc quá cao làm tăng nhiệt độ tại vùng cắt và đẩy nhanh quá trình mòn dao.

- Đối với lượng chạy dao, khi giá trị f tăng thì độ nhám bề mặt tăng rõ rệt do chiều cao vết nhấp nhô hình học trên bề mặt gia công lớn hơn. Vì vậy, lượng chạy dao nhỏ cải thiện độ bóng bề mặt nhưng làm giảm năng suất gia công. Trong nghiên cứu này, giá trị $f = 0,10$ mm/vg cho thấy sự cân bằng hợp lý giữa chất lượng bề mặt và năng suất.

- Chiều sâu cắt a_p cũng ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt và độ ổn định của quá trình cắt. Khi a_p tăng, lực cắt và tải trọng lên dụng cụ tăng theo, dẫn đến rung động và mòn dao nhanh hơn, làm giảm chất lượng bề mặt. Do đó, giá trị $a_p = 0,2$ mm được xác định phù hợp để đảm bảo quá trình cắt ổn định và duy trì độ nhám bề mặt ở mức thấp trong điều kiện gia công của nghiên cứu.

3.3. Mô hình hồi quy bậc hai

Trên cơ sở dữ liệu thí nghiệm thu được từ thiết kế Box–Behnken, mô hình hồi quy bậc hai được xây dựng nhằm mô tả mối quan hệ giữa các thông số công nghệ và độ nhám bề mặt R_a . Mô hình này cho phép đánh giá đồng thời ảnh hưởng riêng lẻ, tương tác và thành phần phi tuyến của các yếu tố đến chất lượng bề mặt gia công. Dạng tổng quát của mô hình hồi quy bậc hai được biểu diễn:

$$Ra = 2,24 - 0,015V_c + 4,2f + 0,85a_p - 0,006T + 0,05V_c f - 0,12fT + 0,08a_p^2$$

Trong đó: R_a là độ nhám bề mặt (μm), V_c là tốc độ cắt (m/ph), f là lượng chạy dao (mm/vg), a_p là chiều sâu cắt (mm) và T là nhiệt độ gia nhiệt ($^{\circ}C$).

Kết quả phân tích thống kê mô hình có hệ số xác định $R^2 = 0,94$, chứng tỏ mức độ phù hợp cao giữa mô hình và dữ liệu thực nghiệm. Các hệ số hồi quy phản ánh xu hướng ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến độ nhám bề mặt. Trong đó, lượng chạy dao f có ảnh hưởng mạnh nhất làm tăng giá trị R_a , trong khi tốc độ cắt V_c và nhiệt độ gia nhiệt T có xu hướng làm giảm độ nhám bề mặt phù hợp với cơ chế cắt trong gia công thép cứng, khi gia nhiệt cảm ứng làm mềm lớp vật liệu tại vùng cắt và quá trình tạo phoi diễn ra ổn định hơn.

Ngoài ra, các thành phần tương tác và phi tuyến trong mô hình kết hợp giữa các thông số cắt và điều kiện gia nhiệt đóng vai trò kiểm soát chất lượng bề mặt. Mô hình hồi quy bậc hai được sử dụng dự đoán và tối ưu hóa chế độ gia công, nâng cao hiệu quả khi tiện thép SKD61 bằng dao HSS có hỗ trợ gia nhiệt cảm ứng.

4. KẾT LUẬN

- Quá trình gia nhiệt cảm ứng từ tại vùng cắt có tác động tích cực rõ rệt đến chất lượng bề mặt khi tiện thép SKD61 bằng dao HSS, giảm độ nhám trung bình đến 50%.

- Nhiệt độ gia nhiệt tối ưu trong nghiên cứu là khoảng $400^{\circ}C$ làm ổn định dao và nâng cao độ bóng.

- Giá trị tối ưu của các thông số cắt thu được là: $V_c = 90$ m/ph, $f = 0,10$ mm/vg, $a_p = 0,2$ mm.

- Phương pháp này mở ra hướng ứng dụng dao giá rẻ (HSS) cho gia công các vật liệu cứng khi kết hợp với kiểm soát nhiệt độ chính xác. ❖

Ngày nhận bài: **01/3/2026**

Ngày phản biện: **09/3/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Quang Huy, Trần Minh Khôi (2021), “*Effect of heating-assisted turning on surface finish when machining hard steel*”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- [2]. Trần Mạnh Kiên, Nguyễn Đức Toàn (2020), “*Analysis of tool wear and surface roughness in hard turning of SKD61*”. Journal of Mechanical Science and Technology.
- [3]. Trần Văn Hải, Nguyễn Văn Hưng (2019), “*Ứng dụng gia nhiệt cảm ứng trong gia công tiện thép dụng cụ*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Cơ khí Việt Nam.
- [4]. Davim, J. P. (2011), “*Machining of Hard Materials*”. London: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-450-0>
- [5]. Dandekar, C. R., Shin, Y. C. (2012), “*Laser-assisted machining of hard materials*”. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 57, 30-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2012.02.002>
- [6]. Umbrello, D., Filice, L., Micari, F. (2007), “*Hard machining of AISI H13 tool steel*”. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47(12-13), 1914-1920. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.01.009>
- [7]. Chou, Y. K., Evans, C. J. (1999), “*Tool wear mechanism in continuous cutting of hardened tool steels*”. Wear, 212(1), 59-65. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(97\)00174-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(97)00174-7)
- [8]. Matsumoto, Y., Barash, M. M., Liu, C. R. (1987), “*Effect of hardness on the surface integrity of AISI 4340 steel*”. ASME Journal of Engineering for Industry, 109(3), 169-175. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.3187116>