

## Nghiên cứu quan hệ giữa nhiệt cắt và nhám bề mặt khi mài

### Studying the relationship between temperature and surface roughness in grinding

Đỗ Đức Trung\*, Nguyễn Văn Thiện, Hoàng Tiến Dũng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: dotrung.th@gmail.com

Mobile: 0988488691

---

#### Tóm tắt

##### Từ khóa:

Chế độ cắt khi mài; Nhám bề mặt; Nhiệt mài; Thông số của hệ thống mài.

Bài báo này trình bày một nghiên cứu về mối quan hệ giữa nhiệt cắt và nhám bề mặt khi mài. Trên cơ sở những nghiên cứu về quá trình mài, mối quan hệ giữa nhiệt cắt với các thông số của quá trình mài (chế độ cắt, thông số về vật liệu chi tiết...) được thành lập. Từ đó đưa ra được mối quan hệ giữa nhiệt cắt và nhám bề mặt khi mài. Sử dụng mối quan hệ đó để xác định nhiệt cắt theo số liệu độ nhám bề mặt đã được xác định (độ nhám đã được đo trước đó). Kết quả cho thấy: giá trị nhiệt cắt khi tính toán tương đối phù hợp với thực nghiệm. Từ đó cho thấy, có thể tham khảo kết quả nghiên cứu của bài báo này để dự đoán nhiệt cắt trong từng trường hợp cụ thể khi mài. Mặc khác bài báo cũng đưa ra hướng phát triển cho các nghiên cứu tiếp theo.

#### Abstract

##### Keywords:

Cutting parameters; Surface roughness; Grinding Temperature; Parameters of grinding system.

This paper introduces a study on relationship between temperature and surface roughness in grinding. Based on other research on grinding process, the relationship between grinding temperature of workpiece and parameters of grinding system (cutting parameters, workpiece parameter etc...) was established. Thus, we formed the relationship between grinding temperature and surface roughness. This relationship is used to calculate grinding temperature of workpiece according to predetermined surface roughness. The results of calculated temperature are in agreement with experiment data. Therefore, the results of this study can be referred for calculating of the grinding temperature in practical cases. On the other hand, further research direction is presented.

---

Ngày nhận bài: 27/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 01/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/8/2018

---

## 1. GIỚI THIỆU

Trong gia công cơ khí, mài là phương pháp phổ biến, thường được dùng để gia công lần cuối các bề mặt quan trọng với yêu cầu độ chính xác, độ bóng bề mặt cao [1, 2].

Cũng như các phương pháp gia công cắt gọt khác, chất lượng của chi tiết mài được đánh giá qua nhiều thông số như nhám bề mặt, độ chính xác kích thước, cấu trúc lớp bề mặt,... trong đó nhám bề mặt là thông số có ảnh hưởng lớn đến chất lượng làm việc của chi tiết máy và thường được chọn làm chỉ tiêu đánh giá chất lượng sản phẩm [1, 2].

Bên cạnh nhám bề mặt, nhiệt cắt khi mài cũng có ảnh hưởng lớn đến chất lượng bề mặt chi tiết máy. Khi mài, nhiệt cắt có thể gây ra một số hiện tượng sai hỏng cho bề mặt chi tiết: nứt bề mặt, cháy bề mặt, bề mặt có độ cứng thay đổi,... [2].

Việc nghiên cứu về nhám bề mặt và nhiệt cắt khi mài đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước. Trong đó, nếu như việc xác định nhám bề mặt chi tiết mài tương đối đơn giản vì thiết bị đo nhám khá phổ biến, thao tác đơn giản thì việc xác định nhiệt cắt khi mài lại là một vấn đề khá phức tạp, gây khó khăn cho quá trình nghiên cứu, qua đó ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của quá trình gia công.

Trong nghiên cứu này: Trên cơ sở những nghiên cứu về quá trình mài, mối quan hệ giữa nhiệt cắt với các thông số của quá trình mài được thành lập. Từ đó đưa ra được mối quan hệ giữa nhiệt cắt và nhám bề mặt khi mài. Sử dụng mối quan hệ đó để xác định nhiệt cắt theo giá trị nhám bề mặt đã có (độ nhám đã được đo trước đó). Kết quả cho thấy: giá trị nhiệt cắt khi tính toán tương đối phù hợp với thực nghiệm. Từ đó cho thấy, có thể tham khảo kết quả nghiên cứu của bài báo này để dự đoán nhiệt cắt trong từng trường hợp cụ thể khi mài, đồng thời làm tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo.

## 2. THÀNH LẬP MỐI QUAN HỆ GIỮA NHIỆT CẮT VÀ NHÁM BỀ MẶT KHI MÀI

Theo Sanchit Kumar Khare và cộng sự [3] nhám bề mặt khi mài xác định theo công thức:

$$R_a = 0,471 \cdot h_m \quad (1)$$

Trong đó:  $h_m$  là chiều dày phoi không biến dạng.

Theo Stephen Malkin và Changsheng Guo [2] trong hầu hết các quá trình mài, phần lớn công suất của quá trình mài đều chuyển thành nhiệt năng, nhiệt độ lớn nhất trên bề mặt chi tiết được xác định theo công thức:

$$\theta = \frac{1,595 \cdot q_w \cdot \alpha^{1/2} \cdot l^{1/2}}{k \cdot V^{1/2}} \quad (2)$$

Trong đó:

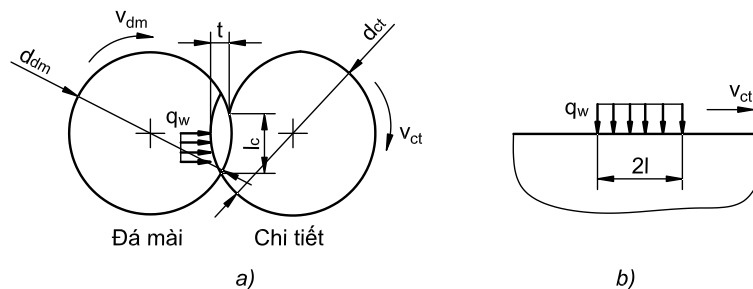
$q_w$  - nhiệt phân bố trên bề mặt chi tiết;

$k$  - độ dẫn nhiệt của vật liệu chi tiết, giá trị  $k$  của một số loại vật liệu có thể tra cứu theo [4];

$\alpha$  - độ tản nhiệt của vật liệu chi tiết, giá trị  $\alpha$  của một số loại vật liệu có thể tra cứu theo [5];

$V$  - vận tốc của nguồn nhiệt;

Theo như hình 1, vận tốc di chuyển của nguồn nhiệt  $V$  chính là vận tốc của chi tiết  $V_{ct}$  [6]:



**Hình 1.** Mô hình truyền nhiệt tại vùng mài: (a) khi mài tròn ngoài; (b) khi mài phẳng [6]

$$V = V_{ct} \quad (3)$$

$l$  - là nửa chiều dài của nguồn nhiệt, được xác định theo công thức 4.

$$l = l_c/2 \quad (4)$$

Trong đó,  $l_c$  là chiều dài cung tiếp xúc giữa đá mài và chi tiết, được xác định theo công thức sau [7]:

$$l_c = (t \cdot d_e)^2 \quad (5)$$

Trong công thức (5),  $d_e$  là đường kính đá mài tương đương và được xác định theo công thức (6) [1, 2], với  $d_{dm}$  và  $d_{ct}$  tương ứng là đường kính của đá mài và đường kính của chi tiết.

$$d_e = \frac{d_{dm} \cdot d_{ct}}{d_{dm} \pm d_{ct}} \quad (6)$$

Trong công thức (6) dấu (-) sử dụng khi mài tròn trong, dấu (+) sử dụng khi mài tròn ngoài; đối với phương pháp mài phẳng thì đường kính chi tiết là vô cùng, khi đó  $d_e = d_{dm}$ .

Kết hợp các phương trình (2) đến (6), nhiệt cắt lớn nhất trên bề mặt chi tiết được xác định theo công thức sau:

$$\theta = 1,13 \cdot \frac{q_w a^{1/2} t^{1/4}}{k v_{ct}^{1/2}} \left[ \frac{d_{dm} \cdot d_{ct}}{d_{dm} \pm d_{ct}} \right]^{1/4} \quad (7)$$

Trong công thức (7):  $q_w$  là nhiệt phân bố trên bề mặt chi tiết, hay còn gọi là thông lượng nhiệt, là lượng nhiệt truyền vào bề mặt chi tiết trên một đơn vị diện tích tại vùng mài. Trong tổng số nguồn năng lượng của quá trình mài, gọi  $\varepsilon$  là phần năng lượng chuyển thành nhiệt năng truyền vào bề mặt chi tiết ở khu vực mài. Gọi  $u$  là năng lượng riêng khi mài, theo Stephen Malkin và cộng sự [2] ta có biểu thức sau:

$$q_w = \frac{\varepsilon \cdot u \cdot v_{ct} \cdot t \cdot b}{l_c \cdot b} = \frac{\varepsilon \cdot P}{l_c \cdot b} = \varepsilon \cdot q \quad (8)$$

Trong công thức (8), phần năng lượng chuyển thành nhiệt năng truyền vào chi tiết  $\varepsilon$  là một đại lượng rất khó xác định. Theo Malkin và Anderson [8] khi sử dụng đá oxit nhôm,  $\varepsilon$  có giá trị nằm trong khoảng 60 đến 90%; còn theo Sato [9] khi sử dụng đá CBN thì giá trị của  $\varepsilon$  khoảng 84%.

Tổng năng lượng của quá trình mài bao gồm năng lượng tạo phoi, năng lượng cho hiện tượng cày của hạt mài vào bề mặt gia công và năng lượng trượt của hạt mài trên bề mặt chi tiết, được thể hiện theo phương trình sau [8]:

$$u = u_{ch} + u_{pl} + u_{sl} \quad (9)$$

Trong công thức (9):  $u_{ch}$ ,  $u_{cp}$  và  $u_{sl}$  tương ứng là năng lượng tạo phoi, năng lượng cày và năng lượng trượt. Trong đó  $u_{ch}$  chiếm khoảng 45% tổng năng lượng của quá trình mài, phần năng lượng còn lại sẽ chuyển thành nhiệt cắt. Từ đó theo Malkin và Anderson ta có [8]:

$$\varepsilon = \frac{u_{pl} + u_{sl} + 0,55u_{ch}}{u} = \frac{u - 0,45u_{ch}}{u} \quad (10)$$

Kết hợp các phương trình trên ta được:

$$\theta = \frac{1,13 \cdot \alpha^{1/2} \cdot t^{3/4} \cdot v_{ct}^{1/2} (u - 0,45u_{ch})}{k} \left\{ \frac{d_{dm} \cdot d_{ct}}{d_{dm} \pm d_{ct}} \right\}^{1/4} \quad (11)$$

Theo Roger Singleton [10] năng lượng riêng  $u$  của quá trình mài được xác định như sau:

$$u = 1/h_m^n \quad (12)$$

Trong đó:

$n$  là một hệ số dương, việc xác định giá trị của  $n$  thường gặp nhiều khó khăn, giá trị của  $n$  nằm trong khoảng 0,8 - 1[10]; Trong phần tiếp theo của bài báo này, giá trị của  $n$  được chọn bằng 0,8 theo các nghiên cứu [10, 11].

Kết hợp các phương trình (7), (11) và (12), nhiệt độ lớn nhất của vùng mài được xác định theo công thức:

$$\theta = \frac{1,13\varepsilon \cdot \alpha^{1/2} \cdot t^{3/4} \cdot v_{ct}^{1/2}}{k} \left\{ \frac{d_{dm} \cdot d_{ct}}{d_{dm} \pm d_{ct}} \right\}^{1/4} \frac{1}{h_m^n} \quad (13)$$

Thay phương trình (1) vào (13) ta được biểu thức thể hiện mối quan hệ giữa nhiệt cắt và nhám bề mặt như sau:

$$\theta = \frac{1}{R_a^n} \cdot \frac{1,13 \cdot 0,471^n \cdot \varepsilon \cdot \alpha^{1/2} \cdot t^{3/4} \cdot v_{ct}^{1/2}}{k} \left\{ \frac{d_{dm} \cdot d_{ct}}{d_{dm} \pm d_{ct}} \right\}^{1/4} \quad (14)$$

Biểu thức (14) là cơ sở để xác định nhiệt cắt trên cơ sở nhám bề mặt của chi tiết khi mài.

### 3. XÁC ĐỊNH NHIỆT CẮT TRÊN CƠ SỞ NHÁM BỀ MẶT KHI MÀI PHẪNG

Khi mài phẳng với giá trị của  $n$  được chọn bằng 0,8 như đã trình bày ở trên, biểu thức (14) được viết lại như sau:

$$\theta = \frac{1}{R_a^{0,8}} \cdot \frac{0,6187 \cdot \varepsilon \cdot \alpha^{1/2} \cdot t^{3/4} \cdot v_{ct}^{1/2} \cdot d_{dm}^{1/4}}{k} \quad (15)$$

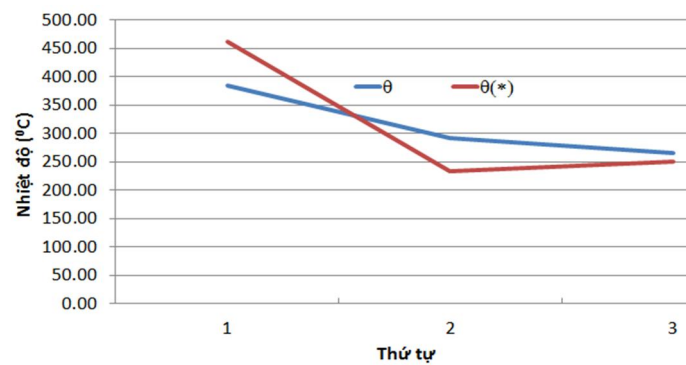
Sử dụng biểu thức (15) để tính nhiệt cắt ( $\theta$ ) theo nhám bề mặt (nhám bề mặt đã được xác định trước bằng máy đo) và so sánh với nhiệt cắt được xác định từ thực nghiệm ( $\theta^*$ ). Dữ liệu được dùng để so sánh trong nghiên cứu này là số liệu nghiên cứu thực nghiệm khi mài thép HC-HCR (thép Crom chất lượng cao – Tiêu chuẩn của Trung Quốc) bằng đá  $Al_2O_3$  có đường kính 175mm trong nghiên cứu của Jaswanth và cộng sự [12]. Ngoài các thông số  $t$ ,  $v_{ct}$ ,  $d_G$  được chọn để tính nhiệt cắt ( $\theta$ ) theo như nghiên cứu thực nghiệm của Jaswanth và cộng sự [12], các thông số khác được lựa chọn theo các nghiên cứu trước đó như đã phân tích ở trên và có giá trị như sau:  $\varepsilon = 0,6$ [8];  $\alpha = 18,8(mm^2/s)$ [5];  $k = 36(W/m.K)$ [4];  $n = 0,8$ [10, 11].

Jaswanth và cộng sự [12] đã tiến hành 16 điểm thí nghiệm khi nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của các thông số: vận tốc đá mài, vận tốc chi tiết, chiều sâu cắt đến nhám bề mặt và nhiệt cắt khi mài khô. Họ cũng đã tiến hành 16 điểm thí nghiệm khi nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của các thông số: vận tốc đá mài, vận tốc chi tiết, chiều sâu cắt, lưu lượng dung dịch trơn nguội đến nhám bề mặt và nhiệt cắt. Tuy nhiên mối quan hệ giữa nhiệt cắt và nhám bề mặt được thành lập trong nghiên cứu này (công thức 15) không bao gồm thông số về vận tốc đá mài và công nghệ trơn nguội. Do đó, chúng tôi chỉ tiến hành so sánh giá trị nhiệt cắt khi tính toán theo công thức (15) với nhiệt cắt khi thực nghiệm trong điều kiện mài khô của Jaswanth và cộng sự [12] ứng với từng giá trị của vận tốc đá mài. Kết quả đạt được như sau:

\* Giá trị nhiệt cắt khi tính toán và khi thực nghiệm trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 18,3m/s (bảng 1, hình 2).

**Bảng 1.** Giá trị nhiệt cắt khi thí nghiệm [12] và nhiệt cắt khi tính toán trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 18,3m/s

TT	t( $\mu\text{m}$ )	v <sub>ct</sub> (m/ph)	R <sub>a</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\theta^*$ ( $^{\circ}\text{C}$ )[12]	$\theta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	25	12	1,68	462	385,32
2	10	15	1,16	234	291,41
3	20	5	1,25	250	266,54

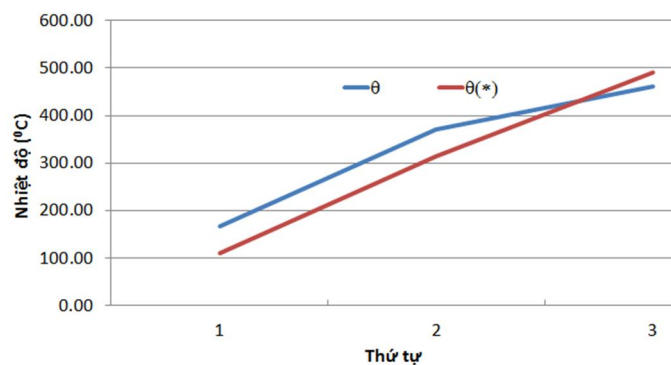


**Hình 2.** Giá trị nhiệt cắt khi thí nghiệm [12] và nhiệt cắt khi tính toán trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 18,3m/s

\* Giá trị nhiệt cắt khi tính toán và khi thực nghiệm trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 9,17m/s (bảng 2, hình 3).

**Bảng 2.** Giá trị nhiệt cắt khi thí nghiệm [12] và nhiệt cắt khi tính toán trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 9,17m/s

TT	t( $\mu\text{m}$ )	v <sub>ct</sub> (m/ph)	R <sub>a</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\theta^*$ ( $^{\circ}\text{C}$ )[12]	$\theta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	10	5	1,16	110	168,25
2	25	8	1,37	314	370,38
3	30	12	1,59	490	461,68

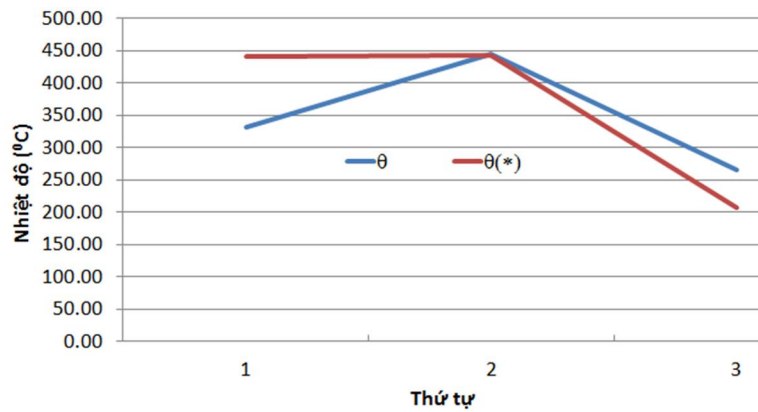


**Hình 3.** Giá trị nhiệt cắt khi thí nghiệm [12] và nhiệt cắt khi tính toán trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 9,17m/s

\* Giá trị nhiệt cắt khi tính toán và khi thực nghiệm trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 13,8m/s (bảng 3, hình 4).

**Bảng 3.** Giá trị nhiệt cắt khi thí nghiệm [12] và nhiệt cắt khi tính toán trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 13,8m/s

TT	t( $\mu\text{m}$ )	v <sub>ct</sub> (m/ph)	R <sub>a</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\theta^*$ ( $^{\circ}\text{C}$ )[12]	$\theta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	30	5	1,39	441	331,85
2	25	15	1,61	442	445,72
3	10	12	1,13	208	266,17



**Hình 4.** Giá trị nhiệt cắt khi thí nghiệm [12] và nhiệt cắt khi tính toán trong trường hợp vận tốc đá mài bằng 13,8m/s

Từ kết quả trong các bảng (1), (2), (3) và các hình (2), (3), (4) cho thấy: Giá trị nhiệt cắt khi tính toán tương đối phù hợp với khi thực nghiệm. Điều đó cho thấy có thể tham khảo kết quả của nghiên cứu này để dự đoán nhiệt cắt trên cơ sở số liệu đã xác định trước đó về nhám bề mặt trong từng trường hợp cụ thể.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ những kết quả đạt được trong nghiên cứu này, rút ra một số kết luận sau:

- Đã xây dựng được mối quan hệ giữa nhiệt cắt với nhám bề mặt của chi tiết khi mài, mối quan hệ đó cho phép dự đoán giá trị nhiệt cắt trên cơ sở giá trị về độ nhám bề mặt, kết quả dự đoán nhiệt cắt tương đối phù hợp với kết quả thực nghiệm.

- Để giá trị nhiệt cắt khi tính toán gần hơn nữa so với giá trị thí nghiệm thì cần nghiên cứu đưa thêm vào mối quan hệ nhiệt cắt - nhám bề mặt những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến nhiệt cắt và nhám như: vận tốc cắt; thành phần hóa học của cặp vật liệu đá mài - chi tiết; thông số về độ hạt - cấu trúc của đá; công nghệ tron nguội;... và đây cũng là những định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Marinescu Loan D., Eckart Uhlmann and Brian Rowe W. (2006), *Handbook of machining with grinding wheels*, CRC Press Taylor & Francis Group.

- [2]. Stephen Malkin, Changsheng Guo, (2008), *Grinding technology - theory and applications of machining with abrasives - Second editor*, Industrial Press, New Yourk,2008.
- [3]. Sanchit Kumar Khare, Sanjay Agarwal, (2015), *Predictive modeling of surface roughness in grinding*, 15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, pp. 375 - 380
- [4]. [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_thermal\\_conductivities](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_thermal_conductivities)
- [5]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_diffusivity](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_diffusivity)
- [6]. Malkin, S. (1978), *Burning Limits for Surface and Cylindrical Grinding of Steels*, *Annals of the CIRP*, 27/1, pp.233.
- [7]. Chenwei Dai, Wenfeng Ding, Jiuhua Xu, Xipeng Xu, Dengkui Fu (2017), *Effects of undeformed chip thickness on grinding temperature and burn-out in high-efficiency deep grinding of Inconel718 superalloys*, *Int J Adv Manuf Technol* 89: pp. 1841-1852.
- [8]. Malkin, S. and Anderson, R. B. (1974), *Thermal Aspects of Grinding, Part 1 - Energy Partition*, *Trans. ASME, J. of Eng. for Ind.*, 96, pp. 1177.
- [9]. Sato, K. (1961), *Grinding Temperature*, *Bull. Japan Soc. Grind. Engns.*, 1, pp. 31.
- [10]. Roger Singleton (2012), *Utilisation of chip thicknes moedels in grinding*, Phd Thesis, The University of Sheffield.
- [11]. M.C. Shaw (1996), *Principles of Abrasive Processing, ed.*, *Oxford University Press*, Walton Street, Oxford.
- [12]. Ch. N. V. Jaswanth, M. Rajasekhara Rao, Ch. V. S. Parameswara Rao and S. S. N. M. Rao, (2017), *Experimental Investigation of Surface Roughness and Temperature on a Surface Grinding of HC-HCr Steel using Dry and MQL Techniques*, *Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering*, Volume 17 Issue 7.