Công trình được hoàn thành tại:

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Trần Minh Đức

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Văn Dự

Phản biện 2: TS. Nguyễn Văn Hùng

Luận văn được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận văn họp tại: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

Có thể tìm đọc luận văn tại thư viện: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN VĂN**

1. 01 bài báo khoa học trên tạp chí quốc tế. (Tran Minh Đuc, Tran The Long. *Investigation of MQL-Employed Hard-milling Process of S60C Steel Using Coated-Cemented Carbide Tools*. Journal of Mechanics Engineering and Automation 6 (2016) 128-132).

# TÓM TẮT

1. **TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI**

Hiện nay, tình hình ô nhiễm môi trường và biến đổi khí hậu đã và đang có những ảnh hưởng sâu rộng đời sống kinh tế, chính trị, xã hội của các nước trên thế giới. Việc bảo vệ môi trường, sản xuất sạch, thân thiện môi trường và phát triển bền vững là một yêu cầu tất yếu đối với mọi ngành sản xuất hiện nay. Bôi trơn làm nguội tối thiểu là một hướng nghiên cứu đáp ứng được xu thế gia công xanh – sạch trong ngành công nghệ chế tạo máy.

Bôi trơn làm nguội tối thiểu (Minimum Quantity Lubrication-viết tắt MQL) ngoài việc thân thiện với môi trường, còn có nhiều ưu điểm nổi bật khác như hiệu quả bôi trơn cao, ma sát trong vùng cắt giảm do đó làm giảm lực cắt, nhiệt cắt, độ mòn của dụng cụ, v.v. dẫn đến tuổi bền dụng cụ tăng, chất lượng bề mặt gia công được cải thiện,v.v. Vì vậy, bôi trơn làm nguội tối thiểu đã được triển khai và ứng dụng khá rộng rãi trong ngành chế tạo máy từ những năm 90 của thế kỷ trước, và đã mang lại những kết quả khả quan, đặc biệt đối với một số phương pháp gia công không sử dụng được công nghệ tưới tràn.

Trong những năm gần đây gia công vật liệu cứng, vật liệu khó gia công bằng dụng cụ cắt có lưỡi cắt xác định được sử dụng khá phổ biến trong ngành chế tạo máy để thay thế một phần cho nguyên công mài, đặc biệt trong gia công các loại khuôn mẫu,v.v. Tuy nhiên, do điều kiện cắt khi gia công vật liệu cứng, vật liệu khó gia công là rất khắc nghiệt nên việc bôi trơn làm nguội là rất cần thiết. Việc ứng dụng công nghệ bôi trơn làm nguội tưới tràn vào gia công vật liệu cứng gặp nhiều khó khăn hoặc không thể sử đụng được. MQL là một hướng nghiên cứu rất khả quan.

Để tiếp tục nâng cao hiệu quả của MQL trong gia công vật liệu cứng, một hướng mới đang rất được quan tâm hiện nay đó là sử dụng dung dịch Nanofluid (dùng các loại hạt Nano kim loại có độ cứng cao trộn vào dung dịch trơn nguội).

Để nâng cao hiệu quả của quá trình gia công vật liệu và ứng dụng vào thực tiễn sản xuất ở Việt Nam, tác giả chọn hướng nghiên cứu ứng dụng MQL sử dụng dung dịch Nanofluid để gia công vật liệu cứng.

Trong nội dung luận văn này, tác giả chỉ tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của MQL sử dụng dung dịch Nanofluid đến một số thông số của quá trình gia công như lực cắt, tuổi bền dụng cụ, nhám bề mặt gia công, v.v.

## II. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MQL SỬ DỤNG DUNG DỊCH NANOFLUID ĐẾN QUÁ TRÌNH CẮT VÀ CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI PHAY CỨNG THÉP

Trong nội dung của luận văn này, tác giả triển khai nghiên cứu hai vấn đề chính:

- Nghiên cứu tác dụng của hạt Nano đến quá trình phay vật liệu cứng trên hai loại dung dịch nền là dầu đậu nành và Emunxi; *dung dịch Nanofluid trên nền DĐN và Emunxi).*

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ hạt Nano Al2O3 trong dung dịch Nanofluid với dung dịch nền là dầu đậu nành đến quá trình phay vật liệu cứng.

- Đánh giá kết quả nghiên cứu: sử dụng phương pháp đánh giá gián tiếp thông qua các chỉ tiêu về lực cắt; mòn, tuổi bền của dụng cụ và nhám bề mặt gia công.

**Đối tượng nghiên cứu:** Tương tác ma sát và các quá trình vật lý xảy ra trong vùng cắt khi phay cứng thép 60Si2Mn bằng dao phay mặt đầu gắn mảnh HKCcótác động của dung dịch Nanofluid Al2O3.

**Mục đích nghiên cứu:** Đánh giá tác dụng và hiệu quả của dung dịch Nanofluid (cụ thể là hạt Nano Al2O3) đến tương tác ma sát, đến các quá trình vật lý xảy ra trong quá trình cắt do đó ảnh hưởng đến kết quả của quá trình gia công.

- Xác định được các thông số của quá trình bôi trơn làm nguội khi sử dụng dung dịch Nanofluid hợp lý, đưa ra các chỉ dẫn công nghệ để nâng cao hiệu quả Kinh tế - Kỹ thuật và hiệu quả về xã hội của quá trình gia công.

**Phương pháp nghiên cứu:** Để giả quyết bài toán đặt ra, tác giả sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

## III. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA DUNG DỊCH NANOFLUID ĐẾN LỰC CẮT, MÒN, TUỔI BỀN VÀ NHÁM BỀ MẶT KHI PHAY CỨNG THÉP 60SI2MN

#### 3.1. Kết quả

Trị số nhám Rz, Ra (đo trên chiều dài chuẩn L = 0,25mm); các thành phần lực cắt Fx, Fy, Fz phụ thuộc vào chế độ trơn nguội (BTLN) cho ở phụ lục 1, 2. Sử dụng phần mềm Excel xử lý số liệu thí nghiệm, kết quả đồ thị thể hiện quan hệ giữa nhám bề mặt; lực cắt, tuổi bền của dao phụ thuộc vào chế độ MQL cho ở các hình 3.9 đến hình 3.13. Tuổi bền của dao phay phụ thuộc vào chế độ MQL khi chỉ tiêu đánh giá tuổi bền là dao bắt đầu mòn khốc liệt ở hình 3.14. Ảnh mòn của dao khi sử dụng MQL bằng dầu đậu nành không có hạt Nano và có hạt Nano cho ở hình 3.15 đến hình 3.16.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 3\Ra.JPG | D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 3\Rz.JPG |
| *Hình 3.9. Trị số Ra phụ thuộc vào chế độ*  *BTLN và thời gian cắt* | *Hình 3.10. Trị số Rz phụ thuộc vào chế độ*  *BTLN và thời gian cắt* |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 3\Fx.JPG | | D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 3\Fy.JPG |
| *Hình 3.11*. *Trị số lực Fx phụ thuộc vào chế độ BTLN và thời gian cắt* | | *Hình 3.12*. *Trị số lực Fy phụ thuộc vào chế độ BTLN và thời gian cắt* |
| D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 3\Fz.JPG | | D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 3\Tuoi ben.JPG |
| *Hình 3.13.* *Trị số lực Fz phụ thuộc vào chế độ BTLN và thời gian cắt* | | *Hình 3.14. Tuổi bền của dao phụ thuộc vào*  *chế độ BTLN* |
| *D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Bài báo MQL nano so sanh\rebibovphaycng\Picture\Monmattruoc +DDN.JPG* | | *D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Bài báo MQL nano so sanh\rebibovphaycng\Picture\Monmatsau DDN.JPG* |
| *(a) Mòn trên mặt trước (b) Mòn trên mặt sau* | | |
| *Hình 3.15. Mòn dao khi MQL với dầu đậu nành không có hạt Nano* | | |
| *D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Bài báo MQL nano so sanh\rebibovphaycng\Picture\Monmattruoc +DDN +nano.JPG* | *D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Bài báo MQL nano so sanh\rebibovphaycng\Picture\Monmatsau +DDN+nano.JPG* | |
| *(a) Mòn trên mặt trước (b) Mòn trên mặt sau* | | |
| *Hình 3.16. Mòn dao khi MQL với dầu đậu nành có hạt Nano* | | |

#### 3.2. Thảo luận kết quả

Trên hình 3.9 đến hình 3.13 cho thấy trong khoảng thời gian 20 phút ban đầu, các thành phần lực cắt Fx, Fy, Fz có giá trị nhỏ (Fz dưới 450N), trị số các thông số độ nhám đạt được nhỏ (Ra = 0,08 – 0,2 µm; Rz = 0,5 – 1,5 µm) tương đương với mài tinh bề mặt. Trong khoảng thời gian này, tác dụng của hạt Nano Al2O3 chưa thực sự rõ nét, tuy nhiên lúc này các hạt Nano đã làm cho trị số các thành phần lực cắt, trị số Ra, Rz giảm so với khi MQL không có hạt Nano, đặc biệt là khi dung dung dịch Emunxi. Trung bình khi dùng dung dịch Emunxi có 0,5% hạt Nano trị số Ra giảm còn 0,6 lần và lực Fz giảm còn 0,9 lần so với khi dùng dung dịch Emunxi không có hạt Nano.

*Nguyên nhân:* Trong khoảng thời gian ban đầu, dao chưa mòn nên chưa thấy rõ tác dụng của hạt Nano. Tuy nhiên, hạt Nano đã nằm lẫn trong màng dầu, nó đóng vai trò như các “viên bi” để tạo nên ma sát “lăn” thay cho ma sát “trượt” giữa mặt sau của dao với bề mặt gia công, mặt trước của dao với phoi,v.v. nên đã làm giảm ma sát, giảm mòn, giảm lực cắt,v.v.

Theo thời gian, trong cả hai chế độ MQL là dùng dịch Emunxi và dầu đậu nành không có hạt Nano dao mòn nhanh, trị số các thành phần lực cắt Fx, Fy, Fz; trị số nhám bề mặt Ra, Rz đều tăng nhanh. Ở đây dùng chỉ tiêu đánh giá tuổi bền của dao là khi dao mòn khốc liệt, mất khả năng cắt thì tuổi bền của dao khi cắt với dầu đậu nành là 45 phút, với dung dịch Emunxi là 50 phút (tăng 110% so với dầu đậu nành). Tuy nhiên, với chế độ công nghệ như đã chọn, trị số nhám bề mặt vẫn nhỏ (Ra < 0,35 µm, Rz < 2,0 µm) nên chế độ này vẫn có thể sử dụng để phay tinh thép đã tôi.

Theo thời gian, khi cắt với MQL có hạt Nano Al2O3, các chỉ tiêu đánh giá đều cho thấy tác dụng hiệu quả của hạt Nano. Cụ thể trị số các thành phần lực cắt, trị số Ra, Rz nhỏ và tăng chậm. Dao mòn chậm và tuổi bền của dao tăng nhiều. Khi MQL với dầu đậu nành có hạt Nano Al2O3, tuổi bền của dao 80 phút *(tăng 177% so với khi không có hạt Nano)*. Khi MQL với dung dịch Emunxi có hạt Nano Al2O3, tuổi bền của dao 115 phút *(tăng 230% so với khi không có hạt Nano)*.

*Nguyên nhân:* khi gia công vật liệu có độ cứng cao, dạng mòn chủ yếu của dao là trên lưỡi cắt chính và trên mặt sau. Khi trên mặt sau mòn đến diện tích “hợp lý”, thì sự hình thành màng dầu thuận lợi và số hạt Nano đóng vai trò “viên bi” trong vùng cắt tăng, lúc này ma sát trong vùng cắt chủ yếu là “ma sát lăn” nên lực ma sát giảm, lực cắt giảm, tốc độ mòn giảm, tuổi bền của dao tăng. Qua tất cả các thí nghiệm đều cho thấy khi cắt đến khoảng thời gian nhất định, trị số các thành phần lực cắt, trị số nhám bề mặt đều giảm, giữ giá trị ổn định một thời gian sau đó bắt đầu tăng dần. Qua đó cho thấy có thể tồn tại diện tích mòn “hợp lý” để các hạt Nano phát huy tác dụng tốt nhất. Khi lượng mòn vượt qua giá trị này thì các trị số đều tăng.

Kết quả cho thấy, khi dùng dung dịch Emunxi có hạt Nano Al2O3 cho kết quả tốt hơn khi dùng dầu đậu nành có hạt Nano. Cụ thể, tuổi bền của dao khi dùng dung dịch Emunxi có hạt Nano Al2O3 cao hơn 144% khi dùng dầu đậu nành có hạt Nano. Trị số các thành phần lực cắt, nhám bề mặt khi dùng dung dịch Emunxi nhỏ hơn khi dùng dầu đậu nành *(trung bình Ra nhỏ hơn 66%, Fz nhỏ hơn 60%,v.v).*

*Nguyên nhân:* dokhi phay cứng bằng dao phay mặt đầu nhiệt cắt lớn và dầu đậu nành có nhiệt độ cháy thấp nên khả năng bôi trơn làm nguội bị hạn chế so với Emunxi (cả khi có hạt Nano và khi không có hạt Nano, kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây [15, 16]).

Trên các hình 3.15 và hình 3.16 cho thấy sự khác biệt về mòn dao khi phay cứng với MQL sử dụng dầu đậu nành không có hạt Nano và có hạt Nano. Hình 3.15 cho thấy lượng mòn dao khi không có hạt Nano. Lúc này lượng mòn chủ yếu tập trung vào lưỡi cắt chính trên cả mặt trước và mặt sau của dao [16]. Hình 3.16 cho thấy lượng mòn dao khi có hạt Nano. Lúc này do ma sát giữa phoi và mặt trước của dao giảm *(ma sát lăn)* nên áp lực không tập trung vào vùng lưỡi cắt chính mà tạo nên vùng bị cào xước trên mặt trước của dao (hình 3.16a). Trên mặt sau của dao hình thành vùng mòn nhỏ, đây là vùng để tạo nên màng dầu và chỗ chứa các hạt Nano đóng vai trò là “viên bi”. Do ma sát giữa mặt sau của dao với bề mặt gia công giảm nên áp lực lên lưỡi cắt chính giảm. Kết quả lưỡi cắt chính mòn đều, khác biệt so với khi không có hạt Nano (hình 3.16b)*.*

### *3.3. Kết luận*

Trên cơ sở bài toán được đặt ra, tác giả đã triển khai và hoàn thành các công việc:

- Xây dựng được hệ thống thí nghiệm đảm bảo đáp ứng tốt yêu cầu nghiên cứu. Hệ thống hoạt động ổn định, tin cậy;

- Đã triển khai thí nghiệm theo đúng quy hoạch, số liệu thí nghiệm thu thập được đảm bảo độ chính xác, độ tin cậy;

- Đã tiến hành xử lý số liệu thí nghiệm, về cơ bản đã chứng minh được các giả thuyết đã đề xuất, kết quả thu được khả quan, đã đưa ra được các kết luận và chỉ dẫn công nghệ cần thiết.

## IV. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ HẠT NANO TRONG DUNG DỊCH NANOFLUID ĐẾN LỰC CẮT, MÒN, TUỔI BỀN VÀ NHÁM BỀ MẶT KHI PHAY CỨNG THÉP 60SI2MN

Sau khi tiến hành thí nghiệm và thu thập kết quả đo, tác giả sử dụng phần mềm Malab xử lý số liệu thí nghiệm cho kết quả:

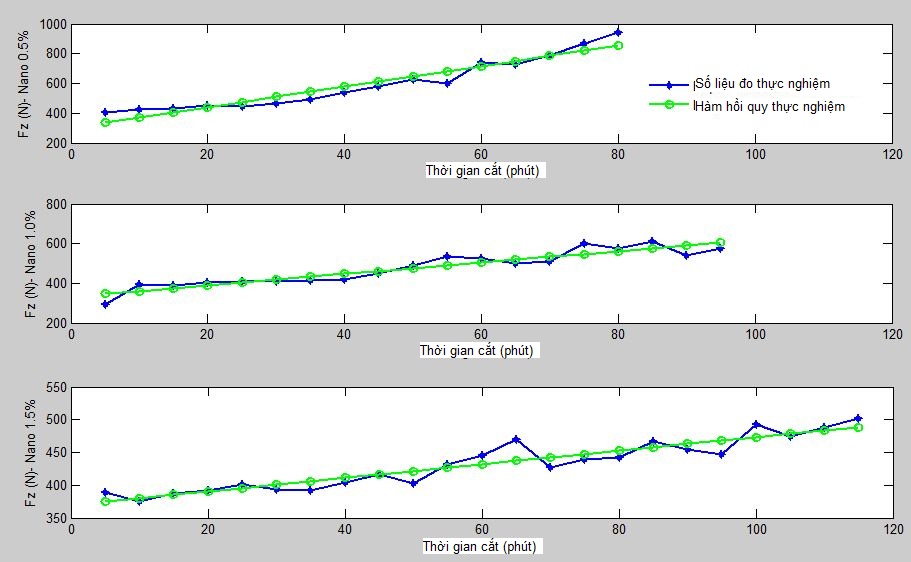
#### 4.1. Ảnh hưởng của thời gian cắt đến lực cắt và nhám bề mặt gia công

#### 1. Lực cắt

Hàm hồi quy thực nghiệm phản ánh ảnh hưởng của thời gian cắt đến thành phần lực cắt Fz tương ứng với các giá trị nồng độ hạt khác nhau và cho ở các Bảng 4.1. Đồ thị cho ở Hình 4.2

***Bảng 4.1.*** *Hàm hồi quy thực nghiệm của thành phần* Fz *lực cắt phụ thuộc thời gian cắt*

|  |  |
| --- | --- |
| **Nồng độ hạt Nano (%)** | **Hàm hồi quy thực nghiệm của thành phần lực cắt Fz theo thời gian cắt** (Fz = a1. ***t*** + b1) |
| 0,5 | Fz = 6,882*t* + 303,200 (4.10.1) |
| 1,0 | Fz = 2,871 *t* + 332,298 (4.10.2) |
| 1,5 | Fz = 1,034 *t* + 369,905 (4.10.3) |
|  |  |

**

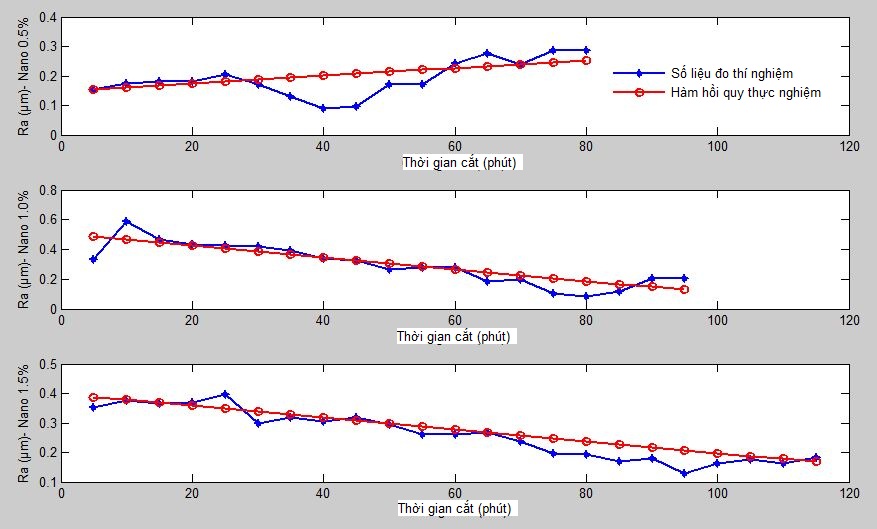
*Hình 4.2. Ảnh hưởng của thời gian cắt đến lực cắt Fz và nồng độ hạt*

#### 2. Nhám bề mặt gia công

Hàm hồi quy thực nghiệm phản ánh ảnh hưởng của thời gian cắt đến nhám bề mặt Ra tương ứng với các giá trị nồng độ hạt khác nhau và cho ở các Bảng 4.2. Đồ thị cho ở Hình 4.3

***Bảng 4.2.*** *Hàm hồi quy thực nghiệm của nhám bề mặt phụ thuộc vào thời gian cắt*

|  |  |
| --- | --- |
| **Nồng độ hạt Nano (%)** | **Hàm hồi quy thực nghiệm nhám bề mặt** Ra **theo thời gian cắt** |
| **0,5** | Ra = 0,016 *t* + 0,125 (4.11.1) |
| **1,0** | Ra = - 0,004 *t* + 0,508 (4.11.2) |
| **1,5** | Ra = - 0,002 *t* + 0,398 (4.11.3) |

******

*Hình 4.3. Ảnh hưởng của thời gian cắt đến trị số nhám Ra và nồng độ hạt*

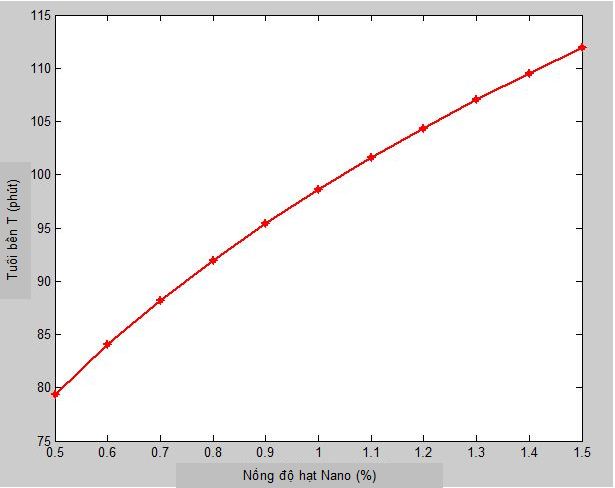
#### 4.2. Ảnh hưởng của nồng độ hạt đến lực cắt, nhám bề mặt và tuổi bền của dụng cụ

#### 1. Tuổi bền dụng cụ

Với quan điểm xác định tuổi bền của dụng cụ là khi dao bắt đầu mòn khốc liệt, mất khả năng cắt và được đánh giá thông qua chỉ tiêu lực cắt và mòn dụng cụ, từ đồ thị trên hình 4.2 xác định được tuổi bền của dụng cụ cắt phụ thuộc nồng độ hạt cho ở bảng 4.3 (ứng với độ mòn mặt sau là 0,5 mm). Sử dụng phần mềm Matlab để giải bài toán quy hoạch thực nghiệm cho kết quả hàm hồi quy thực nghiệm mô tả ảnh hưởng của nồng độ hạt Nano đến tuổi bền của dụng cụ cho ở phương trình 4.12. Đồ thị mô tả ảnh hưởng của nồng độ hạt Nano đến tuổi bền của dụng cụ cho hình 4.4

***Bảng 4.3.*** *Tuổi bền của dụng cụ cắt phụ thuộc nồng độ hạt*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Nồng độ hạt (%)* | *Tuổi bền (phút)* | *Phương trình hồi quy thực nghiệm* | *Ghi chú* |
| *0,5* | *80* | (4.12) |  |
| *1,0* | *95* |  |
| *1,5* | *115* |  |

**

*Hình 4.4. Ảnh hưởng của nồng độ hạt Nano Al2O3 đến tuổi bền của dụng*

#### 2. Lực cắt và nhám bề mặt

Từ kết quả đã có ở các bảng 4.2; 4.3 ta có hệ số a1 (của lực Fz); a2 (của Ra) phụ thuộc vào nồng độ hạt cho ở bảng 4.4. Giả bài toán quy hoạch thực nghiệm cho kết quả hàm hồi quy thực nghiệm phản ánh ảnh hưởng của nồng độ hạt đến hệ số a1 (4.13); đến hệ số a2 (4.14). Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của nồng độ hạt đến hệ số a1 cho ở hình 4.5; đến số a2 cho ở hình 4.6.

***Bảng 4.4.*** *Ảnh hưởng của nồng độ hạt đến các hệ số a1, a2*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Nồng độ hạt (%)* | *Hệ số a­1  (Fz)* | *Hệ số a­2 (Ra)* | *Hàm hồi quy thực nghiệm* | |
| *0,5* | *6,882* | *0,016* | *Hệ số a­1* | *Hệ số a­2* |
| *1,0* | *2,871* | *- 0,004* | (4.14) | (4.15) |
| *1,5* | *1,034* | *- 0,002* |

|  |
| --- |
| *D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 4\Do thi hình 4.4 ok.JPG* |
| *Hình 4.5. Ảnh hưởng của nồng độ hạt Nano đến hệ số a­1* |
| *D:\6789\Cao hoc -TS\Luan van ThS\Anh cho luan van\Anh cho chuong 4\HÌNH 4.6 MỚI.JPG* |
| *Hình 4.6. Ảnh hưởng của nồng độ hạt Nano đến hệ số a­2* |

#### 4.3.3 Thảo luận kết quả

Nồng độ hạt Nano Al2O3 trong dung dịch Nanofluid ảnh hưởng lớn đến sự ổn định của các thành phần lực cắt Fz trong quá trình cắt và ảnh hưởng lớn đến tuổi bền của dụng cụ cắt. Giai đoạn đầu của quá trình gia công (khoảng 20 phút đầu), nồng độ hạt ít ảnh hưởng đến trị số của các thành phần lực cắt. Theo thời gian, nồng độ hạt ảnh hưởng lớn đến trị số của các thành phần lực cắt. Với nồng độ hạt Nano 0,5%, trị số của thành phần lực cắt Fz tăng nhanh (hình 4.2). Với nồng độ hạt Nano 1,5%, trị số của thành phần lực cắt Fz khá ổn định, trị số tăng không đáng kể (thể hiện thông qua hệ số góc a1 trong phương trình 4.10.1 ÷4.10.3 và trên hình 4.2 và hình 4.5. Cụ thể a1(0,5) >a1(1,0) >a1(1,5). Nồng độ hạt ảnh hưởng đến tuổi bền của dụng cụ, tuổi bền dụng tăng khi tăng độ hạt nồng. Tăng nồng độ từ 0,5% lên 1,5%, tuổi bền của dụng cụ tăng từ 80 phút lên 115 phút (tăng 143,7%).

Nguyên nhân:

- Nồng độ hạt Nano trong dung dịch Nanofluid ảnh hưởng đến khả năng dẫn nhiệt của dung dịch Nanofluid. Khi tăng nồng độ hạt sẽ tăng khả năng dẫn nhiệt của dung dịch. Ở giai đoạn ban đầu khi mới cắt, do dao chưa mòn nên nhiệt cắt nhỏ, lực cắt nhỏ nên ảnh hưởng của nồng độ hạt đến trị số của các thành phần lực cắt không lớn. Khi dụng cụ xuất hiện vết mòn, do khả năng dẫn nhiệt của dung dịch có nồng độ hạt 1,5% cao hơn dung dịch có nồng độ hạt 0,5% nên quá trình mòn chậm hơn, lực tăng ổn định hơn trong cả quá trình cắt, tuổi bền của dụng cụ cao hơn.

- Khi dụng cụ mòn, trên mặt trước và mặt sau xuất hiện diện diện tích mòn, tại đó tồn tại màng dầu và các hạt Nano đóng vai trò như các “viên bi” tạo nên ma sát “lăn”. Khi nồng độ hạt nhỏ (0,5%), số “viên bi” trong màng dầu ít, ma sát trong vùng cắt lớn, dao mòn nhanh. Kết quả lực tăng nhanh, tuổi bền của dao giảm. Khi tăng nồng độ hạt Nano trong dung dịch sẽ làm tăng số hạt Nano trong vùng ma sát. Do đó tốc độ mòn dao giảm, lượng mòn dao ổn định. Kết quả lực cắt ổn định hơn và tuổi bền của dụng cụ cắt tăng.

Trị số các thông số nhám bề mặt Ra nhỏ. Trị số độ nhám đạt được tương đương với mài tinh mặt phẳng. Trên quan điểm nhám bề mặt đạt được sau gia công, phay cứng thép sử dụng MQL với dung dịch Nanofluid có thể thay thế được cho nguyên công mài.

Khi nồng độ hạt Nano nhỏ (0,5%), trị số nhám bề mặt Ra tăng theo thời gian gia công (hệ số a2 > 0, đồ thị hình 4.3 và 4.6) Nguyên nhân: Khi nồng độ hạt nhỏ, số “viên bi” trong màng dầu ít, ma sát trong vùng cắt lớn, nhiệt cắt lớn, dao mòn nhanh nên trị số nhám tăng nhanh.

Khi tăng nồng độ hạt Nano (từ 1,0 ÷ 1,5%), trị số nhám bề mặt Ra giảm dần theo thời giam gia công (hệ số a2 < 0, đồ thị hình 4.3 và 4.6). Đây là điểm khác biệt khi sử dung dung dịch Nanofluid trong MQL so với các loại dung dịch khác. Kết quả nghiên cứu này và các kết quả nghiên cứu khác của nhóm tác giả đều cho thấy, trong MQL sử dụng dung dịch Nanofluid, nếu lựa chọn được chế độ công nghệ hợp lý thì trị số nhám bề mặt Ra, Rz hoặc ổn định, hoặc giảm dần trong suốt quá trình gia cộng. về nguyên nhân của hiện tượng này đã được nhóm tác giả công bố trong một nghiên cứu khác. Cụ thể, khi gia công vật liệu có độ cứng cao, dạng mòn chủ yếu của dao là trên lưỡi cắt chính và trên mặt sau. Khi trên mặt sau mòn đến diện tích “hợp lý”, thì màng dầu được hình thành và khi tăng nồng độ hạt thì số hạt Nano đóng vai trò “viên bi” trong vùng cắt tăng, lúc này ma sát trong vùng cắt giảm, lực cắt giảm, mức độ “cào xước” của mặt sau dụng cụ lên bề mặt gia công giảm nên trị số nhám bề mặt Ra, Rz giảm.

### 4.4. Kết luận

- Để giải bài toán đặt ra, tác giả đã xây dựng được sơ đồ quy hoạch thực nghiệm và ma trận thí nghiệm, đã tiến hành thí nghiệm theo đúng quy hoạch, đã thu thập được giữ liệu cần thiết đảm bảo độ chính xác, độ tin cậy;

- Đã sử dụng phầm mềm Malab để giả bài toán quy hoạch thực nghiệm. Kết quả đã xác định được ảnh hưởng của nồng độ dung dịch Nano đến một số chỉ tiêu cơ bản của quá trình cắt là Nhám bề mặt, lực cắt và tuổi bền của dụng cụ;

- Đã đưa ra được một số khuyến cáo về công nghệ khi chon tỷ lệ và sử dụng dung dịch Nanofluid Al2O3 trên nền dầu đậu nành để phay cứng thép.

# V. KẾT LUẬN ĐỀ TÀI

## KẾT LUẬN CHUNG

1. Đã định hướng và chọn được vấn đề nghiên mới, có tính thời sự, có ý nghĩa lý thuyết, ý nghĩa thực tiễn và tính ứng dụng vào thực tiễn sản xuất rất cao.

2. Đã đặt được bài toán, giới hạn được nội dung nghiên cứu, lựa chọn được phương pháp nghiên cứu phù hợp.

3. Đã xây dựng được hệ thống thí nghiệm và đã tiến hành thí nghiệm, thu thập và xử lý số liệu thí nghiệm đảm bảo độ chính xác, độ tin cậy.

4. Đã chứng minh được tác dụng của hạt Nano Al2O3 trong công nghệ MQL đến ma sát trong vùng cắt, đến lực cắt, mòn, tuổi bền của dao và chất lượng bề mặt khi phay cứng thép 60Si2Mn bằng dao phay mặt đầu. Kết quả cho thấy, khi MQL có sử dụng hạt Nano Al2O3 tỷ lệ 0,5%, tuổi bền của dao tăng so với khi không có hạt Nano là 177% (khi sử dụng dầu đậu nành); 230% (khi sử dụng dung dịch Emunxi) và trị số các thành phần lực cắt, nhám bề mặt đều giảm.

5. Việc ứng dụng MQL sử dụng dung dịch Nanofluid Al2O3 đã mở rộng được khả năng công nghệ của phay cứng. Với việc sử dụng dung dịch Nanofluid Al2O3 thì vẫn có thể sử dụng các loại mảnh HKC thông thường, chi phí thấp trong công nghệ phay cứng.

6. Đã xác định được ảnh hưởng của nồng độ dung dịch Nano đến một số chỉ tiêu cơ bản của quá trình cắt là Nhám bề mặt, lực cắt và tuổi bền của dụng cụ; Đã đưa ra được một số khuyến cáo về công nghệ khi chon tỷ lệ và sử dụng dung dịch Nanofluid Al2O3 trên nền dầu đậu nành để phay cứng thép.

7. Nghiên cứu đã đưa ra được một công nghệ bôi trơn làm nguội mới, vừa nâng cao được hiệu quả Kinh tế - Kỹ thuật, vừa mở rộng được khả năng công nghệ của một số phương pháp gia công và đặc biệt là rất thân thiện với môi trường. Đây là xu thế chung của toàn thế giới là phát triển bền vững trên nền tảng bảo vệ môi trường.

8. Kết quả nghiên cứu đã công bố được 01 bài báo khoa học trên tạp chí quốc tế. (Tran Minh Đuc, Tran The Long. *Investigation of MQL-Employed Hard-milling Process of S60C Steel Using Coated-Cemented Carbide Tools*. Journal of Mechanics Engineering and Automation 6 (2016) 128-132).

## 

## B. HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Đây là một hướng nghiên cứu mới, tác giả chỉ mới đặt vấn đề và nghiên cứu được một số vấn đề rất cơ bản. Còn rất nhiều vấn đề đặt ra nhưng chưa được nghiên cứu và ứng dung, đặc biệt là ở Việt Nam.

Đề tiếp tục hoàn thiện về lý thuyết và triển khai ứng dụng có hiệu quả vào thực tiễn sản xuất, cần có các nghiên cứu, phát triển tiếp theo. Tác giả cùng nhóm nghiên cứu đã vã tiếp tục nghiên cứu, phát triển theo hướng này. Rất mong có sự giúp đỡ và cộng tác của các đồng nghiệp.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J. Paulo Davim. Machining of Hard Materials. Springer-Verlag London Limited 2011.

[2] Klocke F, Brinksmeier E, Weinert K. Capability profile of hard cutting and grinding processes. CIRP Annals-Manufacturing Technology (2005) 54:22-45

[3] Wang X, Wang W, Huang Y, Nguyen N, Krishnakumar K. Design of neural network-based estimator for tool wear modeling in hard turning. J Intell Manuf (2008) 19:383–396

[4] Tamizharasan T, Selvaraj T, Haq AN. Analysis of tool wear and surface finish in hard turning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2006) 28: 671 -679.

[5] Cappellini C, Attanasio A, Rotella G, Umbrello D. Formation of white and dark layers in hard cutting: influence of tool wear. Int J Mater Form (2010) 3: 455-458.

[6] Nakayama K., Arai M., Kanda T. (1988). Machining characteristics of hard materials, CIRP Annals – Manufacturing Technology 37: 89–92.

[7] An Qinglong, Wang Chang ying , Xu Jinyang, Liu Pulin, Chen Ming. Experimental investigation on hard milling of high strength steel using PVD-AlTiN coated cemented carbide tool, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials (2013), doi : 10.1016/j.ijrmhm.2013.11.007 IRP 37 (1), pp 89-92.

[8] Halil Calıskan, Cahit Kurbanoglu, Peter Panjan, Miha Cekada, Davorin Kramar. Wear behavior and cutting performance of nanostructured hard coatings on cemented carbide cutting tools in hard milling. Tribology International 62 (2013) 215–222.

[9] S. Saketi, S. Sveen, S. Gunnarsson, R. M’Saoubi, M. Olsson. Wear of a high cBN content PCBN cutting tool during hard milling of powder metallurgy cold work tool steels. Wear 332-333 (2015) 752-761.

[10] Duong Xuan Truong and Tran Minh Duc; “Effect of Cutting Condition on Tool Wear and Surface Roughness during Machining of Inconel 718.” International Journal of Advanced Engineering Technology 4(2013): 108-112.

[11] Nguyễn Văn Dự và Phan Thị Hương. Lựa chọn chế độ cắt khi phay cứng thép SKD 61 bằng kỹ thuật bề mặt chỉ tiêu. Tạp chí cơ khí Việt Nam 9 (2010) 12-16.

[12] M.M.A. Khan, M.A.H. Mithu, N.R. Dhar. Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 5573–5583.

[13] Yaogang Wang, Changhe Li, Yanbin Zhang, Min Yang, Benkai Li, Dongzhou Jia,

Yali Hou, Cong Mao, Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in minimum quantity lubrication (MQL) grinding using different types of vegetable oils, J. Clean. Prod. 127 (2016) 487–499

[14] Kyung-Hee Park, Jorge A Olortegui-Yumel, Shantanu Joshil, Patrick Kwonl, Moon-Chul Yoon, Gyu-Bong Lee and Sung-Bum Park. Measurement of Droplet Size and Distribution for Minimum Quantity Lubrication (MQL). International Conference on Smart Manufacturing Application (2008) 447-454.

[15] Tran Minh Duc and Tran The Long; “Investigation of MQL-Employed Hard-Milling Process of S60C Steel Using Coated-Cemented Carbide Tools”; Journal of Mechanics Engineering and Automation 6 (2016) 128-132.

[16] Le Thai Son, Tran Minh Duc, Nguyen Dang Binh, Nguyen Van Cuong; “ An Investigation on Effect of Characteristics of the Made in Vietnam Peanut oil MQL on Tool life in Hard turning 9CrSi steel”; Machining and Machinability of Materials, 428 Int. J. Vol. 13, No. 4, 2013

[17] V.N. Gaitonde, S.R. Karnik, J. Paulo Davim. Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass. Journal of Materials Processing Technology. 2008; 204: 459-464

[18] T. Thepsonthi, M. Hamdi, K. Mitsui. Investigation into minimal-cutting application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills. International Journal of Machine Tools & Manufacture 49 (2009) 156–162.

[20] Hamed Hassanpour, Mohammad H. Sadeghi, Amir Rasti, Shaghayegh Shajari. Investigation of Surface Roughness, Microhardness and White Layer Thickness in Hard Milling of AISI 4340 Using Minimum Quantity Lubrication. Journal of Cleaner Production (2016), doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.091

[21] Asif Iqbal, He Ning, Iqbal Khan, Li Liang, Naeem Ullah Dar. Modeling the effects of cutting parameters in MQL-employed finish hard-milling process using D-optimal method. Journal of materials processing technology 199 (2008) 379–390.

[22] Y.S. Liao, H.M. Lin. Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel. International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1660 – 1666.

[23] M.C. Kang, K.H. Kim, S.H. Shin, S.H. Jang, J.H. Park, C. Kim. Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools. Surface & Coatings Technology 202 (2008) 5621–5624.

[24] Ismet Hari Mulyadi, Vincent Aizebeoje Balogun, Paul T. Mativenga. Environmental performance evaluation of different cutting environments when milling H13 tool steel. J. Clean. Prod. 108 (2015) 110–120

[25] Pil-Ho Lee, Jung Soo Nam, Chengjun Li and Sang Won Lee. An Experimental Study on Micro-Grinding Process with Nanofluid Minimum Quantity Lubrication (MQL). International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 13 (2012). 331-338.

[26] Wang, Y., Li, C., Zhang, Y., Li, B., Yang, M., Zhang, X., Guo, S., Liu, G. Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in MQL grinding with different nanofluids. Tribol. Int. 99 (2016) 198-210.

[27] Nor Azwadi Che Sidik, Syahrullail Samion, Javad Ghaderian, Muhammad Noor Afiq Witri Muhammad Yazid. Recent progress on the application of nanofluids in minimum quantity lubrication machining: A review. International Journal of Heat and Mass Transfer 108 (2017) 79–89.

[28] Trần Minh Đức; Nghiên cứu ứng dụng công nghệ bôi trơn làm nguội tối thiểu trong gia công cắt gọt. Đề tài NCKH cấp Bộ trọng điểm 2005. Mã số: B2005- 01- 61TĐ

[29] Trần Minh Đức, Phạm Quang Đồng. Ảnh hưởng của phương pháp tưới và dung dịch đến mòn, tuổi bền của dao và nhám bề mặt khi phay rãnh bằng dao phay ngón, TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ các trường đại học kỹ thuật. Số 65/2008, Tr55 -58.

[30] Trần Minh Đức. Ảnh hưởng của phương pháp tưới và dung dịch đến mòn và tuổi bền của dao khi tiện cắt đứt, TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ các trường đại học kỹ thuật. Số 67/2008. Tr 99 -102.

[31] Trần Minh Đức, Phạm Quang Đồng. Ảnh hưởng của áp suất nén dung dịch MQL đến tuổi bền của dụng cụ cắt khi tiện thép 9 CrSi bằng dao CBN, TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ. Đại học Thái Nguyên. Tập 88, Số 12/2011, Tr185 – 190.

[32] T. Tawakoli, M.J. Hadad, M.H. Sadeghi. Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding process. International Journal of Machine Tools & Manufacture 50 (2010) 521–531.

[33] N.R. Dhar, M.W. Islam, S. Islam, M.A.H. Mithu. The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel. Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 93–99.

[34] Umbrello D., Filice L.: Improving Surface Integrity in Orthogonal Machining of Hardened AISI 52100 Steel by Modeling White and Dark Layers Formation. Annals of CIRP, 58(1):73-76, 2009.

[35] Nguyễn Đăng Bình, Trần Minh Đức, Nguyễn Thái Bình. Nghiên cứu tìm hiểu thành phần hóa học và cơ chế bôi trơn của dầu thực vật trong công nghệ bôi trơn tối thiểu (MQL). Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ 3 185-190.

[36] Khaider Bouacha, Mohamed Athmane Yallese, Tarek Mabrouki, Jean-François Rigal. Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool. Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials 28 (2010) 349–361.

[37] Mohammadjafar Hadad, Banafsheh Sadeghi. Thermal analysis of minimum quantity lubrication-MQL grinding process. International Journal of Machine Tools & Manufacture 63 (2012) 1–15.

[38] Szymon Wojciechowski, Radoslaw W. Maruda, Piotr Nieslony, Grzegorz M. Krolczyk. Investigation on the edge forces in ball end milling of inclined surfaces. International Journal of Mechanical Sciences (2016) 119: 360–369.

[39] Szymon Wojciechowskia, Paweł Twardowski, Marcin Pelic. Cutting forces and vibrations during ball end milling of inclined surfaces. Procedia CIRP 14 (2014) 113 – 118.

[40] Arif Gok, Cevdet Gologlu, Halil Ibrahim Demirci. Cutting parameter and tool path style effects on cutting force and tool deflection in machining of convex and concave inclined surfaces, Int J Adv Manuf Technol (2013) 69:1063-1078, DOI 10.1007/s00170-013-5075-x.

[41] Y.Y. Yang, H.S. Fang, W.G. Huang. A study on wear resistance of the white layer. Tribology International 29 (1996) 425-428.

[42] Radoslaw W. Maruda, Grzegorz M. Krolczyk, Mariusz Michalski, Piotr Nieslony, and Szymon Wojciechowski. Structural and Microhardness Changes After Turning of the AISI 1045 Steel for Minimum Quantity Cooling Lubrication. Journal of Materials Engineering and Performance (2017) 26: 431-438 doi:10.1007/s11665-016-2450-4.

[43] Shaw MC, Vyas A (1998) The mechanism of chip formation with hard turning steel. Ann CIRP 47(1):77–82.

[44] ISO 3685-1993 Tool life testing with single point turning tools

[45] ISO 8688-1-1989: Tool life testing in milling

[46] D.A Stephenson, J.S Agapiou. Metal Cutting Theory and Practice. CRC Press 2016.