

# TỐI ƯU HÓA NHÁM BỀ MẶT KHI TIỆN TINH LỖ NHỎ TRÊN THÉP X210CR13 ĐÃ TÔI

(\*) CAO THANH LONG  
NGUYỄN VĂN DỰ

## TÓM TẮT

Gia công các lỗ nhỏ trên thép X210Cr13 đã tôi có độ cứng cao hơn HRC 53 bằng phương pháp mài thường cho năng suất và nhám bề mặt sau gia công rất thấp. Phương pháp tiện tinh cứng (móc lỗ) trong điều kiện cắt khô đã được sử dụng để thay thế cho mài. Bài báo này trình bày một nghiên cứu thực nghiệm nhằm tối ưu hóa nhám bề mặt theo các thông số về độ cứng vật liệu gia công và chiều sâu cắt. Phương pháp thực nghiệm "Bề mặt chỉ tiêu" và phân tích phương sai đã được sử dụng để thiết kế và phân tích số liệu thực nghiệm. Kết quả cho thấy, có thể tiện cứng các lỗ nhỏ, đường kính 6-10 mm, đạt độ nhám Ra đến 0,6 micromet, trong điều kiện cắt khô trên máy tiện vạn năng. Nghiên cứu đã được kiểm chứng và triển khai thử nghiệm để sản xuất các khuôn dập.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia công cắt gọt không sử dụng dung dịch trơn nguội (DDTN) - còn được gọi là quá trình cắt khô hay quá trình cắt thân thiện môi trường (Green Machining) - nhằm đạt mục tiêu quan trọng trong ngành Chế tạo máy là giảm thiểu tác động xấu đến môi trường và hạ giá thành sản phẩm. Những ưu điểm của quá trình này so với quá trình cắt ướt (có sử dụng DDTN) bao gồm [1,2, 3]: không gây ô nhiễm không khí và nước; không tạo ra chất thải có hại trong phoi và do đó sẽ làm giảm

chi phí làm sạch môi trường và chi phí xử lý chất thải rắn tiếp theo; không gây hại cho sức khỏe, da và các dị ứng khác cho người vận hành; không cần chi phí mua sắm các trang thiết bị sử dụng DDTN; không tốn chi phí về DDTN. Mặt khác, việc sử dụng DDTN ngày càng đòi hỏi các chi phí đất đỏ hơn trước do phải đáp ứng các tiêu chuẩn về môi trường rất khắt khe. Tất cả các lí do này đã và đang khiến cho quá trình cắt khô trở lên ngày càng phổ biến trên phạm vi toàn thế giới.

Tuy vậy, quá trình cắt khô không chỉ làm tăng ma sát và sự dính giữa dao với phoi và vật liệu gia công, mà còn làm tăng lượng nhiệt phát sinh khi cắt. Do đó, cắt khô sẽ có thể làm tăng lượng mòn, giảm tuổi bền dao, giảm độ chính xác hình dáng, kích thước và cấp độ nhám bề mặt sau gia công. Đồng thời, nhiệt cắt khi này có thể làm giảm độ cứng, thay đổi cấu trúc tế vi lớp bề mặt đã gia công.

Một trong các giải pháp hiện đang được nghiên cứu và triển khai ứng dụng rộng rãi trong các quá trình cắt [4-6] và được xem như có thể khắc phục nhược điểm của cả quá trình cắt khô và quá trình cắt ướt là sử dụng kĩ thuật bôi trơn tối thiểu - MQL (The minimal quantity of lubricant technique). MQL có ưu điểm nổi trội so với kĩ thuật cắt ướt là nó làm giảm đáng kể sự tiêu thụ DDTN. Tuy nhiên, kĩ thuật MQL vẫn tồn tại hai nhược điểm cơ bản khi so sánh với quá trình cắt ướt: Thứ nhất, khả năng dẫn phoi khỏi khu vực cắt kém; thứ hai, vẫn có một lượng DDTN nhất định bám dính vào máy công cụ và hòa tan vào môi trường xung quanh khu vực gia công, gây ảnh hưởng đến sức khỏe người vận hành. Để giảm thiểu các tác động này, mỗi máy công cụ cần lắp thêm một máy hút chân không. Nhưng rõ ràng, khi đó, chi phí đầu tư và tiền điện tiêu thụ sẽ phải tăng lên.

Trong thực tế sản xuất, để gia công các lỗ nhỏ (đường kính cỡ 6 mm), tỷ số chiều dài trên đường kính là lớn (cỡ 4 lần), làm bằng vật liệu X210Cr13, độ cứng sau ram HRC > 53; người ta có thể sử dụng phương

(\*) Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên

pháp mài lỗ với nhiều loại đá mài khác nhau. Kết quả thực tế cho thấy, năng suất gia công rất thấp (Chỉ đạt từ 2 -3 lỗ/01 ca máy). Nguyên nhân chủ yếu là do hàm lượng crome trong thép rất lớn (Đến 13%) và độ cứng cao (HRC đến 62), nên hệ số tính gia công của nó chỉ đạt từ 0,3 – 0,4 [7]. Do lỗ có đường kính nhỏ, khả năng làm nguội khi này kém, nên đá thường bị mòn nhanh, giảm khả năng cắt gọt. Các tác giả đã đề xuất sử dụng phương pháp tiện cứng (Hard Turning) và không sử dụng DDTN vì các lí do đã trình bày ở trên.

Bài báo này trình bày một nghiên cứu thực nghiệm nhằm tối ưu hóa thông số công nghệ trên máy tiện vạn năng để kết quả được áp dụng ngay vào thực tiễn sản xuất. Các thông số vận tốc cắt V, lượng chạy dao S mặc dù có ảnh hưởng đáng kể đến nhám bề mặt [8], nhưng do chỉ có thể được thiết lập với các cấp cố định trên máy, nên không thuận tiện cho tiến hành tập các thí nghiệm khảo sát. Giá trị của các thông số này được chọn theo kinh nghiệm. Kết quả cắt thử trực tiếp trên máy cho thấy các giá trị V= 35 m/ph và S= 0.025 mm/vòng cho thấy nhám bề mặt gia công khá ổn định và thỏa mãn yêu cầu kĩ thuật đạt ra (Ra < 1,4 micromet).

Các thông số độ cứng bề mặt (HRC) và chiều sâu cắt t (mm) có ảnh hưởng quyết định đến nhám bề mặt. Hơn nữa, các thông số này có thể có thể điều khiển được dễ dàng. Vì các lý do trên, bài toán quy hoạch thực nghiệm được thiết lập nhằm đánh giá và tối ưu hóa nhám bề mặt Ra (micromet) theo hai thông số là độ cứng bề mặt HRC và chiều sâu cắt t (mm).

Phương pháp bề mặt chỉ tiêu là một trong các công cụ hữu dụng nhất để mô hình hóa và phân tích các bài toán có các hàm mục tiêu phụ thuộc nhiều thông số đầu vào và có mục đích là tối ưu hóa các hàm này [9,10]. Bài toán tối ưu hóa nhám bề mặt ở đây đã được giải quyết bằng phương pháp này.

## II. THỰC NGHIỆM TỐI ƯU HÓA NHÁM BỀ MẶT

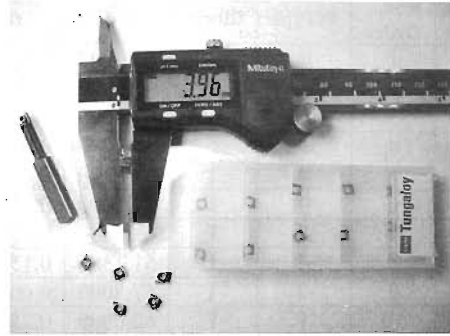
### 2.1. Điều kiện thí nghiệm

- Máy tiện: Takizawa; xuất xứ: Japan; năm sản xuất: 1977; số vòng quay trục chính max: 1650 vòng/ph.

- Dao: Vật liệu mảnh dao K01; thông số hình học:  $\gamma = -100$ ,  $\alpha = 150$ ;  $\phi = 350$ . Hình 1 trình bày ảnh chụp thân dao và mảnh dao (chỉ rộng 3,96 mm).

- Máy đo độ cứng: Rockwell TK-14-250; xuất xứ: Liên Xô; năm sản xuất: 1979.

- Máy đo độ nhám: SJ - 2QP; xuất xứ: Hãng Mitutoyo Japan; năm sản xuất: 2004.



Hình 1: Thân dao và mảnh dao thí nghiệm

### 2.2. Các biến thí nghiệm và miền khảo sát

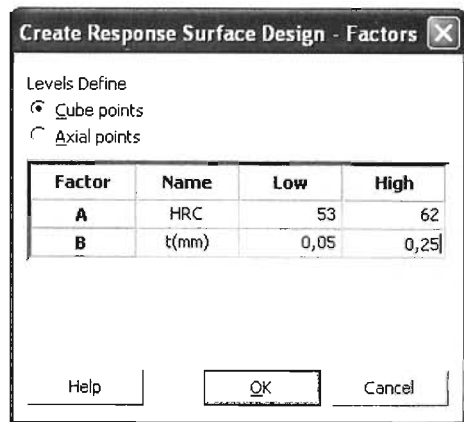
Phạm vi khảo sát của các thông số này được chọn gần như bao quát hết phạm vi có thể xảy ra trên thực tế gia công. Bảng 1 trình bày phạm vi khảo sát của các biến thí nghiệm này.

Bảng 1: Phạm vi khảo sát các biến thí nghiệm

| Biến                 | Mức    | Thấp nhất | Trung bình | Cao nhất |
|----------------------|--------|-----------|------------|----------|
|                      | Mã hóa |           | -1         | 0        |
| Độ cứng bề mặt (HRC) |        | 53        | 57,5       | 62       |
| Chiều sâu cắt (mm)   |        | 0,05      | 0,15       | 0,25     |

### 2.3. Kế hoạch thí nghiệm

Phần mềm Minitab® được chọn để xây dựng kế hoạch thí nghiệm và phân tích số liệu. Cách thức khai báo các biến thí nghiệm cho bước khởi tạo kế hoạch thí nghiệm được minh họa trên hình 2. Kết quả ma trận thí nghiệm thu được được trình bày trong bảng 2.



Hình 2: Khai báo biến thí nghiệm cho thiết kế CCD

Bảng 2: Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa nhám bề mặt theo độ cứng và chiều sâu cắt

| Std Order | Run Order | PtType | Blocks | HRC     | t (mm)   |
|-----------|-----------|--------|--------|---------|----------|
| 12        | 1         | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 |
| 3         | 2         | 1      | 1      | 53,0000 | ,250000  |
| 2         | 3         | 1      | 1      | 62,0000 | 0,05 000 |
| 1         | 4         | 1      | 1      | 53,0000 | 0,050000 |
| 13        | 5         | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 |
| 10        | 6         | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 |
| 6         | 7         | -1     | 1      | 63,8640 | 0,150000 |
| 5         | 8         | -1     | 1      | 51,1360 | 0,150000 |
| 7         | 9         | -1     | 1      | 57,5000 | 0,008579 |
| 4         | 10        | 1      | 1      | 62,0000 | 0,250000 |
| 8         | 11        | -1     | 1      | 57,5000 | 0,291421 |
| 11        | 12        | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 |
| 9         | 13        | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 |

Toàn bộ 13 thí nghiệm được thực hiện trong cùng một ca máy, trong điều kiện gia công như nhau. Bảng 2 có 13 hàng, tức là ta cần thực hiện ít nhất 13 thí nghiệm theo thứ tự đã liệt kê trong cột RunOrder. Mỗi thí nghiệm có các biến HRC, t được xác lập theo giá trị đã ghi trong ô tương ứng của các cột HRC và t trong bảng.

Lần lượt tiến hành các thí nghiệm, thu thập kết quả và ghi lại giá trị vào cột bổ sung của bảng thí nghiệm đã có, ta thu được kết quả như trình bày trong bảng 3.

Bảng 3: Kết quả thí nghiệm tối ưu hóa nhám bề mặt

| StdOrder | RunOrder | PtType | Blocks | HRC     | t(mm)    | Ra  |
|----------|----------|--------|--------|---------|----------|-----|
| 12       | 1        | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 | 0,8 |
| 3        | 2        | 1      | 1      | 53,0000 | 0,250000 | 1,5 |
| 2        | 3        | 1      | 1      | 62,0000 | 0,050000 | 1,3 |
| 1        | 4        | 1      | 1      | 53,0000 | 0,050000 | 1,1 |
| 13       | 5        | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 | 0,8 |
| 10       | 6        | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 | 0,3 |
| 6        | 7        | -1     | 1      | 63,8640 | 0,150000 | 1,1 |
| 5        | 8        | -1     | 1      | 51,1360 | 0,150000 | 1,1 |
| 7        | 9        | -1     | 1      | 57,5000 | 0,008579 | 1,8 |
| 4        | 10       | 1      | 1      | 62,0000 | 0,250000 | 1,5 |
| 8        | 11       | -1     | 1      | 57,5000 | 0,291421 | 1,1 |
| 11       | 12       | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 | 0,4 |
| 9        | 13       | 0      | 1      | 57,5000 | 0,150000 | 0,5 |

Trong bảng 2, cột Ra thống kê các giá trị nhám bề mặt Ra đo bằng micromet; ứng với từng thí nghiệm đã được thực hiện. Để giảm bớt sai số, toàn bộ 13 thí nghiệm đã được lập lại 2 lần. Sau khi thực hiện hết 13 thí nghiệm và ghi lại kết quả Ra, 13 thí nghiệm khác cũng đã được thực hiện lại.

Kết quả Ra trong bảng 3 là giá trị trung bình của hai lần lặp đã thực hiện.

**2.4. Xử lý kết quả**

Sử dụng chức năng phân tích kết quả thí nghiệm (Analyze Response Surface Design) của phần mềm thiết kế thí nghiệm Minitab®, thu được kết quả như trên hình 3.

**Response Surface Regression: Ra versus HRC; t(mm)**

The analysis was done using coded units.  
 Estimated Regression Coefficients for Ra

| Term        | Coef     | SE Coef | T      | P            |
|-------------|----------|---------|--------|--------------|
| Constant    | 0,56000  | 0,12470 | 4,491  | 0,003        |
| HRC         | 0,02500  | 0,09858 | 0,254  | <u>0,807</u> |
| t(mm)       | -0,04874 | 0,09858 | -0,494 | <u>0,636</u> |
| HRC*HRC     | 0,28875  | 0,10572 | 2,731  | 0,029        |
| t(mm)*t(mm) | 0,46375  | 0,10572 | 4,387  | 0,003        |
| HRC*t(mm)   | -0,05000 | 0,13942 | -0,359 | <u>0,730</u> |

S = 0,278835 PRESS = 2,69386  
 R-Sq = 77,72% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 61,81%  
 Analysis of Variance for Ra

| Source         | DF | Seq SS  | Adj SS  | Adj MS  | F     | P            |
|----------------|----|---------|---------|---------|-------|--------------|
| Regression     | 5  | 1,89883 | 1,89883 | 0,37977 | 4,88  | 0,030        |
| Linear         | 2  | 0,02401 | 0,02401 | 0,01200 | 0,15  | <u>0,860</u> |
| Square         | 2  | 1,86483 | 1,86483 | 0,93241 | 11,99 | 0,005        |
| Interaction    | 1  | 0,01000 | 0,01000 | 0,01000 | 0,13  | 0,730        |
| Residual Error | 7  | 0,54424 | 0,54424 | 0,07775 |       |              |
| Lack-of-Fit    | 3  | 0,33224 | 0,33224 | 0,11075 | 2,09  | <u>0,244</u> |
| Pure Error     | 4  | 0,21200 | 0,21200 | 0,05300 |       |              |
| Total          | 12 | 2,44308 |         |         |       |              |

Hình 3: Phân tích kết quả thí nghiệm tối ưu nhám bề mặt

Quan sát kết quả phân tích phương sai (Analysis of Variance), nhận thấy thành phần bậc nhất (Linear) của mô hình hồi quy có ít ý nghĩa thống kê (giá trị p bằng 0,86; lớn hơn nhiều so với mức ý nghĩa thông thường là 0,05). Quan sát giá trị p của phân tích mức độ không phù hợp của mô hình (Lack-of-Fit), do giá trị p (bằng 0,244) lớn hơn nhiều so với mức thông thường (0,05), do vậy, có thể kết luận là dạng mô hình hồi quy kiểu bậc 2 là phù hợp.

Để tinh chỉnh mô hình, quan sát bảng liệt kê các hệ số hồi quy (Estimated Regression Coefficients for Ra) trên hình 3, ta thấy, hệ số hồi quy tương ứng với số hạng HRC\*t có giá trị p khá lớn (0,73). Tiến hành loại bỏ thành phần này ra khỏi mô hình hồi quy, thu được kết quả mới như trên hình 4.

**Response Surface Regression: Ra versus HRC; t(mm)**

The analysis was done using coded units.  
 Estimated Regression Coefficients for Ra

| Term        | Coef     | SE Coef | T      | P            |
|-------------|----------|---------|--------|--------------|
| Constant    | 0,56000  | 0,11771 | 4,757  | 0,001        |
| HRC         | 0,02500  | 0,09306 | 0,269  | 0,795        |
| t(mm)       | -0,04874 | 0,09306 | -0,524 | 0,615        |
| HRC*HRC     | 0,28875  | 0,09980 | 2,893  | <u>0,020</u> |
| t(mm)*t(mm) | 0,46375  | 0,09980 | 4,647  | <u>0,002</u> |

S = 0,263212 PRESS = 1,96343  
 R-Sq = 77,31% R-Sq(pred) = 19,63% R-Sq(adj) = 65,97%  
 Analysis of Variance for Ra

| Source         | DF | Seq SS  | Adj SS  | Adj MS   | F     | P     |
|----------------|----|---------|---------|----------|-------|-------|
| Regression     | 4  | 1,88883 | 1,88883 | 0,472209 | 6,82  | 0,011 |
| Linear         | 2  | 0,02401 | 0,02401 | 0,012004 | 0,17  | 0,844 |
| Square         | 2  | 1,86483 | 1,86483 | 0,932413 | 13,46 | 0,003 |
| Residual Error | 8  | 0,55424 | 0,55424 | 0,069280 |       |       |
| Lack-of-Fit    | 4  | 0,34224 | 0,34224 | 0,085561 | 1,61  | 0,327 |
| Pure Error     | 4  | 0,21200 | 0,21200 | 0,053000 |       |       |
| Total          | 12 | 2,44308 |         |          |       |       |

Hình 4: Tinh chỉnh phân tích kết quả thí nghiệm tối ưu nhám bề mặt

Trên hình 4, nhận thấy các hệ số bậc cao của phương trình hồi quy (HRC\*HRC) và (t\*t) đều có giá trị p rất nhỏ (lần lượt là 0,02 và 0,002). Điều này chứng tỏ các thành phần này có ý nghĩa thống kê lớn. Các hệ số bậc nhất (HRC và t) mặc dù có ý nghĩa thống kê thấp (giá trị p lớn), nhưng không thể loại bỏ chúng do các thành phần bậc cao của chúng bắt buộc phải có mặt [9,10]. Chấp nhận kết quả này, ta thu được phương trình hồi quy mô tả quan hệ giữa hàm mục tiêu Ra và các thông số đầu vào HRC, t như sau (xem hình 4):

$$(1) R_a = 0,56000 + 0,02500HRC - 0,04874t + 0,28875HRC^2 + 0,46375t^2$$

Phương trình hồi quy sử dụng các giá trị thực (không mã hóa – uncoded) là: (xem trên hình 5).

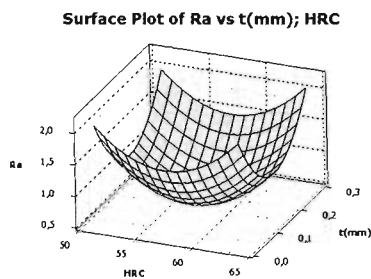
$$(2) R_a = 48,5018 - 1,63426HRC - 14t + 0,0142593HRC^2 + 46,375t^2$$

| Estimated Regression Coefficients for Ra using data in uncoded units |           |
|--|-----------|
| Term   | Coef      |
| Constant   | 48,5018   |
| HRC  | -1,63426  |
| t(mm)  | -14,3999  |
| HRC*HRC  | 0,0142593 |
| t(mm)*t(mm)  | 46,3750   |

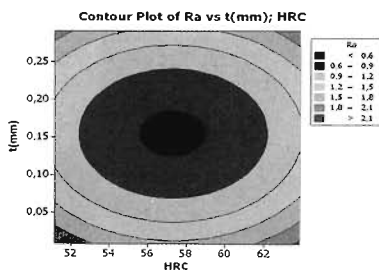
Hình 5: Các hệ số hồi quy dạng không mã hóa

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Biểu diễn các kết quả thu được dưới dạng “bề mặt chỉ tiêu” (Response surface), thu được đồ thị như trên hình 6. Xác lập các mức (level) cho cấp độ nhám đạt được, thu được đồ thị các đường mức (Contour plot) như hình 7.



Hình 6: Đồ thị quan hệ nhám bề mặt phụ thuộc độ cứng và chiều sâu cắt



Hình 7: Đồ thị các đường mức Ra phụ thuộc các thông số đầu vào

Quan sát các đồ thị trên hình 6 và 7, nhận thấy cấp độ nhám có vùng cực tiểu cục bộ trong phạm vi đã khảo sát

(hình 6); đồng thời, phạm vi xác lập các biến đầu vào cũng có thể lựa chọn khá rộng (hình 7). Chẳng hạn, có thể đạt được Ra nhỏ hơn 0,6 với các cấp độ cứng HRC nằm trong khoảng 55-59; chiều sâu cắt t từ 0,12 đến 0,18 mm.

Kết quả này phù hợp với yêu cầu thực tế về độ cứng bề mặt của sản phẩm, đồng thời cho phép lựa chọn các thông số chế độ cắt tương ứng với khả năng gia công của máy tiện vạn năng hiện có của hầu hết các cơ sở sản xuất.

### IV. KẾT LUẬN

Ảnh hưởng của độ cứng bề mặt và chiều sâu cắt đến nhám bề mặt khi tiện cứng lỗ nhỏ (đường kính cỡ 6-10 mm), làm bằng vật liệu X210Cr13, trong điều kiện cắt khô trên máy tiện vạn năng đã được phân tích bằng thực nghiệm. Kỹ thuật tối ưu hóa theo phương pháp bề mặt chỉ tiêu đã được áp dụng để thiết kế kế hoạch và phân tích số liệu thí nghiệm. Kết quả cho thấy, có thể đạt được nhám bề mặt nhỏ nhất (cỡ 0,6 micromet) với các mẫu có độ cứng HRC nằm trong khoảng từ 55 đến 59; khi được gia công với chiều sâu cắt 0,12 đến 0,18 mm. Độ cứng HRC 55-59 cũng là các giá trị yêu cầu của hầu hết các sản phẩm làm từ thép hợp kim X210Cr13. Do vậy, kết quả có thể áp dụng cho các quá trình gia công tương tự.

Nghiên cứu được thực hiện trong khuôn khổ đề tài NCKH cấp Bộ B2007-TN02-04. ❖

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. F. Klocke, G. Eisenblatter, Dry cutting, *Annals of the CIRP* 46 (2) (1997) 519–526.
- [2]. P.S. Sreejith, B.K.A. Ngoi, Dry machining: machining of the future, *Journal of Materials Processing Technology* 101 (2000) 287–291.
- [3]. Deng Jianxin, Cao Tongkun, Yang Xuefeng, Liu Jianhua, Self-lubrication of sintered ceramic tools with CaF<sub>2</sub> additions in dry cutting, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46 (2006) 957–963.
- [4]. Klocke F, Eisenblatter G (1997) Machinability Investigation of the Drilling Process Using Minimal Cooling Lubrication Techniques. *Production Engineering IV*(1):19–24.
- [5]. Heisel U, Lutz M, Spath D, Wassmer R (1994) Application of Minimum Quantity Cooling Lubrication Technology in Cutting Process. *Production Engineering II*(1):49–54.
- [6]. Toenshoff HK, Kroos F, Spintig W, Brandt D (1994) Reducing Use of Coolants in Cutting Processes. *Production Engineering I* (2):5–8.
- [7]. I.A. Ordinaseba, *Xpravochnik inxtrumentalsika – “Masinostroenie” – Leningrat – 1987.*
- [8]. Bành Tiến Long, Trần thế Lục, Trần Sỹ Túy, Nguyên lý gia công vật liệu, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật – Hà Nội - 2001.
- [9]. Nguyễn Văn Dư, Nguyễn Đăng Bình, Qui hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật – Hà Nội – 2011.
- [10]. Myers R. H., Montgomery D.C. and Anderson-Cook C.M., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, Third Edition, 2009 John Wiley & Sons, Inc.