

# NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO KIỂM KHÔNG TIẾP XÚC TRÊN TRẠM GIA CÔNG PHAY CNC

RESEARCH, DESIGN AND PRODUCTION OF NON-CONTACT TESTING EQUIPMENT ON CNC MILLING STATION

Nguyễn Văn Dân<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Hưng<sup>2</sup>,  
Vũ Mạnh Hưng<sup>2</sup>, Đào Thế Khánh<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Quê<sup>3,\*</sup>

## TÓM TẮT

Trong thời đại công nghiệp hóa - hiện đại hóa, các thiết bị, máy móc đóng một vai trò quan trọng trong lĩnh vực công nghiệp nói chung và cơ khí nói riêng, các chi tiết máy, sản phẩm cơ khí ngày càng đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật độ chính xác gia công cao. Từ đó yêu cầu các kỹ sư, chuyên gia phải nghiên cứu sáng tạo ra các phương pháp gia công, phương pháp pháp đo đặc tiên tiến để đáp ứng được độ chính xác cao của các sản phẩm. Với sự phát triển không ngừng của khoa học công nghệ và những cải tiến vượt bậc trong sản xuất, các công cụ đo lường truyền thống là không đủ. Rất khó để đáp ứng các yêu cầu kiểm định khắt khe cho các bề mặt hình học phức tạp, các biên dạng cong không đồng đều hay những vật liệu mềm dễ bị biến dạng. Ngay cả khi mất rất nhiều thời gian cho việc đo kiểm đó thì độ chính xác cũng không cao, khó vận hành, kết quả đo lường không đáp ứng được tiêu chuẩn của nhà sản xuất. Từ những thực tiễn đó, ta nhận thấy việc tính toán thiết kế một thiết bị đo biên dạng chi tiết không tiếp xúc được gắn trực tiếp trên trạm gia công CNC là một phương án tối ưu có thể đáp ứng được cả về độ chính xác gia công và biên dạng của sản phẩm mà ta mong muốn.

**Từ khóa:** Thiết bị đo không tiếp xúc, Laser 3D, on-machine measurement.

## ABSTRACT

In the era of industrialization and modernization, machinery and equipment play an important role in the field of industry in general and mechanical engineering in particular, machine parts and mechanical products increasingly require technical requirements. high art. High machining accuracy. Since then, it requires engineers and experts to research and create advanced machining and measurement methods to meet the high accuracy of products. With the continuous development of science and technology and great improvements in production, traditional measuring tools are not enough. It is difficult to meet the rigorous testing requirements for complex geometric surfaces, unevenly curved sections, or easily deformed soft materials. Even that test takes a long time, but the accuracy is not high, it is difficult to operate, the measurement results do not meet the manufacturer's standards. From those practices, we found that calculating and designing a non-contact part profile measuring device installed directly on a CNC machining station is an optimal solution that both meets accuracy and meets requirements. can respond. machining and profile of the desired product.

**Keywords:** Non-contact meter, Laser 3D, on-machine measurement.

<sup>1</sup>Lớp ĐH Cơ khí 02- K12, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Lớp ĐH Cơ khí 05- K12, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

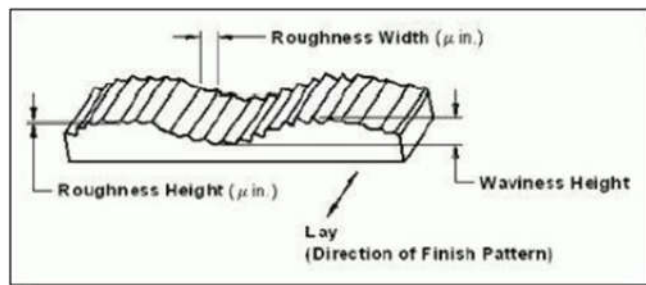
\*Email: quehau@outlook.com

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các chi tiết đo không tiếp xúc thường là các chi tiết đã được gia công trên máy CNC. Với nguyên lý làm việc của hệ thống đo kiểm, đầu đo có thể quét được nhiều loại biên dạng khác nhau, từ bề mặt chi tiết dạng điển hình như mặt phẳng cho đến các mặt cong, mặt cầu hay các chi tiết phức tạp như bánh răng, chi tiết có rãnh xoắn. Tóm lại hệ thống đo không tiếp xúc có thể thực hiện được với các bề mặt dạng tự do.

Các bề mặt dạng tự do được sử dụng trong CAD hoặc phần mềm đồ họa máy tính khác để mô tả cấu trúc lớp bề mặt của nó. Các bề mặt dạng tự do không có các kích thước hướng kính cố định không giống như các bề mặt thông thường như mặt phẳng, mặt trụ, hình nón. Chúng được dùng để mô tả các dạng như cánh tua-bin, thân xe và vỏ thuyền. Ban đầu được phát triển cho các ngành công nghiệp ô tô và hàng không vũ trụ, bề mặt dạng tự do hiện được sử dụng rộng rãi trong tất cả các ngành thiết kế kỹ thuật từ các sản phẩm hàng tiêu dùng đến tàu thủy.

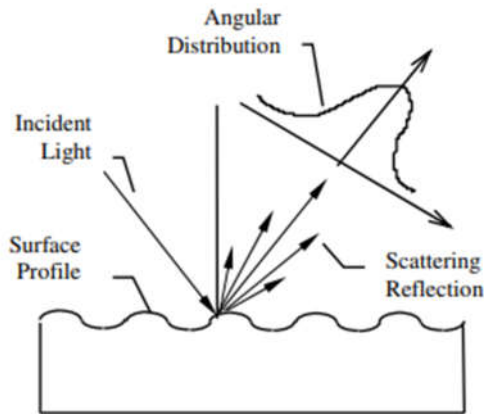
Một bề mặt gia công truyền thống bao gồm nhiều phần tử từ các nguồn khác nhau tạo ra trong quá trình gia công. Sự kết hợp giữa các phần tử đó tạo nên kết cấu bề mặt. Kết cấu bề mặt gồm 3 thông số chính: lớp bề mặt, độ nhám và độ sóng.



Hình 1. Kết cấu bề mặt

Kết cấu bề mặt có thể cung cấp thông tin về quá trình gia công. Ví dụ khi gia công chi tiết kim loại, kết cấu bề mặt được tạo ra bởi "tiếng ồn của dụng cụ" và có liên quan đến tốc độ tiến dao. Tuy nhiên, nó cũng bị ảnh hưởng bởi nhiều biến số khác như độ rung, chất lượng dung dịch trơn nguội

và độ mòn của dụng cụ. Do đó, phép đo các thành phần kết cấu bề mặt có thể cung cấp thông tin chẩn đoán cho các ứng dụng điều khiển quá trình. Các kỹ thuật khác nhau để đo độ nhám bề mặt tồn tại mà phần lớn có thể được phân loại là tiếp xúc và không tiếp xúc. Với phép đo không tiếp xúc như giao thoa quang học và kỹ thuật tán xạ ánh sáng, ngay khi quét nguồn sáng laser lên bề mặt chi tiết sẽ ghi lại các biến thể về bề mặt hình học. Các kỹ thuật đo không tiếp xúc với ưu điểm tốc độ nhanh và cao nên rất thích hợp để kiểm độ mịn của các bề mặt.



Hình 2. Nguyên tắc tán xạ ánh sáng cơ bản

Hình 2 cho thấy nguyên tắc tán xạ ánh sáng cơ bản nếu bề mặt hoàn toàn mịn, ánh sáng sẽ bị phản xạ ở cùng một góc theo quy luật phản xạ. Tuy nhiên, nếu bề mặt gồ ghề, phản xạ sẽ bị phân tán xung quanh hướng của phản xạ đặc điểm. Cường độ ánh sáng khuếch tán có mối quan hệ gần với tuyến tính với bề mặt độ nhám. Mối liên hệ cần thiết giữa ánh sáng tán xạ và địa hình bề mặt có thể được thực hiện sử dụng tương quan thực nghiệm hoặc lý thuyết tán xạ thích hợp.

Có nhiều dụng cụ để đo vị trí, khoảng cách hoặc độ nhám của một vật. Chúng có thể được tách biệt thành hai loại cơ bản: tiếp xúc và không tiếp xúc.

Các phương pháp tiếp xúc phổ biến là: Bộ mã hóa tuyến tính, chiết áp chuỗi và đầu dò độ dịch chuyển biến đổi tuyến tính. Một số lợi ích của hệ thống đo tiếp xúc là: phạm vi đo dài, độ nhạy của vật liệu mục tiêu, kích thước điểm nhỏ (vùng đo) và nói chung là chi phí thấp hơn.

Mặc dù các dụng cụ tiếp xúc phù hợp với nhiều ứng dụng, nhưng chúng có tuyến tần số hạn chế và có thể ảnh hưởng đến động lực của đối tượng được đo. Khi những yếu tố này là một mối quan tâm, các phương pháp không tiếp xúc có lợi thế. Hiện nay, có một số loại công nghệ đo không tiếp xúc như: Đo không khí; Hiệu ứng Hall; Siêu âm; Quang tử; Điện dung; Laser quang học tam giác; Dòng điện xoáy cảm ứng.

Ưu điểm của phương pháp đo không tiếp xúc so với phương pháp đo truyền thống:

- + Đo với độ chính xác rất cao.
- + Tiết kiệm thời gian đo kiểm.

- + Dễ dàng thực hiện trên phần mềm.
- + Đo được trên các bề mặt cong hay chi tiết có biên dạng phức tạp.

- + Chi tiết không bị cào xước bề mặt trong quá trình đo.

Nhược điểm:

- + Chi phí thiết bị cao.
- + Lắp đặt thiết bị cần độ chính xác rất cao.

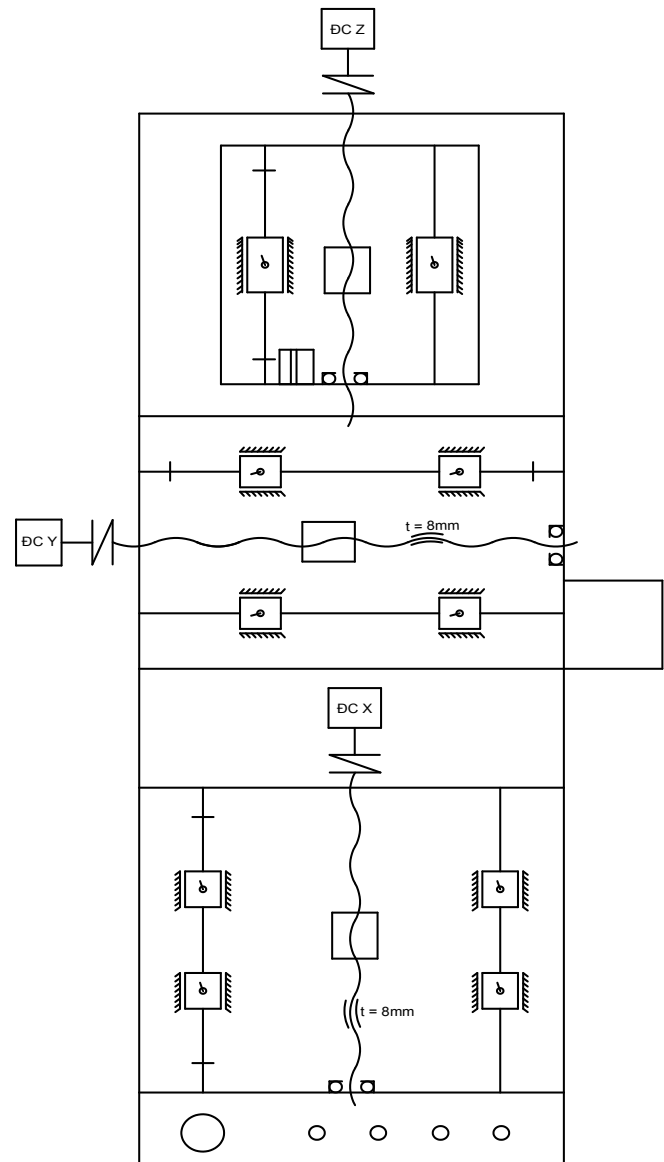
Từ những phân tích trên về các phương pháp đo, ta thấy được mỗi phương pháp có những ưu nhược điểm và phạm vi ứng dụng khác nhau. Nghiên cứu này sử dụng laser để đo các chi tiết có độ chính xác cao cả về kích thước và độ nhám hay các chi tiết có biên dạng phức tạp.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

### 2.1. Tính toán thiết kế

#### 2.1.1. Sơ đồ động học

Sơ đồ động học của thiết bị như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ động học của thiết bị

**2.1.2 Nguyên lý làm việc của thiết bị đo không tiếp xúc**

*a) Cụm trục Z và đầu đo cảm biến*

Trên cụm trục Z, đầu cảm biến được lắp trên đồ gá chữ L có thể di chuyển theo phương ngang và phương thẳng đứng và được điều khiển hành trình chạy bằng phần mềm Universal Gcode Sender để di chuyển đến vị trí chi tiết cần đo. Universal Gcode Sender được lập trình để làm cho các động cơ bước quay, ở mỗi đầu động cơ có gắn với một đầu khớp nối và đầu còn lại được nối với trục vít me để biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến, mỗi vòng quay của động cơ tương ứng với một khoảng tịnh tiến nhất định của bàn máy.

Một tia sáng dạng đường (line beam) được phát ra từ nguồn quét lên bề mặt, vị trí của chi tiết cần đo. Các tia sáng từ bề mặt chi tiết phản xạ ngược trở lại vào một đầu thu và được phần mềm xử lý tín hiệu mã hóa gửi thông tin đến bộ nhớ máy tính. Kết quả đo được hiển thị và biểu diễn trên phần mềm Labview.

*b) Bàn máy*

Bàn máy được thiết kế để gá đặt chi tiết. Bàn máy dịch chuyển theo phương X trên 2 thanh ray vuông bởi các con trượt. Cũng giống như cụm trục Z, bàn máy được lập trình hành trình chạy bằng phần mềm Universal Gcode Sender để điều khiển động cơ bước quay, động cơ được gắn với trục vít me, trên vít me có khối đỡ đai ốc để lắp với các lỗ ren đã được gia công trên bàn máy. Trên 2 thanh ray có 2 cảm biến để hạn chế hành trình của bàn máy trong phạm vi cho phép. Vì vậy mà bàn máy có thể chuyển động được theo phương tịnh tiến với hành trình 250x250mm.

**2.1.3. Thiết kế hệ thống tổng quan**

Máy bao gồm 4 hệ thống: hệ thống chuyển động, hệ thống điện điều khiển hệ thống đầu đo cảm biến và hệ thống xử lý dữ liệu.

*a) Hệ thống chuyển động*

Hệ thống chuyển động của máy bao gồm 3 trục X, Y, Z. Trong đó trục Y điều khiển chuyển động hành trình của bàn máy theo phương tịnh tiến thẳng đứng, trục X và Z điều khiển chuyển động hành trình của đầu đo cảm biến, trục X điều khiển đầu đo dịch chuyển theo phương ngang trong khi trục Z điều khiển đầu đo di chuyển theo phương thẳng đứng để điều chỉnh khoảng cách đo và đảm bảo khoảng cách luôn nằm trong khoảng tiêu cự cho phép.

Bàn máy và đầu đo dịch chuyển được nhờ cơ cấu trục vít me - đai ốc trượt. Trục vít me được cố định một đầu trên một gối đỡ và đầu còn lại được gắn vào khớp nối vào trục động cơ. Khi động cơ quay thì trục vít me cũng quay, khi đó chuyển động quay của vít me sẽ chuyển thành chuyển động tịnh tiến của bàn máy.

*b) Hệ thống điều khiển*

Các chuyển động trên máy đều được thực hiện bởi chuyển động quay của động cơ bước. Để động cơ bước có thể quay thì cần một phần mềm điều khiển. Ở đây ta dùng phần mềm GBRL laser và mạch Arduino để điều khiển động

cơ. PC được kết nối với bảng điện điều khiển qua một dây cắm, khi đó các chuyển động trên máy sẽ được điều khiển trực tiếp trên PC. Các phần mềm này sẽ điều chỉnh độ xung, góc quay, tốc độ quay của động cơ và khoảng hành trình dịch chuyển.

Một bàn điều khiển bằng các nút bấm cũng được gắn trên bàn máy với các chế độ: dừng khẩn, dừng - chạy tiếp chương trình, đưa chương trình về chế độ khóa, đưa về góc định vị.

*c) Hệ thống đầu đo cảm biến*

Để lựa chọn được đầu đo phù hợp với hệ thống đo lường, ta cần xác định được các thông số đầu vào của đầu đo.

Với kích thước tổng quan của máy, ta xác định được những giá trị:

- + Khoảng cách làm việc: WD = 30mm
- + Trường nhìn: FOV = 40 ÷ 70mm. Dựa vào khoảng cách làm việc cũng như kích thước sơ bộ của hệ thống ta có thể chọn FOV = 45mm.



Hình 4. Đầu đo ZX-LD30VL

Đây là hệ thống quan trọng nhất của máy để đo lường chi tiết. Đầu đo ZX-LD30VL có nguồn sáng của cảm biến laser là laser bán dẫn ánh sáng nhìn thấy có bước sóng 650nm. Nó được vận hành với khoảng cách tiêu cự là 30mm và có phạm vi đo ± 2mm. Nó hoạt động trên nguyên tắc quang học laser bằng phương pháp tam giác, thiết bị ghép nối tích điện (CCD) được sử dụng như mảng phát hiện ánh sáng của cảm biến. Cường độ của phản xạ khuếch tán được xác định theo thời gian thực từ tín hiệu CCD. Điều này cho phép cảm biến ổn định các dao động cường độ trong quá trình đo trên một dải hệ số phản xạ rất rộng (từ gần như hấp thụ toàn phần đến phản xạ gần như toàn bộ). Khả năng chống nhiễu cao đạt được nhờ số hóa tín hiệu sớm. Việc xử lý tín hiệu bởi bộ xử lý tín hiệu cung cấp khả năng điều chỉnh cảm biến với các bề mặt vật liệu thông qua giao diện kỹ thuật số. Điều này đạt được độ tuyến tính cao ngay cả trên các vật liệu phản xạ yếu (ví dụ: cao su đen).

*d) Hệ thống xử lý dữ liệu*

Sau khi thu nhận ánh sáng phản xạ ngược trở lại từ bề mặt chi tiết đo, hệ thống xử lý dữ liệu sẽ mã hóa ánh sáng

thu được để tái tạo lại bề mặt của chi tiết đo hoặc các kích thước đặc tính của chi tiết đó. Việc này sẽ được xử lý bằng phần DasyLab và DAQami, phần mềm sẽ đưa ra kết quả đo bằng cách lập trình đồ họa. Khi hệ thống xử lý dữ liệu hoạt động nó có thể nắm bắt các tín hiệu quét đến từ các cảm biến thông qua thẻ thu thập dữ liệu, thao tác chúng và cuối cùng hiển thị chúng bằng cả số và đồ họa. Nó cũng có một số tính năng khác, chẳng hạn như, kiểm soát tốc độ luồng dữ liệu (độ trễ khi truyền dữ liệu), lưu dữ liệu vào thiết bị lưu trữ,...

## 2.2. Đo lường và xử lý

### 2.2.1. Các lưu ý trong quá trình đo

Trong quá trình đo, chi tiết luôn phải được định vị vuông góc với nguồn phát tia phát sáng của đầu đo cảm biến.

Khoảng cách từ đầu cảm biến đến bề mặt chi tiết đo luôn nằm trong khoảng tiêu cự ( $30 \pm 2$ mm).

Trong quá trình đo, những rung động về mặt cơ học của đầu đo và chi tiết phải được loại bỏ.

Thí nghiệm phải được tiến hành trong phòng khô và sạch, không có bụi, có nguồn chiếu sáng mạnh và luồng không khí mạnh.

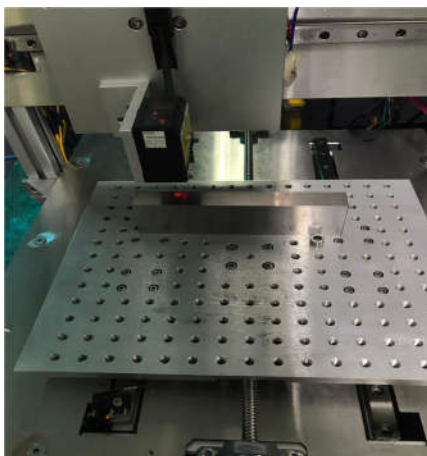
### 2.2.2. Thực nghiệm đo độ phẳng

Nguyên lý đo độ phẳng: Một mặt phẳng (P) trên bề mặt chi tiết được xác định bởi 3 điểm trên bề mặt đó. Độ phẳng của một chi tiết được xác định bằng khoảng cách từ điểm cao nhất đến điểm thấp nhất trên mặt phẳng (P)

#### a) Đo độ phẳng của tấm căn

Chuẩn bị: Tấm căn phẳng được gá trên bàn máy. Thiết bị đo được kết nối với PC. PC được kết nối với bộ truyền dữ liệu USB-1208LS và các phần mềm điều khiển, lập trình (Dasy Lab và DAQami) được khởi động.

Quy trình đo: Đầu đo cảm biến dịch chuyển từ từ vào một cạnh bên chi tiết đo để set gốc, sau đó điều khiển trục Z để khoảng cách làm việc từ đầu đo cảm biến đến bề mặt chi tiết bằng đúng tiêu cự 30mm. Chi tiết đo được cố định, đầu đo bắt đầu dịch chuyển theo phương X. Sau khi đầu đo quét hết một khoảng chiều dài nhất định trên tấm căn, kết quả đo độ phẳng được hiển thị trên phần mềm DasyLab.



Hình 5. Đo độ phẳng của tấm căn

#### b) Kết quả đo

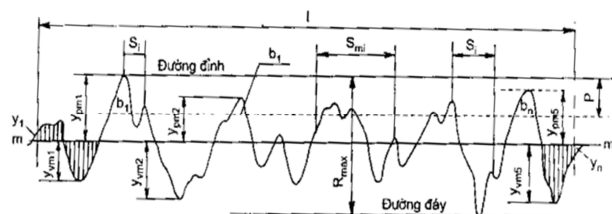
Bảng 1. Kết quả đo độ phẳng của tấm căn

Tấm căn	$\Delta h = h_1 - h_2$
1	0,034mm
2	0,083mm
3	0,050mm
4	0,045mm
5	0,064mm

Tiến hành thực nghiệm được kết quả đo độ phẳng của tấm căn như trong bảng 1.

### 2.2.3. Thực nghiệm đo độ nhám

Nguyên lý đo độ nhám: Bề mặt sau khi gia công không bằng phẳng một cách lý tưởng mà sẽ có những mấp mô. Những mấp mô này là kết quả của quá trình biến dạng dẻo của bề mặt chi tiết khi cắt gọt lớp kim loại, là vết lười cắt để lại trên bề mặt gia công, là ảnh hưởng của chấn động khi cắt và của nhiều nguyên nhân khác nữa. Tuy vậy nhám bề mặt không phải là toàn bộ những mấp mô trên bề mặt mà nó là tập hợp những mấp mô có bước tương đối nhỏ và được xét trong giới hạn chiều dài chuẩn  $l$  (chiều dài của phần bề mặt được chọn để đo độ nhám). Để đánh giá độ nhám bề mặt ta dùng các yếu tố hình học của nhám là chỉ tiêu. Các chỉ tiêu này được xác định trong phạm vi chiều dài chuẩn  $l$  và được tính toán so với đường trung bình của profil bề mặt



Hình 6. Các chỉ tiêu đánh giá độ nhám bề mặt

Đường trung bình có dạng profil danh nghĩa bề mặt và nằm trong giới hạn chiều dài chuẩn, nó chia profil thực sao cho tổng bình phương khoảng cách từ các điểm trên profil đến đường trung bình là nhỏ nhất [6].

Ở đây ta đo theo chỉ tiêu  $R_a$  vì  $R_a$  được sử dụng phổ biến nhất và cho phép đánh giá chính xác hơn và thuận lợi hơn những bề mặt có độ nhám trung bình.  $R_a$  (sai lệch trung bình số học của profil) là trung bình số học các giá trị tuyệt đối của sai lệch profil ( $y$ ) trong giới hạn chiều dài chuẩn. Sai lệch profil ( $y$ ) là khoảng cách từ các điểm trên profil thực đến đường trung bình, đo theo phương pháp tuyến với đường trung bình

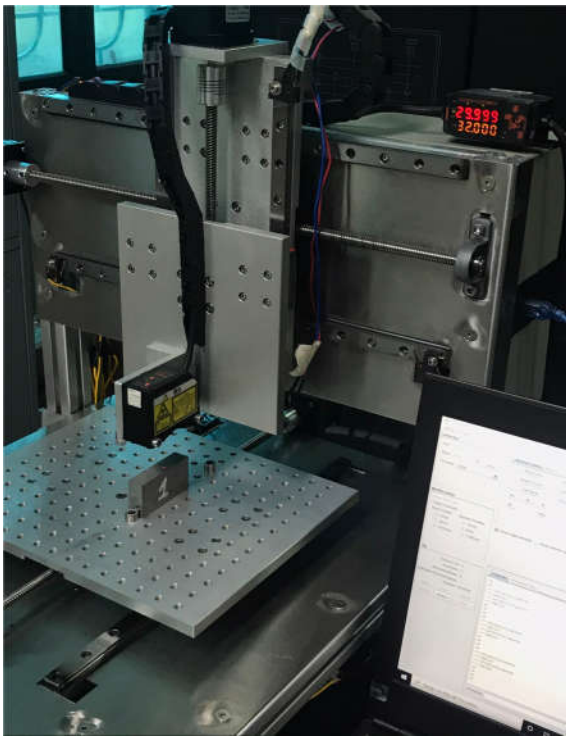
$$R_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i|$$

#### a) Đo độ nhám trên các mẫu mài

Chuẩn bị: Các mẫu mài lần lượt được gá trên bàn máy. Thiết bị đo được kết nối với PC. PC được kết nối với bộ

truyền dữ liệu USB-1208LS và các phần mềm điều khiển, lập trình (Dasy Lab và DAQami) được khởi động.

Quy trình đo: Đầu đo cảm biến dịch chuyển từ từ vào một cạnh bên chi tiết đo để set gốc, sau đó điều khiển trục Z để khoảng cách làm việc từ đầu đo cảm biến đến bề mặt chi tiết bằng đúng tiêu cự 30mm. Chi tiết đo được cố định, đầu đo bắt đầu dịch chuyển theo phương X một khoảng chiều dài tiêu chuẩn  $l = 0,8\text{mm}$ . Mỗi mẫu mài sẽ được đo trên 3 vị trí đầu giữa và cuối mẫu, kết quả đo độ nhám tại mỗi vị trí được hiển thị trên phần mềm DasyLab. Độ nhám của mỗi mẫu là trung bình cộng độ nhám tại 3 vị trí đó.



Hình 7. Đo độ nhám trên mẫu mài

b) Kết quả đo

Bảng 2. Bảng đo độ nhám

Tấm căn	Ra ( $\mu\text{m}$ )
1	0,222
2	0,248
3	0,285
4	0,284
5	0,327

Kết quả đo độ nhám trên các mẫu mài thu được như trong bảng 2.

### 2.3. Đánh giá so sánh

So sánh kết quả đo độ nhám giữa phương pháp đo không tiếp xúc và phương pháp đo tiếp xúc thu được như trong bảng 3.

Bảng 3. So sánh kết quả đo độ nhám giữa phương pháp đo không tiếp xúc và phương pháp đo tiếp xúc

Mẫu mài	Giá trị độ nhám đo không tiếp xúc ( $\mu\text{m}$ )	Giá trị độ nhám đo tiếp xúc ( $\mu\text{m}$ )	Độ lệch
1	0,222	0,138	0,083
2	0,248	0,266	0,018
3	0,285	0,238	0,047
4	0,284	0,221	0,063
5	0,327	0,222	0,115

Ta thấy xuất hiện những sai số giữa hai phương pháp đo độ nhám tiếp xúc và không tiếp xúc. Nguyên nhân là do thiết bị đo vẫn chưa được hiệu chỉnh về độ chính xác cao nhất, do sai số toán học trong các hàm tính toán hay do kỹ năng đo của nhóm vẫn chưa chính xác 100% so với lý thuyết đo.

### 3. KẾT LUẬN

Trong quá trình nghiên cứu, nhóm đã thiết kế chế tạo thành công thiết bị đo không tiếp xúc trên trạm gia công phay CNC. Thiết bị đo gồm 4 hệ thống chính: hệ thống chuyển động (các trục vít me, ray trượt - con trượt), hệ thống điều khiển (động cơ các trục X, Y, Z), hệ thống đầu đo cảm biến (đầu đo laser ZX-LD30VL, bộ khuếch đại ZX-LDA11N) và hệ thống xử lý dữ liệu (phần mềm DAQami, DasyLab và cổng kết nối USB -1208LS). Thiết bị được ứng dụng để đo kích thước biên dạng, độ nhám, độ phẳng của các chi tiết cơ khí với độ chính xác cao.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Rens Henselmans, 2009. *Non-contact Measurement machine for Freeform Optics*. Eindhoven University.
- [2]. S. M. Mahfuzul Haque, B Eng, 2004. *Development of a Laser Scanning*. School of Mechanical and Manufacturing Engineering.
- [3]. LiDa, 2019. *An Autostereoscopic Three- Dimensional (3d) Metrology System For On - Machine Measurement Of Micro - Structured Surfaces*. Hong Kong Polytechnic University.
- [4]. Ninh Đức Tồn, 2006. *Giáo trình dung sai lắp ghép và kỹ thuật đo lường*. NXB Giáo dục.