

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**NGUYỄN NGỌC KIÊN**

**ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRÍ TUỆ NHÂN TẠO VÀ PHÂN TÍCH  
TAGUCHI ĐỂ XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ CẮT TỐI ƯU KHI GIA CÔNG  
TRÊN MÁY PHAY CNC**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ**

Hà Nội – 2014

## LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình học tập và hoàn thành luận án tốt nghiệp, tác giả luôn nhận được sự giúp đỡ, động viên của gia đình, người thân và sự dạy bảo của các thầy cô giáo Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Tác giả xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo trong Viện Cơ khí, Viện Đào tạo Sau đại học - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã tận tình dạy bảo trong suốt khoá học. Đặc biệt, tác giả xin chân thành cảm ơn sâu sắc tới thầy giáo GS.TS. Trần Văn Địch và PGS. TS Vũ Toàn Thắng đã hướng dẫn và giúp đỡ tác giả hoàn thành luận án.

Cuối cùng, tác giả xin cảm ơn những người thân trong gia đình, bạn bè và đồng nghiệp đã động viên, hỗ trợ và giúp đỡ tác giả trong suốt khoá học.

# MỞ ĐẦU

## Cơ sở để lựa chọn đề tài

Ngày nay, gia công đạt độ chính xác cao là quá trình công nghệ phổ biến và xu thế phát triển tất yếu trong kỹ thuật gia công cơ khí. Tìm hiểu qui luật phân bố ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến năng suất và chất lượng gia công là phương pháp cơ bản để điều khiển quá trình công nghệ. Mặt khác, ứng dụng kỹ thuật điều khiển số (NC) là xu hướng phát triển mạnh mẽ trong công nghiệp từ thiết bị đến qui trình công nghệ với các ưu thế về độ chính xác và khả năng linh hoạt [1], [2]. Tính linh hoạt của thiết bị trong hệ thống công nghệ tỷ lệ thuận với chi phí và giá thành, do vậy sử dụng hiệu quả thiết bị là điều kiện cần thiết với mọi quá trình công nghệ.

Kỹ thuật gia công cơ khí trên các máy điều khiển số (CNC) đang được nghiên cứu, ứng dụng và phát triển lớn mạnh tại Việt Nam cũng như các nước trên thế giới. Ngành công nghệ gia công, chế tạo thiết bị có những bước phát triển vượt bậc với những máy CNC có khả năng gia công đạt độ chính xác rất cao đáp ứng nhu cầu gia tăng độ chính xác. Với một hệ thống công nghệ nhất định, năng suất hay chất lượng bề mặt phụ thuộc chủ yếu vào chế độ cắt được cài đặt [2], [7], vì vậy điều khiển các thông số chế độ cắt là phương pháp cơ bản và hiệu quả để kiểm soát chất lượng gia công cũng như nâng cao hiệu quả sử dụng thiết bị. Do đó cài đặt chế độ cắt hợp lý hay tối ưu là điều kiện cần cho quá trình gia công cơ khí [3], [5].

Thực tế trong một môi trường gia công luôn tồn tại các yếu tố không điều khiển được (yếu tố nhiễu) làm giảm chất lượng gia công. Quá trình cài đặt các thông số công nghệ không phải lúc nào cũng cài đặt chính xác như mong muốn hay quá trình thu nhận các thông tin trong và sau khi gia công cũng bị ảnh hưởng bởi các yếu tố nhiễu làm những thông tin có được gần với giá trị thực ở một mức độ tin cậy nhất định [4], [16], [17]. Mặt khác mô hình cơ bản và phổ biến hiện nay đang sử dụng xác định các thông số công nghệ hợp lý càng bị hạn chế bởi nhu cầu gia tăng độ chính xác và sử dụng hiệu quả thiết bị [20], [21], [22]. Do vậy cần thiết phải có một phương pháp tiếp cận dự đoán mối quan hệ thực nghiệm mới, đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố vào và nhiễu đến kết quả đầu ra cũng như giải bài toán tối ưu cho độ chính xác cao hơn và tiến dần đến kỹ thuật điều khiển chất lượng trực tuyến trong tương lai.

Ngày nay, ứng dụng phát triển khoa học máy tính, con người đã tiếp cận và mô phỏng quá trình thu nhận và xử lý thông tin trong bộ não của mình và tìm hiểu các cơ chế tối ưu trong tự nhiên. Khoa học trí tuệ nhân tạo là một ngành nghiên cứu để tiếp cận khả năng tư duy và học của bộ não [8], [9], [10], [11], [15], [27]. Ứng dụng khoa học trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực điều khiển tối ưu là xu hướng và tất yếu trong tương lai.

Từ những phân tích trên làm tiền đề cho tác giả nghiên cứu và chọn lĩnh vực tối ưu quá trình công nghệ gia công cơ khí làm đề tài luận án. Bài toán tối ưu trong gia công không phải là bài toán mới nhưng cần tìm ra một phương pháp tiếp cận mới để giải quyết lớp các bài toán tối ưu trong công nghệ gia công cơ khí là cần thiết, thực tiễn và tất yếu để giải quyết yêu cầu công nghệ ngày càng chính xác và khắt khe trong tương lai.

## Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu

### Mục đích

- Nghiên cứu phương pháp tiếp cận mới làm tăng khả năng dự đoán chất lượng gia công
- Tăng độ chính xác khi xác định chế độ cắt tối ưu cho gia công trên máy phay CNC trên cơ sở nâng cao năng suất và chất lượng bề mặt chi tiết gia công.
- Xây dựng mối quan hệ thực nghiệm giữa chế độ cắt với năng suất và chất lượng bề mặt, tính toán chế độ cắt tối ưu cho gia công một số thép hợp kim.

### Đối tượng nghiên cứu

- Nghiên cứu quá trình gia công trên máy phay CNC
- Gia công một số vật liệu cứng
- Ứng dụng mạng mờ nơ ron và giải thuật trí tuệ bầy đàn (trí tuệ nhân tạo tính toán)
- Phương pháp số để tối ưu hóa
- Phương pháp Taguchi xác định mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt

### Phạm vi nghiên cứu

Tìm phương pháp dự đoán mối quan hệ thực nghiệm và tính toán chế độ cắt hợp lý, tối ưu để đạt năng suất và chất lượng bề mặt chi tiết khi gia công trên máy phay CNC.

### Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chung là kết hợp nghiên cứu lý thuyết với nghiên cứu thực nghiệm

### Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

- Làm phong phú thêm lý thuyết trong qui hoạch thực nghiệm và xử lý dữ liệu thực nghiệm, quá trình tối ưu hóa các thông số công nghệ trong điều kiện tại Việt Nam
- Đưa trí tuệ nhân tạo vào kỹ thuật điều khiển thông số công nghệ gia công cơ khí
- Đưa phương pháp Taguchi vào trong thiết kế thực nghiệm và tính toán mức độ ảnh hưởng của thông số công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt.

## **Những đóng góp mới**

- Ứng dụng giải pháp trí tuệ nhân tạo và phân tích Taguchi thiết lập mối quan hệ thực nghiệm giữa chế độ cắt với chất lượng bề mặt, năng suất gia công, lực cắt, độ mòn dụng cụ và xác định chế độ cắt tối ưu khi phay thép SKD11 và SKD61.
- Xây dựng phần mềm BK-CTMNET dự đoán mối quan hệ thực nghiệm cho độ chính xác cao và tính toán các thông số công nghệ tối ưu phục vụ trong nghiên cứu và sản xuất.

## **Cấu trúc luận án**

Luận án trình bày trong 151 trang, ngoài phần mở đầu, kết luận, kiến nghị, luận án gồm 4 chương: Chương 1. Tổng quan về ảnh hưởng một số yếu tố công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt, phương pháp xác định chế độ cắt tối ưu khi gia công trên máy phay CNC; Chương 2. Giải pháp trí tuệ nhân tạo và ứng dụng; Chương 3. Phương pháp xác định chế độ cắt tối ưu khi gia công trên máy phay CNC; Chương 4. Xây dựng mô hình toán học bằng thực nghiệm giữa chế độ cắt với các thông số công nghệ và xác định chế độ cắt tối ưu trên máy phay CNC.

# Chương 1: TỔNG QUAN ẢNH HƯỞNG MỘT SỐ YẾU TỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN NĂNG SUẤT VÀ CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT, PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ CẮT TỐI ƯU KHI GIA CÔNG TRÊN MÁY PHAY CNC

## 1.1 Các chỉ tiêu chất lượng bề mặt khi gia công [1]

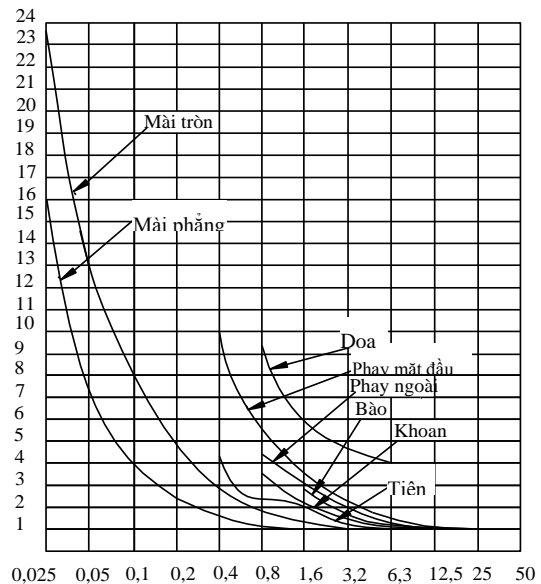
Chất lượng bề mặt gia công là tập hợp các chỉ tiêu về các yếu tố hình học, tính chất cơ lý mà nó là kết quả để lại sau tương tác giữa dụng cụ cắt với bề mặt chi tiết gia công. Các thông số chất lượng bề mặt quyết định rất lớn đến khả năng làm việc của chi tiết máy. Vì vậy các phương pháp gia công cũng nhằm đảm bảo các chỉ tiêu về chất lượng bề mặt.

### 1.1.1 Các yếu tố hình học

#### 1.1.1.1 Độ nhám nhô tế vi

Trong quá trình cắt, lưỡi cắt của dụng cụ tương tác với bề mặt chi tiết gia công hình thành phoi đồng thời để lại những vết xước cực nhỏ trên bề mặt gia công là những nhô nhô tế vi (độ nhám). Đặc trưng cho tính chất nhô nhô bề mặt khi gia công được đo bằng chiều cao nhô nhô tế vi ( $R_z$ ) và sai lệch profin trung bình cộng ( $R_a$ ) của lớp bề mặt. Sai lệch profin trung bình cộng ( $R_a$ ) là thông số được công nhận phổ biến nhất, được sử dụng nhiều nhất là thông số quốc tế về độ nhám. Độ nhám nhô tế vi (độ nhám bề mặt) là cơ sở để đánh giá độ nhẵn bề mặt trong phạm vi chiều dài chuẩn rất ngắn là một đặc trưng quan trọng của chất lượng bề mặt chi tiết máy.

Độ nhám bề mặt ảnh hưởng rất lớn đến các tính chất làm việc của chi tiết máy: tính chống mòn, chống môi, chống ăn mòn hóa học và độ ổn định mối ghép. Việc khống chế độ nhám bề mặt ở các mức độ nhất định có vai trò rất quan trọng trong quá trình gia công, chế tạo sản phẩm. Các quá trình gia công bề mặt khác nhau sẽ tạo nên độ nhám bề mặt khác nhau và giá thành sản phẩm cũng khác nhau. Hình 1.1 thể hiện mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và giá thành của một số phương pháp gia công, qua đồ thị thấy rằng giá thành sản phẩm sẽ



**Hình 1.1** Quan hệ giữa phương pháp gia công và độ nhám bề mặt

tăng lên nhanh chóng khi muốn giảm độ nhám bề mặt tới một giá trị nào đó theo yêu cầu. Do đó, người thiết kế cần phải quan tâm tới giá thành sản phẩm bên cạnh chất lượng bề mặt. Lưu ý trên đồ thị này đơn vị theo trục y là bất kỳ nên nó không dùng để so sánh giá thành của các quá trình gia công khác nhau.

### 1.1.1.2 Độ sóng bề mặt

Độ sóng bề mặt là chu kỳ không bằng phẳng của bề mặt chi tiết máy được quan sát trong phạm vi lớn hơn độ nhám bề mặt. Ngoài ra bước nhấp nhô tế vi  $S_m$  ( $R_{Sm}$ ) được đo với trung bình các khoảng cách của các đỉnh nhấp nhô liên tiếp trên phạm vi chiều dài chuẩn đo. Bước nhấp nhô tế vi phản ánh tần suất xuất hiện những mô nhám trên một đơn vị diện tích. Khi bước nhám nhỏ thì số đỉnh nhám sẽ nhiều hơn trên một đơn vị diện tích nó sẽ làm tăng số điểm tiếp xúc trên bề mặt và như vậy sẽ làm tăng các tính chất sử dụng cho chi tiết máy.

### 1.1.1.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến tính chất hình học của bề mặt khi gia công

Từ bản chất quá trình cắt gọt hình thành bề mặt gia công có thể thấy rằng các yếu tố ảnh hưởng tới độ nhám cũng như độ sóng và bước nhám bề mặt bao gồm:

- Các thông số hình học của dụng cụ cắt như bán kính mũi dao và các góc độ dao khi cắt.
- Các yếu tố rung động của hệ thống công nghệ: máy, dụng cụ cắt, đồ gá, chi tiết gia công.
- Vật liệu gia công mà chủ yếu là khả năng biến dạng dẻo của vật liệu
- Các thông số chế độ cắt bao gồm: vận tốc cắt, chiều sâu cắt, lượng tiến dao. Thông thường vận tốc cắt cao, chiều sâu cắt nhỏ, lượng tiến dao bé sẽ làm giảm chiều cao nhấp nhô tế vi và ngược lại. Ngoài ra còn một số các yếu tố khác như dung dịch trơn lạnh hay những yếu tố không điều khiển được (yếu tố nhiễu) cũng gây ảnh hưởng tới tính chất hình học bề mặt.

Trong một hệ thống công nghệ xác định, tính chất hình học của bề mặt gia công sẽ phụ thuộc chủ yếu vào chế độ cắt được cài đặt vì vậy điều khiển các thông số chế độ cắt hợp lý là cách tiếp cận cơ bản và hiệu quả để kiểm soát tính chất hình học bề mặt theo yêu cầu. Với các hệ máy sử dụng công nghệ điều khiển số (CNC) việc cài đặt chế độ cắt mềm dẻo là thuộc tính cơ bản của máy nên ứng dụng các máy CNC trong kỹ thuật gia công cơ khí là một xu thế phổ biến và tất yếu.

## 1.1.2 Tính chất cơ lý

Quá trình tương tác giữa dụng cụ cắt và vật liệu gia công ngoài những yếu tố hình học để lại còn tạo ra lớp biên cứng và ứng suất dư trên bề mặt. Lưỡi cắt như một chêm cắt chêm vào bề mặt gây xô lệch mạng tinh thể bề mặt, quá trình nội ma sát giữa các phân tử chuyển động trong lớp vật liệu với nhau và quá trình ma sát ngoài khốc liệt giữa mặt trước của dao và bề mặt phoi, giữa bề mặt sau của dao với bề mặt đã gia công sinh nhiệt từ biến dạng dẻo đến phá hủy vật liệu hình thành bề mặt. Kết quả của quá trình đã tạo nên lớp biên cứng và ứng suất dư trên lớp bề mặt mà nó phụ thuộc vào phương pháp gia công và các thông số hình học của dao cũng như chế độ cắt.

Tính chất cơ lý lớp bề mặt ảnh hưởng đáng kể đến tính chất làm việc của chi tiết máy và phụ thuộc vào từng điều kiện làm việc cụ thể.

## 1.2 Năng suất khi gia công [7]

Năng suất cắt khi phay được thể hiện bằng thể tích kim loại (hay khối lượng kim loại) cắt được trong một đơn vị thời gian là  $W$  ( $\text{mm}^3/\text{phút}$ ). Năng suất cắt là một chỉ tiêu kinh tế đặc trưng cho quá trình cắt. Các phương pháp gia công đều nhằm đảm bảo năng suất cắt cao nhất trong điều kiện công nghệ cụ thể.

Năng suất cắt khi phay tỷ lệ thuận diện tích cắt và vận tốc cắt do đó năng suất cắt tỷ lệ thuận với lượng tiến dao, vận tốc cắt và chiều sâu cắt. Thông thường trong gia công thô luôn mong muốn năng suất cắt càng cao càng tốt với chất lượng bề mặt giới hạn, trong gia công tinh cần đảm bảo yêu cầu kỹ thuật chất lượng bề mặt là chủ yếu. Nhưng cho dù trong gia công thô hay tinh cũng đều phải đảm bảo năng suất cắt cao nhất trên cơ sở đảm bảo chất lượng bề mặt. Đối với hệ thống công nghệ nhất định cài đặt một chế độ cắt hợp lý đảm bảo chất lượng bề mặt và nâng cao năng suất gia công là điều kiện cần cho mọi quá trình công nghệ.

Từ những phân tích trên thấy rằng chất lượng bề mặt và năng suất cắt khi gia công là hai yếu tố quan trọng trong chuỗi quá trình sản xuất. Đối với một hệ thống công nghệ được đầu tư xác định, cả hai yếu tố bị quyết định rất lớn từ chế độ công nghệ được cài đặt trong đó chế độ cắt là yếu tố được điều khiển linh hoạt. Thay đổi chế độ cắt là một phương pháp cơ bản và hiệu quả nhất để kiểm soát chất lượng bề mặt và tăng năng suất gia công.

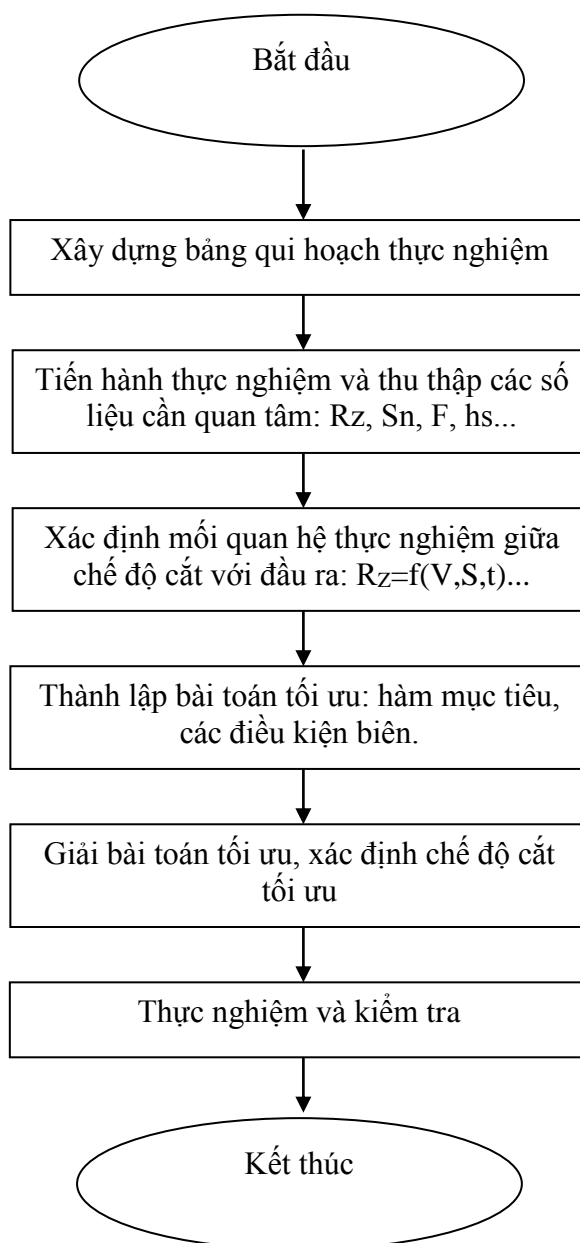
## 1.3 Phương pháp truyền thống xác định chế độ công nghệ [4], [6]

Gia công với chế độ hợp lý hay tối ưu là điều kiện cần cho mọi quá trình công nghệ. Hiện nay xác định chế độ cắt hợp lý cho mỗi loại vật liệu trên một hệ thống công nghệ cụ thể được thực hiện theo tiến trình trong hình 1.2 gồm 6 bước cơ bản.

- Bước 1: xây dựng bảng qui hoạch thực nghiệm. Bước này đưa ra một ma trận thí nghiệm xây dựng theo các phương pháp khác nhau. Hiện nay thường sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt (CCI hoặc CCF), phương pháp qui hoạch thực nghiệm trực giao, phương pháp qui hoạch hợp Box-willson [3].
- Bước 2: thực nghiệm và thu thập số liệu. Tiến hành thực nghiệm theo số liệu vạch ra từ bước 1 và đo đạc các số liệu đầu ra cần quan tâm: độ nhám bề mặt  $R_z$ , bước nhám  $S_n$ , lực cắt  $F$ , độ mòn dụng cụ  $h_s$ , tần số rung động  $f$ , nhiệt cắt...
- Bước 3: xác định mối quan hệ thực nghiệm. Từ bộ dữ liệu đầu vào trong bước một và dữ liệu đo đạc đầu ra trong bước 2 lập được bảng thực nghiệm sau đó dựa vào phương pháp bình phương cực tiểu hay hồi qui thực nghiệm xác định được hàm quan hệ toán học. Hàm quan hệ toán học thu được hoàn toàn dưới dạng hàm tường minh, rõ ràng.
- Bước 4: thành lập bài toán tối ưu. Xác định hàm mục tiêu mà thông thường là hàm năng suất gia công hay thời gian gia công. Các điều kiện biên bao gồm các giới hạn về chất lượng bề mặt, giới hạn công suất cắt lớn nhất, giới hạn độ mòn dao, giới hạn không gian các thông số chế độ cắt...
- Bước 5: giải bài toán tối ưu. Sử dụng các phương pháp truyền thống hay lập số xác định chế độ tối ưu



- Bước 6: cài đặt chế độ tìm được trên máy thực hiện gia công và so sánh kiểm nghiệm.

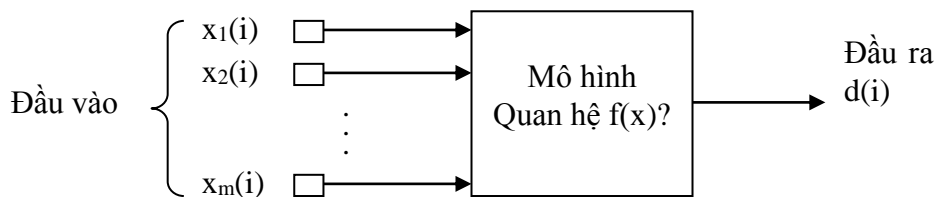


**Hình 1.2** Quá trình xác định chế độ cắt tối ưu thực nghiệm

Đối với mô hình trên để nâng cao độ chính xác khi xác định chế độ công nghệ tối ưu ngoài yếu tố cố định (hệ thống công nghệ, thu thập dữ liệu) thì tồn tại ở 2 khâu quyết định chính là xác định mối quan hệ thực nghiệm và phương pháp giải bài toán tối ưu. Tuy nhiên 2 khâu này lại có tính linh hoạt và mềm dẻo nên có thể thay đổi được trong chuỗi quá trình trên và các phương pháp truyền thống hiện nay đang được sử dụng tập trung vào một số giải pháp.

### 1.3.1 Mô hình xác định mối quan hệ thực nghiệm

Hiện nay, mối quan hệ thực nghiệm được xác định phổ biến bằng 2 phương pháp: bình phương cực tiểu và hồi qui thực nghiệm. Mô hình được thể hiện như hình 1.3



**Hình 1.3** Sơ đồ xác định mối quan hệ thực nghiệm

Các thông số đầu vào  $x=[x_1, x_2, \dots, x_n]$  qua mô hình quan hệ  $f(x)$  biến đổi đến đầu ra  $d_i$ . Một mô hình toán học  $f(x)$  được chọn nếu tổng bình phương sai lệch giữa các điểm dự đoán và điểm thực là nhỏ nhất. Độ chính xác mô hình phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm chọn dạng mô hình quan hệ.

### 1.3.1.1 Phương pháp bình phương cực tiểu

Sử dụng để xác định mối quan hệ toán học của những đại lượng có mối quan hệ với nhau ở một dạng nào đó đã biết qui luật: tuyến tính, tuần hoàn, hàm mũ, hàm logarit... các dạng hàm này đều chưa biết các giá trị cụ thể của các tham số, để xác định các tham số đó sử dụng thí nghiệm, đo đạc... các cặp giá trị tương ứng và chọn một mô hình toán học cụ thể để tính toán tổng giá trị sai lệch bình phương các điểm. Tổng sai lệch này là hàm của các giá trị hệ số cần xác định. Các hệ số phù hợp với mô hình là giá trị của nghiệm để giá trị hàm sai lệch nhỏ nhất.

#### \* Đánh giá phương pháp

- **Ưu điểm :**

- Phương pháp này có khả năng xử lý với mọi bộ dữ liệu (kích thước và tính chất bộ dữ liệu là tùy ý) nên kết quả đưa ra phù hợp với thực nghiệm.
- Trong quá trình tính toán, do thực hiện phép tổng các giá trị thực nghiệm bậc lẻ nên có thể giảm các sai số ngẫu nhiên trong quá trình thí nghiệm mà không quản lý được
- Phương pháp bình phương cực tiểu, do bản chất của nó là nội suy một đường (mặt) để đạt một chỉ tiêu nào đó, nên có sai số phương pháp.

- **Nhược điểm**

- Nhược điểm lớn nhất của phương pháp này (làm cho nó không thông dụng trước đây) là đòi hỏi một lượng lớn các phép tính toán (điều này càng đúng khi bộ số thí nghiệm càng nhiều và có nhiều đại lượng đầu vào). Nếu thực hiện tính toán bằng tay thì phương pháp này còn gây ra sai số tính toán.
- Do đặc trưng công thức tính toán có tổng bình phương nên có thể gây nên các sai số tích lũy trong công thức tính toán cuối cùng.

### 1.3.1.2 Phương pháp qui hoạch thực nghiệm

Mục đích của quy hoạch thực nghiệm là xây dựng mô hình toán học (phương trình hồi quy) biểu thị mối quan hệ giữa thông số đầu ra và các thông số đầu vào. Phương pháp này cần phải thực hiện kiểm tra tính đồng nhất của các thí nghiệm, nếu chủ động được thí nghiệm thì có thể sử dụng qui hoạch thực nghiệm trực giao.

#### \* Đánh giá

- **Ưu điểm:**