

## LỜI NÓI ĐẦU

Với sự phát triển không ngừng của các thành tựu Khoa học - Công nghệ, đặc biệt là lĩnh vực điều khiển số và tin học đã cho phép các nhà Chế tạo máy ứng dụng vào máy cắt kim loại các hệ thống điều khiển ngày càng tin cậy hơn với tốc độ xử lý nhanh hơn và giá thành hạ hơn. Vấn đề tài chính không còn là vấn đề đáng quan tâm của các nhà doanh nghiệp khi mua sắm máy công cụ điều khiển theo chương trình số, ngay cả các doanh nghiệp loại vừa và nhỏ cũng đều có thể tự trang bị được.

Để có thể giúp cho sinh viên ngành chế tạo máy có thể nắm bắt được công nghệ mới này, chúng tôi xin giới thiệu tập tài liệu CÔNG NGHỆ GIA CÔNG TRÊN MÁY CNC để tất cả các bạn đọc tham khảo và ứng dụng.

Với mục đích cần đạt được là sinh viên tự mình có thể thực hiện được các công việc từ việc lập chương trình cho đến thực hiện việc gia công thực tế trên các máy CNC. Do vậy mà nội dung bao quát của tập tài liệu này là trình bày một cách có hệ thống các vấn đề cơ bản nhất mang tính ứng dụng về công nghệ gia công trên máy điều khiển theo chương trình số trên cơ sở của nhiều tài liệu tham khảo trong và ngoài nước cùng với những kinh nghiệm tích lũy được qua quá trình thực tế gia công trên các máy CNC ở tại phòng thí nghiệm Sản xuất tự động của khoa Cơ khí.

Tập tài liệu này được chia làm 7 chương, trong đó các chương 2 và 3 trình bày tổng quát các vấn đề về máy CNC liên quan với quá trình gia công. Chương 4 giới thiệu các hình thức lập trình và ngôn ngữ lập trình. Để có thể khai thác tốt và hiệu quả các máy CNC hiện có, điều trước tiên sinh viên cần phải có những khái niệm cơ bản nhất về lập trình gia công bằng ngôn ngữ máy nên chủ yếu trong phần này giới thiệu và giải thích ý nghĩa của các chức năng G code, M code và một số địa chỉ được dùng khi lập trình. Chương 5 trình bày một số chu trình gia công trên hai hệ điều khiển FANUC và FAGOR. Để bạn đọc có thể ứng dụng được ngay vào trong thực tế, trong phần này trình bày thêm một số ví dụ đã được thực hiện gia công trên máy. Chương 6 là một chương rất quan trọng vì nó vừa mang tính cơ bản về mặt lý thuyết về bản chất của quá trình tạo hình khi gia công trên máy CNC lại vừa mang tính ứng dụng rất cụ thể. Chương 7 là chương nâng cao dành cho sinh viên tham khảo sau này khi công tác tại các doanh nghiệp có các máy CNC.

*Tài liệu này được sử dụng để tham khảo cho các cán bộ giảng dạy, sinh viên đại học, các học viên cao học và những kỹ sư Cơ khí đang làm việc tại các doanh nghiệp có sử dụng máy CNC để gia công và chế tạo các sản phẩm cơ khí. Nó là một tài liệu không thể thiếu được đối với các sinh viên ngành Chế tạo máy trong khi học các môn Sản xuất tự động và Công nghệ CAD/CAM vì công nghệ này chỉ có ý nghĩa thực sự khi thực hiện việc gia công trên máy CNC.*

*Đây là lần đầu tiên biên soạn một tập tài liệu khá mới mẻ và liên quan đến rất nhiều lĩnh vực trong khi khả năng còn hạn chế nên chắc chắn không thể tránh khỏi những sai sót, chúng tôi xin mong nhận được những ý kiến góp ý và phê bình của các đọc giả.*

*Cuối cùng xin chân thành cảm ơn tất cả các thầy cô trong bộ môn Chế tạo máy đã cùng cộng tác và giúp đỡ tôi hoàn thành tập tài liệu này.*

*Đà Nẵng tháng 11-2001*

**CHÂU MẠNH LỰC**

## CHƯƠNG I

# KHÁI QUÁT VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ VÀ LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA MÁY CNC

Điều khiển số (*Numerical Control*) ra đời với mục đích điều khiển các quá trình công nghệ gia công cắt gọt trên các máy công cụ. Về thực chất, đây là một quá trình tự động điều khiển các hoạt động của máy (như các máy cắt kim loại, robot, băng tải vận chuyển phôi liệu hoặc chi tiết gia công, các kho quản lý phôi và sản phẩm...) trên cơ sở các dữ liệu được cung cấp là ở dạng mã số nhị nguyên bao gồm các chữ số, số thập phân, các chữ cái và một số ký tự đặc biệt tạo nên một chương trình làm việc của thiết bị hay hệ thống.

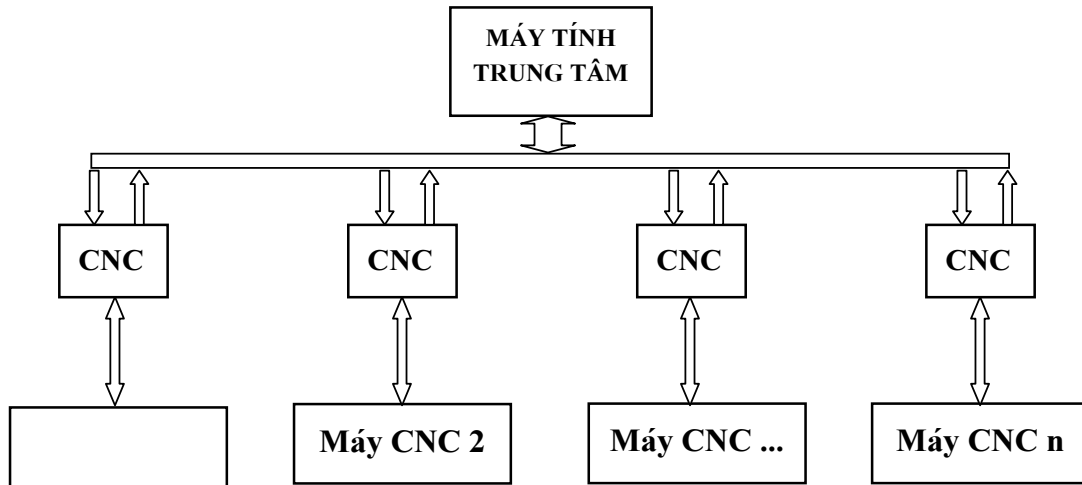
Trước đây, cũng đã có các quá trình gia công cắt gọt được điều khiển theo chương trình bằng các kỹ thuật chép hình theo mẫu, chép hình bằng hệ thống thủy lực, cam hoặc điều khiển bằng mạch logic... Ngày nay, với việc ứng dụng các thành quả tiến bộ của Khoa học - Công nghệ, nhất là trong lĩnh vực điều khiển số và tin học đã cho phép các nhà Chế tạo máy nghiên cứu đưa vào máy công cụ các hệ thống điều khiển cho phép thực hiện các quá trình gia công một cách linh hoạt hơn, thích ứng với nền sản xuất hiện đại và mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn.

Về mặt khoa học: Trong những điều kiện hiện nay, nhờ những tiến bộ kỹ thuật đã cho phép chúng ta giải quyết các bài toán phức tạp hơn với độ chính xác cao hơn mà trước đây hoặc chưa đủ điều kiện hoặc quá phức tạp khiến ta phải bỏ qua một số yếu tố và dẫn đến một kết quả gần đúng. Chính vì vậy đã cho phép các nhà Chế tạo máy thiết kế và chế tạo các máy với các cơ cấu có hiệu suất cao, độ chính xác truyền động cao cũng như những khả năng chuyển động tạo hình phức tạp và chính xác hơn.

Lịch sử phát triển của NC bắt nguồn từ các mục đích về quân sự và hàng không vũ trụ khi mà yêu cầu các chỉ tiêu về chất lượng của các máy bay, tên lửa, xe tăng... là cao nhất (có độ chính xác và độ tin cậy cao nhất, có độ bền và tính hiệu quả khi sử dụng cao...). Ngày nay, lịch sử phát triển NC đã trải qua các quá trình phát triển không ngừng cùng với sự phát triển trong lĩnh vực vi xử lý từ 4 bit, 8bit... cho đến nay đã đạt đến 32 bit và cho phép thế hệ sau cao hơn thế hệ trước và mạnh hơn về khả năng lưu trữ và xử lý.

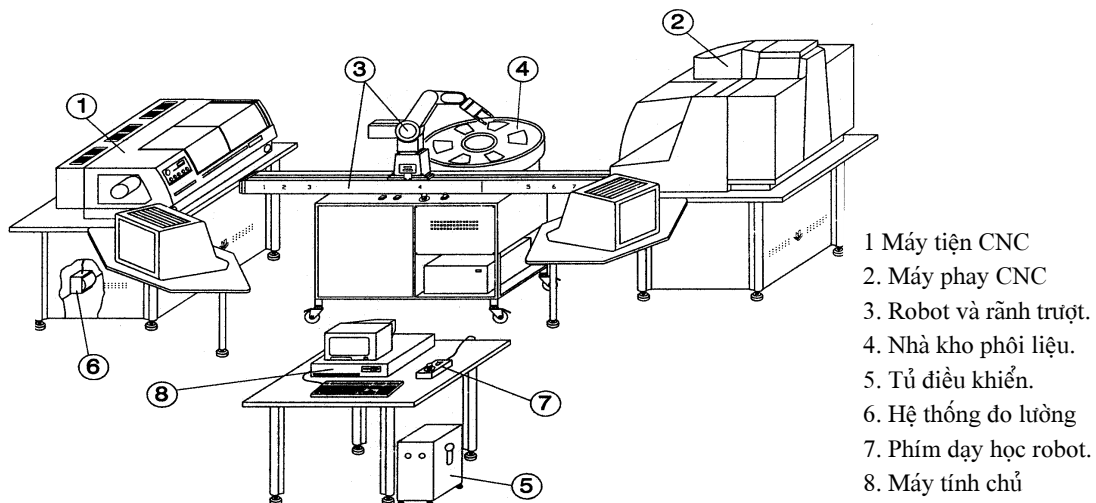
Từ các máy CNC riêng lẻ (*CNC Machines - Tools*) cho đến sự phát triển cao hơn là các trung tâm gia công CNC (*CNC Engineering - Centre*) có các ổ chứa dao lên tới hàng trăm và có thể thực hiện nhiều nguyên công đồng thời hoặc tuần tự trên

cùng một vị trí gá đặt. Cùng với sự phát triển của công nghệ truyền số liệu, các mạng cục bộ và liên thông phát triển rất nhanh đã tạo điều kiện cho các nhà công nghiệp ứng dụng để kết nối sự hoạt động của nhiều máy CNC dưới sự quản lý của một máy tính trung tâm DNC (*Direct Numerical Control*) với mục đích khai thác một cách có hiệu quả nhất như bố trí và sắp xếp các công việc trên từng máy, tổ chức sản xuất và quản lý chất lượng sản phẩm...



Hình 1-1: Mô hình điều khiển DNC

Hiện nay, lĩnh vực sản xuất tự động trong chế tạo cơ khí đã phát triển và đạt đến trình độ rất cao như các phân xưởng tự động sản xuất linh hoạt và tổ hợp CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) với việc trang bị thêm các robot cấp phối liệu và vận chuyển, các hệ thống đo lường và quản lý chất lượng tiên tiến, các kiểu nhà kho hiện đại được đưa vào áp dụng đã mang lại hiệu quả kinh tế rất đáng kể.



Hình 1-2: Mô hình điều khiển sản xuất tổ hợp CIM

## CHƯƠNG II

# PHÂN LOẠI CÁC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Về thực chất thì các máy điều khiển theo chương trình số có nguyên lý chuyển động tạo hình về cơ bản không khác gì với máy công cụ truyền thống, có nghĩa là về mặt thuật ngữ nó cũng mang tên của các máy công cụ như máy tiện, máy phay đứng, máy phay nằm ngang, máy mài... nhưng đã được số hóa và tin học hóa để có thể điều khiển các chuyển động công tác của máy bằng các lệnh được đưa vào hệ thống CNC. Tùy theo yêu cầu của từng loại máy và từng loại cơ cấu điều khiển, hệ điều khiển mà có thể phân thành 3 loại cơ bản: điều khiển điểm - điểm, điều khiển đoạn thẳng và điều khiển đường (tuyến tính hoặc phi tuyến). Tất nhiên các máy điều khiển đường đều có thể sử dụng để điều khiển điểm - điểm và đoạn thẳng.

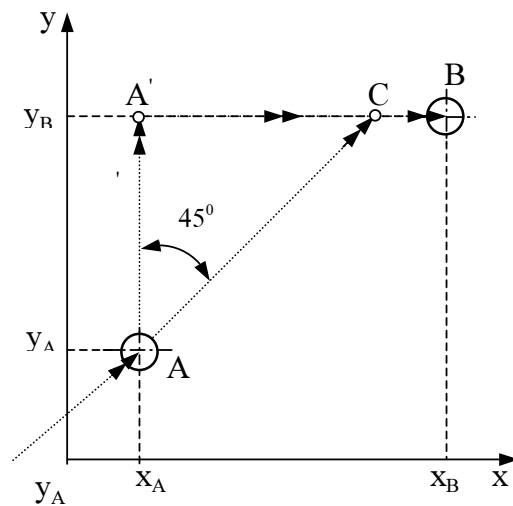
### 2.1. Điều khiển điểm - điểm

Với các loại máy này, trong quá trình gia công, người ta cho định vị nhanh dụng cụ đến tọa độ yêu cầu và trong quá trình dịch chuyển nhanh dụng cụ, máy không thực hiện việc cắt gọt. Chỉ đến khi đạt được tọa độ theo yêu cầu nó mới thực hiện các chuyển động cắt gọt, ví dụ như khoan lỗ, khoét, doa hoặc có thể làm những công việc khác ví dụ như ở trên các máy hàn điểm thì nó thực hiện quá trình hàn và trên các máy đột, dập thì nó thực hiện việc đột, dập lỗ...

Ví dụ:

Khi gia công 2 lỗ A và B có tọa độ  $x_A, y_A$  và  $x_B, y_B$  trong hệ tọa độ xoy. Chúng ta có thể điều khiển theo các cách sau đây:

Trước hết, điều khiển dụng cụ dịch chuyển nhanh đến điểm A ( $x_A, y_A$ ). Sau đó thực hiện việc gia công lỗ A. Tiếp theo, sau khi đã dịch chuyển dụng cụ thoát khỏi lỗ đã gia công (đảm bảo rằng việc dịch chuyển dụng cụ thực hiện được an toàn) sẽ tiếp tục dịch chuyển nhanh dụng cụ đến điểm B ( $x_B, y_B$ ) để gia công lỗ B. Quá



Hình 2.1: Điều khiển điểm

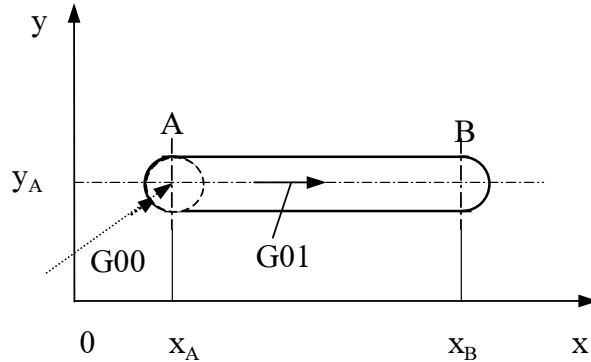
trình dịch chuyển dụng cụ đến vị trí B có thể thực hiện bằng 2 cách được biểu diễn như trên hình vẽ 2-1:

Quỹ đạo dịch chuyển theo AA'CB song song với các trục tọa độ ox và oy.

Quỹ đạo dịch chuyển theo đường thẳng tối ưu: ACB

## 2.2. Điều khiển đoạn thẳng

Ngoài chức năng dịch chuyển nhanh theo các trục tọa độ như ở điều khiển điểm, còn có thể thực hiện việc gia công trong quá trình dịch chuyển theo các trục này. Điều đó có nghĩa là dụng cụ sẽ thực hiện các chuyển động cắt gọt trong quá trình dịch chuyển song song theo các trục tọa độ. Ví dụ khi phay các bề mặt song song với các trục tọa độ hoặc khi tiện các chi tiết mà dụng cụ cắt thực hiện các chuyển động cắt gọt theo phương trục Z và trục X.

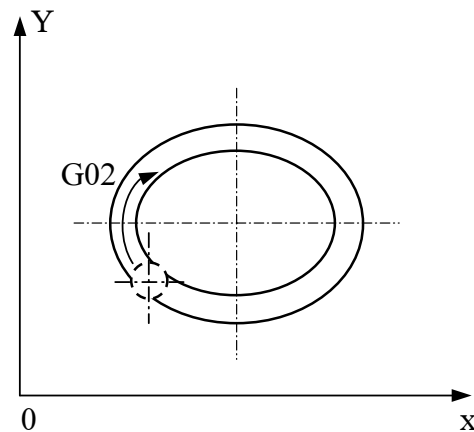


Hình 2-2: Điều khiển đoạn thẳng

## 2.3. Điều khiển đường (tuyến tính và phi tuyến)

Ngoài các chức năng như điều khiển điểm và điều khiển đoạn thẳng, người ta còn có thể điều khiển được dụng cụ chuyển động theo các đường bất kỳ trong mặt phẳng hoặc trong không gian có thực hiện gia công cắt gọt. Tùy thuộc vào đường được điều khiển là phẳng hay không gian mà người ta có thể bố trí số trục được điều khiển đồng thời là khác nhau. Từ đó cũng xuất hiện thuật ngữ máy 2 trục, máy 3, 4, 5 trục (tức có số trục được điều khiển đồng thời theo quan hệ ràng buộc).

Để chuẩn hóa việc sử dụng thuật ngữ, người ta thường sử dụng thuật ngữ máy điều khiển 2D,  $2D\frac{1}{2}$ , 3D, 4D và 5D (Dimension).



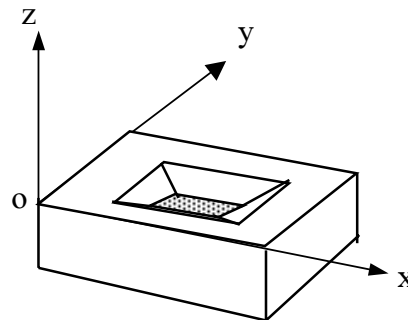
Hình 2-3 : Điều khiển 2D trên máy phay

### 2.3.1 Điều khiển 2D

Cho phép dịch chuyển dụng cụ trong một mặt phẳng nhất định nào đó. Thí dụ như trên máy tiện, dụng cụ sẽ dịch chuyển trong mặt phẳng  $xoz$  để tạo nên đường sinh khi tiện các bề mặt, trên các máy phay 2D, dụng cụ sẽ thực hiện các chuyển động trong mặt phẳng  $xoy$  để tạo nên các đường rãnh hay các mặt bậc có biên dạng bất kỳ.

### 2.3.2. Điều khiển 3D

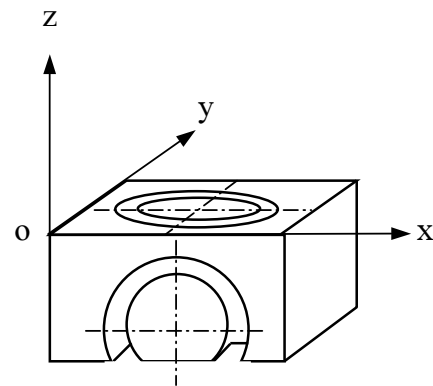
Cho phép dịch chuyển dụng cụ trong 3 mặt phẳng đồng thời để tạo nên một đường cong hay một mặt cong không gian bất kỳ. Điều này cũng tương ứng với quá trình điều khiển đồng thời cả 3 trục của máy theo một quan hệ ràng buộc nào đó tại từng thời điểm để tạo nên vết quỹ đạo của dụng cụ theo yêu cầu.



Hình 2-4: Phay túi trên máy 3D

### 2.3.3. Điều khiển $2D\frac{1}{2}$

Cho phép dịch chuyển dụng cụ theo 2 trục đồng thời để tạo nên một đường cong phẳng, còn trục thứ 3 được điều khiển chuyển động độc lập. Điều khác biệt của phương pháp điều khiển này so với điều khiển 2D là ở chỗ 2 trục được điều khiển đồng thời có thể được đổi vị trí cho nhau: Có nghĩa là hoặc trong mặt phẳng  $xoy$  hoặc  $xoz$  hoặc  $yoz$ .



Hình 2-5: Điều khiển  $2D\frac{1}{2}$

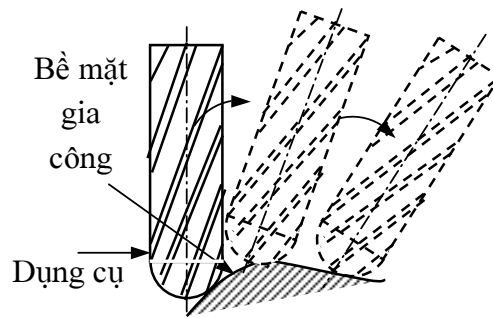
### 2.3.4. Điều khiển 4D, 5D

Trên cơ sở của điều khiển 3D, người ta còn bố trí cho dụng cụ hoặc chi tiết có thêm 1 chuyển động quay (hoặc 2 chuyển động quay) xung quanh 1 trục nào đó theo một quan hệ ràng buộc với các chuyển động trên các trục khác của máy 3D.

Với khả năng như vậy, các bề mặt phức tạp hay các bề mặt có trục quay có thể được thực hiện dễ dàng hơn so với khi gia công trên máy 3D.

Mặt khác, vì lý do công nghệ nên có những bề mặt không thể thực hiện được việc gia công bằng 3D vì có thể tốc độ cắt sẽ khác nhau hoặc sẽ có những điểm có tốc độ cắt bằng không (như tại đỉnh của dao phay đầu cầu) hay lưỡi cắt của dụng cụ không thể thực hiện việc gia công theo mong muốn (ví dụ như góc cắt không thuận lợi hay có thể bị vướng thân dao vào các phần khác của chi tiết...).

Tóm lại, tùy thuộc vào yêu cầu bề mặt gia công cụ thể mà có thể lựa chọn máy thích hợp vì máy càng phức tạp thì giá thành máy càng cao và cần phải bổ sung thêm nhiều công cụ khác như các phần mềm CAD/CAM hỗ trợ lập trình... Hơn thế nữa, máy càng phức tạp (càng nhiều trục điều khiển) thì tính an toàn trong quá trình vận hành và sử dụng máy càng thấp (dễ bị va chạm dao vào phôi và máy). Vì thế để sử dụng được các máy này, người điều khiển trước hết đã sử dụng rất thành thạo các máy điều khiển theo chương trình số 2D và 3D.



Hình 2-6 : Điều khiển 4D và 5D

Cũng dễ thấy là máy phức tạp hơn có thể hoàn toàn đảm nhiệm được vai trò của máy đơn giản hơn, ví dụ như máy 3D có thể đảm nhiệm cho máy 2D và  $2D\frac{1}{2}$ .

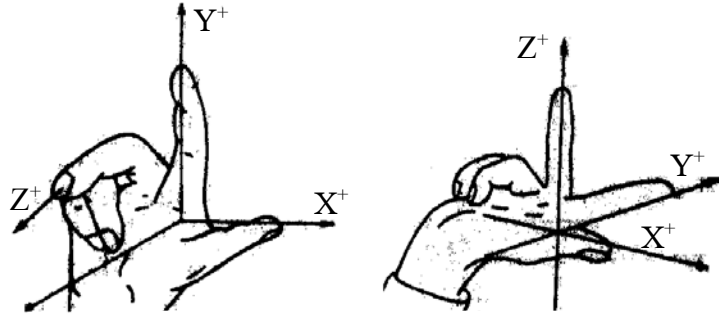


## CHƯƠNG III

# HỆ THỐNG TỌA ĐỘ VÀ CÁC ĐIỂM GỐC, ĐIỂM CHUẨN

### 3.1 Hệ thống tọa độ trên máy CNC

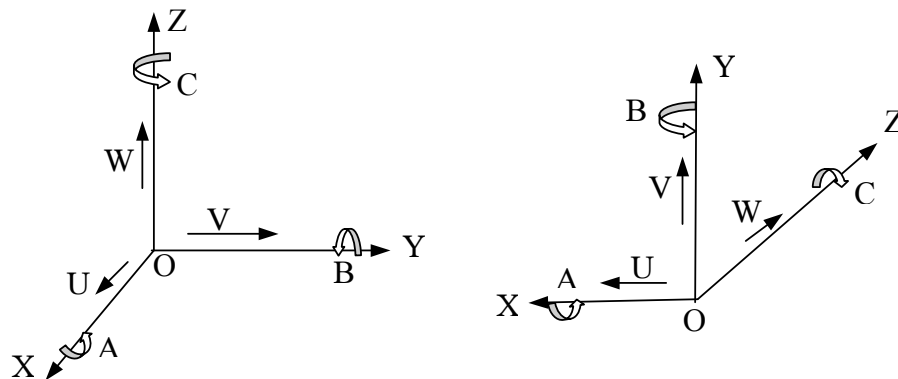
Để có thể tính toán quỹ đạo chuyển động của dụng cụ, cần thiết phải gắn vào chi tiết một hệ trục tọa độ. Thông thường trên các máy điều khiển theo chương trình số, người ta thường sử dụng hệ tọa độ



Hình 3-1: Hệ thống tọa độ trên máy CNC

*Décard* OXYZ theo quy tắc bàn tay phải (hệ tọa độ thuận) và nó được gắn vào chi tiết gia công. Góc của hệ trục tọa độ có thể đặt tại bất kỳ một điểm nào đó trên chi tiết (về mặt nguyên tắc) nhưng thông thường người ta sẽ chọn tại những điểm thuận lợi cho việc lập trình, đồng thời dễ dàng kiểm tra kích thước theo bản vẽ của chi tiết gia công mà không phải thực hiện nhiều bước tính toán bổ sung.

Một đặc điểm mang tính quy ước là trên các máy điều khiển theo chương trình số, **chi tiết gia công được xem là luôn luôn là cố định** và luôn gắn với hệ thống tọa độ cố định nói trên, còn **mọi chuyển động tạo hình và cắt gọt đều do dụng cụ thực hiện**. Trong thực tế, điều này đôi khi là ngược lại, ví dụ như trên máy phay thì chính bàn máy mang phôi thực hiện chuyển động tạo hình, còn dụng cụ chỉ thực hiện chuyển động cắt gọt. Vì vậy khi sử dụng máy điều khiển theo chương trình số cần phải luôn luôn tạo nên một thói quen để tránh những nhầm lẫn đáng tiếc có thể gây ra nguy hiểm cho máy, dụng cụ và con người.



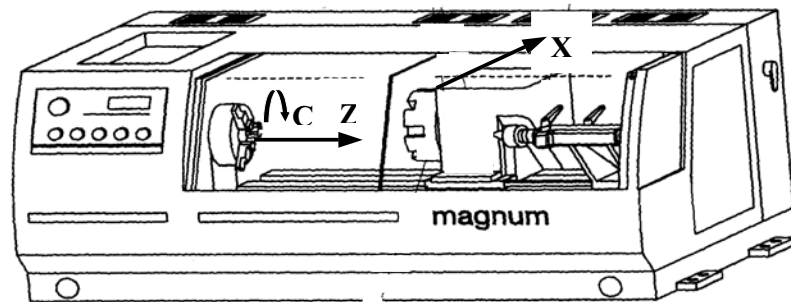
Hình 3-2: Hệ tọa độ trên máy CNC và chuyển động của các trục

Theo quy ước chung, phương của trục chính của máy là phương của trục  $OZ$ , còn chiều dương của nó được quy ước khi dao tiến ra xa chi tiết. Ví dụ, với máy tiện 2D thông thường thì trục chính của nó nằm ngang và trùng với phương  $OZ$  của hệ tọa độ, chiều dương của nó hướng ra khỏi trục chính (hướng về phía bàn dao). Phương chuyển động của bàn xe dao theo hướng kính là phương  $OX$  và chiều dương của nó là hướng ra xa bề mặt chi tiết gia công. Đối với máy phay thẳng đứng, trục  $Z$  hướng theo phương thẳng đứng lên trên, còn trục  $X$  và trục  $Y$  được xác định theo quy tắc bàn tay phải, tuy nhiên trong thực tế các nhà chế tạo máy lại thường ưu tiên chọn trục  $X$  là trục mà có chuyển động bàn máy dài hơn... Đối với các chuyển động quay xung quanh các trục tương ứng  $X, Y, Z$  được xác định bằng các địa chỉ  $A, B, C$  sẽ được xác định là dương khi chiều quay đó có hướng thuận chiều kim đồng hồ khi nhìn theo chiều dương của các trục tương ứng (khi nhìn vào góc của hệ trục tọa độ từ phía các trục thì chiều quay của chúng là ngược chiều kim đồng hồ). Ngoài ra, còn một số chuyển động phụ song song với các trục tương ứng với các trục  $X, Y, Z$  là các địa chỉ  $U, V, W$  và hướng của chúng được biểu diễn như trên hình 3-2.

### 3.2 Hệ tọa độ đối với một số máy

#### 3.2.1. Máy tiện

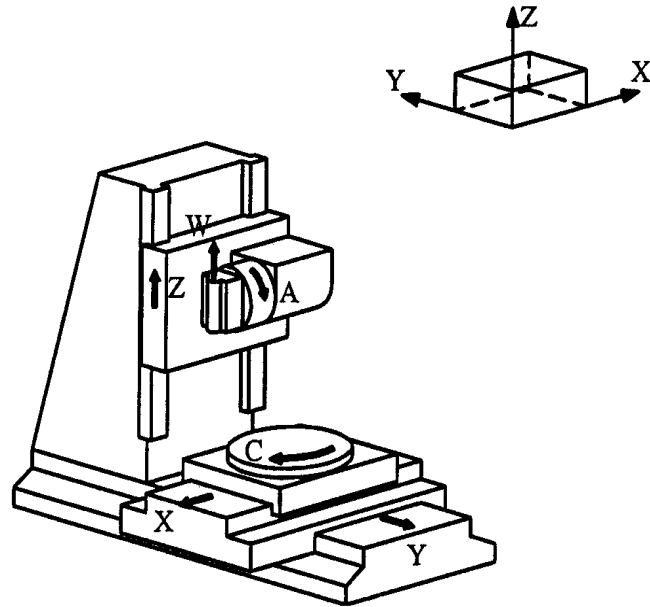
Máy tiện thường có loại 2D và 3D, trong đó loại 2D là phổ biến hơn cả vì nó có thể gia công được tất cả các bề mặt trụ ngoài hoặc trụ trong có đường sinh bất kỳ. Các máy tiện 3D ngoài các chức năng như ở máy 2D, người ta còn bố trí thêm một trục quay thứ 3 là của trục chính (người ta gọi là trục  $C$  - quay xung quanh trục  $OZ$ ) và trên đầu dao *Rovonve* còn có một chuyển động quay của dụng cụ tạo nên vận tốc cắt để thực hiện các công việc như khoan, khoét, doa các lỗ đồng tâm hay lệch tâm với tâm chi tiết hoặc phay các rãnh then, rãnh cam thừng trên chi tiết gia công. Chiều dương của trục  $C$  được biểu diễn theo hướng mũi tên như hình vẽ.



Hình 3-3: Hệ tọa độ trên máy tiện với bàn dao phía sau và có bố trí trục  $C$  (3D)

### 3.2.2 Máy khoan, máy phay đứng

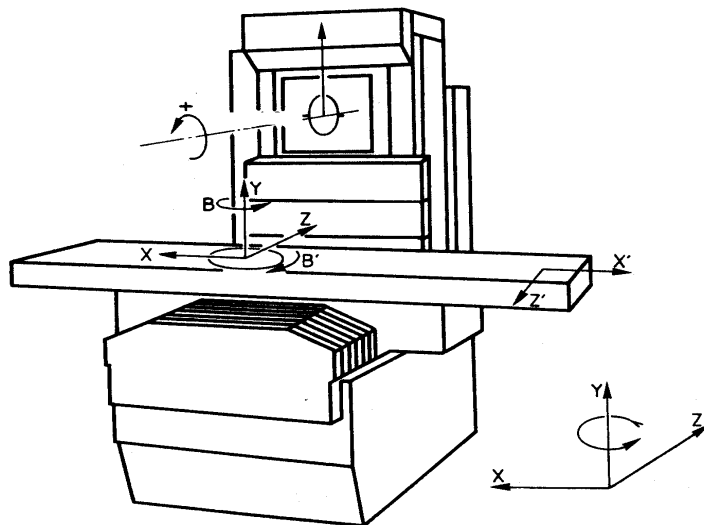
Với các loại máy này, trục chính hướng theo phương thẳng đứng và trùng với phương của trục  $OZ$  trong hệ tọa độ *Décard*, chiều dương của trục này có chiều hướng lên phía trên. Trục  $OX$  và trục  $OY$  là 2 trục nằm trên bàn máy mà trong đó người ta quy ước chọn trục  $OX$  là trục của bàn máy có chiều dài dịch chuyển lớn hơn. Chiều dương của trục  $OX$  có chiều hướng sang bên phải khi nhìn từ trục chính xuống chi tiết gia công (nhìn ngược chiều với chiều dương của trục  $OZ$ ).



Hình 3-4: Hệ thống trục tọa độ trên máy phay đứng 6 trục

### 3.2.3 Máy phay nằm ngang

Trục chính của máy phay là nằm ngang theo phương của trục  $OZ$ , chiều dương của nó hướng vào máy, trục  $OX$  nằm trên mặt phẳng định vị của chi tiết (hoặc song song với mặt phẳng định vị) và chiều dương của nó hướng về phía trái nếu nhìn theo hướng dương của trục chính.



Hình 3-5: Hệ tọa độ trên máy phay ngang

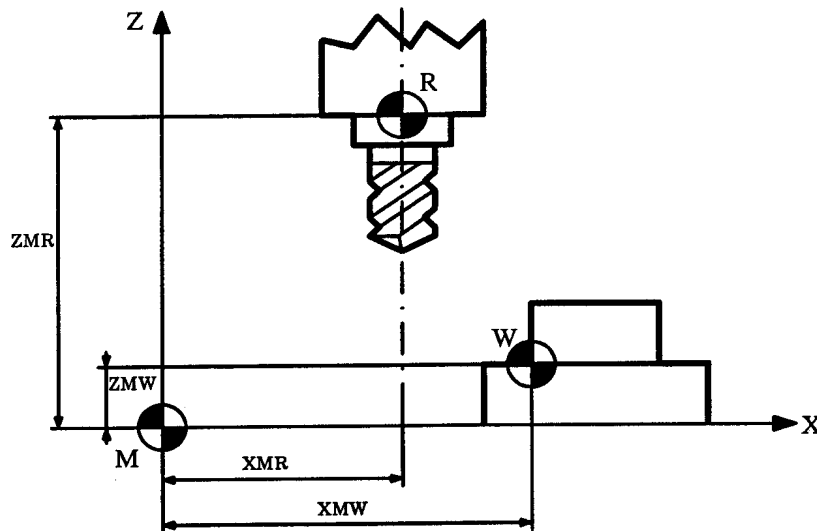
### 3.3 Các điểm gốc, điểm chuẩn

#### 3.3.1 Điểm gốc của máy M

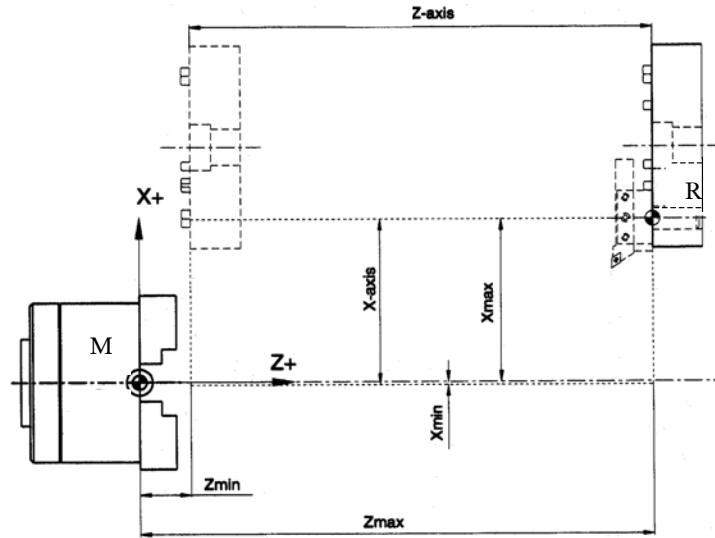
Quá trình gia công trên máy điều khiển theo chương trình số được thiết lập bằng một chương trình mô tả quỹ đạo chuyển động tương đối giữa lưỡi cắt của dụng cụ và phôi. Vì thế, để đảm bảo việc gia công đạt được độ chính xác thì các dịch chuyển của dụng cụ phải được so sánh với điểm 0(zero) của hệ thống đo lường và người ta gọi là điểm gốc của hệ tọa độ của máy hay gốc đo lường M (ký hiệu *Machine reference zero*  $\oplus$ ). Các điểm M được các nhà chế tạo máy quy định trước.

#### 3.3.2 Điểm chuẩn của máy R

Để giám sát và điều chỉnh kịp thời quỹ đạo chuyển động của dụng cụ, cần thiết phải bố trí một hệ thống đo lường để xác định quãng đường thực tế (tọa độ thực) so với tọa độ lập trình. Trên các máy CNC người ta đặt các mốc để theo dõi các tọa độ thực của dụng cụ trong quá trình dịch chuyển, vị trí của dụng cụ luôn luôn được so sánh với gốc đo lường của máy M. Khi bắt đầu đóng mạch điều khiển của máy thì tất cả các trục phải được chạy về một điểm chuẩn mà giá trị tọa độ của nó so với điểm gốc M phải luôn luôn không đổi và do các nhà chế tạo máy quy định. Điểm đó gọi là điểm chuẩn của máy R (ký hiệu *Machine reference point*  $\oplus$ ). Vị trí của điểm chuẩn này được tính toán chính xác từ trước bởi 1 cá (củ chặn) lắp trên bàn trượt và các công tắc giới hạn hành trình. Do độ chính xác vị trí của của các máy CNC là rất cao (thường với hệ thống đo là hệ *Metre* thì giá trị của nó là  $0,001mm$  và hệ *Inch* là  $0,0001inch$ ) nên khi dịch chuyển trở về điểm chuẩn của các trục thì ban đầu nó chạy nhanh cho đến khi gần đến vị trí thì chuyển sang chế độ chạy chậm để định vị một cách chính xác.



Hình 3-6: Các điểm gốc và điểm chuẩn trên máy phay thẳng đứng



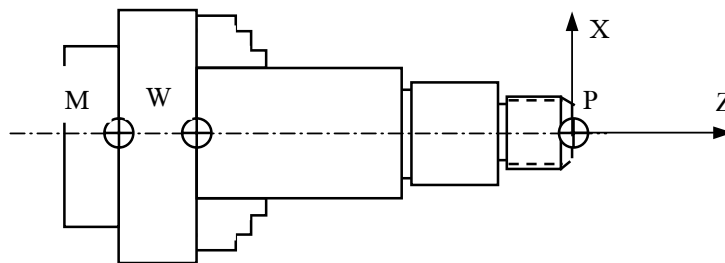
Hình 3-7: Các điểm gốc và điểm chuẩn trên máy tiện

### 3.3.3 Điểm zero của phôi $W$ và điểm gốc chương trình $P$ .

#### a. Điểm gốc của phôi $W$

Khi bắt đầu gia công, cần phải tiến hành xác định tọa độ của điểm zero của chi tiết hay gốc chương trình so với điểm  $M$  để xác định và hiệu chỉnh hệ thống đo đường dịch chuyển.

Điểm zero ( $0$ ) của phôi  $W$  (ký hiệu *Workpiece zero point*  $\oplus$ ) xác định hệ tọa độ của phôi trong quan hệ với điểm zero của máy ( $M$ ). Điểm  $W$  của phôi được chọn bởi người lập trình và được đưa vào hệ thống CNC khi đặt số liệu máy trước khi gia công.



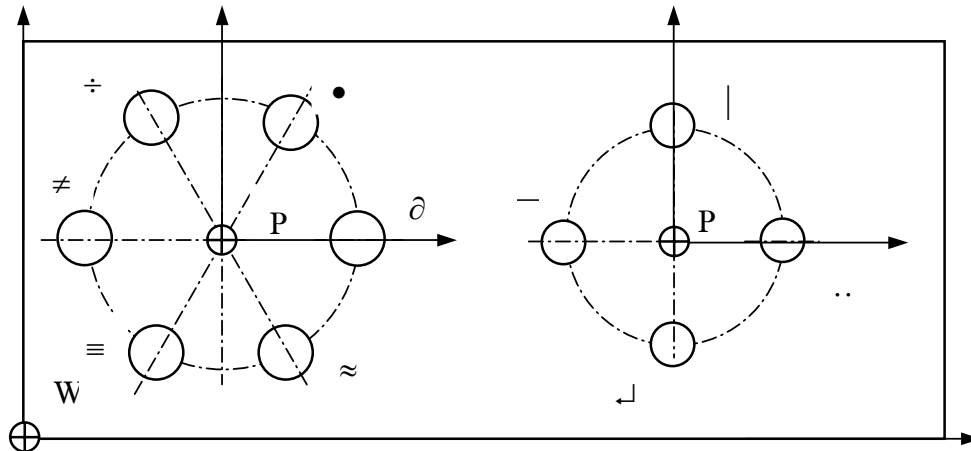
Hình 3-8: Ví dụ về các điểm zero của phôi  $W$ , của chương trình  $P$  và của máy  $M$

Điểm  $W$  của phôi có thể được chọn tùy ý bởi người lập trình trong phạm vi không gian làm việc của máy và của chi tiết. Tuy vậy, nên chọn điểm nào ở trên

phôi cho thuận tiện khi xác định các thông số giữa nó với  $M$ . Giả sử với chi tiết tiện, người ta chọn điểm  $W$  đặt dọc theo trục quay (tâm trục chính máy tiện) và có thể chọn đầu mút trái hay đầu mút phải của phôi. Đối với chi tiết phay, nên lấy 1 điểm nằm ở góc làm điểm  $W$  của phôi - góc đó (thường dùng) có thể là ở bên trái, phía trên và phía ngoài.

*b. Điểm gốc của chương trình P*

Tùy thuộc vào bản vẽ chi tiết gia công mà người ta sẽ có một hay một số điểm chuẩn để xác định tọa độ của các bề mặt khác. Trong trường hợp đó, điểm này gọi là điểm gốc chương trình  $P$  (*Programmed  $\oplus$* ). Thực tế trong quá trình gia công, nếu chọn điểm gốc  $W$  của phôi trùng với điểm gốc  $P$  của chương trình thì sẽ càng thuận lợi cho quá trình lập trình vì không phải thực hiện nhiều phép tính toán bổ sung.



Hình 3-9: Ví dụ chọn điểm gốc của chi tiết và điểm gốc chương trình khi khoan các lỗ phân bố trên đường tròn (1,2...)

*c. Điểm gá đặt C*

Là điểm tiếp xúc giữa phôi và đồ gá trên máy, nó có thể trùng với điểm gốc của phôi  $W$  trên máy tiện. Thông thường khi gia công người ta phải tính đến lượng dư và do vậy điểm gá đặt  $C$  chính là bề mặt chuẩn để xác định kích thước của phôi.

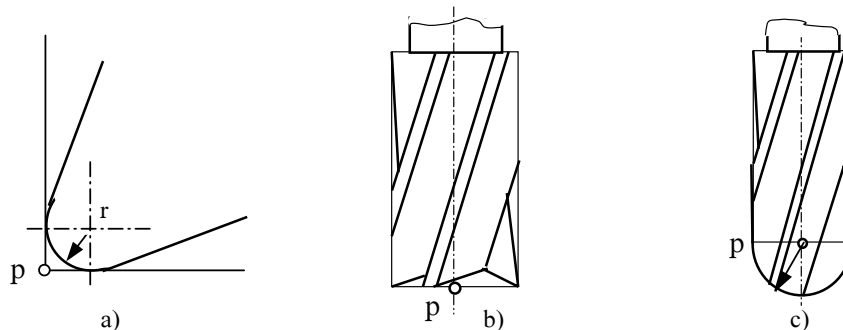
**3.3.4 Điểm gốc của dụng cụ**

Để đảm bảo quá trình gia công chi tiết với việc sử dụng nhiều dao và mỗi dao có hình dạng và kích thước khác nhau được chính xác, cần phải có các điểm gốc của

dụng cụ. Điểm gốc của dụng cụ là những điểm cố định và nó được xác định tọa độ chính xác so với các điểm  $M$  và  $R$ .

*a. Điểm chuẩn của dao  $p$*

Điểm chuẩn của dao là điểm mà từ đó chúng ta lập chương trình chuyển động trong quá trình gia công. Đối với dao tiện, người ta chọn điểm nhọn của mũi dao và đối với dao phay ngón, dao khoan thì người ta chọn điểm  $p$  ở tâm trên đỉnh dao, còn với dao phay đầu cầu, người ta chọn điểm  $p$  là tâm mặt cầu.



*Hình 3-10: Các điểm chuẩn  $p$  của dao*

*Dao tiện (a), dao phay ngón (b) và dao phay đầu cầu (c)*

*b. Các điểm gốc của dao (điểm gá đặt dao)*

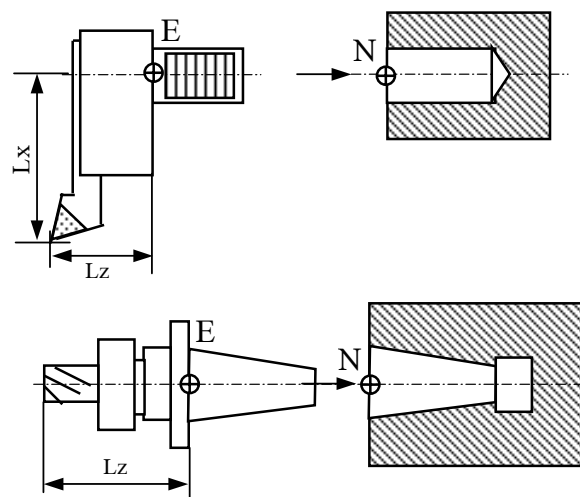
Thông thường người ta sử dụng 2 loại cán dao (*Tool holder*), một loại chuỗi trụ và một loại chuỗi côn theo tiêu chuẩn.

Đối với chuỗi dao thì người ta lấy điểm đặt dụng cụ  $E$  ( $\oplus$ ).

Đối với lỗ gá dao thì người ta lấy điểm gá dụng cụ  $N$  ( $\oplus$ ).

Khi chuỗi dao lắp vào lỗ gá dao thì điểm  $N$  và  $E$  trùng nhau.

Trên cơ sở của điểm chuẩn này, người ta có thể xác định các kích thước để đưa vào bộ nhớ lượng bù dao. Các kích thước này có thể bao gồm chiều dài của dao tiện theo phương  $x$  và  $z$  (điểm mũi



*Hình 3-11: Các điểm gốc của dụng*

dao) hay chiều dài của dao phay và bán kính của nó. Các kích thước này có thể được xác định từ trước bằng cách đo ở trên các thiết bị đo chuyên dùng hay xác định ngay trên máy rồi đưa vào hệ điều khiển CNC để thực hiện việc bù dao.

### *c. Điểm thay dao*

Trong quá trình gia công, có thể ta phải dùng đến một số dao và số lượng dao là tùy thuộc vào yêu cầu của bề mặt gia công, vì thế ta phải thực hiện việc thay dao. Trên các máy có cơ cấu thay dao tự động thì yêu cầu khi thay dao phải không được để dao chạm vào phôi hoặc máy, vì thế cần phải có điểm thay dao. Đối với máy phay hoặc các trung tâm gia công thì thông thường bàn máy phải chạy về điểm chuẩn, còn với máy tiện, thường các dao nằm trên đầu Rôvonve nên không cần thiết phải chạy đến điểm chuẩn mới thực hiện thay dao mà có thể đến một vị trí nào đó đảm bảo an toàn cho quá trình quay đầu Rôvonve là có thể được nhằm mục đích giảm thời gian phụ.

Có thể nói rằng các điểm chuẩn  $R$ , điểm *zero*  $M$  của máy, của chi tiết  $W$  và  $N$  của dao là rất quan trọng vì nó liên quan đến quá trình gia công của một chi tiết thực mà trong khi thiết lập chương trình gia công người ta đã tạm bỏ qua các giá trị đó để cho quá trình lập trình được thực hiện đơn giản hơn (đó là lập trình theo quỹ đạo của đường viền của chi tiết gia công). Vấn đề bỏ qua này sẽ được đưa vào 1 lượng điều chỉnh trong khi tiến hành gia công gọi là "dịch điểm chuẩn" hoặc gọi là "*zero offset*" và đưa thêm vào " lượng bù dao" gọi là (*Tool calibration*). Khi đó vị trí của lưỡi cắt của dao sẽ được đồng nhất với các tọa độ được lập trình mà chúng ta đã tiến hành khi lập chương trình gia công.



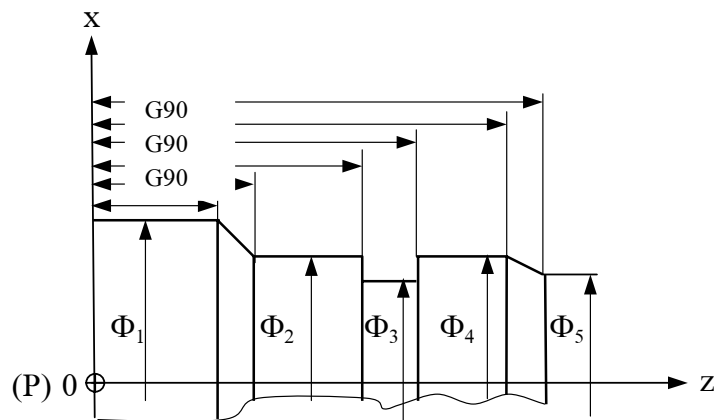
## CHƯƠNG IV

# NGÔN NGỮ VÀ HÌNH THỨC TỔ CHỨC LẬP TRÌNH

Trên các máy CNC, việc điều khiển sự chuyển động của dụng cụ được thực hiện bằng các lệnh đã được mã hóa theo một ngôn ngữ mà cụm CNC có thể đọc và hiểu được. Các chuyển động của dụng cụ theo các trục có thể là độc lập hoặc phụ thuộc theo một quan hệ ràng buộc vào nhau theo 2, 3, 4 hay 5 trục để tạo nên các quỹ đạo theo mong muốn. Vấn đề cơ bản ở đây là chủng loại các chi tiết rất phong phú như rất đa dạng về hình dáng; Khuôn khổ và kích thước chi tiết phân tán rất rộng; Độ chính xác về kích thước, về vị trí tương quan và độ nhám bề mặt cũng rất khác nhau; Các loại vật liệu được chế tạo cũng rất khác nhau; Tính chất làm việc của các chi tiết liên quan đến chuỗi kích thước cũng rất khác nhau. Chính từ điều đó mà cách ghi kích thước trên bản vẽ chế tạo của chi tiết cũng ảnh hưởng rất đáng kể đến khả năng đạt độ chính xác khi gia công chi tiết. Tùy theo cách ghi kích thước trên bản vẽ chế tạo mà người ta có thể lựa chọn các điểm gốc chương trình và lựa chọn hệ tọa độ khi lập trình gia công là khác nhau. Hiện nay thường người ta sử dụng các hệ tọa độ lập trình gia công sau đây: Lập trình trong hệ tọa độ tuyệt đối, tương đối, hỗn hợp và tọa độ cực.

### 4.1. Chương trình gia công lập trong hệ tọa độ tuyệt đối. (*Absolute*)

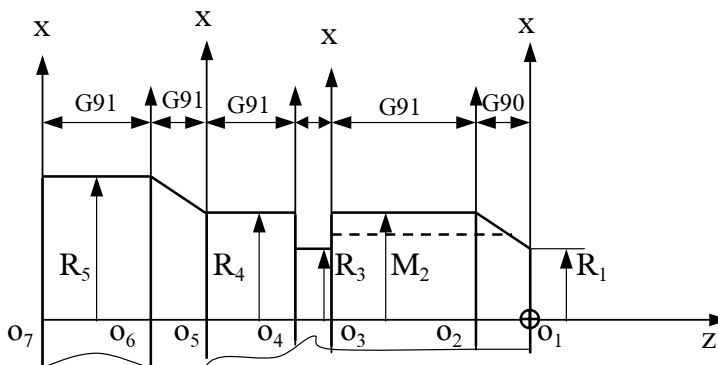
Lập chương trình gia công trong hệ tọa độ tuyệt đối là tham chiếu tọa độ của tất cả các điểm nằm trên biên dạng chi tiết đến gốc tọa độ cố định - Trong trường hợp này, điểm gốc hệ tọa độ chính là điểm gốc chương trình  $P$ . Trong chương trình gia công trên máy CNC. nó được xác định bằng lệnh địa chỉ G90.



Hình 4-1: Hệ tọa độ tuyệt đối

## 4.2. Chương trình trong hệ tọa độ tương đối. (Incremental)

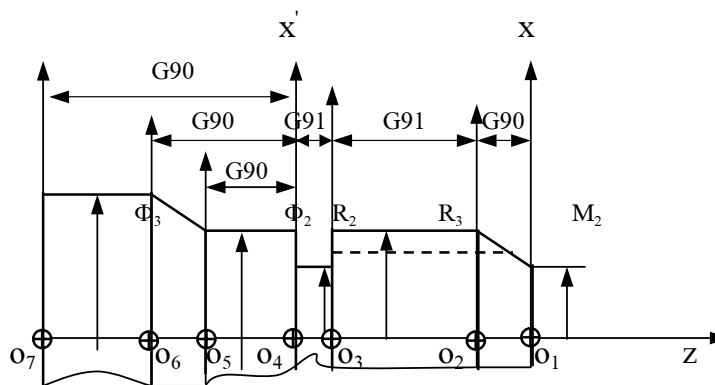
Với kiểu lập trình này, tọa độ của các điểm lập trình tiếp theo sẽ được xác định bằng cách lấy gốc tọa độ ở ngay điểm sát trước, điều này có nghĩa là ta phải dịch chuyển điểm gốc P của hệ tọa độ sau mỗi một lần xác định tọa độ của điểm lập trình tiếp theo. Trong chương trình gia công trên máy CNC, nó được xác định bằng lệnh địa chỉ G91.



Hình 4-2: Hệ tọa độ tương đối

## 4.3 Chương trình với việc lập trình hỗn hợp

Trong một số trường hợp, tùy theo đặc điểm cụ thể của bản vẽ chi tiết chế tạo mà việc lập trình có thể phải được tiến hành theo kiểu hỗn hợp giữa chương trình gia công trong hệ tọa độ tuyệt đối và chương trình gia công trong hệ tọa độ tương đối. Với phương pháp này nó cho phép chúng ta một mặt có thể sử dụng được toàn bộ miền dung sai mà nhà thiết kế đã tính toán vì không tiến hành giải lại chuỗi kích thước, mặt khác sẽ tránh được sai sót không đáng có trong quá trình tính toán và do đó có thể đạt được độ chính xác cao nhất. Tuy vậy trong quá trình lập trình gia công cần phải chú ý và cẩn thận hơn vì dễ bị nhầm lẫn về giá trị tọa độ (đặc biệt với trường hợp khi tiện sẽ lấy theo tọa độ của đường kính hoặc bán kính).



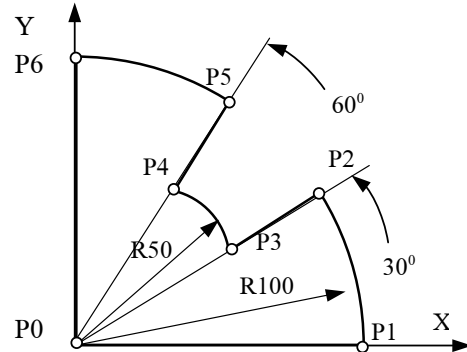
Hình 4-3: Hệ tọa độ hỗn hợp

#### 4.4 Lập trình với việc chọn trước góc cực (*Polar origin preset G93*)

Có một số chi tiết mà điều kiện lập trình được trở thành đơn giản nếu ta sử dụng hệ tọa độ có góc cực được chọn trước, trong điều kiện này hệ điều khiển CNC cho phép chúng ta tiến hành việc gia công với việc lập trình thuận lợi hơn.

**Trong hệ tọa độ tuyệt đối**  
**G90** X0 Y0 [Điểm P0]  
 G01 R100 Q0 [Điểm P1]  
 G03 Q30 [Điểm P2]  
 G01 R50 Q30 [Điểm P3]  
 G03 Q60 [Điểm P4]  
 G01 R100 Q60 [Điểm P5]  
 G03 Q90 [Điểm P6]  
 G01 R0 Q90 [Điểm P0]

**Trong hệ tọa độ tương đối**  
**G91** G0 X0 Y0 [Điểm P0]  
**G91** G01 R100 Q0 [Điểm P1]  
 G03 Q30 [Điểm P2]  
 G01 R-50 Q0 [Điểm P3]  
 G03 Q30 [Điểm P4]  
 G01 R50 Q0 [Điểm P5]  
 G03 Q30 [Điểm P6]  
 G01 R-100 Q0 [Điểm P0]



Hình 4-4: Lập trình với việc chọn trước góc cực (*Fagor*)

#### 4.5 Các hình thức tổ chức lập trình gia công CNC

Để lập được một chương trình gia công cần phải dựa trên các cơ sở sau :

⊇ Bản vẽ chi tiết gia công : Thể hiện được hình dạng các bề mặt cần gia công (như các mặt phẳng, mặt trụ, mặt rãnh then, mặt định hình...) và kích thước của các bề mặt đó. Tất cả các yếu tố trên đây người ta gọi là yếu tố hình học và khi lập trình chuyển nó thành *các thông tin hình học*.

⊘ Yêu cầu kỹ thuật của bề mặt gia công bao gồm độ chính xác kích thước được đặc trưng bằng dung sai; Chiều cao nhấp nhô tế vi  $R_z$  và sai lệch chiều cao nhấp nhô trung bình  $R_a$  (độ nhám bề mặt); Độ chính xác về vị trí tương quan như độ không đồng tâm, độ không vuông góc... Các yếu tố này người ta gọi là yếu tố công nghệ và khi lập trình thì người ta chuyển nó thành *các thông tin công nghệ*.

Như vậy có thể tóm tắt sự lập trình gia công NC như sau :

- Các thông tin hình học - Sẽ giúp chúng ta xây dựng 1 chương trình dịch chuyển lưỡi cắt dụng cụ trong hệ tọa độ được chọn.

- Các thông tin công nghệ - Sẽ giúp chúng ta xác định các thông số về công nghệ như: Loại dụng cụ cắt được chọn và các thông số về hình học của nó như góc trước, góc sau, bán kính lưỡi cắt... ; Các thông số chế độ cắt như  $v$ ,  $s$ ,  $t$  và các điều kiện khác như bôi trơn, làm mát, bề phoi ...; Các biện pháp công nghệ được lựa chọn như dừng có thời gian để làm bóng bề mặt, khoan theo kiểu zichzac đối với các lỗ sâu để lấy phoi ra, bù dao do sự mài mòn trong quá trình gia công...

Trên cơ sở đó, ngày nay có rất nhiều hình thức lập trình CNC khác nhau, tùy theo đặc tính cụ thể của các loại máy CNC được trang bị cũng như hệ điều khiển và mục đích sử dụng mà có thể lựa chọn các phương pháp một cách thích hợp.

#### **4-5-1 Lập trình bằng tay trực tiếp trên máy CNC**

Với các máy có cụm điều khiển số CNC được trang bị các bàn phím chức năng và màn hình đồ họa cho phép nhập trực tiếp các câu lệnh vào cụm CNC. Để giảm thời gian chi phí cho việc tính toán các điểm trung gian, các chiều dày lát cắt và thời gian dừng cần thiết tại mỗi thời điểm của mũi khoan... thường thì người ta bố trí vào cụm CNC các chương trình con, các số liệu về tọa độ các điểm cần thiết để người lập trình có thể lấy chúng ra bất kỳ lúc nào cần thiết.

Để lập trình trực tiếp trên máy CNC, người lập trình phải biết sử dụng các kỹ thuật *menu* và các *Soft - key* trên cụm điều khiển CNC.

Sau khi đã lập xong chương trình, muốn kiểm tra liệu chương trình được lập có đúng hay không, có nguy cơ mất an toàn hay gây ra va chạm với máy, đồ gá hay không ...Người ta sẽ chạy chương trình mô phỏng quỹ đạo chuyển động cắt của dụng cụ trên màn hình theo chương trình đã được thiết lập. Nếu còn có sai sót nào thì có thể sửa chữa lại và kiểm tra cho đến lúc chắc chắn là đúng thì mới tiến hành gia công.

Đối với người bắt đầu học lập trình gia công cần thiết phải theo phương pháp này và phải đạt đến một trình độ thành thạo trong xử lý, thao tác và sửa chữa các lỗi gặp phải mới có thể chuyển sang các phương pháp lập trình khác.

#### **4-5-2 Lập trình bằng tay trên cụm CNC khác**

Trong khi máy CNC đang hoạt động, người ta có thể chuẩn bị cho chúng một chương trình gia công tiếp theo bằng cách dùng các bảng lập trình CNC khác hay các máy tính trong hệ thống DNC. Điều này đặc biệt rất thuận lợi cho trong quá trình giảng dạy, đào tạo và thực hành cũng như để gia công các chi tiết đơn giản trong dạng sản xuất đơn chiếc hay loạt nhỏ.

Với phương pháp này, ta có thể bố trí các cụm lập trình hay các máy tính ngay trong phân xưởng sản xuất để thuận lợi cho quá trình dạy và thực hành.

#### **4-5-3 Lập trình bằng tay tại phân xưởng chuẩn bị chương trình**

Kiểu lập trình này thích hợp với các cơ sở sản xuất của các nhà máy có năng lực sản xuất lớn hay thực hiện một hợp đồng bao gồm nhiều chi tiết lắp ghép mà cần

phải thực hiện trên nhiều máy CNC. Khi đó yêu cầu phải có phòng lập trình và có các kỹ sư lập trình đủ trình độ về chuyên môn và kinh nghiệm về nghề nghiệp, đặc biệt là với các máy 3D, 4D và 5D. Các kỹ sư lập trình này trước hết phải được trải qua quá trình lập trình trực tiếp trong phân xưởng và phải đạt đến trình độ thành thạo và có kinh nghiệm mới có thể đảm nhiệm được công việc.

Thông thường việc lập trình được thực hiện trên các máy tính. Vì thế nên chỉ có những cán bộ có đủ trình độ kiến thức và kinh nghiệm mới có thể thực hiện được công việc này.

#### **4-5-4 Lập trình với sự hỗ trợ của máy tính**

Tương tự như lập trình bằng tay, nhưng các tính toán trong quá trình lập trình được giảm xuống một cách đáng kể và thực hiện nhanh hơn nhờ trong các máy tính đã được trang bị các bộ xử lý, bộ nội suy và chứa các dữ liệu cần thiết mà người ta có thể sử dụng bất kỳ khi nào muốn.

#### **4-5-5 Lập trình bằng máy**

Từ cơ sở CAD: Vẽ và thiết kế trên máy tính, người ta đã đưa vào một hệ thống biên dịch trợ giúp cho quá trình lập trình, sau khi đã thiết kế xong chi tiết, người ta có thể lựa chọn quy trình công nghệ gia công và cách thức gia công (Như cắt thô, cắt bán tinh hay cắt tinh và rất tinh, các kiểu tiến hành ăn dao...) và từ kiểu được lựa chọn đó máy tính sẽ thông qua bộ vi xử lý (*Processor*) sẽ xác định một chương trình gia công thích hợp dưới dạng mô tả các quá trình dịch chuyển dụng cụ và các chế độ công nghệ tương ứng. Công việc tiếp theo là mã hóa chương trình gia công trên do bộ hậu xử lý (*Postprocessor*) theo *code* của hệ thống điều khiển số tương thích được lắp trên máy để cho ra chương trình gia công thích hợp với ngôn ngữ máy. Kỹ thuật đó gọi là CAM. Hiện nay, các phần mềm CAD/CAM càng ngày càng mạnh hơn và có nhiều chức năng hơn cũng như giá thành ngày càng rẻ hơn và đã cho phép người sử dụng rất thuận lợi trong quá trình lập chương trình gia công. Đặc biệt là với các máy 3D, 4D, 5D.

#### **4-6 Ngôn ngữ lập trình**

Về ngôn ngữ lập trình cho các máy NC, người ta phân chia thành 2 loại: ngôn ngữ lập trình bằng tay và ngôn ngữ lập trình tự động.

Đối với ngôn ngữ lập trình bằng tay, về cơ bản thì hiện nay đã được tiêu chuẩn hóa bởi ISO. Tuy nhiên cũng còn một số quốc gia, một số hãng chế tạo máy

vẫn có một số mã *code* riêng khác với tiêu chuẩn mà nó chỉ có thể dùng thích hợp trên các thiết bị đó. Đây cũng là một trong những vấn đề gây khó khăn và trở ngại cho các cán bộ lập trình vì thói quen khi sử dụng ngôn ngữ đã có trước đó, đặc biệt là khi mà nhà máy hoặc xí nghiệp của họ có rất nhiều loại máy được sản xuất từ nhiều hãng khác nhau (có thể từ nhiều nguồn cung cấp và tài trợ...) Vì thế, đây cũng là vấn đề mà các nhà đầu tư cần phải tính đến khi mua sắm máy CNC (!).

#### 4-6-1 Ngôn ngữ lập trình tự động

Với ngôn ngữ lập trình bằng máy tính hay còn gọi là lập trình tự động, thì về cơ bản đều dựa theo tiêu chuẩn thống nhất - Đó gọi là ngôn ngữ lập trình tự động APT (*Automatically Programmed Tools* : công cụ lập trình tự động). Ngôn ngữ này được phát triển từ Viện nghiên cứu công nghệ Illinois của Mỹ (*Illinois Institute of Technology Research Institution -IITRI*). Hiện nay nó được sử dụng và phổ biến nhất. Với APT, cho phép lập chương trình với các máy 5D với gồm trên 3.000 từ.

APT bao gồm các nhóm cơ bản sau:

- Mô tả kích thước và hình dáng hình học của chi tiết gia công.
- Mô tả trình tự và quỹ đạo chuyển động của dụng cụ cắt.
- Điều khiển các cơ cấu của máy cũng như thay đổi các thông số cắt gọt.
- Bổ sung các chức năng chuyên dụng như chu trình ăn dao, bù dao và các chức năng chuyển tiếp khác.

Về thực chất, ngôn ngữ APT là biểu diễn một chương trình gia công bằng cách mô tả các hoạt động của dao cùng với các chức năng cắt gọt của nó bằng các câu lệnh trên cơ sở viết tắt của các từ trong tiếng Anh.

Ví dụ:

- *Kích thước và hình dáng hình học:*

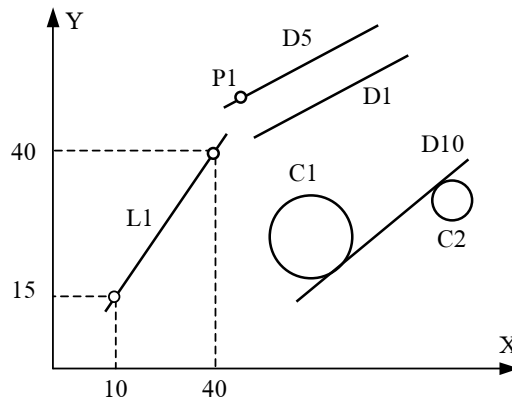
Điểm	P = POINT. ( P1/20.0, 10.0, 0.0; P2/15.23, 20.5, 2.7)
Đường thẳng	L = LINE.( L1/P1,P2; L2/P1, ATANG26).
Đường tròn	C = CTRCLE/X,Y,R = CIRCLE/CENTER,P1, RADIUS,R.
Điểm đặc biệt	P = POINT/INTOF, L1, L2(điểm cắt nhau của 2 đường L1,L2).
Đường đặc biệt	L = LINE/P2, PARLEL, L3( đường qua P2 và song song L3).
Mặt phẳng	PL=PLANE.(PL1/P!, P2, P3: mặt phẳng qua 3 điểm P1,P2,P3). (PL2/P4, PARLEL,PL1: mặt phẳng qua P4 và song song PL1).

Ví dụ:

L1 = LINE / 10,15,0,25,40,0 [Định nghĩa đường thẳng L1 đi qua 2 điểm có toạ độ tương ứng X,Y,Z là 10,15,0 và 25,40,0].

D5 = LINE / P1, PARALLEL, D1 [Định nghĩa đường thẳng D5 đi qua điểm P1 và song song với đường thẳng D1].

D10 = LINE / RIGHT. TANTO, C1. LEFT, TANTO, C2 [Định nghĩa đường thẳng D10 tiếp tuyến với vòng tròn C1 phía bên phải và tiếp tuyến với vòng tròn C2 phía bên trái]



Hình 4-5: Ví dụ về ngôn ngữ APT

- Quỹ đạo chuyển động:

MOTION COMMAND/DESCRIPTIVE DATA:

Lệnh dịch chuyển: GOTO. ( GOTO/P1 dịch chuyển đến điểm P1).

(FROM/TARG từ điểm xuất phát).

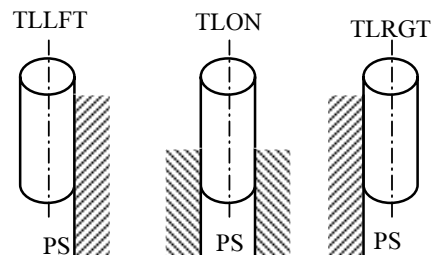
(GODLTA tăng tốc độ dịch chuyển dụng cụ).

Lệnh bù dao:

TLLFT (Dao cắt phía trái chi tiết).

TLON (Không bù dao, tâm dao được lập trình).

TLRGT (Dao cắt phía phải chi tiết).

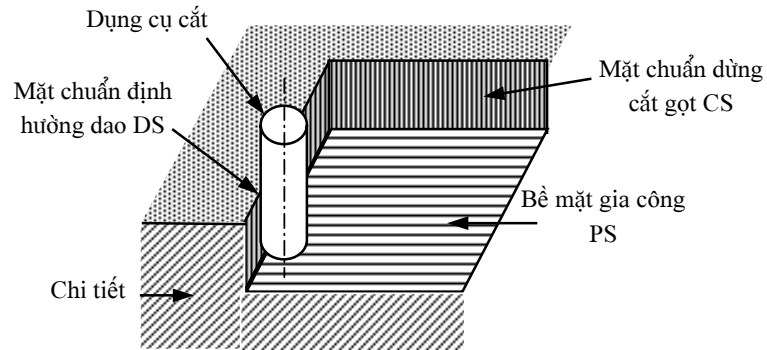


Hình 4-6: Bù dụng cụ

Các mặt phẳng chuẩn: DS ( Drive surface: Mặt định hướng dao cắt).

PS (Part surface: Mặt đáy của dao cắt).

CS (Check surface: Mặt chuẩn ngừng dịch chuyển cắt gọt).



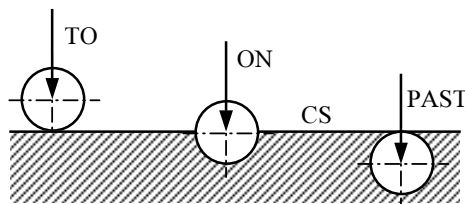
Hình 4-7: Các bề mặt chuẩn khác trên chi tiết

Định vị chính xác dụng cụ: TO (Dụng cụ tiếp xúc với phía trên mặt phẳng CS)

ON (Dụng cụ nằm giữa mặt phẳng CS).

PAST (Dụng cụ tiếp xúc với phía dưới mặt phẳng CS).

TANTO (Dụng cụ tiếp xúc với mặt phẳng PS).



Hình 4-8: Vị trí dụng cụ so với bề mặt kết thúc gia công

Hướng chuyển động: GOLFT (Dịch chuyển dụng cụ sang phải).

GORGT (Dịch chuyển dụng cụ sang trái).

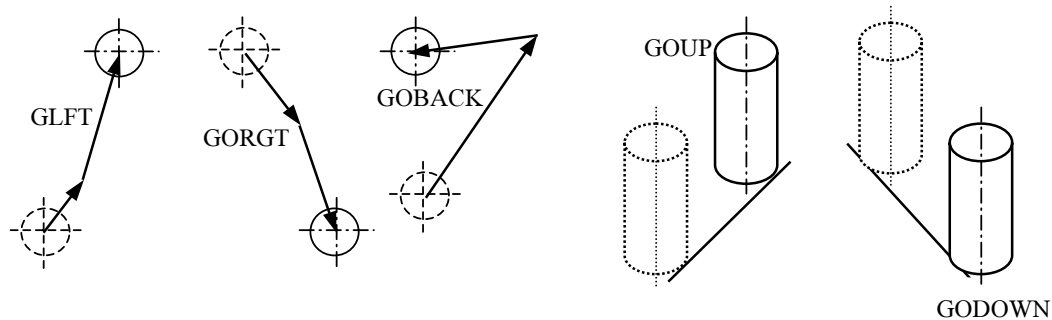
GOWFP (Dịch chuyển dụng cụ về phía trước).

GOBACK (Lùi dụng cụ về phía sau).

GOUP (Dịch chuyển dụng cụ lên).

GODOWN (Dịch chuyển dụng cụ về phía dưới).





Hình 4-9: Các hướng chuyển động của dụng cụ

Hướng quay hoặc nội suy: CW (clockwise - Theo chiều kim đồng hồ).

CCW (Counter-clockwise - ngược chiều kim đồng hồ).

- Các lệnh điều khiển máy và các lệnh bổ sung:

Dung dịch trơn nguội: COOLNT (*coolant*).

Cắt: CUTTER (*cutter*)

Dịch chuyển: MOVE (*move*).

Chạy nhanh: RAPID (*rapid*).

Dụng cụ: TOOL (*tool*).

Tốc độ cắt: FEDRAT (*feedrat*).

Giảm tốc độ tại những nơi chuyển tiếp tránh cắt lẹm: MCHTOL

Kết thúc: END hoặc FINI....

Trên cơ sở của APT, đã có nhiều ngôn ngữ khác ra đời và về cơ bản nó là một tệp riêng của APT. Ví dụ :

EXAPT (*Extended Subset of APT* : Tệp mở rộng của APT) Ngoài việc mô tả dữ liệu hình học, EXAPT còn cho phép mô tả cả công nghệ của chi tiết gia công (Đúc).

TELEPART : Do IBM phát triển và có khả năng truyền qua mạng telephone để chuyển vào các máy tính sử dụng...

Ví dụ dịch chuyển từ điểm đến điểm:

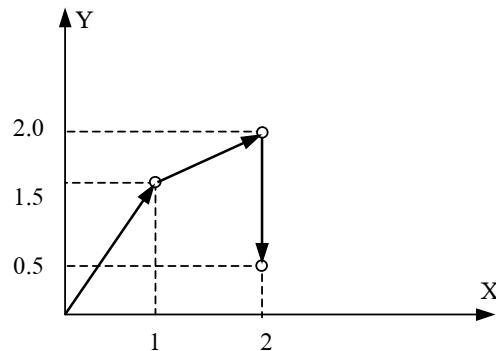
ORG 1 = POINT / 0, 0, 0 [*Điểm gốc*]

FROM / ORG 1 [*D/c từ điểm gốc*]

GOTO / 1, 1.5, 0 [*Toạ độ điểm đến*]

GOTO / 2, 2, 0 [Toạ độ điểm đến]

GOTO /2, 0.5,0 [Toạ độ điểm đến]



Hình 4-10: Điều khiển điểm

Ví dụ 2: Dịch chuyển theo biên dạng (*contour*)

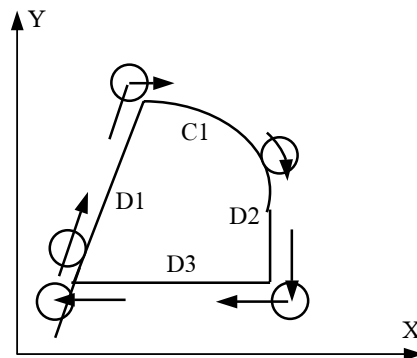
TLLFT, GOFWD / D1

GORGT / D1, PAST, C1

GORGT / C1, TO, D2

GOF WD / D2, PAST, D3

GORGT / D3, ON, D1



Hình 4-11: Điều khiển theo biên dạng

#### 4-6-2 Ngôn ngữ lập trình bằng tay

Trong phần này, chỉ chủ yếu giới thiệu ngôn ngữ lập trình bằng tay hay còn gọi là ngôn ngữ máy mà mỗi ký tự của nó được xác định theo mã nhị phân 8 bit theo ASCII (*America Standard Code for Information Interchange*). Về cơ bản mã này cũng giống như tiêu chuẩn ISO và DIN 66024.

**Bảng mã code ISO và EIA**

Các đường thông tin	ISO									EIA											
		8	7	6	5	4		3	2	1		8	7	6	5	4		3	2	1	
Đặc tính	Kí hiệu	Tập hợp các lỗ									Kí hiệu	Tập hợp các lỗ									
Bắt đầu chương trình	%	λ		λ				λ		λ	EOR					λ			λ	λ	
Dấu +	+			λ		λ			λ	λ	+		λ	λ	λ						
Dấu -	-			λ		λ		λ		λ	-		λ								
Các chữ số	0			λ	λ						0			λ							
	1	λ		λ	λ					λ	1									λ	
	2	λ		λ	λ				λ		2								λ		
	3			λ	λ				λ	λ	3				λ				λ	λ	
	4	λ		λ	λ			λ			4								λ		
	5			λ	λ			λ		λ	5				λ				λ	λ	
	6			λ	λ			λ	λ		6				λ				λ	λ	
	7	λ		λ	λ			λ	λ	λ	7								λ	λ	λ
	8	λ		λ	λ	λ					8					λ					
	9			λ	λ	λ				λ	9				λ	λ					λ
Toạ độ, góc quay	A		λ						λ	a		λ	λ							λ	
Toạ độ, góc quay	B		λ						λ	b		λ	λ						λ		
Toạ độ, góc quay	C	λ	λ						λ	λ	c		λ	λ	λ					λ	λ
N <sup>o</sup> Hiệu chỉnh dụng cụ	D		λ					λ			d		λ	λ					λ		
Tham số mở rộng	E	λ	λ					λ		λ	e		λ	λ	λ				λ		λ
Tốc độ tiến dao	F	λ	λ					λ	λ		f		λ	λ	λ				λ	λ	
Chức năng chuẩn bị	G		λ					λ	λ	λ	g		λ	λ					λ	λ	λ
N <sup>o</sup> của chương trình con	H		λ			λ					h		λ	λ		λ					
Địa chỉ nội suy	I	λ	λ			λ				λ	i		λ	λ	λ	λ					λ
Địa chỉ nội suy	J	λ	λ			λ			λ		j		λ		λ						λ
Địa chỉ nội suy	K		λ			λ			λ	λ	k		λ		λ					λ	
N <sup>o</sup> của tham số lập trình	L	λ	λ			λ		λ			l		λ							λ	λ
Chức năng phụ	M		λ			λ		λ		λ	m		λ		λ				λ		
Số Block	N		λ			λ		λ	λ		n		λ						λ		λ
	O	λ	λ			λ		λ	λ	λ	o		λ						λ	λ	

Các tham số khác	P		λ		λ							<b>p</b>		λ		λ			λ	λ	λ	
	Q	λ	λ		λ						λ	<b>q</b>		λ		λ	λ					
	R	λ	λ		λ					λ		<b>r</b>		λ			λ					λ
Tốc độ quay trực chính	S		λ		λ					λ	λ	<b>s</b>			λ	λ					λ	
Số dụng cụ	T	λ	λ		λ					λ		<b>t</b>			λ						λ	λ
Chuyển động thứ 2 song song với trục X	U		λ		λ					λ		<b>u</b>			λ	λ				λ		
Chuyển động thứ 2 song song với trục Y	V		λ		λ					λ	λ	<b>v</b>			λ					λ		λ
Chuyển động thứ 2 song song với trục Z	W	λ	λ		λ					λ	λ	λ	<b>w</b>			λ				λ	λ	
Toạ độ theo trục X	X	λ	λ		λ	λ						<b>x</b>			λ	λ				λ	λ	λ
Toạ độ theo trục Y	Y		λ		λ	λ						<b>y</b>			λ	λ	λ					
Toạ độ theo trục Z	Z		λ		λ	λ					λ	<b>z</b>			λ		λ					λ
Phân chia chương trình con	:				λ	λ	λ				λ	<b>:</b>			λ					λ	λ	
Nhảy vào Block được chọn	/	λ			λ					λ	λ	λ	<b>/</b>			λ	λ					λ
Lùi bàn dao	CR	λ				λ				λ												
Kết thúc 1 Block	LF									λ		λ	<b>EOB</b>	λ								
Bắt đầu lời giải thích	(				λ	λ							<b>?</b>			λ	λ	λ			λ	λ
Kết thúc lời giải thích	)	λ			λ	λ						λ	<b>%</b>		λ		λ	λ			λ	λ
Khoảng cách	SP	λ			λ							<b>SP</b>				λ						
Kết thúc chương trình	XOFF	λ				λ					λ	λ	<b>BS</b>		λ		λ				λ	
Nhảy lên đầu	HT									λ			<b>TAB</b>		λ	λ	λ			λ	λ	
Thoát	DEL	λ	λ	λ	λ	λ					λ	λ	<b>DEL</b>		λ	λ	λ	λ		λ	λ	λ
Rỗng	NUL												<b>NUL</b>									

Bit thứ 8 là bit kiểm tra , Với mã ISO tất cả các hàng phải có bit 1 là chẵn.

Bit thứ 7 có các bit 1 là dùng cho các chữ cái.

Bit thứ 5 và 6 dùng cho các ký tự số thập phân.

Bit 1, 2, 3, 4 dùng cho các giá trị số trong hệ nhị phân.

Ví dụ : G = 01000111

X = 11011000

M = 01001101

...

Trên cơ sở của các ký tự, chương trình được hình thành từ các *block* và mỗi *block* gồm các từ chương trình hay gọi là từ lệnh và mỗi từ lệnh được hình thành từ các ký tự và các con số đứng sau nó.

Ví dụ : N15 G01 X40 Y50 Z75 F30 S1200 là 1 *block*

Trong đó : N15 : Số câu lệnh theo thứ tự của chương trình

G01 : Từ lệnh điều khiển sự dịch chuyển thẳng của dụng cụ có cắt gọt (*linear Interpolation*).

X40 ; Y50 ; Z75 : Tọa độ các điểm đến (trong hệ tọa độ X, Y, Z)

F30 : F lượng chạy dao : (*Feedrate*) 30mm/ph hoặc inch/ph.

S1200 : Số vòng quay trục chính (*Speed*) 1200 v/ph hoặc tốc độ cắt m/ph, (inch)/ph.

*a. Số thứ tự câu lệnh : (Block number - N.....)*

Số thứ tự này dùng để kiểm tra chương trình - Máy không đọc, nhưng nó có tác dụng khi nhảy vào các chương trình con -. Nó có thể đánh số tự động khi lập trình. Công sai của nó có thể là 1 hay 2 ; 5 ; 10 ... tùy ý). Thông thường khi lập trình trực tiếp ta có thể đặt số *block* đầu tiên và số của *block* tiếp theo và máy có thể hoàn toàn tự động đánh số các *block* tiếp sau theo công sai đã chọn.

*b. Chức năng chuẩn bị G (Geometric Function - G code)*

Chức năng G thông thường được ghép thêm sau 2 chữ số từ G00 đến G99 dùng để điều khiển sự dịch chuyển của dụng cụ (chức năng dịch chuyển). Trong một số hệ điều khiển có thể có đến 3 chữ số và chữ số thứ 3 được quy định riêng theo mã *code* của hãng chế tạo máy đó. Sau đây giới thiệu các chức năng G code thông dụng được quy định theo ISO và được dùng hầu hết cho các hệ điều khiển số hiện nay.

• *G00 : Chạy dao nhanh ( Positioning Rapid): Modal*

Trong quá trình dịch chuyển, dụng cụ không thực hiện việc cắt gọt, lượng chạy dao khi dịch chuyển là lớn nhất (giá trị này tùy theo từng loại máy và từng nhà sản xuất quy định và đã được mặc định trong máy). Thông thường chức năng này tương ứng với khi định vị nhanh dụng cụ nhằm giảm đáng kể thời gian phụ.

Dạng câu lệnh: N \_ G00 X\_ Y\_ Z\_

Trong đó, tọa độ X, Y, Z là tọa độ của điểm đến ( *End point*). Trong quá trình dịch chuyển, quỹ đạo chuyển động của dụng cụ có thể được thực hiện theo kiểu tối ưu hay theo từng trục riêng rẽ như đã nói ở phần trước. Chức năng này (modal) chi phối cho tất cả các câu lệnh tiếp sau nếu như chưa có một chức năng G01, G02, G03 huỷ bỏ nó.

- *G01: Nội suy tuyến tính (Linear Interpolation): Modal*

Trong quá trình dịch chuyển, dụng cụ cắt sẽ thực hiện quá trình cắt gọt. Lượng chạy dao và tốc độ cắt có thể được chọn hoặc tính toán tùy theo yêu cầu của quá trình gia công là thô hoặc tinh và phải được gọi vào trong câu lệnh.

Dạng câu lệnh: N\_ G01 X\_ Y\_ Z\_ F\_ S\_

Trong đó: X, Y, Z là tọa độ của điểm đến, F là lượng chạy dao (*Feedrate*) và S là tốc độ cắt *m/ph* (hoặc có thể là tốc độ quay của trục chính *v/ph*) (*Speed*). Cũng như ở trên, chức năng này sẽ chi phối cho tất cả các câu lệnh tiếp sau nếu như chưa có một chức năng G00, G02, G03 huỷ bỏ nó.

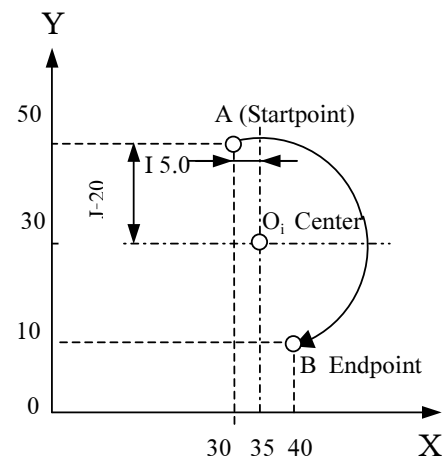
- *G02: Nội suy vòng tròn theo chiều kim đồng hồ (Circular Interpolation Clockwise CW): Modal*

Trong quá trình dụng cụ dịch chuyển theo vòng tròn thuận chiều kim đồng hồ, dụng cụ sẽ thực hiện quá trình cắt gọt. Lượng chạy dao và tốc độ cắt khi gia công được chọn tùy thuộc vào vật liệu chế tạo dao, vật liệu gia công và yêu cầu về chất lượng của quá trình gia công và phải được đưa vào câu lệnh. Cũng như trên, chức năng này là modal.

Ví dụ:

```
...
N10 G01 X30 Y50 F20 S1000 (điểm A)
N15 G02 X40 Y10 I5 J-20 F15 S800 (B)
N20 G01 Y0 F20 S100
...
```

Trong đó: X30, Y50 là tọa độ của điểm đầu(A) và X40, Y10 là tọa độ của điểm cuối B. I là tọa độ của tâm  $O_i$  so với tọa độ của điểm đầu tính theo phương X có tính đến dấu ( $I = 5.0$ ); J là tọa độ của tâm  $O_i$  so với tọa độ của điểm đầu tính theo phương Y có tính đến dấu ( $J = -20$ ).



Hình 4-12: Nội suy đường tròn theo chiều kim đồng hồ

Dạng câu lệnh: N\_ G02 X\_ Y\_ Z\_ I\_ J\_ K\_ F\_ S\_

Hoặc : N\_ G02 X\_ Y\_ Z\_ R\_ F\_ S\_

Trong đó: X, Y, Z là tọa độ của điểm đến (*Endpoint*); I, J, K là tọa độ của tâm vòng tròn nội suy so với tọa độ của điểm đầu (điểm bắt đầu thực hiện nội suy vòng tròn) tương ứng với các trục X, Y, Z có tính đến dấu (*Startpoint*); R là bán kính vòng tròn nội suy, cần chú ý rằng khi sử dụng tham số này chỉ cho phép giới hạn trong một cung chuyển động nội suy lớn nhất là  $90^{\circ}$  ( với tham số này thì chỉ có trên một số cụm CNC được mã hóa); F và S như đã được giới thiệu ở trên. Chú ý là khi xác định tọa độ I, J, K, ta phải tính toán nó trong hệ tọa độ tương đối với gốc tọa độ là điểm bắt đầu nội suy vòng tròn.

- G03: Nội suy vòng tròn ngược chiều kim đồng hồ (*Circular Interpolation Counter*): Modal

Dạng câu lệnh: N\_ G03 X\_ Y\_ Z\_ I\_ J\_ K\_ F\_ S\_

Hoặc : N\_ G03 X\_ Y\_ Z\_ R\_ F\_ S\_

Ý nghĩa của các chữ cái trong câu lệnh cũng như ở trường hợp trên. Chỉ khác G03 là thực hiện việc nội suy ngược chiều kim đồng hồ. Chức năng G03 cũng là modal.

Ví dụ:

...

N100 G00 X95 Y20 ( Đến điểm A)

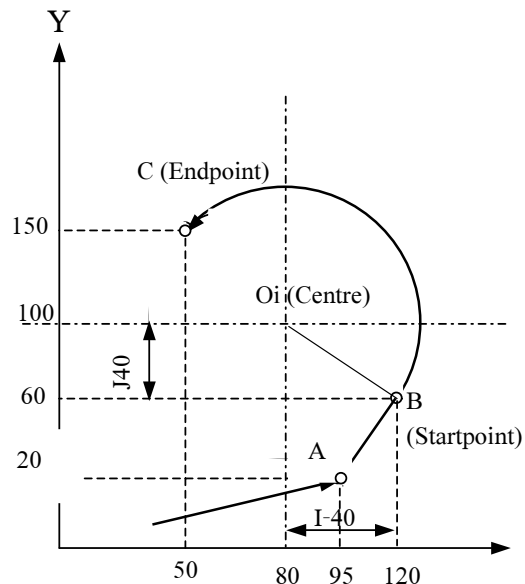
N105 G01 X120 Y60 F20 S1000 (B)

N110 G03 X50 Y150 I-40 J40 F15 (C)

...

Tọa độ của tâm đường tròn nội suy  $O_i$  so với tọa độ của điểm đầu B theo trục X là  $I = -40$  (nhỏ hơn so với tọa độ của XB) và theo trục Y là  $J = 40$  (lớn hơn so với tọa độ của YB).

Trong trường hợp tiện chi tiết trên máy tiện, hệ thống tọa độ của máy thường được sử dụng là XOZ và khi lập chương trình gia công thì người ta có thể thiết lập chương trình theo tọa độ của X là bán kính hay đường kính



Hình 4-13 : Nội suy đường tròn ngược chiều kim đồng hồ

tùy thuộc việc chọn hệ thống tọa độ là tương đối hay tuyệt đối. Tuy nhiên khi tính tọa độ I và K của tâm vòng tròn thì luôn luôn người ta phải tính trong hệ tọa độ tương đối mà góc tọa độ của nó chính là điểm bắt đầu vòng tròn nội suy. Cũng tương tự như chức năng G02, người ta có thể lập chương trình theo tọa độ tâm hoặc là theo tham số bán kính nếu cung tròn nội suy nhỏ hơn  $90^{\circ}$ . Chức năng này cũng là modal.

Dạng câu lệnh:

N\_ G03 X\_ Z\_ I\_ K\_ F\_ S\_

Hoặc : N\_ G03 X\_ Z\_ R\_ F\_ S\_

Ví dụ:

N35 G00 X0 Z0

N40 G03 X45 Z-15 I0 K-25 F20 S1000

N45 G01 X\_ Z\_ F25 S1200

...

Hoặc:

N35 G00 X0 Z0

.N40 G03 X45 Z-15 R25 F20 S1000

N45 G01 X\_ Z\_ F25 S1200

..

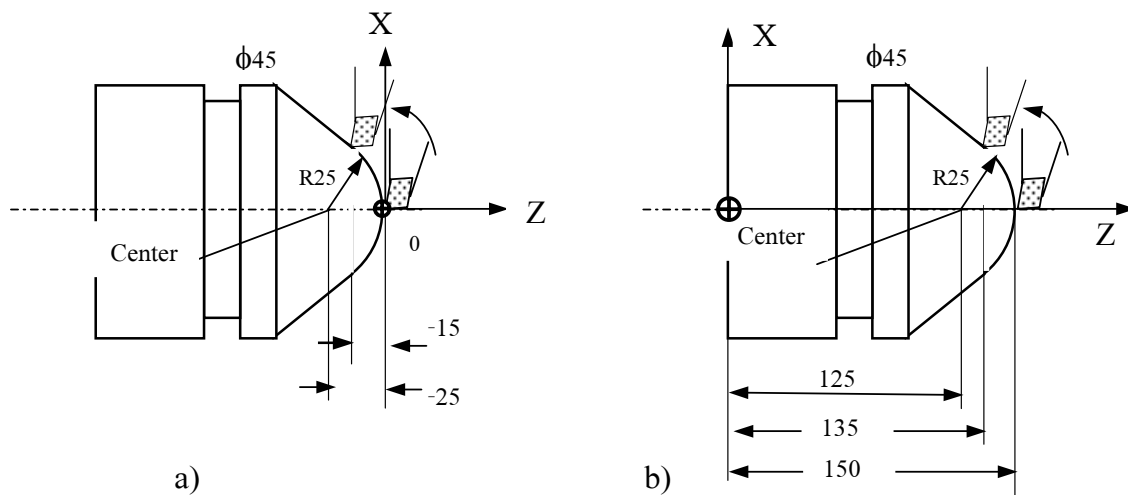
Hoặc (hình b):

N35 X0 Z150

N40 G03 X45 Z135 I0 K-25 F20 S1000

N45 G01 X\_ Z\_ F25 S1200

...



Hình 4-14: Nội suy đường tròn theo góc tọa độ trên máy tiện

- G04: Dừng có thời gian (Dwell/ interruption of block preparation).

Khi gia công, người ta dừng chuyển động ăn dao trong một khoảng thời gian theo yêu cầu nhằm mục đích nâng cao độ bóng và độ chính xác, thí dụ khi khoan hoặc khoét với khoảng dịch chuyển dụng cụ đã đủ chiều sâu, người ta dừng chuyển



động ăn dao trong khoảng thời gian  $K$  giây ( $K \text{ sec}$ ) tương ứng với lượng tiến dao  $F = 0$  trong khoảng thời gian là  $K \text{ sec}$ .

Ví dụ:

N20 G01 Z57.5 F12 S1000

N25 G04 X3 [Thời gian duy trì tại vị trí cuối cùng là 3s với  $F = 0$ ]

Tùy theo các hệ điều khiển số khác nhau mà có tham số được gọi là khác nhau, có thể là X, K, P...

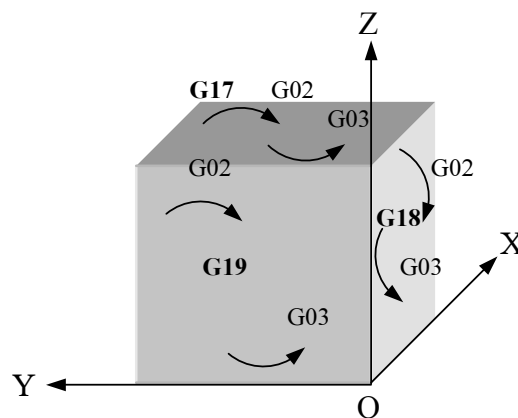
Chức năng này chỉ có chi phối trong câu lệnh khi có G04, sau câu lệnh này nó không còn tác dụng.

- *G16 Lựa chọn mặt phẳng chính nội suy (Selection of main plane in two directions): Modal*

Chức năng này được đặt ở phần đầu của các chức năng G17, G18, G19 đối với các máy  $2D\frac{1}{2}$ , 3D, 4D, 5D để báo hiệu cho hệ điều khiển CNC biết mặt phẳng nào trong hệ thống tọa độ X, Y, Z sẽ được lựa chọn để gia công. Chức năng này là modal và sẽ bị huỷ bỏ bởi một trong các chức năng G17 hoặc G18 hoặc G19 đi kèm ngay sau nó.

- *G17; G18; G19 Các mặt phẳng nội suy chính XOY; XOZ; YOZ: Modal*

Ví dụ :



Hình 4-15: Các mặt phẳng nội suy

Các chức năng này sẽ chi phối cho tất cả các câu lệnh tiếp theo cho đến chừng nào có các chức năng cùng họ là một trong chức năng trên huỷ bỏ nó và thiết lập mặt phẳng gia công mới.

- *G20/G70: Đơn vị đo lường được sử dụng là **inch** (Inch units). Modal*

Thông thường chức năng này được bố trí ở phần đầu của chương trình để khẳng định hệ thống đo lường nào được sử dụng trong chương trình gia công, nó chi phối không chỉ giá trị tọa độ của các điểm lập trình mà còn chi phối cả lượng chạy dao và tốc độ cắt tính theo hệ thống đơn vị nào. Tuy nhiên có một số hệ điều khiển, các nhà chế tạo máy CNC đã cài đặt sẵn chương trình mặc định hệ thống đo lường là *inch* hoặc *milimet*, trong trường hợp đó, ta chỉ gọi chức năng này vào trong chương trình chỉ khi nào hệ thống đo lường đó khác với hệ thống đo lường mặc định. Chức năng này là modal

- *G21/G71: Đơn vị đo lường được sử dụng là **milimetre** (Metric units). Modal*

Cũng tương tự như trên, khi gọi chức năng này vào trong chương trình, tất cả mọi tọa độ dịch chuyển của dụng cụ đều được xác định theo hệ đo lường *milimet*. Chức năng này là modal.

- *G28 : Tự động trở về điểm chuẩn (Automatic return to reference point):*

Khi đặt chức năng này vào đầu hoặc cuối chương trình, máy sẽ tự động trở về điểm chuẩn lúc bắt đầu gia công và khi kết thúc việc gia công. Công việc này có một ý nghĩa quan trọng đối với các máy phay vì hầu hết các máy này đều thay dao tự động và khi thay dao thì máy phải trở về điểm chuẩn để tránh sự va chạm có thể xảy ra.

- *G29 : Tự động trở về từ điểm chuẩn (Automatic return from reference point):*

Chức năng này sẽ gọi dụng cụ đang ở điểm chuẩn sau khi thay dao trở về bề mặt đang gia công.

- *G40 : Hủy bỏ sự bù bán kính dao (Cancelling tool radius compensation) . Modal.*

Tùy thuộc vào máy tiện hoặc phay mà việc hủy bỏ lượng bù bán kính dao là theo bán kính mũi dao hoặc 1/2 đường kính dao phay ngón.

Trong thực tế của quá trình gia công, dao sẽ bị mài mòn dần và sẽ làm cho kích thước của dao thay đổi và kết quả sẽ làm giảm độ chính xác gia công. Mặt khác, mũi cắt của dao tiện không phải là nhọn như ta quan niệm mà nó có một bán kính  $r$  mà chính nó sẽ gây ra sai số khi gia công. Vì vậy cần thiết phải có lượng bù bán kính dao để đảm bảo độ chính xác gia công theo yêu cầu. Khi ta phay các rãnh bằng dao phay ngón hoặc khi ta sử dụng phương pháp lập chương trình theo quỹ đạo khoảng cách tương đương thì khi đó có thể ta không sử dụng chương trình bù bán kính vì khi đó chính quỹ đạo chuyển động của lưỡi cắt chính là biên dạng bề mặt gia công. Chức năng này là modal.

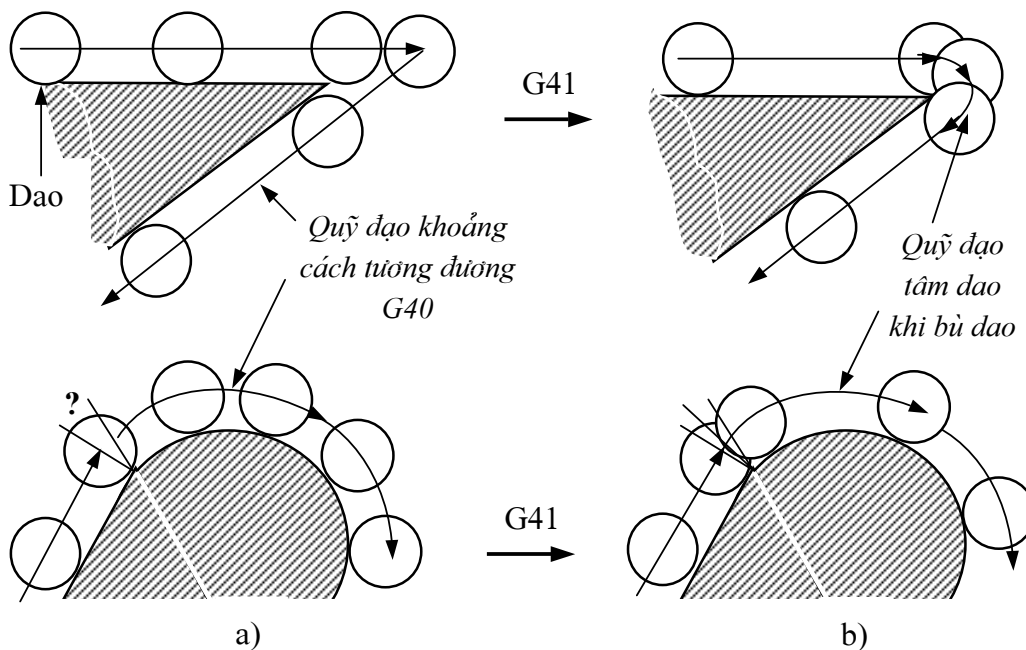
- *G41: Bù bán kính khi lưỡi cắt nằm phía bên trái bề mặt gia công ( Left-hand tool radius compensation ). Modal*

Khi gọi đến chức năng này, hệ thống điều khiển số sẽ thực hiện việc bù bán kính dao khi dao cắt ở phía trái của bề mặt gia công. Khi đó người lập chương trình chỉ lập theo kích thước thực trên bản vẽ, còn quỹ đạo chuyển động thực của tâm dao được hệ thống CNC tính toán và điều khiển quá trình dịch chuyển của dụng cụ. Đặc biệt là tại các điểm cắt nhau hoặc tiếp xúc với nhau giữa các đường thẳng với đường thẳng, đường thẳng với đường cong và giữa các đường cong với nhau thì hệ thống điều khiển số sẽ tự tính toán xác định quỹ đạo dịch chuyển của nó một cách tối ưu. Chức năng này sẽ có tác dụng cho các câu lệnh tiếp sau nếu như chưa có một chức năng G40 hoặc G42 huỷ bỏ nó.

Chú ý là trước khi gọi chức năng này, cần phải gọi chức năng G40 để huỷ bỏ các chức năng khác mà có thể đang tiếp tục tác dụng nhằm tránh các sai sót đáng tiếc có thể xảy ra. Chức năng này cùng với chức năng G42 thường chỉ gọi đến khi thực hiện quá trình gia công, còn khi định vị nhanh dụng cụ hoặc khi dao lùi khỏi bề mặt gia công thì thường phải sử dụng chức năng G40.

- *G42 : Bù bán kính khi lưỡi cắt nằm phía bên phải bề mặt gia công (Right-hand tool radius compensation) . Modal*

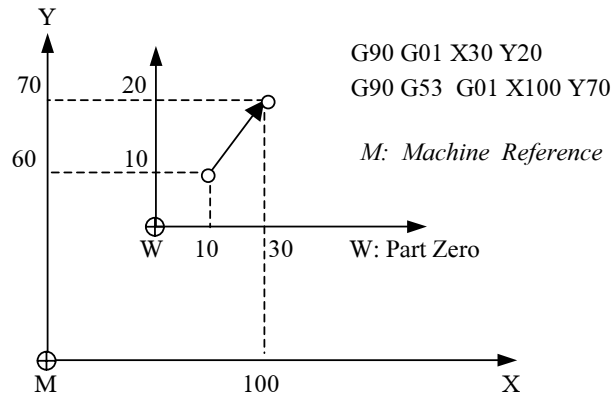
Chức năng này sẽ thông báo cho hệ điều khiển số xác định quỹ đạo dịch chuyển của tâm dao khi dao cắt phía bên phải của chi tiết. Các tính chất cũng tương tự như chức năng G41. Ví dụ:



Hình 4-16: Quỹ đạo của tâm dao khi bù dao (b) và không bù dao (a)

- *G53 Lập chương trình từ gốc tọa độ của máy M ( Programming with respect to machine zero).*

Ví dụ: Khi lập trình với G53(Fagor)

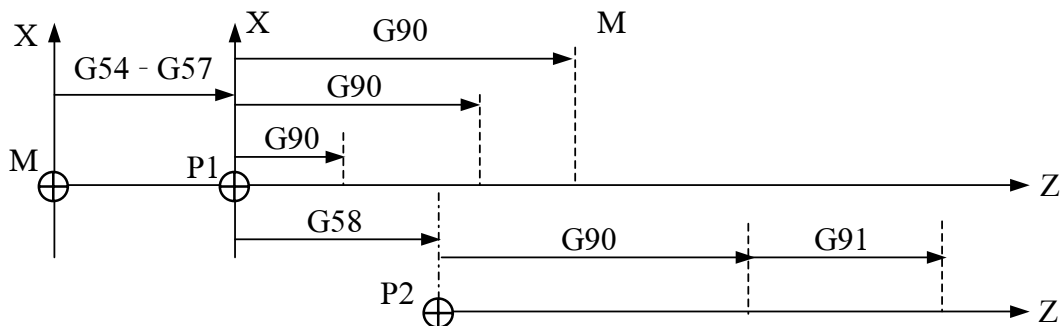


Hình 4-17: Lập trình với G53

- *G54 - G57: Dịch chuyển điểm Zero ( Absolute zero offset1,2,3,4). Modal*

Với chức năng G54, G55, G56, G57 sẽ được lập trình gia công khi cho điểm chuẩn của máy M trùng với điểm chuẩn của chương trình P hoặc W. Khi sử dụng chức năng này cần phải thực hiện việc làm dịch chuyển điểm chuẩn (thường gọi là zero offset) để đồng nhất điểm gốc chương trình với điểm gốc đo lường của máy. Chức năng này chỉ bị huỷ bỏ cho đến khi có các chức năng G53 và các chức năng G58, G59 xuất hiện.

- *G58- G59 : Dịch chuyển bổ sung điểm zero ( Additive zero offset 1 and 2). Modal*



Hình 4-18: Ví dụ về chức năng dịch chuyển bổ sung G58, G59

Chức năng G58 và G59 về cơ bản cũng tương tự như chức năng G54 - G57 có nghĩa là khi gọi đến chức năng này thì điểm chuẩn của máy M trùng với tọa độ của điểm mà tại đó có G57 và G58 được gọi. Chức năng này bao giờ cũng phải nằm sau chức năng G54 - G57 vì nó sẽ thực hiện một phép dời gốc tọa độ của điểm P. Chức năng này là modal.

- *G90 : Lập trình trong hệ tọa độ tuyệt đối ( Absolute programming) . Modal*

Chức năng này sẽ đặt cho hệ điều khiển thực hiện các phép tính toán thống nhất các tọa độ dịch chuyển của dụng cụ đến một điểm gốc P cố định. Khi sử dụng chức năng này ở trên các máy tiện thì người ta quy định tọa độ của nó được xác định theo đường kính. Chức năng này chỉ bị huỷ bỏ cho đến khi nào có chức năng G91 xuất hiện.

- *G 91: Lập trình trong hệ tọa độ tương đối (Incremental programming). Modal*

Chức năng này sẽ thông báo cho hệ điều khiển biết khi tính toán tọa độ dịch chuyển của dụng cụ tại mỗi điểm đến sẽ được tính toán so với tọa độ của điểm đến ngay trước đó. Khi lập chương trình với chức năng này trên máy tiện thì tọa độ của bán kính chi tiết sẽ được thiết lập. Chức năng này là modal.

- *G92 : Chọn trước gốc chương trình ( Coordinate preset) .*

Với chức năng này người ta có thể lập chương trình theo hệ tọa độ được chọn trước ở bất kỳ tại điểm nào trong không gian hoạt động của máy.

Ví dụ

G90 X50 Y150 ; Điểm P0

G92 X0 Z0 ; Điểm P1

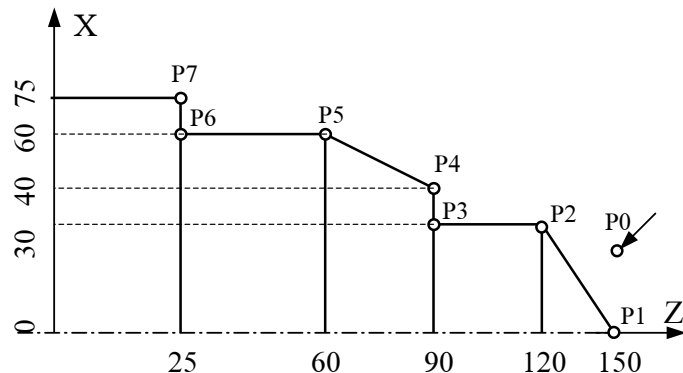
G91 X30 Z-30 ; Điểm P2

Z-30 ; Điểm P3

X10 ; Điểm P4

X20 Z-30 ; Điểm P5

Z-35 ; Điểm P6



Hình 4-19: Chương trình với hệ tọa độ dùng chức năng G92

- *G93: Chọn gốc tọa độ cực ( Polar origin preset).*

Việc đặt gốc tọa độ cực có thể được lựa chọn ở bất kỳ điểm nào trong không gian làm việc của máy sao cho quá trình lập chương trình gia công được đơn giản hơn.

Ví dụ:

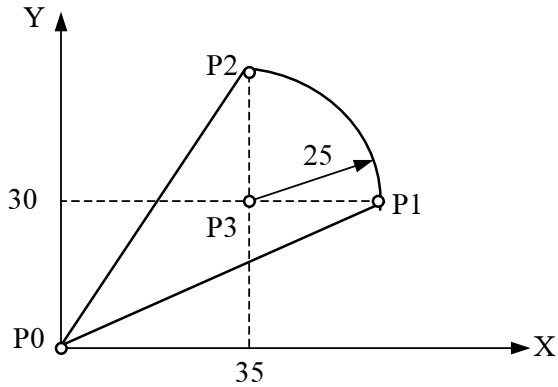
G90 X0 Y0 : Điểm P0

**G93** I35 J30; Chọn điểm P3  
làm gốc toạ độ cực

G90 G01 R25 Q0; Nội suy đường  
thẳng từ P0 đến P1.

G03 Q90; Nội suy vòng  
tròn ngược chiều kim đồng  
hồ đến điểm P2

G01 X0 Y0 ; Nội suy đường  
thẳng đến điểm P0



Hình 4-20: Chương trình trong toạ độ cực

- **G94** : Tốc độ tiến dao tính bằng (inch hoặc mm) / phút (Feedrate in millimeters ( inches ) per min)(Sph). Modal

Chức năng này thường được đặt ở đầu chương trình để quy định lượng tiến dao F là lượng tiến dao phút. Kết hợp với các chức năng G20/ G70 hoặc G21/G71 mà lượng tiến dao được tính bằng *inch/ph* hoặc *milimet/ph*. Chức năng này chỉ được huỷ bỏ cho đến khi nào chức năng G95 xuất hiện.

- **G95** : Tốc độ tiến dao tính bằng (inch hoặc mm) / vòng (Feedrate in millimeters (inches) per rev) - Sv). Modal

Cũng tương tự như chức năng G94, chức năng này quy định lượng tiến dao F trong chương trình là lượng tiến dao vòng, nó có thể là *inch/vg* hoặc *mm/vg* là tùy thuộc vào chức năng G20/G70 hoặc G21/G71 được gọi trước đó. Chức năng này là modal.

- **G96**: Tốc độ cắt bề mặt bằng hằng số (Constant surface speed -  $V = m/ph$ ). Modal

Chức năng này thường đặt ở phần đầu chương trình nhằm quy định tốc độ cắt khi gia công được tính là tốc độ dài. Kết hợp với G20/G70 hoặc G21/G71 mà có đơn vị tính là *inch/ph* hoặc *met/ph*. Trong trường hợp tiện các chi tiết có kích thước đường kính khác nhau hoặc các bề mặt côn, bề mặt định hình thì để đảm bảo tốc độ cắt là hằng số do vậy mà tốc độ quay trục chính thay đổi tự động liên tục. Cũng thấy rằng khi yêu cầu độ nhám bề mặt chi tiết là khắt khe hoặc khi gia công tinh, lần cuối người ta mới sử dụng chức năng này. Chức năng này chi phối toàn bộ các thông số tốc độ cắt S ở trong chương trình là tốc độ dài và nó chỉ bị huỷ bỏ cho đến khi nào có chức năng G97 xuất hiện.

- *G97 : Tốc độ quay của trục chính ( chi tiết hoặc dao) bằng hằng số ( Constant tool center speed -  $n = vg/ph$ ) Modal*

Cũng tương tự như chức năng G96, chức năng này quy định tốc độ cắt S trong chương trình là tốc độ quay vg/ph, nó có thể là tốc độ của chi tiết khi tiện hay của dao phay khi phay. Chức năng này là modal.

Ngoài ra còn một số chức năng chuẩn bị khác mà tùy theo mỗi hệ thống CNC của các nhà chế tạo quy định thêm đối với từng loại máy cụ thể nhằm mục đích thuận tiện hơn cho quá trình vận hành và sử dụng. Thí dụ các chương trình con, các chu trình gia công thô hoặc tinh, các chu trình cắt ren có bước đều hoặc thay đổi, các chu trình khoan hoặc các chu trình gia công túi (hoặc hốc) ...Các chức năng này sẽ được sử dụng đối với mỗi loại máy thích hợp, vì vậy điều quan trọng nhất của cán bộ lập chương trình là phải nắm bắt một cách tổng quát nhất các nội dung cơ bản của các chức năng trong khi vận hành để có thể tránh những nhầm lẫn đáng tiếc có thể xảy ra.

#### *c. Chức năng phụ (Miscellaneous Function - M code)*

Chức năng phụ M dùng để kiểm tra và điều khiển các chức năng hoạt động của máy như cho trục chính quay thuận, nghịch; dừng trục chính; tưới dung dịch trơn nguội ở chế độ phun sương hoặc phun tia; tắt dung dịch trơn nguội; dừng có điều kiện và không điều kiện chương trình; kẹp và tháo chi tiết...

- *M00: Dừng chương trình (Program stop):*

Máy sẽ ngừng ngay sau khi thực hiện xong các câu lệnh ở M00. Muốn hoạt động trở lại cần phải ấn nút khởi động. Khi thực hiện xong câu lệnh M00 thì cả các chức năng dừng trục chính M05 và tắt dung dịch trơn nguội M09 cũng hoạt động.

- *M01: Dừng chương trình có lựa chọn ( Optional program stop) :*

Cũng tương tự như M00 nhưng lệnh này chỉ có hiệu lực khi nút ngừng lựa chọn đã được ấn (*Optional stop*)

- *M02 : Kết thúc chương trình ( Program end) :*

Máy dừng ngay sau khi thực hiện xong câu lệnh có chức năng M02 và kết thúc một chương trình gia công. Muốn gia công tiếp tục cần phải thao tác lại như từ ban đầu.

- *M03: Trục chính quay thuận chiều kim đồng hồ ( Spindle on clockwise):*

Với chức năng này máy sẽ thực hiện chuyển động quay theo chiều kim đồng hồ nếu nhìn vào trục chính. Khi đó, các dụng cụ cắt cần phải được lắp đặt đúng để tránh tình trạng gãy vỡ dao.

- *M04: Trục chính quay ngược chiều kim đồng hồ (Spindle on counterclockwise):*

Chức năng này tương tự như chức năng M03 nhưng quy định chiều quay của trục chính là ngược chiều kim đồng hồ khi nhìn vào phía đầu trục chính. Chức năng này thường được sử dụng trên máy phay với các dao phay và khoan trái.

- *M05: Dừng trục chính (Spindle stop):*

Khi không thực hiện cắt gọt như thay dao bằng tay hoặc cần dừng máy để quan sát hay đo kiểm, ta sử dụng chức năng này để dừng trục chính nhằm thực hiện các thao tác cần thiết. Khi gọi đến chức năng này, tất cả các chức năng khác như tưới dung dịch trơn nguội, chuyển động nội suy ăn dao F và các chuyển động chạy dao nhanh... đều dừng theo.

- *M06 : Thay dụng cụ tự động( Tool change):*

Chức năng này được đặt vào trong chương trình ở trên các máy có bộ phận thay dao tự động như đầu Rơ von ve của máy tiện, trên các máy phay có ổ chứa dao hoặc trên các trung tâm gia công. Khi chức năng này được gọi, máy sẽ tự động lùi trở về điểm chuẩn hoặc một vị trí nào đó mà có thể đảm bảo an toàn cho quá trình thay dao không bị va chạm vào phôi hay vào máy, đồng thời tất cả các chuyển động của trục chính và chuyển động chạy dao, các chức năng bôi trơn dung dịch trơn nguội đều dừng khi máy thực hiện việc thay dao.

- *M07, M08: Mở dung dịch bôi trơn làm nguội ở chế độ phun sương hoặc phun tia ( Coolant on):*

Khi gọi đến chức năng này, động cơ bơm dung dịch trơn nguội sẽ hoạt động để tưới dung dịch vào vùng gia công. Tùy theo chức năng M08 hay M07 được gọi trong chương trình mà bơm dung dịch trơn nguội sẽ hoạt động ở chế độ tưới cục bộ dưới dạng phun tia vào vùng gia công như khi khoan, khoét, doa hoặc tiện hay dạng phun trong diện rộng như khi phay.

- *M09: Tắt dung dịch bôi trơn ( Coolant off):*

Chức năng này khi được gọi sẽ tắt động cơ bơm dung dịch làm nguội. Trong trường hợp chức năng M05 được gọi thì chính chức năng này cũng hoạt động tức là tắt động cơ bơm.

- *M10 : Kẹp phôi ( Clamps on):*



- *M11 : Tháo chi tiết ( Clamps off):*

Chức năng M10 và M11 thông thường được bố trí ở các trung tâm gia công hoặc các máy công nghiệp hiện đại với kích thước chi tiết gia công lớn hoặc trên các dây chuyền công nghệ có sử dụng robot cấp phôi và tháo chi tiết tự động.

- *M30: Kết thúc chương trình và quay trở lại từ đầu ( Program end, reset to start):*

Chức năng này về cơ bản như chức năng M02, tuy nhiên điều khác biệt ở đây là chức năng này khi được gọi sẽ thực hiện việc lặp lại sự hoạt động của chương trình gia công chi tiết vừa mới kết thúc ngay trước đó mà không cần có sự can thiệp của con người.

Cũng tương tự như chức năng chuẩn bị *G code*, chức năng *M code* cũng tùy thuộc vào các nhà sản xuất máy CNC quy định nhằm mục đích mở rộng thêm khả năng sử dụng và vận hành máy. Vì vậy theo từng loại máy và từng hệ điều khiển mà có thêm các chức năng *M code* khác nhau. Thông thường chức năng *G code* và *M code* có giá trị từ *G00- G99* và *M00- M99*.

#### *d. Một số ký hiệu khác*

Ngoài các chức năng *G* và *M* như đã trình bày ở trên, trong các hệ thống máy điều khiển theo chương trình số còn sử dụng một số ký tự khác mà đòi hỏi các nhà lập trình cần phải làm quen:

*A,B,C* : Các chuyển động quay xung quanh các trục *OX, OY, OZ*.

*D ,E*: Chuyển động quay thứ hai hoặc thứ 3 xung quanh một trục khác.

*F* : Lượng chạy dao (Feedrat) .

*I,J,K* : Thông số tọa độ tâm vòng tròn nội suy (hoặc bước ren) song song với các trục *X,Y,Z*.

*P,Q,R*: Chuyển động tịnh tiến thứ 3 song song với trục *X,Y,Z* hoặc các thông số hiệu chỉnh dao).

*S*: Tốc độ cắt (Speed).

*T*: Số hiệu dao (Tool).

*U,V,W*: Chuyển động tịnh tiến thứ hai song song với trục *X,Y,Z*.

*X,Y,Z* : Chuyển động theo các trục tọa độ.

## CHƯƠNG V

# LẬP CHƯƠNG TRÌNH GIA CÔNG TRÊN MÁY

Trước khi lập chương trình gia công chi tiết, người lập trình cần phải có đầy đủ các tài liệu cần thiết cũng như cần phải nắm vững các kỹ thuật lập trình.

Các tài liệu bao gồm:

- Bản vẽ chi tiết và các yêu cầu kỹ thuật kèm theo như độ nhám bề mặt, độ chính xác kích thước (thể hiện bằng dung sai), độ chính xác về vị trí tương quan, vật liệu chi tiết gia công và các yêu cầu về gia công nhiệt.

- Quy trình công nghệ và trình tự các nguyên công hay bước công nghệ trên cơ sở phân tích các chuyển động có thể thực hiện được trên mỗi một máy NC và các khả năng đạt độ chính xác và các yêu cầu kỹ thuật khác.

- Các thông số của máy NC: Như công suất có thể lớn nhất của trục chính, của bàn chạy phôi hay dao, các thông số và khoảng tốc độ cắt hay tốc độ dịch chuyển có thể của máy.

- Nắm vững hệ điều khiển của máy là  $2D$ ,  $3D$ ,  $2D\frac{1}{2}$ ,  $4D$  hoặc  $5D$  và khả năng xử lý với độ chính xác cho phép.

- Nắm vững các loại dụng cụ, mã hóa các số hiệu dao, thông số cắt gọt ( $v$ ,  $s$ ,  $t$ ) và tuổi bền của dao.

- Biết cách sử dụng các loại dụng cụ đo để đo kiểm chi tiết và dụng cụ cắt theo cách đo trực tiếp trên dụng cụ hay đo ngay trên máy.

- Thông thạo với các bảng mã  $G$  code và  $M$  code.

- Biết xác định quỹ đạo dịch chuyển của lưỡi cắt dụng cụ, xác định các thông số cắt gọt tại từng đoạn theo yêu cầu của vật liệu chi tiết gia công và chế độ gia công.

- Thông thạo các phép tính toán lượng giác.

Để lập chương trình gia công chi tiết hoặc soạn thảo một chương trình mô phỏng, người ta phải đặt nó vào trong một hệ tọa độ cố định gắn với chi tiết. Việc đặt gốc tọa độ ở đâu là tùy thuộc vào điều kiện sao cho đơn giản nhất trong quá trình lập trình ( giảm được khối lượng tính toán).

Quá trình lập chương trình gia công chi tiết có thể sử dụng hệ tọa độ tuyệt đối và tương đối hoặc phối hợp giữa hệ tọa độ tuyệt đối và hệ tọa độ tương đối.

## 5.1 phương pháp chung khi lập chương trình gia công

Theo nguyên tắc chung khi lập chương trình gia công thì thông thường người ta quan tâm đến các yếu tố hình học mà theo đó các lệnh điều khiển các chức năng dịch chuyển dụng cụ theo một quỹ đạo đã được thiết lập trên bản vẽ. Vấn đề chiều dày lớp cắt tối ưu hoặc cách thức tiến hành ăn dao như thế nào thông thường đã có các chức năng hỗ trợ nằm trong các chương trình con hay các chu trình gia công thô, bán tinh hoặc tinh. Các chu trình này được quy định theo từng loại hệ thống điều khiển do nhà chế tạo cung cấp và người cán bộ lập trình cần phải thông thạo để sử dụng khi cần.

Từ bản vẽ chế tạo chi tiết và bản vẽ sơ đồ nguyên công, ta chia *contua* (đường biên hay biên dạng) thành các đoạn thẳng, các đường cong, tính toán tọa độ của các điểm cắt nhau giữa 2 đoạn thẳng, đường cong và đoạn thẳng hoặc 2 cung cong; tính toán các điểm tiếp xúc giữa đường thẳng và đường cong hoặc giữa 2 đường cong dựa trên cơ sở của hệ tọa độ *Décard* như đã nói trước đây.

Chọn hành trình cắt và viết các lệnh dịch chuyển lưỡi cắt của dụng cụ theo các điểm trên *contua* theo trình tự từ tọa độ của điểm bắt đầu đến tọa độ của điểm đến cho đến vị trí cuối cùng của biên dạng.

Lựa chọn dao cắt cho trên mỗi đoạn gia công một cách thích hợp với quá trình gia công thô hay tinh và tránh tình trạng xảy ra sự tiếp xúc hay va chạm giữa mặt sau dao và chi tiết gia công, giữa máy và đồ gá... , bổ sung vào các điều kiện khác như dừng máy có thời gian, tạm dừng để quan sát hay kiểm tra, tưới hoặc tắt dung dịch trơn nguội, thay dao...

Bổ sung thêm các lệnh về công nghệ liên quan đến chế độ gia công như gia công thô, tinh..., các lệnh bù dao, lệnh sử dụng hệ thống tọa độ, đơn vị đo...

Sau khi đã soạn thảo xong chương trình, cần phải đưa nó vào hệ thống điều khiển số của máy để thực hiện việc gia công. Người lập trình phải biết sử dụng các chức năng và các thao tác cần thiết như dịch chuyển điểm gốc, bù dao... ở trên các cụm CNC.

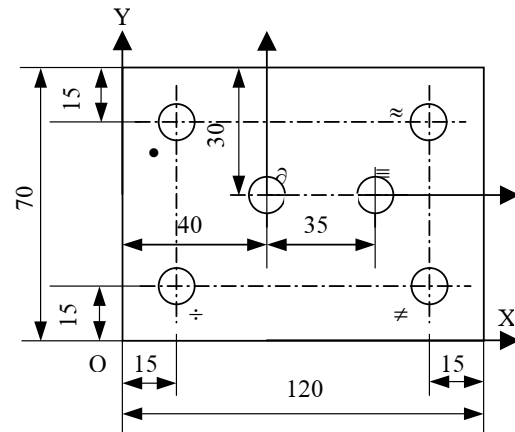
Sau khi đã chuyển chương trình gia công vào trong máy, cần phải thực hiện chạy thử bằng kỹ thuật mô phỏng để kiểm tra lại lần cuối và sửa chữa chương trình nếu có sai sót. Chỉ khi nào đảm bảo chắc chắn rằng không còn lỗi thì mới có thể thực hiện việc gia công thực.

Ví dụ 1:

Gia công các lỗ trên chi tiết theo các tọa độ sau:

Người ta tiến hành thiết lập tọa độ của các điểm trong hệ tọa độ tuyệt đối hay tương đối như sau:

G90			G91		
Điểm	X	Y	Điểm	X	Y
1	40	40	1	40	40
2	15	55	2	-25	15
3	15	15	3	0	-40
4	105	15	4	90	0
5	75	40	5	-30	25
6	105	55	6	30	15



Hình 5-1: Bản vẽ chế tạo chi tiết

### a. Lập chương trình gia công trong hệ tọa độ tuyệt đối

%

N5 G90 G21G40 G97 G94 (Hệ tọa độ tuyệt đối; Đơn vị đo mm; Huỷ  
bổ bù dao; Quy định về tốc độ cắt là vg/ph, lượng tiến dao mm/ph)

N10 M06 T01 (Thay dao tự động, số hiệu dao T01 là mũi khoan)

N15 G00 X0 Y0 Z5 (Chạy dao nhanh đến tọa độ X0, Y0 và Z5)

N20 M03 S1000 (Trục chính quay theo chiều thuận kim đồng hồ,  
tốc độ quay 1000vg/ph)

N25 X40 Y40 (Chạy dao nhanh đến điểm P1)

N30 G01 Z-15 F100 M08 (Gia công lỗ 1 với chiều sâu lỗ gia công là 15 mm,  
lượng tiến dao 100mm/ph, tưới dung dịch bằng phun tia)

N35 G00 X15 Y55 Z5 (Rút dao nhanh lên khỏi lỗ và  
chạy dao nhanh đến điểm P2)

N40 G01 Z-15 (Gia công lỗ 2 với chiều sâu 15mm, các thông số  
cắt gọt như khi gia công lỗ 1)

N45 G00 X15 Y15 Z5 (Chạy dao nhanh đến điểm P3)

N50 G01 Z-15 (Gia công lỗ 3 với chiều sâu 15mm)

N55 G00 X105 Y15 Z5 (Chạy dao nhanh đến điểm P4)

N60 G01 Z-15	(Gia công lỗ 4 với chiều sâu 15 mm)
N65 G00 X75 Y40 Z5	(Chạy dao nhanh về điểm P5)
N70 G01 Z-15	(Gia công lỗ 5 với chiều sâu 15mm)
N75 G00 X105 Y55 Z5	(Chạy dao nhanh đến điểm P6)
N80 G01 Z-15	(Gia công lỗ 6 với chiều sâu 15mm)
N85 G00 X0 Y-50 Z100	(Chạy dao nhanh về điểm có tọa độ X0, Y-50 và Z100)
N90 M05 M28	(Dừng trục chính và tự động trở về điểm chuẩn)
N95 M02	(Kết thúc chương trình)

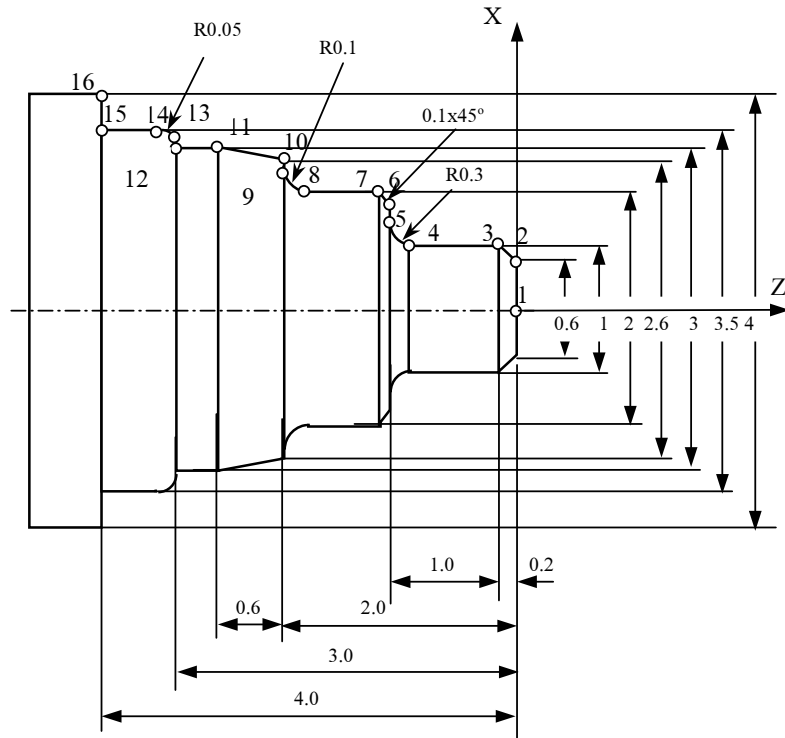
### **b. Lập chương trình gia công trong hệ tọa độ tương đối**

%	
N5 G91 G21 G40 G97 G94	(Hệ tọa độ tuyệt đối; Đơn vị đo mm; Huỷ bỏ bù dao; Quy định về tốc độ cắt là vg/ph, lượng tiến dao mm/ph)
N10 M06 T01	(Thay dao tự động, số hiệu dao T01 là mũi khoan)
N15 G00 X0 Y0 Z5	(Chạy dao nhanh đến tọa độ X0, Y0 và Z5)
N20 M03 S1000	(Trục chính quay theo chiều thuận kim đồng hồ, tốc độ quay 1000vg/ph)
N25 X40 Y40	(Chạy dao nhanh đến điểm P1)
N30 G01 Z-15 F100 M08	(Gia công lỗ 1 với chiều sâu lỗ gia công là 15 mm, lượng tiến dao 100mm/ph, tưới dung dịch bằng phun tia)
N35 G00 X-25 Y15 Z5	(Rút dao nhanh lên khỏi lỗ và chạy dao nhanh đến điểm P2)
N40 G01 Z-15	(Gia công lỗ 2 với chiều sâu 15mm, các thông số cắt gọt như khi gia công lỗ 1)
N45 G00 X0 Y-40 Z5	(Chạy dao nhanh đến điểm P3)
N50 G01 Z-15	(Gia công lỗ 3 với chiều sâu 15mm)
N55 G00 X90 Y0 Z5	(Chạy dao nhanh đến điểm P4)
N60 G01 Z-15	(Gia công lỗ 4 với chiều sâu 15 mm)
N65 G00 X-30 Y25 Z5	(Chạy dao nhanh về điểm P5)
N70 G01 Z-15	(Gia công lỗ 5 với chiều sâu 15mm)
N75 G00 X30 Y15 Z5	(Chạy dao nhanh đến điểm P6)
N80 G01 Z-15	(Gia công lỗ 6 với chiều sâu 15mm)
N85 G00 X-105 Y-105 Z100	(Chạy dao nhanh về điểm có tọa độ X-105, Y-105 và Z100)
N90 M05 M28	(Dừng trục chính và tự động trở về điểm chuẩn)
N95 M02	(Kết thúc chương trình)

Ví dụ 2:

Có chi tiết như hình vẽ, viết chương trình gia công trong hệ FANUC.

Điểm	X	Z
1	0	0
2	0.6	0
3	1	-0.2
4	1	-0.7
5	1.6	-1
6	1.8	-1.8
7	2	-1.1
8	2	-1.9
9	2.2	-2
11	3	-2.6
12	3	-3
13	3.4	-3
14	3.5	-3.05
15	3.5	-4
16	4	-4



Chương trình gia công:

Kích thước phối: Đường kính 4"; Chiều dài 5".

Dụng cụ: Dao tiện phải cắt thô #1; Dao tiện phải cắt tinh #2.

Hình 5-2: Bản vẽ chi tiết gia công

%

N5 G90 G20 G40

[Hệ tọa độ tuyệt đối; Đơn vị đo inch;  
hủy bỏ bù bán kính dao]

N10 T0101

[Thay đổi dụng cụ]

N15 M03

[Trục chính quay theo chiều kim  
đồng hồ]

N20 G00 Z0.1 M07

[Dịch chuyển nhanh đến tọa độ  
Z0.1; Mở dung dịch bôi trơn]

N25 G71 P30 Q105 U0.05 W0.05 D625 F0.012

[Gọi chu trình gia công thô  
ăn dao dọc, Block bắt đầu N30, Block kết thúc N105,

*lượng dư còn thừa lại cho gia công tinh theo bán kính 0.05 và dọc trục 0.05, chiều sâu lớp cắt 0.0625, lượng chạy dao 0.012inch/vg]*

N30 G01 X0 Z0	<i>[ Nội suy đường thẳng đến #1]</i>
N35 X0.6	<i>[Nội suy đường thẳng đến #2]</i>
N40 X1 Z-0.2	<i>[ Nội suy đường thẳng đến #3]</i>
N45 Z-0.7	<i>[Nội suy đường thẳng đến #4]</i>
N50 G0.2 X1.6 Z-1.0 I0.3 K0	<i>[Nội suy vòng tròn theo chiều kim đồng hồ đến #5]</i>
N55 G01 X1.8	<i>[Nội suy đường thẳng đến #6]</i>
N60 X2.0 Z-1.1	<i>[ Nội suy đường thẳng đến #7]</i>
N65 Z-1.9	<i>[Nội suy đường thẳng đến #8]</i>
N70 G02 X2.2 Z-2.0 I0.1 K0	<i>[Nội suy vòng tròn theo chiều kim đồng hồ đến #9]</i>
N75 G01 X2.6	<i>[Nội suy đường thẳng đến #10]</i>
N80 X3.0 Z-2.6	<i>[Nội suy đường thẳng đến #11]</i>
N85 Z-3.0	<i>[Nội suy đường thẳng đến #12]</i>
N90 X3.4	<i>[Nội suy đường thẳng đến #13]</i>
N95 G03 X3.5 Z-3.05 I0 K-0.05	<i>[Nội suy vòng tròn ngược chiều kim đồng hồ đến #14]</i>
N100 G01 Z-4.0	<i>[Nội suy đường thẳng đến #15]</i>
N105 X4.0	<i>[Nội suy đường thẳng đến #16]</i>
N110 G00 Z3.0 T0100	<i>[Dịch chuyển nhanh đến Z3.0]</i>
N115 T0202	<i>[ Thay dao #2 -T0202]</i>
N120 G00 Z0.1	<i>[ Chạy dao nhanh đến Z0.1]</i>
N125 G70 P30 Q105 F0.006	<i>[Gọi chu trình gia công tinh với lượng chạy dao F=0.006 inch/vg]</i>
N130 G00 Z3.0 M09	<i>[ Chạy dao nhanh về Z3.0 và tắt dụng dịch trơn nguội]</i>
N135 T0200 M05	<i>[Huỷ bỏ bù bán kính dao #2 và dừng trục chính]</i>
N140 M02	<i>[ Kết thúc chương trình]</i>

