

NHỮNG KHÍA CẠNH CÔNG NGHỆ CỦA ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MÁY CÔNG CỤ ĐIỀU KHIỂN SỐ

Trần Văn Khiêm

Đào Văn Hiệp

TÓM TẮT

Bài báo trình bày những biến động xảy ra trong quá trình cắt gọt kim loại trên máy công cụ, ảnh hưởng của chúng và của lực cắt đến hệ thống công nghệ và đến chất lượng của công trình. Dựa vào quá trình phân tích các biến dạng điều khiển quá trình công nghệ các tác giả đã chỉ ra những ưu điểm và nhược điểm của máy CNC thông thường, từ đó làm nổi bật ưu điểm của điều khiển thích nghi và chứng minh luận điểm, điều khiển thích nghi là sự phát triển tất yếu của CNC.

ABSTRACT

This article presents the changes occurred during the process of metal cutting, their effects and influence of cutting force on the processing quality as well as technological system. In the article, the diagrams, by which the processes are controlled, are proposed and analyzed in order to find out the advantages and disadvantages of traditional CNC (Computer Numerical Control). The article also focuses on analyzing all technological aspects of the Adaptive Control (AC) to conclude that the AC is logical development of CNC.

I. ĐÔI NÉT VỀ NHỮNG BIẾN ĐỘNG TRONG QUÁ TRÌNH GIA CÔNG

Trong gia công cắt gọt kim loại thường gặp những biến động: của cơ tính vật liệu gia công; của hình dạng và kích thước chi tiết gia công; khả năng cắt gọt của dụng cụ cắt; độ cứng vững của hệ thống công nghệ.

Sự biến động của cơ tính vật liệu gia công (phôi): Khi gia công, vật liệu phôi thường được coi là đồng nhất. Nhưng trong thực tế điều đó không phải lúc nào cũng xảy ra, nhất là với các phôi đúc, rèn, hàn,... Sự thay đổi cơ tính của vật liệu gia công cũng xảy ra ngay trong khi cắt gọt. Biến dạng dẻo của vật liệu trong vùng cắt sẽ dẫn đến biến cứng. Ở lớp cắt sau dao phải ăn vào lớp biến cứng do lớp trước để lại. Chẳng hạn, trên lớp vỏ phôi rèn hoặc xung quanh mối hàn, vật liệu bị chai cứng, rất khó cắt gọt, chỉ khi cắt sâu vào trong lòng vật liệu thì điều kiện cắt mới dần dần được cải thiện và trở lại bình thường. Như vậy, cơ tính của vật liệu gia công là một trong những thông số đầu vào quan trọng nhất của quá trình gia công, nó thường xuyên bị biến động làm cho quá trình cắt gọt và các thông số đầu ra của nó cũng bị biến động thường xuyên.

Sự biến động của hình dạng và kích thước chi tiết gia công là yếu tố biến động nhiều nhất, thường xảy ra nhất và gây ảnh hưởng nhiều nhất đến tính ổn định của quá trình cắt gọt. Các nguyên nhân gây nên những biến động trên có thể là *kết cấu của phôi*. Ít khi gặp được phôi có hình dạng đồng đều mà thường có sự khác nhau về độ rộng, hẹp, cao, thấp... giữa các vùng. Độ dày của phôi thay đổi, dẫn đến sự thay đổi của chiều sâu cắt, lực cắt và công suất các động cơ chạy dao. Mặt khác, bề rộng phôi thay đổi cũng gây nên những thay đổi tương tự của các thông số ra. Sự không bằng phẳng của bề mặt phôi được tạo bằng phương pháp đúc, rèn, hàn... cũng khiến cho bề mặt phôi gồ ghề.

Sự biến động về khả năng cắt của dụng cụ cắt. Đó là hiện tượng cùn dao. Biểu hiện của nó là tăng lực cắt, tăng nhiệt độ vùng cắt, tăng biến dạng hệ thống công nghệ, gây rung động... Tác hại của cùn dao là tăng sai số gia công, làm xấu chất lượng bề mặt chi tiết, gây nên các sự cố kỹ thuật như cong vênh, nứt vỡ dao, chi tiết và đồ gá. Khả năng cắt của dụng cụ là yếu tố biến động thường xuyên và rất khó xác định trong quá trình gia công.

Sự biến động về độ cứng vững của hệ thống công nghệ (HTCN): Độ cứng vững I của hệ thống (hay chi tiết) là tỷ số giữa lực P tác động lên hệ thống (hay chi tiết) với lượng biến dạng Y của nó được biểu diễn bằng biểu thức:

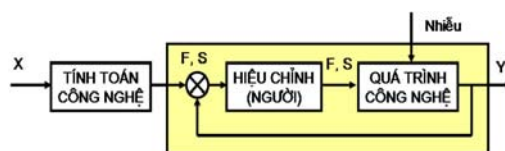
$$I = \frac{P}{Y} \quad (N / \mu m)$$

Người ta quan tâm nhiều nhất đến biến dạng của hệ thống dưới tác dụng của *lực cắt*. Lực cắt càng lớn thì sai số kích thước do biến dạng của HTCN càng lớn. Độ cứng vững còn phụ thuộc các yếu tố động học, mà chủ yếu là lực cắt. Vì có quá nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ cứng vững của hệ thống và sự biến động theo thời gian của chúng quá phức tạp, nên tính toán và điều khiển độ cứng vững của HTCN là điều hết sức khó khăn. Ngoài các yếu tố bên trong đã nói ở trên, quá trình công nghệ cắt gọt còn chịu tác động của môi trường xung quanh, gọi là các yếu tố bên ngoài, đó là nhiệt độ của môi trường và rung động của nền móng.

II. KHÁI QUÁT VỀ ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ

Để quá trình gia công cắt gọt đạt được kết quả mong muốn thì quá trình công nghệ cần phải được điều khiển. Có thể nói lịch sử phát triển của khoa học công nghệ chế tạo máy gắn liền với lịch sử phát triển của kỹ thuật điều khiển quá trình. Nhìn lại các thế hệ máy công cụ, có thể thấy rõ sự phát triển của kỹ thuật điều khiển máy thông thường đến máy tự động cơ-điện và tiếp đến máy điều khiển số. Trình độ giám sát và điều khiển quá trình của thế hệ máy sau tiên bộ hơn thế hệ máy trước.

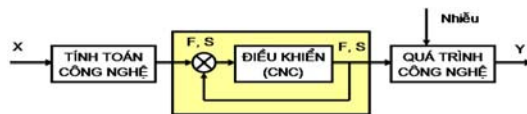
Điều khiển quá trình theo công nghệ truyền thống (hình1) [1] gắn liền với máy vạn năng, do con người điều khiển bằng tay, không có điều khiển tự động. Quá trình công nghệ thực chứa đựng sự tương tác cơ, lý, hoá giữa các yếu tố của hệ thống và các yếu tố nhiễu loạn. Thông số đầu vào X của hệ thống là thông số công nghệ (tốc độ cắt S và lượng chạy dao F), thông số đầu ra Y là kết quả gia công. Chức năng điều khiển (tương ứng với vùng tô màu) hoàn toàn do con người thực hiện. Họ căn cứ yêu cầu công nghệ X để tính toán các thông số công nghệ, đặt chúng vào máy, giám sát kết quả đầu ra Y để thực hiện các hiệu chỉnh cần thiết. Trong sơ đồ này hoàn toàn không có yếu tố tự động điều khiển. Người công nhân hiệu chỉnh quá trình theo thông số ra Y (quá trình công nghệ nằm trong vòng điều khiển) nên hệ thống có khả năng thích ứng với biến động của nó mặc dù không đạt được độ chính xác và độ nhạy cần thiết.



Hình 1. Sơ đồ điều khiển QTCN truyền thống

Điều khiển quá trình với CNC (hình 2) [1]. Khi thực hiện quá trình công nghệ trên máy CNC, việc tính toán các chế độ công nghệ vẫn do con người thực hiện. Bộ điều khiển chỉ thay thế con người trong việc đưa các thông số công nghệ (S, F) vào máy và điều khiển máy hoạt động theo các giá trị đã ấn định. Bộ CNC thực hiện tự động khâu nhận, đọc, giải mã chương

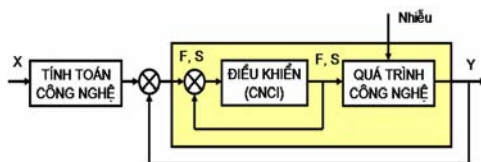
trình, tính toán và điều khiển hệ thống theo đúng trình tự và thông số công nghệ quy định sẵn trong chương trình NC.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển QTCN với máy CNC

Mục tiêu điều khiển trong trường hợp này là các thông số công nghệ (S, F) chứ không phải là các thông số ra (Y) của quá trình. Chất lượng của quá trình hoàn toàn phụ thuộc vào tính đúng đắn của phép tính thông số công nghệ ban đầu. Quá trình công nghệ nằm ngoài vòng điều khiển của bộ CNC nên nó không thể nhận biết và không thể phản ứng trước các biến động (nhiều loạn) xảy ra trong quá trình công nghệ và những biến động của thông số ra Y . Vì vậy, bộ CNC được gọi là bộ điều khiển tĩnh (*Fixed Controller*).

Điều khiển thích nghi (ĐKTN) quá trình công nghệ (hình 3) [1]. Muốn tự động kiểm soát kết quả gia công, bộ điều khiển phải có khả năng nhận biết những thay đổi của các thông số ra Y hoặc các thông số môi trường, có khả năng bù trừ hoặc hạn chế biến động của chúng, nhằm duy trì sự làm việc bình thường hoặc đảm bảo hiệu quả cao nhất cho quá trình. Hệ thống điều khiển có khả năng tự thay đổi các thông số hoặc cấu trúc trước những biến động của môi trường được gọi là hệ điều khiển thích nghi (*Adaptive Controller-AC*).



Hình 3. Sơ đồ ĐKTN quá trình công nghệ

Trong hệ thống này, con người chỉ phải tính chế độ gia công. Bộ CNC vẫn giữ chức năng nhận và duy trì thông số công nghệ đã định. Bộ AC giám sát thông số ra hoặc thông số môi trường, ra quyết định điều khiển và lệnh cho bộ CNC thực hiện các hiệu chỉnh cần thiết. Việc giám sát và hiệu chỉnh chế độ công nghệ được thực hiện trong thời gian thực, khiến máy công cụ làm việc với chế độ gia công S_2, F_2 khác với chế độ gia công tính toán S_1, F_1 , đảm bảo giá trị hợp lý nhất của thông số ra. Về cấu trúc logic, sơ đồ AC trong hình 3 tương tự như sơ đồ điều khiển bằng tay trong hình 1, nhưng chức năng AC do máy móc thực hiện nên đảm bảo được độ chính xác và độ nhạy cao. Từ phân tích về những ưu điểm và hạn chế của CNC truyền thống, có thể rút ra kết luận "*Điều khiển thích nghi là sự phát triển logic của CNC*".

III. PHÂN TÍCH VỀ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI THEO QUAN ĐIỂM CÔNG NGHỆ

1. Phân tích sai số máy CNC truyền thống

Hầu hết máy CNC truyền thống đều sử dụng kiểu điều khiển theo biên dạng, còn gọi là điều khiển *Contour*. Đối tượng nghiên cứu của đề tài cũng là các bộ điều khiển *Contour*. Khi điều khiển *Contour*, mỗi trục máy được dẫn động bằng một động cơ riêng, theo tín hiệu vào, dưới dạng xung do bộ nội suy phát ra. Bộ nội suy liên tục tính toán tọa độ các điểm trên quỹ đạo đã định, phát ra các xung tương ứng cho các trục để điều khiển chuyển động của chúng. Kết quả cuối cùng là chuyển động của dao (tổng hợp chuyển động của các trục) theo đúng quỹ đạo đã định. Mỗi xung do bộ nội suy phát ra tương ứng với một *đơn vị dài cơ sở (BLU)*. Trong điều khiển *Contour*, việc điều khiển vận tốc của các trục là hết sức hệ trọng vì đó là chuyển động có gia công (cắt gọt). Sai số điều khiển vận tốc này sẽ gây nên sai số kích thước gia công. Bộ điều khiển *Contour* cần phải điều khiển cả vận tốc lẫn vị trí nên cấu trúc của nó rất phức tạp.

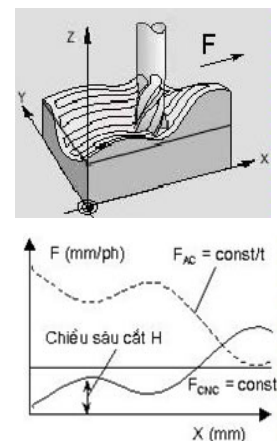
2. Những ưu điểm và hạn chế của CNC truyền thống

So với máy truyền thống và máy tự động cơ - điện thế hệ cũ, máy CNC có ưu thế nổi bật về tính linh hoạt, khả năng gia công chi tiết có hình dạng phức tạp với độ chính xác kích thước và độ bóng bề mặt cao, năng suất gia công cao, giảm các chi phí gia công... Độ chính xác kích thước và độ bóng bề mặt cao của chi tiết gia công trên máy CNC đạt được nhờ độ phân giải cao của hệ điều khiển và của hệ thống đo, độ chính xác, độ ổn định và độ cứng vững cao của hệ truyền động cơ khí. Máy CNC có thể gia công các chi tiết có hình dạng phức tạp nhờ khả năng phối hợp chính xác các chuyển động tạo hình phức tạp mà máy thông thường với sự điều khiển bằng tay của công nhân không thể thực hiện được.

Năng suất cao mà máy CNC đạt được chủ yếu là do giảm thời gian phụ, dành cho định vị, chạy không, thay dao, thay đổi chế độ gia công. Mặt khác, cũng nhờ đảm bảo độ chính xác cao và ổn định mà giảm được thời gian đo, thử trong và sau khi gia công. Khả năng tập trung nguyên công cao trên máy CNC cho phép giảm thời gian gá đặt, giảm sai số gá kẹp và cả giảm chi phí đồ gá. Trong khi trên máy thông thường, tỷ lệ giữa thời gian trực tiếp cắt gọt và tổng thời gian máy là 5 - 10% thì trên máy CNC tỷ lệ này là 60 - 80%. Trong chừng mực nhất định, máy CNC cũng cho phép giảm thời gian chính nhờ tăng tối đa S , F . Trong khi trên máy thông thường, chúng phụ thuộc tay nghề và trạng thái tâm, sinh lý của công nhân. Nhờ tích hợp được các thành tựu mới nhất trong kỹ thuật điều khiển và máy tính mà các hệ CNC hiện đại có nhiều tính năng tuyệt vời và phát triển rất nhanh. Cần phải kể đến việc tăng số trục điều khiển, tăng tốc độ và độ chính xác điều khiển, các tiện ích và giao diện, như tiện ích lập trình, mô phỏng, khả năng ghép mạng thiết bị trong FMS và CIM, truy cập internet,... Bản chất các hệ CNC hiện nay vẫn chỉ là điều khiển tĩnh với cấu trúc và các tham số hệ thống không đổi. Biểu hiện của nó về mặt công nghệ là tốc độ cắt và tốc độ chạy dao được thiết đặt cố định bởi lệnh trong chương trình NC và được duy trì cho đến khi có lệnh thiết đặt giá trị mới. CNC không thể nhận biết và phản ứng trước những biến động thường xuyên xảy ra trong quá trình.

3. Điều khiển thích nghi là sự phát triển logic của CNC

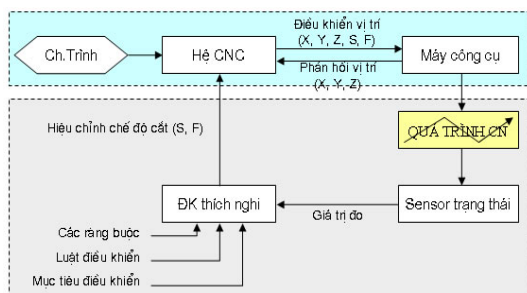
Phần trên đã phân tích một cách khái quát các yếu tố biến động của quá trình cắt gọt kim loại và ảnh hưởng của chúng đến các thông số ra của quá trình. Điều đáng nói ở đây là quy luật xuất hiện và tác động của chúng không thể lường trước được và mang nhiều tính ngẫu nhiên. Trong khi đó, công nghệ truyền thống và công nghệ CNC thông thường mới chỉ áp dụng các biện pháp để phòng ngừa hoặc hạn chế sự xuất hiện và ảnh hưởng của chúng trước khi gia công. Mà các biện pháp này mang tính bị động và bắt buộc phải giảm năng suất, tăng chi phí của quá trình. Người ta có thể nâng cao hiệu quả của quá trình mang các yếu tố biến động không biết trước bằng các biện pháp: sử dụng hệ điều khiển bền vững (Robust Control-RC); sử dụng hệ ĐKTN (Adaptive Control-AC). ĐKTN là biện pháp tích cực, cho phép giám sát sự biến động của các thông số ra và bù các thông số công nghệ ngay trong quá trình gia công. AC có khả năng tự thay đổi cấu trúc hoặc tham số để duy trì năng lực điều khiển trước những biến động của các thông số ra. Hình 4 [1] mô tả thực trạng một phôi có bề mặt gồ ghề dẫn đến sự thay đổi chiều sâu cắt H và lực cắt mà lực cắt là hàm của H . Trên máy CNC, để đảm bảo an toàn, người ta lập trình với tốc độ chạy dao F_{CNC} tương ứng với chiều sâu cắt và lực cắt lớn nhất. Mặc dù phần lớn thời gian máy gia công với chiều sâu và lực cắt nhỏ, thậm chí có vùng dao chạy qua không khí, hoàn toàn có thể tăng tốc độ chạy dao F nhưng máy CNC vẫn chỉ duy trì giá trị $F_{CNC} = \text{const}$.



Hình 4. Lượng chạy dao F không và có AC

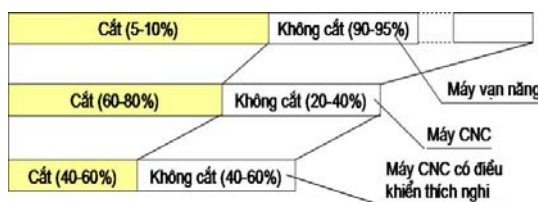
Nếu bộ điều khiển có khả năng đo lực cắt trong thời gian thực và duy trì cho tốc độ chạy dao F đạt giá trị cao nhất có thể với điều kiện lực cắt không vượt quá giá trị đặt nào đó thì đồ thị $F \equiv FAC$ sẽ thay đổi theo giá trị H .

Hình 5 mô tả sơ đồ máy CNC có AC [1]. Vùng trên là hệ CNC thông thường với các thông số điều khiển là các tọa độ X, Y, Z . Trong đó, S, F được xác định từ chương trình NC, không được phản hồi trực tiếp.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý máy CNC có ĐKTN

Quá trình công nghệ nằm ngoài vòng điều khiển, bộ CNC không có khả năng phản ứng với những biến động của quá trình. Vùng dưới là hệ AC, có nhiệm vụ đo các thông số trạng thái, lệnh cho CNC hiệu chỉnh S, F theo các ràng buộc, mục tiêu và luật điều khiển định trước. Như vậy, trong khi CNC chỉ nhận tín hiệu phản hồi vị trí của dao, không có khả năng tự động hiệu chỉnh S, F thì AC thường xuyên giám sát sự biến động và từ đó yêu cầu CNC hiệu chỉnh S, F cho phù hợp. Trên máy CNC thông thường, năng suất gia công tăng chủ yếu nhờ giảm thời gian phụ, còn AC năng suất gia công tăng bằng cách giảm thời gian chính. Mục tiêu của hầu hết các hệ AC là tăng năng suất khi gia công thô [3]. Hình 6 lý giải sự khác nhau về năng suất gia công trên máy vạn năng, máy CNC và máy CNC có điều khiển thích nghi. Máy CNC chủ yếu giảm thời gian phụ và phần nào có giảm thời gian chính. Máy CNC có AC vừa giảm thời gian phụ, vừa giảm đáng kể thời gian chính. Một số công trình nghiên cứu [1, 2, 3] cho thấy, năng suất gia công khi có AC tăng 20 - 80%, còn chi phí gia công chỉ bằng 40 - 50% so với gia công trên máy CNC thông thường.



Hình 6. So sánh năng suất gia công giữa các phương pháp điều khiển

Lợi ích rõ nhất của AC nhận được khi gia công với chiều sâu cắt thay đổi trong phạm vi rộng. Ngoài ra, AC còn cho phép giảm thời gian lập trình NC. Vì chế độ cắt sẽ được tự động hiệu chỉnh trong quá trình gia công nên người lập trình không cần bỏ ra nhiều thời gian để tính toán chính xác hoặc cố gắng tối ưu hóa chúng. Điều đó đặc biệt có ý nghĩa khi lập trình cho chi tiết phức tạp với chiều sâu cắt thay đổi. Cũng theo các tài liệu trên thì hiệu quả của ĐKTN còn phụ thuộc vào loại vật liệu gia công và vật liệu phần cắt của dao.

KẾT LUẬN CHUNG

Cắt gọt kim loại là quá trình tương tác cơ, lý, hoá rất phức tạp giữa dao và phôi, công nghệ cắt gọt kim loại vừa được coi là một khoa học, vừa được coi là một nghệ thuật. Điều đó

có nghĩa là các mô hình, các công thức tính toán chỉ cho phép xác định "thô" các thông số công nghệ cho những trường hợp chung nhất. Trong mỗi trường hợp riêng biệt, khi điều kiện gia công thay đổi thì các nhà công nghệ hoặc chính người công nhân phải dựa vào tình huống thực tế mà hiệu chỉnh các thông số. Họ là một khâu trong hệ điều khiển, cùng một lúc đảm nhiệm vai trò của bộ cảm biến, bộ xử lý tín hiệu và bộ điều khiển. *Nếu có một hệ thống đảm nhiệm được vai trò của người công nhân thì đó phải là một hệ ĐKTN.*

Gia công trên máy CNC còn chịu những sai số do các thông số động học và động lực học của hệ truyền động cơ khí tác động thông qua hệ điều khiển. Một phần của những tác động có nguồn gốc cơ học nói trên có thể bù được nhờ AC. Nhiều công trình nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, cho thấy AC là biện pháp hứa hẹn nhất trong điều khiển máy công cụ nhưng do những khó khăn về kinh tế, kỹ thuật mà việc áp dụng AC trong công nghiệp còn bị hạn chế.

Ở trên, chúng tôi mới trình bày tóm tắt bản chất của AC máy CNC và hiệu quả kinh tế khi áp dụng nó trong công nghiệp. Mục tiêu chính của đề tài là tìm hiểu những vấn đề kỹ thuật về ứng dụng AC trong cắt gọt kim loại, thử thiết lập một bộ AC ở Việt Nam, ghép nó với bộ CNC công nghiệp có sẵn và tiến hành những thử nghiệm về công nghệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đào Văn Hiệp, *Điều khiển thích nghi máy công cụ điều khiển số*, Tuyển tập báo cáo hội thảo toàn quốc lần thứ nhất về cơ điện tử, Hà Nội, 2002.
- [2]. Mssory O. and Yoram Koren, *Adaptive Control System for Turning*, CIRP Ann. vol. 20, 1980.
- [3]. Yoram Koren, *Computer Control of Manufacturing Systems*, McGraw-Hill, 1983.