

CẤU TRÚC VÀ THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI QUÁ TRÌNH GIA CÔNG

STRUCTURE AND ALGORITHM FOR ADAPTIVE CONTROL OF MACHINING PROCESS

Trần Văn Khiêm

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 29/3/2018, ngày phản biện đánh giá 17/4/2018, ngày chấp nhận đăng 2/7/2018.

TÓM TẮT

Điều khiển thích nghi (ĐKTN) là giải pháp điều khiển thông minh, linh hoạt, có khả năng tự thích ứng với những biến động bất thường của các yếu tố đầu vào, của các tham số của hệ thống và của môi trường. Trong công nghệ gia công cơ, ứng dụng ĐKTN là xu hướng phát triển tất yếu của CNC. Tuy nhiên, để có thể thiết kế ra các hệ ĐKTN đáp ứng yêu cầu của công nghiệp, cần phải giải quyết những vấn đề then chốt về cấu trúc hệ thống, thuật toán điều khiển cũng như kỹ thuật đo lường, điều khiển, ghép nối ĐKTN với CNC. Bài báo này giới thiệu cấu trúc và thuật toán ĐKTN đã được phát triển, cải tiến và thử nghiệm cho máy phay CNC trong nhiều năm qua. Kết quả thử nghiệm cho thấy bộ ĐKTN có khả năng hiệu chỉnh trực tuyến lượng chạy dao trước những biến động bất thường của chiều sâu cắt, cho phép tăng năng suất gia công đến 25% so với không có ĐKTN mà vẫn đảm bảo được chất lượng gia công.

Từ khóa: *Điều khiển thích nghi; CNC; điều khiển thích nghi theo giới hạn; điều khiển thích nghi có tối ưu hoá; bù hình học thích nghi.*

ABSTRACT

Adaptive Control (AC) is an intelligent and flexible control solution which has the capability of self-adapting to uncertainties in inputs, system parameters and the environment. In machining technology, the application of AC is the inevitable trend of CNC. However, in order to be able to design AC systems that meet the requirements of the industry, it is necessary to solve the key problems of system architecture, control algorithms as well as measurement, control and coupling AC with CNC. This paper presents the structure and algorithm of the AC, that have been developed, improved and tested on CNC milling machine for recent years. Testing results show that this AC is capable of on-line adjusting the feed rate against abnormal cutting depth variations and allows to increase the machining productivity of 25% compared to CNC without AC while still ensuring the process quality.

Keywords: *Adaptive control; CNC; Adaptive Control with Constraints; Adaptive Control with Optimization; Geometric Adaptive Compensation.*

1. PHẦN MỞ ĐẦU

Các hệ điều khiển số (CNC) hiện tại vẫn chủ yếu sử dụng các kỹ thuật truyền thống. Đó là các hệ điều khiển kín có tham số cố định, với nhiệm vụ chính là đảm bảo tính ổn định, chính xác của quỹ đạo chạy dao, khi các thông số đầu vào (chế độ cắt), các tham số của hệ thống công nghệ (HTCN) tiền định, được giả định là bất biến theo thời gian. Với

những đặc điểm trên, CNC truyền thống được liệt vào nhóm điều khiển cứng.

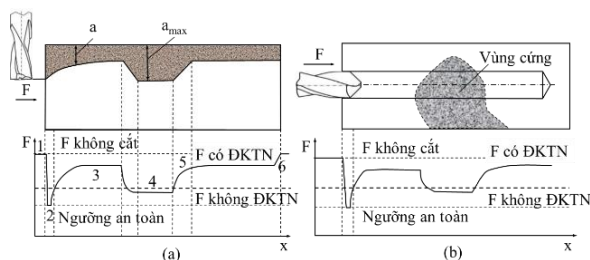
Khi thiết kế quá trình công nghệ (QTCN), người ta thường tính toán chế độ cắt theo nguyên tắc phòng ngừa, theo chiều sâu cắt lớn nhất, vật liệu cứng nhất, chi tiết ở trạng thái kém cứng vững nhất,... phải chấp nhận năng suất thấp hoặc giá thành cao. Ngay cả khi chế độ công nghệ ban đầu là hợp

lý hay tối ưu thì, do các yếu tố công nghệ luôn biến động trong thời gian gia công, tính hợp lý cũng nhanh chóng bị mất. Sai khác giữa giá trị tiền định và giá trị thực tế của các thông số hệ thống gây nên tính bất định của các yếu tố đầu vào. Tính bất định có thể gặp ở chiều sâu cắt, cơ tính vật liệu gia công, độ cứng vững của chi tiết trong khi gia công, khả năng cắt của dao do mòn, sứt mẻ,... Hình 1 minh họa vài trường hợp điển hình. Sự biến động lớn của chiều sâu cắt (a) hay cơ tính vật liệu (b), dẫn đến sự thay đổi lực cắt, ảnh hưởng đến kích thước và chất lượng bề mặt gia công. Trong công nghệ truyền thống, chế độ cắt (ví dụ lượng chạy dao F) được chọn theo tình huống xấu nhất ($a = a_{max}$ hoặc $HB = HB_{\text{Vùng cứng}}$) nên có giá trị nhỏ (F -không ĐKTN). Điều đó gây lãng phí: thời gian cắt trong các điều kiện cực đoan đó rất ngắn nên trong hầu hết thời gian gia công, hệ thống làm việc dưới khả năng

chạm; (3) phục hồi F tương ứng với a thực; (4) khi gặp a_{max} , giảm F đến xấp xỉ F -không ĐKTN; (5) tăng F khi a giảm trở lại; (6) dần dần tăng F đến F -không cắt khi dao dần ra khỏi phôi. Tổng hợp lại, F trung bình sẽ lớn hơn F -không ĐKTN. Với trường hợp (b), luật ĐKTN theo độ cứng của vật liệu được xây dựng tương tự.

Các ví dụ trên cho thấy, ĐKTN là giải pháp thông minh, mềm dẻo, cho phép tăng năng suất gia công, nâng cao độ an toàn của hệ thống. Theo Koren [1], năng suất gia công có ĐKTN tăng 20-80%, còn chi phí gia công chỉ bằng 40-50% so với CNC thông thường.

Gia công cơ là quá trình rất phức tạp, khó mô tả tường minh bằng toán học. Mặt khác, còn nhiều vấn đề về kỹ thuật, như đo trực tuyến các thông số công nghệ, kết nối bộ ĐKTN với CNC, thuật toán xử lý số liệu và ra quyết định đáp ứng yêu cầu điều khiển thời gian thực,... vẫn chưa giải quyết được. Điều đó giải thích, vì sao kỹ thuật ĐKTN đã khá phát triển và ý tưởng ứng dụng nó vào gia công cơ đã xuất hiện từ nhiều thập kỷ trước [1], [2] nhưng cho đến nay số hệ ĐKTN được ứng dụng trong công nghiệp vẫn còn rất ít. Ở Việt Nam, ngoài bộ ĐKTN được thiết lập lần đầu tại Học viện KTQS từ năm 2003 [3] đến nay vẫn chưa thấy có hệ nào được công bố trên các diễn đàn khoa học. Bài báo này trình bày giải pháp cấu trúc và giải thuật ĐKTN đã được hình thành [3], [4], đang được phát triển và có phạm vi ứng dụng được mở rộng [5], [6].



Hình 1. Cơ chế điều khiển thích nghi

Vì quá trình gia công nằm ngoài vòng điều khiển của CNC nên nó không thể nhận biết các biến động dạng trên và không xử lý được. Nói cách khác, CNC cứng dựa trên các yếu tố tiền định không thể đảm bảo và duy trì chế độ công nghệ hợp lý theo thời gian thực.

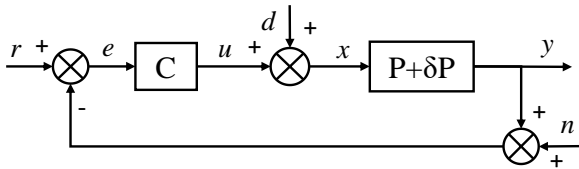
ĐKTN dựa trên nguyên tắc hoàn toàn khác: bao quát cả quá trình gia công; giám sát trực tuyến (GSTT), theo thời gian thực hiệu năng gia công (Performance Index - PI), như lực cắt, độ nhám bề mặt, năng suất, chi phí,..., xác định các yếu tố ảnh hưởng xấu đến hiệu năng và bù chúng. Với trường hợp hình (a), có thể tạo ra bộ ĐKTN để thực hiện quy luật F -có ĐKTN như sau: (1) khi chưa chạm phôi, dao chạy nhanh (F -không cắt); (2) khi dao bắt đầu chạm phôi, F giảm nhanh đến ngưỡng an toàn, để giảm xung lực và

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THỰC TIỄN CỦA ĐKTN MÁY CNC

2.1. Khái niệm điều khiển thích nghi

ĐKTN là cách mà kỹ thuật học từ thiên nhiên: sinh vật tự biến đổi mình để thích ứng với những biến động của môi trường sống. Thiết kế bộ điều khiển theo phương pháp truyền thống dựa trên giả thiết thông tin về đối tượng điều khiển là đầy đủ và chính xác, các thông số của hệ thống không đổi, điều kiện làm việc được giả định hoặc lý tưởng hoá, không có nhiễu, dụng cụ đo chuẩn xác và ổn định,... Nhưng trên thực tế luôn tồn tại các yếu

tổ bất định, như (Hình 2): các thông số của đối tượng (P) không xác định được, không đầy đủ, và luôn có lượng biến động δP ; có nhiễu của môi trường (d); thiết bị đo có tạp âm (n),... Không quan tâm đến nguyên nhân và vị trí phát sinh, Landau [7] gọi chúng là nhiễu.



Hình 2. Mô hình điều khiển kín có tính đến các yếu tố bất định và nhiễu

Các bộ điều khiển truyền thống đều có khả năng kháng nhiễu nhất định nhưng chưa phải ĐKTN. Hệ ĐKTN phải có khả năng *tự nhận biết* các yếu tố bất định trong thời gian thực, *tự biến đổi* tham số hoặc cấu trúc, hoặc cả hai để *thích nghi*. Nhiệm vụ của của ĐKTN không phải đảm bảo sự ổn định, chính xác của đầu ra (đó là nhiệm vụ của bộ điều khiển chính) mà là đảm bảo PI yêu cầu. PI có thể là đại lượng đo được trực tiếp, có thể không đo được mà phải tổng hợp, phán đoán dựa trên các đại lượng đo được, nên hệ thống đo, phân tích và đánh giá PI trong ĐKTN rất phức tạp.

2.2. Các dạng ĐKTN quá trình gia công cơ

Trong gia công cơ, ĐKTN được chia thành 3 dạng [1]: ĐKTN theo giới hạn (*Adaptive Control with Constraints - ACC*), ĐKTN có tối ưu hoá (TUH) (*Adaptive Control with Optimization - ACO*) và ĐKTN hình học (*Geometric Adaptive Control - GAC*), còn gọi là *bù hình học* thích nghi (*Geometric Adaptive Compensation - GAC*).

Mục tiêu của ACC là *nâng cao tối đa một hay nhiều thông số đầu vào (chế độ cắt)*, với điều kiện ràng buộc: một hay vài thông số đầu ra *không vượt quá giới hạn cho phép*. Thường ACC giúp tăng năng suất gia công, đồng thời hạn chế biến dạng của phôi và dao, hạn chế biên độ dao động,... nhằm giảm sai số gia công hoặc đảm bảo an toàn. Do đó, ACC được ứng dụng chủ yếu trong gia công thô, khi cơ tính vật liệu và lượng dư gia công có biến động lớn, hoặc gia công các vật liệu khó

gia công, như hợp kim Ti, Ni hay thép không gỉ. Trong ACC, thông số đầu ra được giám sát và hạn chế thường là lực cắt, mô men hoặc công suất trục chính; thông số đầu vào được hiệu chỉnh thường là lượng chạy dao, đôi khi là tốc độ cắt hoặc tốc độ trục chính.

ACO nhằm TUH trực tuyến chế độ cắt hay các thông số công nghệ khác để đạt tốt nhất PI nhất định (thường là các chỉ tiêu kinh tế), có tính đến các điều kiện ràng buộc. Nói cách khác, ACO là sự kết hợp giữa kỹ thuật ĐKTN với TUH trực tuyến.

GAC là bù thích nghi các sai số hình học của chi tiết gia công, gây nên bởi sự biến động của nhiệt độ, sai số hình học của máy, mòn dao,... bằng cách hiệu chỉnh các thông số công nghệ, nhằm đảm bảo độ chính xác và chất lượng bề mặt gia công. Vì vậy GAC được ứng dụng chủ yếu trong gia công tinh. Thực chất, *GAC* không phải ĐKTN, nên trong nhiều tài liệu, chữ *C* của nó được hiểu là *Compensation* (bù) thay vì *Control* (điều khiển).

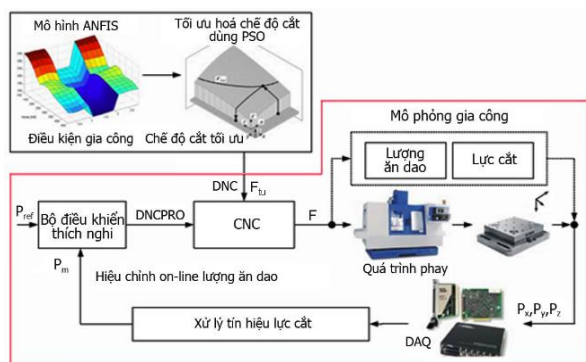
Trong 3 dạng ĐKTN kể trên, mới có ACC được ứng dụng trong công nghiệp. Lý do chính khiến ACO và GAC chưa có ứng dụng thực tế là chưa thể GSTT được các PI [1].

2.3. Một số hệ ACC hiện có

Nhờ tính khả thi về kỹ thuật, hiện nay ACC là dạng ĐKTN có triển vọng ứng dụng cao nhất trong công nghiệp. Đã xuất hiện nhiều hệ ACC, trong đó một số đã được thương mại hóa.

Năm 2003, trong khuôn khổ đề tài KHCN cấp Bộ Quốc phòng, Bộ môn Máy Tự động và Robot, Học viện KTQS đã thiết kế, chế tạo thành công một hệ ACC cho máy phay [3]. Sau đó, nghiên cứu được tiếp tục mở rộng về thuật toán, công cụ xử lý và ứng dụng. Cấu trúc và thuật toán cho các hệ này là chủ đề chính của bài báo, sẽ được trình bày ở mục 2.

Năm 2006, trường Đại học Maribor, Slovenia đã công bố kết quả thực hiện ACC có TUH ngoại tuyến (Hình 3) [8].



Hình 3. Cấu trúc ACC của DH Maribor

Bộ ACC này có cấu trúc tương tự như của Học viện KTQS, kể cả thiết bị đo 3 thành phần lực cắt (P_x , P_y , P_z) gắn trên máy phay CNC. Điểm khác duy nhất là có thêm hệ TỰH ngoại tuyến, dùng thuật toán bầy đàn (PSO).

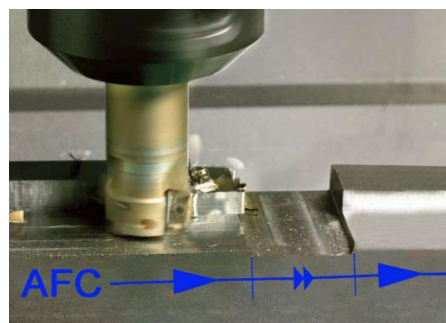
Năm 2011, Trường Đại học Nông nghiệp và Công nghệ Kenyatta (Kenya) đã công bố một hệ ĐKTN nhằm hạn chế biến dạng uốn của chi tiết khi mài tròn ngoài [9]. Bộ ACC này có cấu trúc tương tự với hai hệ trên, chỉ khác là tín hiệu lực cắt được chuyển thành lượng biến dạng, và dùng công cụ xử lý ANFIS thay vì PID (Học viện KTQS) và ANN (Maribor).

Các trường đại học và các viện nghiên cứu đã đi đầu trong phát hiện và nghiên cứu nền tảng của công nghệ mới, nhưng các nhà sản xuất, với nguồn lực và động cơ kinh tế mạnh mẽ có công đầu trong việc ứng dụng chúng vào công nghiệp, thương mại hoá sản phẩm.

Tháng 7-2004, Omat Ltd. (Israel) đưa ra thị trường một hệ ACC mang tên *Adaptive Control & Monitoring System (ACM)* với chức năng chính là GSTT công suất động cơ trực chính, trên cơ sở đó hiệu chỉnh lượng chạy dao đạt giá trị cao nhất với điều kiện công suất không vượt giới hạn cho trước [10]. Theo công bố mới nhất của Omative (<http://www.omative.com>), năm 2016 hãng này đã có hàng loạt phiên bản ACM cho các máy phay, tiện, mài, khoan,...

Trong khi Omat Ltd. đi theo hướng tạo ra các hệ ACC vạn năng, có thể tùy biến cho các hệ CNC của nhiều hãng khác nhau thì

Heidenhain (CHLB Đức), lại phát triển ACC bổ sung cho các dòng TNC của mình. Bắt đầu từ hệ iTNC-530, nay thêm TNC-640 được trang bị 3 modul phần mềm tùy chọn thuộc nhóm *Dynamic Efficiency* [11]. Như tên gọi, nhóm này giúp nâng cao hiệu năng động lực học cắt, phát huy tối đa năng suất khi cắt công suất cao (*high-performance cutting*), gia công thô các chi tiết có hình dạng phức tạp hoặc từ các vật liệu khó gia công, như hợp kim Ti, hợp kim Ni, thép không gỉ,... Modul ĐKTN lượng ăn dao (AFC) tương tự như các hệ ACC nói trên, chỉ khác là sử dụng tín hiệu công suất trục chính thay vì lực hoặc mô men cắt.



Hình 4. Công dụng của AFC

Hình 4 minh họa công dụng của AFC: khi dao đi qua rãnh (không cắt) thì tốc độ chạy dao tăng từ giá trị bình thường tự động tăng tối đa, sau đó trở lại bình thường khi có cắt. Theo công bố của Heidenhain thì sử dụng Dynamic Efficiency có thể tăng năng suất đến 25%.

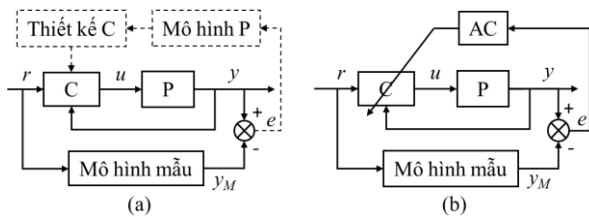
3. CẤU TRÚC VÀ THUẬT TOÁN ACC

Mục này giới thiệu cấu trúc và thuật toán ACC đã được thực hiện tại Học viện KTQS. Cấu trúc hệ thống được thiết kế từ năm 2003, hầu như không thay đổi, nhưng thuật toán đã được cải tiến nhiều lần để đáp ứng các nhu cầu mới nảy sinh.

3.1. Cấu trúc của ACC

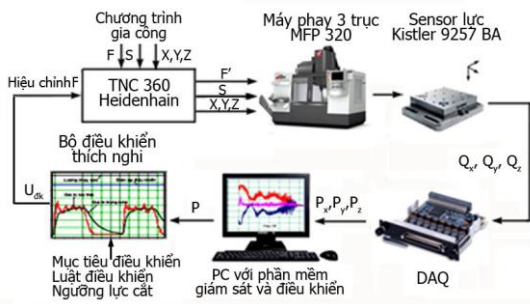
Về cấu trúc, hệ ACC của Học viện KTQS áp dụng mô hình ĐKTN trực tiếp, thường gọi là ĐKTN theo mô hình mẫu (*Model Reference Adaptive System – MRAS*). MRAS bắt chước phương pháp hiệu chỉnh các tham số của bộ điều khiển (C) khi thiết kế (Hình 5,a). Đáp ứng đầu ra của đối tượng

thực (Plant - P) được so sánh với đáp ứng của một mô hình mẫu. Sai lệch (e) giữa chúng là căn cứ để hiệu chỉnh *trực tiếp* tham số của C theo hướng triệt tiêu e . Thay vì thực hiện "bằng tay" trong thiết kế, ĐKTN thực hiện tự động, online, theo thời gian thực (Hình 5,b). Mỗi khi có biến động ở đối tượng (P) hay từ môi trường thì ACC sẽ hiệu chỉnh tham số của C sao cho đáp ứng của hệ thực (y) tiệm cận với đáp ứng của mô hình mẫu (y_M), nghĩa là $e \rightarrow 0$. Ở đây, e là thước đo PI của hệ thực. Nếu e luôn ở trong giới hạn cho phép thì hiệu năng điều khiển của hệ là chấp nhận được.



Hình 5. Ý tưởng (a) và cấu trúc (b) của MRAS

Mô hình MRAS đã được hiện thực hoá bằng sơ đồ cấu trúc trong Hình 6.



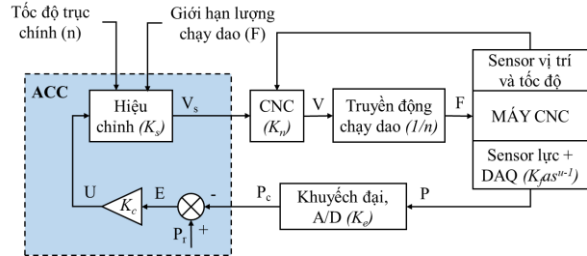
Hình 6. Cấu trúc ACC của Học viện KTQS

Đáp ứng đầu ra (y) là lực cắt, được đo bằng sensor lực 3 thành phần 9257BA của hãng Kistler (Thụy Sĩ). Phần cứng là PC có cắm DAQ board PCL-812-PG kèm phần mềm DSS xử lý tín hiệu thô. Phần mềm ACC được viết để thực hiện các chức năng: nhận tín hiệu đo lực; so sánh với giá trị từ mô hình mẫu (được tính từ chế độ cắt hiện tại hoặc gán bởi người dùng) để tính sai số e ; xuất tín hiệu điều khiển $U_{đk}$ cho CNC (bộ TNC360 của hãng Heidenhain) để hiệu chỉnh lượng chạy dao F .

3.2. Thuật toán của ACC

Phần mềm ACC điều khiển toàn bộ quá trình, từ thu nhận tín hiệu lực cắt, xử lý, tính

toán và xuất tín hiệu điều khiển cho CNC để hiệu chỉnh lượng chạy dao. Logic này được biểu diễn bằng sơ đồ khối, Hình 7. Thực chất, đây là một hệ điều khiển có phản hồi lực cắt.



Hình 7. Sơ đồ cấu trúc của ACC

Lực cắt (P) được đo nhờ sensor lực, khuếch đại và chuyển đổi sang dạng số:

$$P_c = K_e P \tag{1}$$

Hiệu giữa giá trị đặt P_r (là đầu ra của mô hình mẫu) và giá trị đo P_c là sai lệch

$$E = P_r - P_c \tag{2}$$

Bộ điều khiển PID được dùng để khử sai lệch. Với yêu cầu độ nhạy và độ chính xác đủ dùng, chỉ cần sử dụng thành phần tích phân, tín hiệu ra (U) của bộ ACC tỷ lệ với tích phân W của sai lệch E :

$$U = K_c' W = K_c' T E = K_c E \tag{3}$$

Sử dụng phép tích phân gần đúng: $W = TE$, với T – chu kỳ lấy mẫu khi đo lực cắt, là hằng số. Tín hiệu ra U của ACC được cấp cho hệ chạy dao để điều khiển lượng ăn dao:

$$V_s = K_s U = K_c K_s E \tag{4}$$

trong đó, K_s - hằng số của modul hiệu chỉnh F .

Modul điều khiển chạy dao của CNC có tỷ số truyền K_n , cho ra tốc độ chạy dao V :

$$V = K_n V_s = K_c K_s K_n E \tag{5}$$

Cuối cùng, hệ truyền động chạy dao với tỷ số truyền $1/n$ cho ra lượng chạy dao F :

$$F = \frac{V}{n} = \frac{1}{n} K_c K_s K_n E \tag{6}$$

Giữa lực cắt và chế độ cắt (chiều sâu cắt và lượng chạy dao) có quan hệ

$$P = K_f a F^u = (K_f a F^{u-1}) F \tag{7}$$

Thay (7) vào (1), nhận được

$$P_c = K_e P = K_e (K_f a F^{u-1}) F \quad (8)$$

Công thức (7) cho phép hiệu chỉnh F theo giá trị đo P_c của lực cắt nhưng phải đo được đại lượng $K_f a F^{u-1}$. Điều này không khả thi vì đại lượng này lại phụ thuộc vào giá trị F chưa biết. Để tránh việc này, cần dùng quan hệ khác. Thay (6) vào (8), nhận được

$$P_c = \left[K_c K_s K_n K_e K_f \left(\frac{a}{n}\right) F^{u-1} \right] E = K E = K_c K_p E \quad (9)$$

trong đó, K là hệ số truyền mạch hở. Với phần cứng cụ thể, các hệ số K_s , K_n , K_e , K_f không đổi nên có thể thay việc xác định $K_f a F^{u-1}$ trong (7) bằng K trong (9).

Theo (9), K được tách làm 2 thành phần. Thành phần $K_c = K_c' T$, theo (3) chính là hệ số của bộ điều khiển tích phân truyền thống, được chọn dễ dàng theo các phương pháp thông thường. Thành phần K_p phụ thuộc vào a và n . Tăng K_p và K bằng cách tăng a hoặc giảm n giúp tăng năng suất gia công nhưng cũng tăng nguy cơ mất ổn định.

Để dung hòa giữa năng suất và ổn định, cần chọn trước K_p theo năng suất, được đại diện bằng lực cắt P_c . Từ (9) và (3), suy ra

$$K_p = P_c / U \quad (10)$$

Kế tiếp, theo tiêu chí ổn định, ước lượng giá trị K_c theo (9), hay

$$K_c = K / K_p \quad (11)$$

Các quan hệ (10) và (11) cho phép xác định K_c và K_p trong (9), từ đó tính F theo P_c . Tuy nhiên chúng đều chứa các phép chia, tổn tài nguyên máy và kém chính xác. Để khắc phục, thuật toán ước lượng (Estimation Algorithm) đã được dùng để chuyển chúng sang dạng tổng. Vấn đề này không thuộc cốt lõi của thuật toán và khuôn khổ có hạn của bài báo nên không được trình bày ở đây.

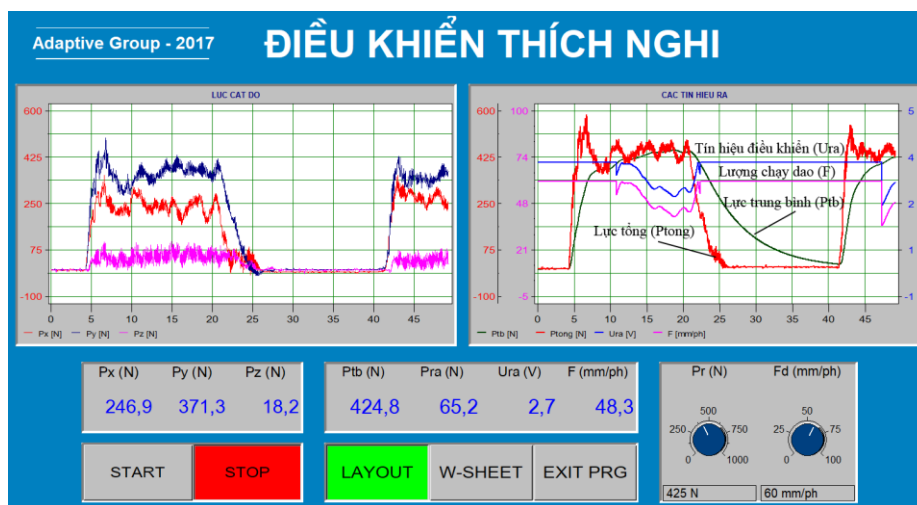
4. THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ ACC

4.1. Thử nghiệm chức năng ACC

Chức năng của ACC được thể hiện trên *Control Panel* ảo (Hình 8), trên đó hiển thị đủ các thông tin của quá trình và có các nút để thay đổi chế độ, bật tắt các chức năng.

Bên trái màn hình là đồ thị và giá trị tức thời của 3 thành phần lực cắt P_x , P_y , P_z đã lọc nhiễu tần số cao, dùng bộ *low pass filter*.

Bên phải và đáy màn hình hiển thị các thông tin: (1) tín hiệu lực tổng hợp (P_{tong}) và giá trị RMS (P_{tb}) của nó; (2) ngưỡng (P_r) của lực và lượng chạy dao (F_d) do người dùng đặt nhờ các núm xoay tương ứng; (3) tín hiệu điều khiển dạng điện áp (U_{ra}), được tính theo luật P như công thức (3); và (4) lượng chạy dao tức thời F . Hệ làm việc trong chế độ tương tác, cho phép người dùng đặt ngưỡng lực cắt (núm P_r), điều chỉnh bằng tay lượng chạy dao (núm F_d), bật tắt chức năng ĐKTN. Nếu tắt ĐKTN thì bộ CNC làm việc như bình thường.

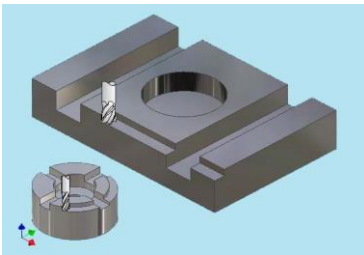


Hình 8. Bảng điều khiển ảo để giám sát và ĐKTN quá trình gia công

4.2. Thử nghiệm tính năng ACC

Tính năng của ACC được đánh giá theo các chỉ tiêu chất lượng điều khiển: thời gian quá độ, lượng quá chỉnh, sai số ở trạng thái xác lập, tính ổn định trong các chế độ làm việc bình thường và khắc nghiệt.

Phôi thử nghiệm được làm từ thép 45, có dạng hình chữ nhật hoặc hình trụ như Hình 9 với nhiều kích thước khác nhau. Các rãnh xẻ để tạo ra tín hiệu lực dạng xung.

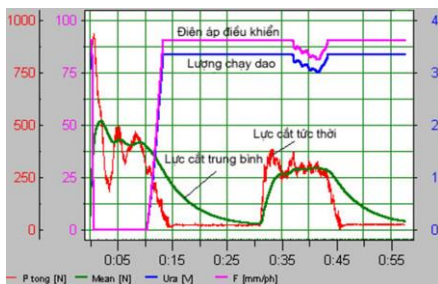


Hình 9. Phôi để thử nghiệm ACC

Thử nghiệm được tiến hành trong chế độ cắt bình thường và khắc nghiệt. Trạng thái màn hình khi cắt bình thường được thể hiện trên Hình 8. Các giá trị đặt là $a=2\text{mm}$, $F=60\text{ mm/ph}$, ngưỡng lực $P_r=425\text{N}$.

Quan sát định tính cho thấy quy luật biến thiên của tín hiệu điều khiển và lượng chạy dao như mong muốn (Hình 1): chỉ cần lực cắt vượt ngưỡng là lượng chạy dao giảm, sau đó lập tức phục hồi khi P giảm xuống dưới ngưỡng. Quá trình lặp lại một cách ổn định khi dao cắt qua các rãnh. Về định lượng, giá trị lực cắt tức thời khi ăn vào là 550N , lực cắt trung bình lớn nhất là 450N . So với giá trị đặt, sai số xác lập bằng 25N , hay khoảng $5,6\%$, không có quá chỉnh.

Để thử ở chế độ khắc nghiệt, đặt F lớn (90mm/ph) nhưng ngưỡng cho phép của lực cắt thấp ($P_r=350\text{N}$).



Hình 10. Đáp ứng trong chế độ khắc nghiệt

Quan sát đồ thị (Hình 10) có thể thấy xung lực khi dao ăn vào rất lớn (đến 900N). Nhưng ngay sau va chạm ban đầu, F giảm nhanh gần tới 0 để tránh gãy dao, sau đó khôi phục dần trong khoảng $0,1$ giây đầu. Trong thời gian đó, lực giảm nhanh từ 900N xuống 370N . Chỉ sau $0,13$ giây, giá trị lực đã giảm tới mức đặt và được duy trì ổn định trong trạng thái xác lập. Ta có nhận xét rằng, ngay cả khi thử với chế độ khắc nghiệt thì hệ vẫn có thể trở về trạng thái xác lập trong thời gian ngắn với sai số khoảng 6% , không xảy ra quá chỉnh hay dao động.

Về chất lượng gia công, không nhận thấy sự thay đổi về độ chính xác kích thước và chất lượng bề mặt khi có ĐKTN, trong khi đó thời gian gia công giảm 25% .

5. KẾT LUẬN

Từ bài báo có thể rút ra các kết luận sau:

- Đã có đủ cơ sở khoa học và thực tiễn để củng cố nhận định trong [2]: ĐKTN là xu hướng phát triển tất yếu của CNC. Tuy vậy, do những rào cản về kỹ thuật, nên hiện nay mới có rất ít hệ ĐKTN được công bố, trong đó có vài hệ ACC được thương mại hoá.

- Hệ ĐKTN do Học viện KTQS thực hiện đã được ghép nối, làm việc đồng bộ với hệ CNC thương mại (TNC-360). Giải pháp kết cấu được gộp lại trong nhiều hệ xuất hiện sau đó, kể cả các hệ ACC thương mại cho thấy tính hợp lý và chuẩn mực của nó.

- Thuật toán và phần mềm điều khiển ACC thực hiện được các chức năng cơ bản, có tính năng so sánh được với các hệ tương tự, có giao diện người dùng khoa học và hấp dẫn.

- Thử nghiệm trong chế độ làm việc bình thường và chế độ thử thách khắc nghiệt cho thấy quá trình được xác lập trong khoảng thời gian rất ngắn (lớn nhất là $0,13$ giây), sai số so với giá trị đặt chỉ $5-6\%$, không xảy ra quá chỉnh hay dao động kéo dài.

- Trong khi cấu hình phần cứng thay đổi tương đối chậm thì phần mềm cần được cập nhật thường xuyên để bắt kịp sự phát triển của kỹ thuật đo lường, điều khiển; đồng thời đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của công nghệ gia công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Koren, Y., Adaptive Control Systems for Machining, *Machining Review*, V2, No.1 (1989).
- [2] Koren, Y., *Computer Control of Manufacturing Systems*, McGraw-Hill, 1983.
- [3] Đào Văn Hiệp, *Nghiên cứu ứng dụng điều khiển thích nghi để nâng cao hiệu quả gia công trên máy công cụ điều khiển số*, Báo cáo TK đề tài cấp Bộ Quốc phòng, 2003.
- [4] Trần Văn Khiêm, *Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật điều khiển thích nghi để nâng cao khả năng công nghệ của máy công cụ điều khiển số*, LATS, Học viện KTQS, 2010.
- [5] Đào Văn Hiệp: *Giám sát và điều khiển thông minh quá trình gia công cơ*, NXB Quân đội nhân dân, Hà Nội, 2016.
- [6] Phạm Vũ Dũng, Đào Văn Hiệp, Dự báo độ nhám bề mặt mài hợp kim titan Ti-6Al-4V dùng công cụ nơ ron mờ thích nghi, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, Học viện KTQS, số 173, tr. 80-86, 2015.
- [7] Landau, ID., Lozano, R., M'Saad, M., & Karimi, A., *Adaptive Control – Algorithms, Analysis and Applications*, London: Springer 2011.
- [8] Cus, F., Zuperl et al, Adaptive Controller Design For Feedrate Maximization of Machining Process, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 17, p. 237-240, 2006.
- [9] Kabini, S., Design of an Adaptive Controller for Cylindrical Plunge Grinding Process, *Innovative Systems Design and Engineering*, Vol. 2, No 4, p. 48-58, 2011.
- [10] OMATIVE, *Real Time Adaptive Control & Monitoring (ACM) Systems for CNC Metal Cutting Optimization* (2004).
- [11] Heidenhain, *Dynamic Efficiency - Working Efficiently and with Process Reliability*, *Heidenhain Technical Informaion* (2013).

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

TS. Trần Văn Khiêm

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

Email: tranvankhiemspkt@gmail.com