

XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN LỰC KẸP CHI TIẾT GIA CÔNG ESTABLISH THE PROGRAM TO CALCULATE CLAMPING FORCE OF MACHINING PARTS

ĐÀO NGỌC BIÊN

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: biendn@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công là khâu quan trọng và thường xuyên trong quá trình lập quy trình công nghệ của nhiều loại chi tiết máy. Việc xác định chính xác lực kẹp không chỉ giúp đảm bảo an toàn trong quá trình gia công, mà còn góp phần nâng cao chất lượng bề mặt, độ chính xác cũng như tối ưu hóa chi phí thiết kế đồ gá. Trên cơ sở xây dựng các phương trình cân bằng lực và cân bằng mô men, bài báo đã trình bày phương pháp tính toán xác định giá trị lực kẹp lớn nhất một cách đầy đủ và có hệ thống. Để nâng cao tính hiệu quả và giảm sai sót do thao tác thủ công, tác giả đã đề xuất giải pháp tự động hóa quá trình tính toán này. Cụ thể, một chương trình tính toán tự động được xây dựng trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Delphi, cho phép người dùng chỉ cần nhập các thông số liên quan (kích thước chi tiết, vị trí điểm kẹp, hệ số ma sát,...) để nhận được kết quả lực kẹp cần thiết. Việc sử dụng công cụ tính toán tự động này không chỉ giúp kỹ sư thiết kế tiết kiệm thời gian, mà còn đảm bảo độ tin cậy và ổn định của kết quả, từ đó thúc đẩy quá trình triển khai và ứng dụng trong thiết kế cơ cấu kẹp chặt.

Từ khóa: Lực kẹp, chi tiết, gia công, ngôn ngữ lập trình Delphi.

Abstract

Calculating the clamping force of a part during machining is an important and frequent step in the process of establishing the technological process of many types of machine parts. Accurately determining the clamping force not only helps ensure safety during the machining process, but also contributes to improving surface quality, accuracy as well as optimizing the cost of fixture design. Based on the construction of force balance and moment balance equations, the article presents a method for calculating the maximum clamping force value in a complete and systematic manner. To improve efficiency and reduce errors

due to manual operations, the author has proposed a solution to automate this calculation process. Specifically, an automatic calculation program is built on the Delphi programming language platform, allowing users to simply enter relevant parameters (part size, clamping point location, friction coefficient, etc.) to obtain the required clamping force result. Using this automatic calculation tool not only helps design engineers save time, but also ensures the reliability and stability of the results, thereby promoting the implementation and application process in the design of clamping mechanisms.

Keywords: Clamping force, part, machining, Delphi programming language.

1. Mở đầu

Việc tính lực kẹp chi tiết khi gia công là công việc thường xuyên gặp phải khi thiết kế các quy trình công nghệ gia công chi tiết máy bằng phương pháp cắt gọt. Tùy theo từng trường hợp cụ thể, trên cơ sở xét điều kiện cân bằng của chi tiết gia công, sẽ xác định được phương chiều, trị số và điểm đặt của lực kẹp, từ đó thiết kế các cơ cấu kẹp chặt tương ứng cho phù hợp với yêu cầu.

Tuy nhiên, trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của ngành cơ khí chế tạo hiện nay, quy trình thiết kế và chuẩn bị công nghệ đang không ngừng được cải tiến để tăng năng suất, giảm chi phí cũng như tối ưu hóa chất lượng sản phẩm. Một trong những yếu tố quan trọng nhất để đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy trong quá trình gia công là việc xác định đúng lực kẹp và hướng kẹp. Nếu lực kẹp quá lớn sẽ có nguy cơ làm biến dạng chi tiết hoặc phá hủy bề mặt gia công, trong khi lực kẹp chưa đủ có thể dẫn đến hiện tượng xô dịch chi tiết hoặc rung động, làm giảm chất lượng bề mặt và sai hỏng sản phẩm. Do đó, việc tính toán lực kẹp chính xác có ý nghĩa quan trọng, góp phần nâng cao độ an toàn, độ ổn định trong quá trình gia công và duy trì chất lượng sản phẩm [1].

Hiện nay, trị số lực kẹp chi tiết khi gia công vẫn được tính toán thủ công, gây mất thời gian, công sức,

tốc độ tính toán chậm, mà đôi khi còn dẫn đến sai sót, nhầm lẫn. Đặc biệt, khi quy trình sản xuất cần thay đổi mẫu mã hay chuyển đổi các nguyên công liên tục, việc tính toán lực kẹp bằng phương pháp thủ công sẽ không còn đáp ứng kịp yêu cầu thực tiễn sản xuất. Bên cạnh đó, xu hướng số hóa ngày càng phổ biến cũng đặt ra bài toán về tự động hóa trong các khâu chuẩn bị công nghệ, đòi hỏi một giải pháp tính toán lực kẹp nhanh chóng, chính xác và dễ dàng tích hợp với các phần mềm CAD/CAM/CNC [2-3].

Bài báo này trình bày phương pháp tự động hóa tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công bằng cách xây dựng một chương trình tính toán tự động dựa trên ngôn ngữ lập trình Delphi, thay thế cho phương pháp tính toán thủ công truyền thống. Giải pháp này không chỉ giúp rút ngắn thời gian tính toán mà còn giảm thiểu những sai sót, nhầm lẫn do yếu tố chủ quan của người thiết kế. Thông qua giao diện người dùng trực quan, chương trình cho phép nhập vào các thông số gia công cụ thể như lực cắt, trọng lượng chi tiết, mô-men uốn, cùng một số dữ liệu khác, từ đó tính toán và đề xuất các giá trị lực kẹp phù hợp, kèm vị trí đặt lực một cách tối ưu.

Do có rất nhiều phương pháp gia công cắt gọt và các sơ đồ gá đặt cũng rất đa dạng nên bài báo này chỉ giới hạn ở việc tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công bằng các phương pháp phổ biến nhất là: Tiện, khoan và phay với một số sơ đồ gá đặt điển hình. Phạm vi nghiên cứu này đảm bảo tập trung được vào những trường hợp thông dụng và có ảnh hưởng lớn đến thực tế sản xuất. Trong phần tiếp theo của bài báo, các cơ sở lý thuyết và mô hình tính toán lực kẹp sẽ được trình bày chi tiết, trước khi đi vào cấu trúc, tính năng, và triển khai thử nghiệm của chương trình tính toán tự động. Các ví dụ minh họa và kết quả triển khai cũng sẽ được thảo luận nhằm chứng minh tính hữu ích, tính linh hoạt và độ tin cậy của chương trình.

Như vậy, kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả và tính chính xác trong công tác thiết kế quy trình công nghệ mà còn tạo tiền đề quan trọng cho việc tích hợp sâu hơn các giải pháp tự động hóa trong sản xuất cơ khí. Việc áp dụng chương trình này có thể mở ra hướng triển khai rộng hơn trong tương lai, đáp ứng tốt hơn những đòi hỏi ngày càng khắt khe của ngành công nghiệp chế tạo máy hiện đại.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Trình tự tính toán lực kẹp

Việc tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công dựa trên nguyên tắc đảm bảo cân bằng tĩnh của chi tiết dưới tác dụng của các ngoại lực như: lực kẹp, lực cắt, áp lực và

lực ma sát trên bề mặt tiếp xúc, trọng lượng chi tiết, và đôi khi là lực ly tâm (nếu chi tiết quay ở vận tốc lớn). Toàn bộ quá trình thiết kế hay lựa chọn cơ cấu kẹp chặt đều xoay quanh việc xác định trị số và hướng của lực kẹp sao cho chi tiết được giữ chặt, ổn định nhưng không bị biến dạng quá mức. Trình tự tính toán lực kẹp như sau [4-6]:

- Lập sơ đồ gá đặt chi tiết, xác định phương chiều và điểm đặt của tất cả các ngoại lực tác dụng lên chi tiết đó là: Lực kẹp, lực cắt, áp lực và lực ma sát của các mặt tỳ, đôi khi cần xét đến cả trọng lượng và lực ly tâm nếu các lực này có trị số đáng kể;

- Viết các phương trình cân bằng lực và các phương trình cân bằng mô men của tất cả các lực tác dụng lên chi tiết;

- Đưa hệ số an toàn K vào các phương trình cân bằng lực và các phương trình cân bằng mô men nói trên. Hệ số an toàn K nhằm đảm bảo an toàn cho cơ cấu kẹp chặt do lực cắt thay đổi từ nhiều nguyên nhân khác nhau [4].

- Từ các phương trình cân bằng lực và các phương trình cân bằng mô men xác định được các trị số của lực kẹp, sau đó chọn trị số lớn nhất trong các trị số đó.

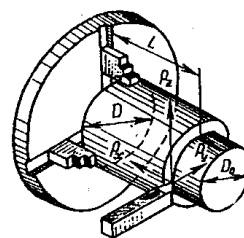
2.2. Tính toán lực kẹp khi tiện

Trên Hình 1 trình bày sơ đồ các lực cắt thành phần P_x , P_y và P_z khi tiện chi tiết kẹp trên mâm cặp (có thể là 2 chấu, 3 chấu hoặc 4 chấu), P_x là lực cắt dọc trục, P_y là lực cắt hướng tâm và P_z là lực cắt tiếp tuyến (với phần chi tiết đã gia công):

- Thành phần lực cắt tạo mô men xoắn $M = P_z D_0 / 2$, với D_0 là đường kính phần chi tiết đã gia công;

- Thành phần lực cắt dọc trục P_x có xu hướng làm xô dịch chi tiết theo chiều trục;

- Thành phần lực cắt hướng tâm P_y tạo thành mô men lật $M_l = P_y l$, với l là chiều dài phần còn lại chưa gia công của chi tiết. Thông thường các chi tiết kẹp trên các mâm cặp theo sơ đồ này có chiều dài l khá ngắn, do đó thường bỏ tác dụng của lực hướng tâm P_y , nghĩa là coi mô men lật $M_l = 0$.



Hình 1. Các lực cắt thành phần khi tiện chi tiết, kẹp trên mâm cặp

Như vậy cần kẹp chặt chi tiết để tạo lực ma sát giữa bề mặt tiếp xúc của nó với các chấu kẹp nhằm chống xoay dưới tác dụng của mô men xoắn M và chống xô dịch dọc trục do lực cắt dọc trục P_x .

- Điều kiện cân bằng chi tiết để chống xoay:

$$\frac{W_t f D}{2} = \frac{K P_z D_0}{2} \rightarrow W_t = \frac{K P_z D_0}{f D}, \quad (1)$$

W_t - Lực kẹp tổng cộng trên các chấu kẹp;

K - Hệ số an toàn, $K = 1,3 \div 1,6$ [4];

f - Hệ số ma sát giữa các chấu kẹp và bề mặt tiếp xúc của chi tiết, nó phụ thuộc vào hình dạng bề mặt chấu kẹp: $f = 0,2$ khi bề mặt nhẵn, $f = 0,3 \dots 0,4$ khi bề mặt có rãnh hình cung, $f = 0,45 \dots 0,5$ khi bề mặt có rãnh dọc, $f = 0,8 \dots 1,0$ khi bề mặt có khía nhám;

D - Đường kính phôi của chi tiết (phần chi tiết chưa gia công);

- Điều kiện cân bằng để chi tiết không bị xô dịch dọc trục:

$$W_t = K P_x. \quad (2)$$

Trị số lực kẹp tổng W_t được chọn là trị số lớn hơn trong 2 trị số, xác định theo các công thức (1) và (2).

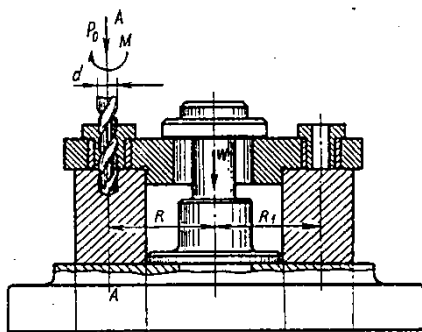
Lực kẹp của một chấu kẹp:

$$W_0 = \frac{W_t}{n}, \quad (3)$$

n - Số chấu kẹp.

2.3. Tính toán lực kẹp khi khoan

Khi gia công các lỗ bằng các phương pháp khoan khoét và doa, chi tiết gia công chịu tác dụng đồng thời của mô men xoắn M và lực dọc trục P_0 . Thông thường lực cắt P_0 và lực kẹp chặt W có cùng phương chiều và có xu hướng ấn chi tiết xuống bề mặt định vị.



Hình 2. Sơ đồ tính lực kẹp khi khoan với phương pháp kẹp mặt đầu

Trên Hình 2 trình bày sơ đồ định vị chi tiết gia công bằng mặt đầu, hạn chế 3 bậc tự do và mặt lỗ, dùng chốt trụ ngắn, hạn chế 2 bậc tự do. Việc kẹp chặt chi tiết được thực hiện bằng đòn kẹp ren vít, lực kẹp hướng từ trên xuống, hướng vào bề mặt định vị được

hạn chế nhiều bậc tự do nhất, lực kẹp cùng phương, chiều với lực cắt P_0 và trọng lượng G . Trong trường hợp này lực kẹp không cần quá lớn, mà chỉ cần đảm bảo cho phiến dẫn kẹp chặt chi tiết ở thời điểm ban đầu khi bắt đầu khoan.

Dưới tác dụng của mô men M , chi tiết gia công có xu hướng xoay xung quanh tâm AA và cuối cùng nó có xu hướng xoay quanh tâm của chính nó. Lực ma sát do lực kẹp W và lực cắt P_0 gây ra phải tạo ra mô men ma sát không nhỏ hơn mô men xoắn do mô men M gây nên đối với tâm chi tiết.

$$(P_0 + W) f R_1 = K \frac{2M}{d} R, \quad (4)$$

M - Mô men xoắn trên mũi khoan;

d - Đường kính mũi khoan;

K - Hệ số an toàn;

R - Khoảng cách từ tâm mũi khoan tới tâm chi tiết gia công;

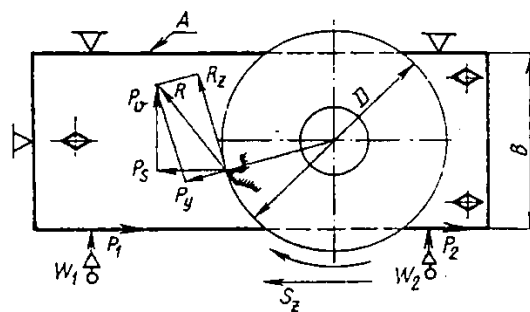
R_1 - Khoảng cách từ tâm mặt đáy tới tâm chi tiết gia công.

Từ công thức (4), xác định được lực kẹp:

$$W = \frac{2KMR}{d f R_1} - P_0. \quad (5)$$

2.4. Tính toán lực kẹp khi phay

Thông thường chi tiết gia công được phay bằng dao phay mặt đầu và dao phay trụ. Lực kẹp chi tiết trong những trường hợp này được xác định theo phương pháp gần đúng [4], chỉ xét tác dụng của các thành phần lực chính tạo nên sự cân bằng của chi tiết.



Hình 3. Sơ đồ tác dụng lực khi gia công bằng dao phay mặt đầu

Trên Hình 3, trình bày sơ đồ gá đặt chi tiết khi gia công bằng dao phay mặt đầu. Lực cắt tiếp tuyến R_z được xác định theo công thức trong các sổ tay Công nghệ chế tạo máy [4]. Các thành phần lực khác được lấy theo lực R_z như sau [7-8]: Lực hướng kính: $P_y = (0,2 \div 0,4) R_z$; Lực chạy dao: $P_s = (0,3 \div 0,4) R_z$; Lực $P_v = (0,85 \div 0,95) R_z$.

Chi tiết gia công được định vị bằng mặt phẳng đáy,

trên 3 chốt tỳ, mặt phẳng bên, trên 2 chốt tỳ và mặt phẳng cạnh trên 1 chốt tỳ. Chi tiết được kẹp chặt bằng 2 mô kẹp, với phương của lực kẹp vuông góc với mặt chuẩn định vị A.

Để đơn giản hóa có thể cho rằng chỉ có lực P_s tác dụng lên chi tiết gia công [4], khi đó lực kẹp W phải tạo ra lực ma sát P không nhỏ hơn lực chạy dao P_s :

$$P = P_1 + P_2 = (W_1 + W_2)f = KP_s$$

$$\rightarrow W = \frac{KP_s}{f}, \quad (6)$$

Với: P_s - Lực chạy dao;

f - Hệ số ma sát giữa các bề mặt chi tiết và đồ định vị.

3. Xây dựng chương trình tự động tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công

3.1. Xây dựng chương trình

Ngôn ngữ lập trình Delphi là ngôn ngữ lập trình hướng đối tượng, được xây dựng dựa trên nền tảng của ngôn ngữ lập trình Pascal [6]. Đây là một trong những ngôn ngữ lập trình hiện đại, có cấu trúc chặt chẽ và logic, rất phù hợp với việc giải quyết các bài toán kỹ thuật.

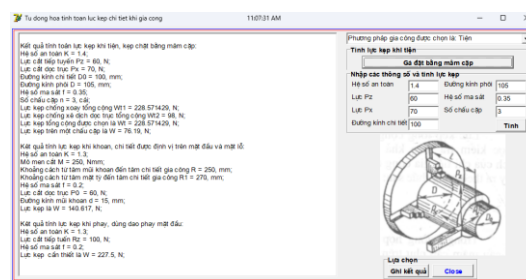
Để triển khai chương trình, trước hết cần xây dựng cấu trúc dữ liệu và các thuật toán tính toán lực kẹp dựa trên các công thức lý thuyết và các mô hình thực nghiệm thu thập từ quá trình gia công. Trên cơ sở đó, chương trình được thiết kế theo mô hình hướng đối tượng, trong đó các đối tượng chính bao gồm:

- Đối tượng quản lý tham số đầu vào: Cho phép người sử dụng nhập các thông số công nghệ như lực cắt, tốc độ cắt, chiều sâu cắt, hệ số ma sát, mômen cắt, đặc tính vật liệu,... và các thông số hình học của chi tiết gồm đường kính, chiều dài, vị trí kẹp,... Tất cả các thông số này đều được kiểm soát bằng các khung nhập liệu trong Delphi, đảm bảo người dùng có thể dễ dàng thao tác.

- Đối tượng tính toán lực kẹp: Thực hiện các thuật toán tính toán lực kẹp thông qua việc xử lý và kết hợp các mô hình cắt (tương ứng với từng phương pháp gia công: Tiện, khoan, phay). Ở đây, việc lựa chọn mô hình phù hợp được thực hiện tự động dựa trên tham số quy định về loại máy, loại dụng cụ, cũng như đặc thù của phương pháp gia công. Các công thức tính toán của mỗi bài toán (tiện, khoan, phay) được tích hợp thành các hàm (function) hoặc thủ tục (procedure) trong Delphi, bảo đảm tính module hóa và thuận tiện cho việc nâng cấp hoặc chỉnh sửa sau này.

- Đối tượng quản lý giao diện hiển thị kết quả: Đây là nơi chương trình phản hồi lại cho người dùng thông qua các bảng (ListView, StringGrid) hoặc các thành

phần đồ họa (Chart, Image). Cụ thể, sau khi người dùng nhập các tham số và lựa chọn chế độ tính toán, chương trình sẽ đưa ra giá trị lực kẹp tối ưu, mômen kẹp, cảnh báo về khả năng trượt của chi tiết (nếu có), cũng như những khuyến nghị về việc tăng giảm lực kẹp để đảm bảo chất lượng gia công và an toàn cho chi tiết.



Hình 4. Giao diện của Chương trình tính toán lực kẹp

Giao diện của Chương trình được trình bày trên các Hình 4 - tính toán lực kẹp khi tiện, Hình 5 - tính toán lực kẹp khi khoan và Hình 6 - tính toán lực kẹp khi phay. Tiến trình tính toán của chương trình được chia thành các bước chính như sau:

1. **Nhập liệu:** Người dùng nhập đầy đủ các thông số cần thiết về công nghệ và chi tiết gia công đối với từng trường hợp:

- Khi tiện, kẹp chặt bằng mâm cặp 3 chấu, các số liệu cần nhập vào là: Hệ số an toàn K , lực cắt tiếp tuyến P_z , lực cắt dọc trục P_x , đường kính chi tiết D_0 , đường kính phôi D , hệ số ma sát f và số chấu cặp n ;

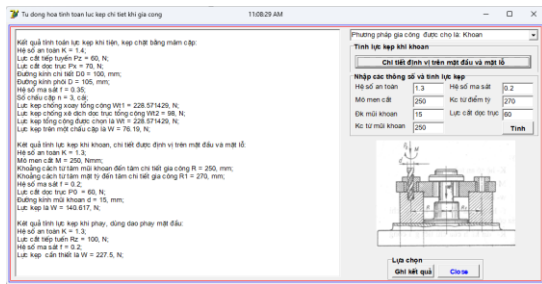
- Khi khoan, với phương pháp kẹp mặt đầu, các số liệu cần nhập là: Hệ số an toàn K , mô men cắt M , đường kính mũi khoan d , khoảng cách từ tâm mũi khoan tới tâm chi tiết gia công R , khoảng cách từ tâm mặt tỳ tới tâm chi tiết gia công R_1 , hệ số ma sát f và lực cắt dọc trục P_0 ;

- Khi phay bằng dao phay mặt đầu, các số liệu cần nhập vào là: Hệ số an toàn K , lực cắt R_z và hệ số ma sát f .

2. **Kiểm tra và hiệu chỉnh dữ liệu:** Nếu kết quả thu được không phù hợp, người sử dụng sẽ hiệu chỉnh lại nội dung tính toán bằng cách kiểm tra và nhập lại các dữ liệu ban đầu.

3. **Tính toán lực kẹp:** Dựa trên mô hình toán học được tích hợp, chương trình thực hiện việc tính toán theo các số liệu đã nhập vào, kết quả cho ra giá trị lực kẹp yêu cầu.

4. **Hiển thị và phân tích kết quả:** Kết quả được hiển thị trong Memo kết quả, ngay trên giao diện của Chương trình. Ngoài ra, người dùng có thể ghi kết quả



Hình 5. Giao diện của Chương trình tính toán lực kẹp khi khoan

dưới dạng file text bằng cách nhấn vào nút Ghi kết quả trên giao diện của Chương trình.

Chương trình có giao diện thân thiện, dễ sử dụng. Kết quả cho ra giá trị lực kẹp đối với 3 trường hợp tiện, khoan và phay là phù hợp.

3.2. Kiểm nghiệm chương trình và đánh giá kết quả

Chương trình tính toán lực kẹp được xây dựng bằng phần mềm Delphi được kiểm nghiệm dựa trên các trường hợp cụ thể bao gồm các nguyên công tiện, khoan và phay. Các trường hợp này được lựa chọn nhằm đại diện cho những điều kiện làm việc phổ biến trong thực tế gia công cơ khí.

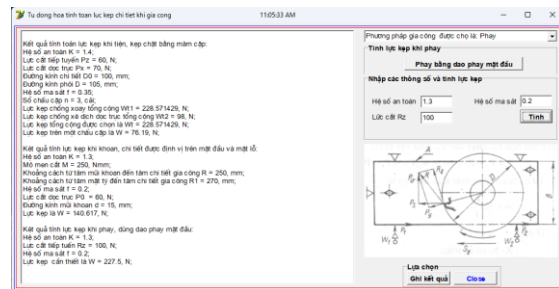
Trong nguyên công tiện, chi tiết gia công được định vị và kẹp chặt bằng mâm cặp 3 châu tự định tâm với các thông số ban đầu như sau:

- Hệ số an toàn: $K = 1,4$;
- Lực cắt tiếp tuyến: $P_z = 60N$;
- Lực cắt dọc trục: $P_x = 70N$;
- Đường kính chi tiết: $D_0 = 100mm$;
- Đường kính phôi: $D = 105mm$;
- Hệ số ma sát: $f = 0,35$;
- Số châu cặp $n = 3$ cái.

Kết quả từ chương trình Delphi cho thấy lực kẹp tổng cộng chống xoay là $W_{ti} = 228,571N$, lực kẹp tổng cộng chống xô dịch dọc trục $W_{t2} = 98N$, trong đó lực kẹp tổng cộng được chọn là $W_t = 228,571N$ và lực kẹp cần thiết trên mỗi châu cặp là $W = 76,19N$. kết quả tính toán từ chương trình phù hợp với phương pháp thủ công, cho thấy chương trình đã chính xác trong việc xác định thành phần lực cần thiết để chống lại cả lực cắt tiếp tuyến và lực cắt dọc trục. Điểm đáng chú ý là lực chống xoay chiếm ưu thế do mô men xoay lớn, nên lực kẹp chọn cuối cùng phải dựa trên giá trị này.

Trong nguyên công khoan, chi tiết được định vị dựa trên mặt đầu và mặt lỗ với các thông số tính toán:

- Hệ số an toàn $K = 1,3$;
- Mô men cắt $M = 250Nmm$;



Hình 6. Giao diện của Chương trình tính toán lực kẹp khi phay

- Đường kính mũi khoan $d = 15mm$;
- Khoảng cách từ tâm mũi khoan đến tâm chi tiết gia công $R = 250mm$;
- Khoảng cách từ điểm tỳ tới tâm chi tiết $R1 = 270mm$;
- Hệ số ma sát $f = 0,2$ và lực cắt dọc trục $P_0 = 60N$.

Chương trình tính toán ra lực kẹp cần thiết là $W = 140,617N$. Giá trị này cho thấy lực kẹp này phải đủ để tạo ma sát chống lại mô men cắt và lực dọc trục. Mặc dù lực đẩy dọc trục không lớn, nhưng mô men $M = 250Nmm$ tác dụng ở bán kính $R = 250mm$ lại tạo hiệu ứng xoay đáng kể, khiến yêu cầu lực kẹp phải tăng lên. Kết quả chương trình trùng khớp với tính thủ công, khẳng định tính đúng đắn của công thức áp dụng và việc sử dụng hệ số an toàn $K = 1,3$ là phù hợp để bù sai số trong thực tế.

Với nguyên công phay sử dụng dao phay mặt đầu, các thông số được xác định như sau:

- Hệ số an toàn $K = 1,3$;
- Lực cắt $R_z = 100N$ và hệ số ma sát $f = 0,2$.

Kết quả từ chương trình xác định lực kẹp cần thiết là $W = 227,5N$. Lực phay thường lớn hơn lực khoan hay lực tiện trong những điều kiện nhất định do đặc điểm giá trị lực cắt và khoảng cách tác dụng trong quá trình cắt gọt. Giá trị lực kẹp ở đây là kết quả đã tính đến hệ số an toàn $K = 1,3$ và hệ số ma sát $f = 0,2$. Thực tế khi phay còn có các thành phần mô men lật do lực đặt ở vị trí cách xa tâm, và chương trình cũng có khả năng mở rộng tính toán cho các trường hợp phay phức tạp hơn. Tuy nhiên trong kiểm nghiệm này, lực kẹp tính ra hoàn toàn đồng nhất với giá trị tính thủ công, khẳng định chương trình làm việc chính xác.

Như vậy với cả 3 trường hợp kiểm nghiệm từ chương trình Delphi, kết quả thu được từ chương trình tính toán tự động hóa và kết quả lý thuyết cho thấy sự phù hợp giữa hai phương pháp. Sự thống nhất này khẳng định độ chính xác, tin cậy của chương trình, đồng thời cũng minh chứng khả năng áp dụng rộng rãi và hiệu quả của chương trình trong thực tiễn sản xuất cơ khí.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công bằng các phương pháp được dùng phổ biến là tiện, khoan và phay. Trên cơ sở đó, bài báo đã trình bày việc xây dựng một chương trình tự động tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công bằng tiện, khoan và phay với các sơ đồ gá đặt điển hình, dựa trên ngôn ngữ lập trình Delphi, đồng thời trình bày ba ví dụ minh họa cho việc sử dụng Chương trình này. Kết quả tính toán thu được cho thấy Chương trình cho phép tự động tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công, giảm được công sức, thời gian, tăng tốc độ tính toán mà lại không bị sai sót nhầm lẫn do việc tính toán thủ công mang lại. Chương trình có giao diện thân thiện, trực quan, dễ sử dụng, có thể sử dụng trên thực tiễn tính toán lực kẹp chi tiết khi gia công trong quá trình lập các quy trình công nghệ gia công chi tiết máy hoặc sử dụng như một giáo cụ dùng công tác nghiên cứu, giảng dạy và học tập.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.45**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Li, B., Melkote, S. (2001) *Fixture Clamping Force Optimisation and its Impact on Workpiece Location Accuracy*, AMT 17, pp.104-113.
- [2] Cecil, J. (2001) *Computer-Aided Fixture Design - A Review and Future Trends*. Int J Adv Manuf Technol, Vol.18, pp.790-793.

- [3] A. Andrews, Prince Abraham, F Michael Thomas Rex (2022), *An Integrated Approach for Fixture Layout Design and Clamping Force Optimization*, Journal of Scientific & Industrial Research, Vol.81(11), pp.1204-1216.
- [4] Trần Văn Địch (2006), *Đồ gá*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5] Trần Văn Địch và các tác giả khác (2006), *Công nghệ chế tạo máy*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [6] Lê Phương Lan, Hoàng Đức Hải (2002), *Giáo trình Lý thuyết và Bài tập Borland Delphi*, NXB Lao động và Xã hội, Hà Nội.
- [7] Nguyễn Đắc Lộc, Lưu Văn Nhang (2006), *Hướng dẫn thiết kế đồ án công nghệ chế tạo máy*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [8]. Б. Н. Бардашкин, В. В. Данилевский, А. А. Шатилов (1984), *Станочные приспособление - Справочник в двух томах*, Издательство "Машиностроение", Москва.

Ngày nhận bài:	21/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	06/04/2025
Ngày duyệt đăng:	06/04/2025