

**XÂY DỰNG QUY TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÁY CẮT BẰNG TIA NƯỚC THUẦN KHIẾT****Design Process of Pure Waterjet Cutting Machines**Nguyễn Thanh Nam<sup>1</sup>, Hoàng Đức Liên<sup>2</sup><sup>1</sup> Khoa Cơ khí, Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh<sup>2</sup> Khoa Cơ - Điện, Đại học Nông nghiệp Hà Nội**TÓM TẮT**

Việc sử dụng phương pháp “tính chọn thiết bị cắt bằng tia nước” trong điều kiện công nghệ chế tạo thiết bị áp suất cao tại Việt Nam còn hạn chế, sẽ giúp ta lựa chọn, tích hợp các thiết bị phù hợp, giảm giá thành sản phẩm so với nhập nguyên máy, tiếp cận công nghệ mới trên thế giới. Bài báo giới thiệu một quy trình tính toán lựa chọn hệ thống cắt bằng tia nước bao gồm các cụm bơm tăng áp, vòi phun, bàn chạy đầu cắt và cụm điều khiển. Kết quả tính toán lựa chọn thiết bị có thể ứng dụng thiết kế máy cắt bằng tia nước trong các công trình dân dụng, quân sự và công nghiệp một cách hiệu quả.

Từ khóa: Máy cắt, máy cắt bằng tia nước, quy trình tính toán, thiết kế, tia nước.

**SUMMARY**

The technological level to produce high pressure equipment in Viet Nam is still limited. The use of “selection design” method will help to select suitable equipment with lower price than to import a complete set of water-jet cutting machine. This paper introduces a new design process for selection of equipment such as pump, nozzle, nozzle's movement and control systems for water-jet cutting machine. The results of calculation by using this method can be used to select effectively water-jet cutting machines in civil, military and industrial engineering.

Key words: Cutting machine, design process, process calculation, water jet cutting machine.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Ngày nay, máy cắt tia nước điều khiển công nghệ cắt (CNC) đã có mặt ở nhiều nước trên thế giới. Công nghệ cắt bằng tia nước đã phát triển đa dạng với các kỹ thuật như cắt với tia nước thuần khiết, tia có hạt mài, tia gỗ đập, tia bong bóng và các tia lai. Ở các nước công nghiệp phát triển cắt bằng tia nước đã được ứng dụng rộng rãi trong hầu hết các lĩnh vực công nghiệp như: hàng không, vũ trụ, ô tô, tàu thủy, máy phát điện, kiến trúc, thiết bị y tế, đồ gỗ, công nghiệp da giày, chế tác đá quý và bán dẫn, chế tạo công nghiệp (David, 2003; Miller, 1985; Nguyễn Thanh Nam, 2007).

Công nghệ cắt bằng tia nước so với cắt bằng dao kim loại có những ưu điểm nổi trội mà những phương pháp cổ điển chưa đạt được như: Vật liệu được cắt bằng tia

nước không bị tác dụng của nhiệt làm ảnh hưởng. Công nghệ này tránh được những nhược điểm như cứng hoá, cong vênh, tạo thành lớp xỉ hoặc bị pha trộn hỗn hợp, cũng như làm ô nhiễm do chất gây ô nhiễm như khí độc hại gây ra; Vết cắt mảnh và cắt được theo những biên dạng như ý muốn; Khả năng gia công chi tiết có độ chính xác cao và vận hành được lâu bền; Quy trình cắt sạch không tạo ra bụi nghiền hoặc hạt mài, bụi bào hoặc hoá chất gây ô nhiễm không khí, không cần sử dụng chất huyền phù khi cắt. Việc sử dụng các loại vật liệu tối ưu bởi đường cắt rất mảnh và mối nối liền không lộ cũng là những đặc điểm của công nghệ cắt bằng tia nước.

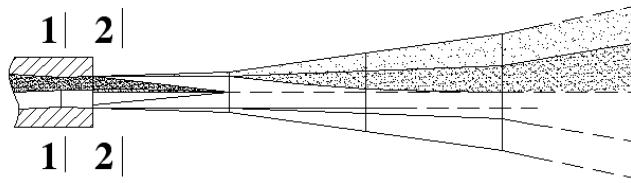
Do công nghệ chế tạo các thiết bị áp suất cao còn hạn chế nên chỉ mới có một số

hãng sản xuất máy cắt tia nước có thể kể đến là: Hammelmann Maschinenfabrik GmbH (Đức), Advanced Waterjet Technologies LLC (USA), Aqua Engy International (UK), Dynajet... với dòng máy công suất cắt đến 3500 bar và Flow International (USA), Jet Edge, Inc (USA) với dòng máy công suất cắt lớn hơn 4000 bar. Vì vậy, việc lựa chọn, tính toán, thiết kế thiết bị cắt bằng tia nước sẽ giúp ta có thể lựa chọn, tính toán được các thiết bị phù hợp, giảm được giá thành so với nhập nguyên máy, tiếp cận được với công nghệ

mới, tiến tới chế tạo một số thiết bị trong nước thay thế nhập khẩu.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Cơ sở công nghệ gia công bằng tia nước áp lực cao là nhờ vào động lực học của dòng tia mà trong đó áp lực động tia nước (phụ thuộc vào áp lực của bơm, khoảng cách từ vòi phun đến bề mặt gia công, kích thước và hình dạng của vòi phun) là một yếu tố quan trọng có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình gia công.



**Hình 1.** Tia nước sau khi ra khỏi đầu phun

Tia nước sau khi ra khỏi đầu phun (Hình 1), vận tốc của tia nước tăng lên rất nhanh. Xét dòng tia tại hai mặt cắt 1-1 và 2-2 ngay sau đầu phun, xem ma sát của nước và thành ống bằng không và giả sử dòng chảy không bị nén, theo công thức Bernoulli cho dòng chảy không ma sát, ta có:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{rg} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{rg} \quad (1)$$

Trong đó:

$v_1$ [m/s]: Vận tốc dòng chảy tại mặt cắt 1-1;

$p_1$ [Pa]: Áp suất dòng chảy tại mặt cắt 1-1;

$v_2$ [m/s]: Vận tốc dòng chảy tại mặt cắt 2-2;

$p_2$ [Pa]: Áp suất dòng chảy tại mặt cắt 2-2;

$r$ [kg/m<sup>3</sup>]: Khối lượng riêng của chất lỏng.

Triển khai công thức trên với dòng tia, ta nhận được công thức xác định tốc độ của tia sau khi ra khỏi đầu phun:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2p_1}{\rho}} \text{ hay } v = \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \quad (2)$$

Trong đó:

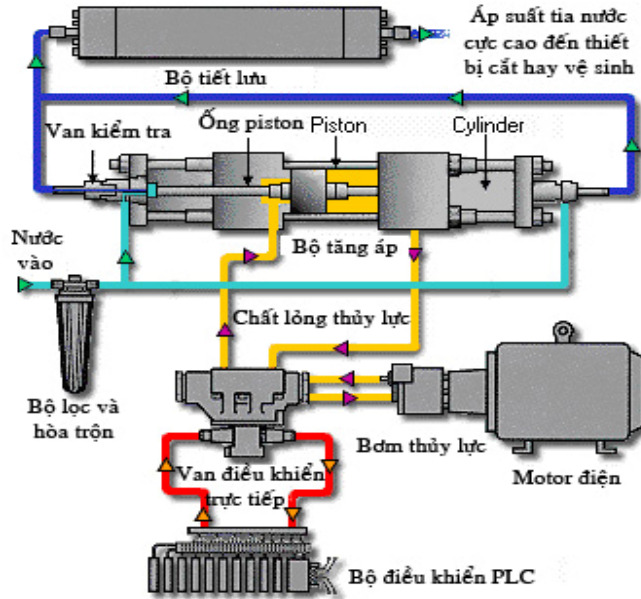
$v$  - Vận tốc dòng chảy tại mặt cắt đang xét (m/s);

$\rho$  - Trọng lượng riêng của chất lỏng (kg/m<sup>3</sup>),  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

Hệ thống cắt bằng tia nước bao gồm các bộ phận chính: Máy bơm thủy lực, Van điều khiển chính và van kiểm tra, Bộ tăng áp, Bộ giảm áp, Đầu phun. Sơ đồ nguyên lý hệ thống cắt bằng tia nước được trình bày trên hình 2: Đầu tiên nước từ thùng cấp nước đi qua bộ lọc và hòa trộn. Sau đó nhờ ống dẫn chất lỏng qua bộ tăng áp, bộ tiết lưu và đến đầu phun. Tại đầu phun tia nước được phun ra mạnh hay yếu là nhờ van tiết lưu, van này được điều khiển bởi bộ điều khiển. Bộ tăng áp được vận hành nhờ bơm thủy lực dẫn động bởi động cơ điện. Thông qua bộ điều khiển PLC, van điều chỉnh áp suất của bơm. Trường hợp cắt bằng tia nước thuần khiết, nước áp lực cao sau khi đi qua lỗ phun tạo thành tia

nước với tốc độ cao từ Mach 2 đến Mach 3 (400 đến 1000m/s), dòng nước với tốc độ siêu âm tạo ra quá trình xói mòn xé tách

các hạt vật liệu ra và tia nước xuyên qua tạo thành vết cắt, chi tiết được gia công (Miller, 1985).



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống cắt bằng tia nước

Hệ thống cắt bằng tia nước bao gồm các bộ phận chính: Máy bơm thủy lực, van điều khiển chính và van kiểm tra, bộ tăng áp, bộ giảm áp, đầu phun. Sơ đồ nguyên lý hệ thống cắt bằng tia nước được trình bày trên hình 2: đầu tiên nước từ thùng cấp nước đi qua bộ lọc và hòa trộn. Sau đó nhờ ống dẫn chất lỏng qua bộ tăng áp, bộ tiết lưu và đến đầu phun. Tại đầu phun tia nước được phun ra mạnh hay yếu là nhờ van tiết lưu, van này được điều khiển bởi bộ điều khiển. Bộ tăng áp được vận hành

nhờ bơm thủy lực dẫn động bởi động cơ điện. Thông qua bộ điều khiển PLC, van điều chỉnh áp suất của bơm. Trường hợp cắt bằng tia nước thuần khiết, nước áp lực cao sau khi đi qua lỗ phun tạo thành tia nước với tốc độ cao từ Mach 2 đến Mach 3 (400 đến 1000m/s), dòng nước với tốc độ siêu âm tạo ra quá trình xói mòn xé tách các hạt vật liệu ra và tia nước xuyên qua tạo thành vết cắt, chi tiết được gia công (Miller, 1985).

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### Bước 1. Xác định các thông số đầu vào

| STT | Tên                                       | Thông số xác định                 | Kí hiệu        |
|-----|---|-----------------------------------|----------------|
| 1   | Loại vật liệu                             | Giới hạn bền                      | $\sigma_{bền}$ |
| 2   | Chất lưu để cắt vật liệu (thường là nước) | Tỷ khối của nước                  | $\rho$         |
| 3   | Yêu cầu sản phẩm                          | Bề rộng vết cắt<br>Độ sâu vết cắt | $a$<br>$h$     |
| 4   | Yêu cầu kỹ thuật                          | Vận tốc dịch đầu phun             | $v_f$          |

**Bước 2:** Tính toán các thông số làm việc

- Đường kính vòi phun d:

Trong trường hợp lưu chất lý tưởng, khi ra khỏi vòi phun, trong giới hạn vùng liên tục, ta có thể lấy gần đúng kích thước vòi phun (David, 2003):

$d = a$  hay sai số 10%:

$$d = 90\% a. \quad (3)$$

d: Đường kính vòi phun (mm)

a: Bề rộng vết cắt (mm)

- Khoảng cách từ vòi phun đến bề mặt gia công  $d_s$  được tính từ công thức (David, 2003):

$$d_s = X_{c_{\max}} = 135.d \quad (4)$$

- Áp suất tại đầu ra tại vòi phun  $p_1$  được tính theo công thức (David, 2003):

$$p_1 \geq \frac{1}{2\rho} \left( \frac{\sigma_{\text{ben}}}{1500} \right)^2 - g\rho d_s \quad (5)$$

- Áp suất tại máy bơm:

Do áp suất ra khỏi vòi phun  $p_1$  có được nhờ vào bộ tăng áp sau vòi phun, với hệ số tăng áp k (David, 2003):

$$\begin{aligned} p_1 &= kp \\ \Rightarrow p &= \frac{p_1}{k} \end{aligned} \quad (6)$$

**Bước 3:** Tính toán bơm cao áp

1) Xác định các thông số đầu vào, loại vật liệu bơm cao áp với ứng suất bền đảm bảo yêu cầu làm việc, áp suất và lưu lượng nước, hệ số tăng áp.

2) Tính toán các thông số làm việc:

Công suất bơm tính theo công thức (David, 2003):

$$N = (p \times Q) / 600 \quad (7)$$

Trong đó:

N - công suất bơm (kW);

p - áp suất làm việc của bơm (bar);

Q - lưu lượng bơm (lít/phút).

Công suất động cơ:

$$N' = \frac{N}{\eta} \quad (8)$$

Trong đó:

$N'$  - công suất động cơ (kW);

N - công suất bơm (kW);

$\eta$  - hiệu suất động cơ (kW).

3) Chọn bơm cao áp.

**Bước 4:** Tính toán cụm đầu cắt

1) Xác định các thông số đầu vào như loại vật liệu vòi phun có ứng suất bền đảm bảo áp suất làm việc, các yêu cầu bề rộng và chiều sâu vết cắt, vận tốc di chuyển đầu phun;

2) Tính toán các thông số làm việc như: Vận tốc tia nước ra khỏi vòi phun, diện tích vòi phun, công suất vòi phun:

Vận tốc tia nước ra khỏi vòi phun (David, 2003):

$$V = 17.14\sqrt{p} \quad (9)$$

Trong đó:

V - vận tốc tia nước ra khỏi vòi phun (m/s);

p - áp suất tia nước đến vòi phun (bar).

Diện tích vòi phun:

$$S = \frac{Q}{6V} \quad (10)$$

Trong đó:

S - diện tích vòi phun (cm<sup>2</sup>);

Q - lưu lượng nước (lít/phút).

Bán kính vòi phun:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (11)$$

R - Bán kính vòi phun (mm)

3) Chọn đầu cắt.

**Bước 5:** Tính toán bàn chạy đầu cắt

1) Xác định các thông số đầu vào: Kết cấu và kích thước bàn cắt, bể chứa nước, vận tốc di chuyển, số vòng quay trong một phút, chiều dài và đường kính trục vít me.

2) Tính toán các thông số làm việc: Bước răng trục vít me, tốc độ tới hạn, tải trọng cho phép của bàn cắt, moment xoắn truyền động và công suất motor (Trần Đình Đệ, 2008):

Bước răng trục vít me được tính:

$$S_1 = \frac{V}{n} \quad (12)$$

Trong đó:

$S_1$  - bước răng trục vít me (mm);

$V$  - vận tốc bàn cắt (mm/vòng);

$n$  - số vòng quay trục vít me (vòng/phút)

Tốc độ tối hạn của trục vít me:

$$C_s = F_e \times 4760000 \times F_s \times \left( \frac{D \times S_1}{L^2} \right) \quad (13)$$

Trong đó:

$C_s$  - tốc độ tối hạn (inch/phút);

$D$  - đường kính chân răng trục vít me (inch);

$S_1$  - bước răng trục vít me (inch);

$L$  - chiều dài trục vít me (inch);

$F_e$  - biến số ổn định có giá trị tùy thuộc vào cách lắp đặt trục vít me

$F_e = 0,36$ : trục vít me công xôn;

$F_e = 1$ : trục vít me hai đầu có gối đỡ đơn;

$F_e = 1,47$ : trục vít me công xôn một đầu và gối đỡ đơn một đầu;

$F_e = 2,23$ : trục vít me công xôn hai đầu.

$F_s$  - Hệ số an toàn (0,8).

Tải trọng cho phép:

$$P_c = F_e \times 14.030.000 \times F_s \left( \frac{D^4}{L^2} \right) \quad (14)$$

Trong đó:

$P_c$  - tải trọng cho phép (lb);

$D$  - đường kính chân răng trục vít me (inch);

$L$  - chiều dài trục vít me (inch);

$F_e$  - biến số ổn định có giá trị tùy thuộc vào cách lắp đặt trục vít me

$F_e = 0,25$ : trục vít me công xôn;

$F_e = 1$ : trục vít me hai đầu có gối đỡ đơn;

$F_e = 2$ : trục vít me công xôn một đầu và gối đỡ đơn một đầu;

$F_e = 4$ : trục vít me công xôn hai đầu;

$F_s$  - hệ số an toàn (0,8).

Tải trọng tác động trục vít me:

$$P_t = k \times W \quad (15)$$

Trong đó:

$P_t$  - tải trọng tác động (lb);

$k$  - hệ số ma sát (0,2);

$W$  - khối lượng bàn cắt và chi tiết gia công (lb).

Moment xoắn truyền động:

$$T_d = \frac{S_1 \times P_t}{2\pi E} = 0.177 \times S_1 \times P_t \quad (16)$$

Trong đó:

$T_d$  - moment xoắn truyền động (inch.lb);

$S_1$  - bước răng trục vít me (inch).

Công suất motor servo:

$$N'' = \frac{n \times T_d}{63000} \quad (17)$$

Trong đó:

$N''$  - công suất motor servo (HP);

$T_d$  - moment xoắn truyền động (inch.lb).

3) Chọn bàn chạy đầu cắt.

**Bước 6:** Thiết kế cụm điều khiển

1) Xác định các thông số đầu vào; Yêu cầu cấu hình bộ xử lý trung tâm; Dung lượng ổ cứng và bộ nhớ tối thiểu. Sử dụng mạng LAN, chuẩn nối dây ethernet (IEEE 802.3), hệ điều hành Windows.

2) Chọn cụm điều khiển.

**Bước 7:** tổng hợp các thông số thiết kế của hệ thống máy cắt bằng tia nước

Công suất bơm tạo áp; Công suất động cơ kéo bơm; tỉ số nén hệ thống tạo áp; vật liệu chế tạo vòi phun; vận tốc tia nước ra khỏi vòi phun; diện tích vòi phun; đường kính vòi phun; khoảng cách từ vòi phun đến bề mặt gia công; công suất vòi phun; vận tốc tia nước; bước răng, tốc độ tối hạn, tải trọng cho phép và tải trọng động, moment xoắn trục vít me; công suất motor servo.

Ví dụ tính toán lựa chọn thiết bị máy cắt bằng tia nước (Trần Đình Đệ, 2008).

**Bước 1:** Xác định các thông số đầu vào

| STT | Tên  | Thông số xác định     | Kí hiệu        | Giá trị                |
|-----|--|-----------------------|----------------|------------------------|
| 1   | Loại vật liệu:<br>Thép hợp kim               | Ứng suất bền          | $\sigma_{ben}$ | 500 MPa                |
| 2   | Chất lưu để cắt vật liệu<br>(thường là nước) | Tỷ khối của nước      | $\rho$         | 1000 kg/m <sup>3</sup> |
| 3   | Yêu cầu sản phẩm                             | Bề rộng vết cắt       | $a$            | 0,3 mm                 |
|     |  | Độ sâu vết cắt        | $h$            | 2 mm                   |
| 4   | Yêu cầu kỹ thuật                             | Vận tốc dịch đầu phun | $v_t$          | 300 mm/phút            |
|     |  | Hệ số tăng áp         | $k$            | 17 lần                 |

**Bước 2:** Tính toán các thông số làm việc

- Đường kính vòi phun d:

Trong trường hợp chất lỏng lí tưởng, khi ra khỏi vòi phun, trong giới hạn vùng liên tục, ta có thể lấy gần đúng kích thước vòi phun:

$$d = a = 0.3 \text{ mm}$$

hay sai số 10%:

$$d = 90\%a = 90\% \times 0,3 = 0,27 \text{ mm}$$

- Khoảng cách từ vòi phun đến bề mặt gia công ds:

Độ cao tối đa từ công thức:

$$ds = Xc_{Max} = 135 \times d = 135 \times 0,27 = 36,5 \text{ mm}$$

- Áp suất nước tại đầu ra vòi phun:

$$p_1 \geq \frac{1}{2\rho} \left( \frac{\sigma_{ben}}{1500} \right)^2 - gpd_s$$

$$p_{1min} = \frac{1}{2 \times 10^3} \left( \frac{500 \times 10^6}{1500} \right)^2 - 9,8 \times 1000 \times 0,0405$$

$$p_{1min} = 55,56 \text{ MPa}$$

**Bước 3:** Tính toán, lựa chọn bơm cao áp

1) Xác định các thông số đầu vào:

| STT | Tên                                     | Thông số         | Kí hiệu        | Giá trị                |
|-----|---|------------------|----------------|------------------------|
| 1   | Vật liệu                                | Ứng suất bền     | $\sigma_{ben}$ | 500 MPa                |
| 2   | Chất lỏng cắt vật liệu (thường là nước) | Tỷ khối          | $\rho$         | 1000 kg/m <sup>3</sup> |
| 3   | Yêu cầu sản phẩm                        | Áp suất tia nước | $p$            | 4000 bar               |
|     |   | Lưu lượng nước   | $Q$            | 3 lít/phút             |
| 4   | Yêu cầu kỹ thuật                        | Hệ số tăng áp    | $k$            | 17 lần                 |

2) Tính toán các thông số làm việc:

Chọn bơm tăng áp là bơm piston tác động 3 lần, đường kính cần piston 35 mm lưu lượng 114 lít/phút và áp suất  $p_1$  là 245 bar.

Công suất bơm:

$$N = (p_1 \times Q) / 600 = (245 \times 114) / 600 = 46,5 \text{ kW}$$

Công suất động cơ:

$$N' = \frac{N}{\eta} = \frac{46,5}{0,9} = 51,6 \text{ kW}$$

3) Tính, chọn cụm tạo áp:

| Thông số                     | Đơn vị               | Chỉ số  |
|------------------------------|----------------------|---|
| <b>Thông số chung</b>        |                      |   |
| Kiểu máy                     |                      | DYNATRONIC 424                                    |
| Công suất tiêu thụ           | kW/h                 | 36  |
| Kích thước (W x D x H)       | mm                   | 1900 x 970 x 1500                                 |
| Khối lượng                   | kg                   | 1300  |
| Nhiệt độ môi trường làm việc | °C                   | 10 - 45<br>Độ ẩm không khí 80%                    |
| <b>Bộ cao áp</b>             |                      |   |
| Áp suất làm việc             | MPa                  | 10 - 420  |
| Áp suất làm việc liên tục    | MPa                  | 380   |
| Lưu lượng lớn nhất           | lít/phút             | 3,8   |
| Cần piston                   | Mm                   | Ø 22 Hành trình 173                               |
| Số hành trình lớn nhất       | Hành trình kép/ phút | 35  |
| Tỷ số nén                    |                      | 1 : 21,78   |
| Lọc nước vào                 | µm                   | Lọc cấp 1 đạt 5 µm<br>Lọc cấp 2 đạt 1,2 µm        |
| Lọc cao áp                   | µm                   | 3   |
| <b>Bộ thấp áp</b>            |                      |   |
| Thùng dầu                    | Lít                  | 100   |
| Áp suất làm việc             | MPa                  | 0,5 - 22  |
| Lưu lượng                    | lít/phút             | 0 - 100   |
| Xi lanh truyền động          | mm                   | Piston Ø 105<br>Cần piston Ø 22<br>Hành trình 173 |
| Lọc dầu                      | µm                   | 10  |

**Bước 4:** Thiết kế, lựa chọn cụm đầu cắt

1) Xác định các thông số đầu vào:

| STT | Tên  | Thông số                     | Kí hiệu        | Giá trị                |
|-----|--|------------------------------|----------------|------------------------|
| 1   | Vật liệu (Hồng ngọc)                       | Ứng suất bền                 | $\sigma_{ben}$ | 400 MPa                |
| 2   | Chất lỏng cắt vật liệu<br>(thường là nước) | Tỷ khối                      | $\rho$         | 1000 kg/m <sup>3</sup> |
|     |  | Áp suất tia nước             | p              | 2800 bar               |
| 3   | Yêu cầu sản phẩm                           | Lưu lượng nước               | Q              | 3 lít/phút             |
|     |  | Bề rộng vết cắt              | a              | 0,3mm                  |
| 4   | Yêu cầu kỹ thuật                           | Vận tốc dịch chuyển đầu phun | V <sub>1</sub> | 300 mm/phút            |

2) Tính toán các thông số làm việc:

Vận tốc tia nước ra khỏi vòi phun:

$$V = 17,14\sqrt{p} = 17,14\sqrt{2800} = 907 \text{ m/s}$$

Diện tích vòi phun:

$$S = \frac{Q}{6V} = \frac{3}{6 \times 907} = 5,51 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \frac{1}{2}$$

Bán kính vòi phun:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{5,51 \times 10^{-4}}{3,14}} = 0,0132 \text{ cm}$$

$$= 0,132 \text{ mm} \Rightarrow d = 0,27 \text{ mm}$$

3) Thiết kế lựa chọn cụm đầu cắt:

| Loại đầu cắt | Hình ảnh  | Thông số đầu cắt  |
|--------------|---|---|
| Permalign II |  | Chiều dài: 27,8 cm<br>Trọng lượng: 1,8 Kg<br>Áp suất vận hành tối thiểu: 4 bar<br>Áp suất tia nước tối đa: 4100 bar<br>Đường kính vòi phun: 0,076 - 0,508 mm<br>Vật liệu vòi phun: Hồng ngọc, kim cương nhân tạo<br>Chiều dài ống hội tụ: 38 - 102 mm |

**Bước 5:** Tính toán thiết kế bàn chạy đầu cắt

1) Xác định các thông số đầu vào:

| STT | Tên                 | Yêu cầu   | Giá trị  |
|-----|---------------------|---|--|
| 1   | Bồn nước            | Vật liệu thép không gỉ, lắp đặt ống chống tràn bên trong, chân bồn có giảm chấn và có thể điều chỉnh độ cao   |  |
| 2   | Khung đỡ            | Vật liệu gang, chịu được tải trọng của bàn cắt và chi tiết gia công   |  |
| 3   | Bàn chạy đầu cắt    | Chuyển động của trục X, Y nhờ cơ cấu vít me, đai ốc bi, dẫn động bằng motor servo<br>Chuyển động trục Z nhờ motor bước<br>Khoảng di chuyển X,Y<br>Khoảng di chuyển Z<br>Tốc độ di chuyển trục vít V | 2000 x 1000 mm<br>200 mm<br>12.000 mm/phút     |
| 4   | Trục vít, đai ốc bi | Chiều dài trục vít L<br>Đường kính trục vít D<br>Số vòng quay trục vít n<br>Khối lượng trục bàn cắt   | 2.000 mm<br>30 mm<br>1.200 vòng/phút<br>800 kg |

2) Tính toán các thông số làm việc:

Bước răng trục vít được tính:

$$S_1 = \frac{V}{n} = \frac{12.000}{1.200} = 10 \text{ mm} = 0,394 \text{ in}$$

Tốc độ tối hạn của trục vít:

$$\begin{aligned}
 C_s &= F_e \times 4760000 \times F_s \times \left( \frac{D \times S_1}{L^2} \right) \\
 &= 2,23 \times 4760000 \times 0,8 \times \left( \frac{1,18 \times 0,315}{78,74^2} \right) \\
 &= 509,1 \text{ in / phut} = 12,93 \text{ m / phut}
 \end{aligned}$$

Tải trọng cho phép:

$$\begin{aligned}
 P_c &= F_c \times 14030000 \times F_s \left( \frac{D^4}{L^2} \right) \\
 &= 4 \times 14030000 \times 0,8 \left( \frac{1,18^4}{78,74^2} \right) = 14039,3 \text{ lb} \\
 &= 6360 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tải trọng tác động:

$$\begin{aligned}
 P_t &= k \times P = 0,2 \times 1766 \\
 &= 353,2 \text{ lb} = 160 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Moment xoắn truyền động:



$$T_d = \frac{S_t \times P_t}{2\pi E} = 0,177 \times S_t \times P_t$$

$$= 0,177 \times 0,394 \times 353,2 = 24,631 \text{ in.lb}$$

$$= 2,8333 \text{ Nm}$$

Công suất motor servo:

$$N = \frac{n \times T_d}{63.000} = \frac{1200 \times 24,631}{63.000} = 0,47 \text{HP}$$

3) Thiết kế chọn bàn chạy đầu cắt:

| Thông số               | Đơn vị            | Chỉ số             |
|------------------------|-------------------|--------------------|
| Kiểu máy               |                   | KWS 2010           |
| Trục X                 | mm                | 2000               |
| Trục Y                 | mm                | 1000               |
| Trục Z                 | mm                | 200                |
| Kích thước (W x D x H) | mm                | 2600 x 1530 x 1600 |
| Khối lượng bàn cắt     | kg/m <sup>2</sup> | 800                |
| Độ chính xác vị trí    | mm/m              | ± 0,1              |
| Độ chính xác lặp lại   | mm/m              | ± 0,05             |
| Tốc độ cắt lớn nhất    | mm/phút           | 9200               |
| Truyền động            |                   | Động cơ servo DC   |
| Điều khiển             |                   | 2 trục XY (2D)     |

**Bước 6:** Tính toán thiết kế cụm điều khiển

1) Xác định các thông số đầu vào:

Bộ xử lý trung tâm tối thiểu là Pentium III hoặc cao cấp hơn; Dung lượng ổ cứng tối thiểu 40G; Bộ nhớ tối thiểu 256MB; Có cổng kết nối USB; Sử dụng mạng LAN, chuẩn nối dây ethernet (IEEE 802.3); Hệ điều hành Windows.

2) Chọn bộ xử lý trung tâm Pentium IV; Dung lượng ổ cứng 80GB; Bộ nhớ 512MB; Có cổng kết nối USB; Sử dụng mạng LAN, chuẩn nối dây ethernet (IEEE 802.3); Sử dụng hệ điều hành Windows.

**Bước 7:** Tổng hợp các thông số thiết kế của hệ thống cắt bằng tia nước

- Cụm tạo áp: Motor truyền động bơm piston có công suất 51,6 kW, công suất bơm 46,5 kW với lưu lượng 114 lít/phút, áp suất 245 bar; Bộ tăng áp tạo được áp suất 4000 bar, lưu lượng nước 3 lít/phút; Hệ số tăng áp k = 17 lần.

- Cụm vòi phun: Bề rộng vết cắt a = 0,3 mm; Vận tốc di chuyển đầu phun V<sub>1</sub> =

300 mm/phút; Vận tốc tia nước ra khỏi vòi phun V = 907 m/s; Đường kính vòi phun: d = 0,27 mm; Khoảng cách từ vòi phun đến bề mặt gia công ds = 36,5 mm;

- Bàn chạy đầu cắt: Khoảng di chuyển theo trục X,Y: 2000 x 1000 mm; khoảng di chuyển theo trục Z: 200 mm; tốc độ di chuyển trục vít me V = 12.000 mm/phút; chiều dài trục vít me: 2000 mm; bước răng vít me S<sub>l</sub> = 10 mm; tốc độ tối hạn trục vít Cs = 12,93 m/phút; tải trọng cho phép Pc = 6.360 kg; tải trọng tác động Pt = 160 kg; momen xoắn truyền động: Td = 2,8 N.m; công suất motor servo: N = 351 W.

- Bộ điều khiển CNC: Bộ điều khiển G-code; bộ xử lý trung tâm Pentium IV; dung lượng ổ cứng 80GB; bộ nhớ 512MB; cổng kết nối USB; sử dụng mạng LAN, chuẩn Ethernet (IEEE 802.3).

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu là đã xây dựng được một quy trình tính toán thiết kế lựa chọn các chi tiết cấu thành máy cắt bằng tia nước thuần khiết bao gồm: cụm tạo áp,

cụm vòi phun, bàn chạy đầu cắt và bộ điều khiển CNC. Kết quả tính toán lựa chọn thiết bị giúp đa dạng hóa, giảm giá thành sản phẩm so với nhập nguyên chiếc và có thể ứng dụng thiết kế máy cắt bằng tia nước trong các công trình dân dụng, quân sự và công nghiệp một cách hiệu quả.

#### **Lời cảm ơn**

Công trình nhận được sự hỗ trợ quý báu của Chương trình nghiên cứu cơ bản trong khoa học tự nhiên, Bộ Khoa học và Công nghệ. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- David A.Summers (2003). *Waterjetting Technology*, E&FN Spon, An Imprint of Chapman& Hall.
- Miller, R.K.(1985). *Waterjet Cutting, Technology and Industrial Applications*, SEAI Technical Publications, P.O. Box 590, Madison, GA 30650.
- Trần Đình Đệ (2008). *Nghiên cứu thiết kế máy cắt tia nước điều khiển CNC*, Luận văn cao học, Trường ĐHBK TP.HCM.
- Nguyễn Thanh Nam (2007). *Phương pháp thiết kế kỹ thuật*, NXB Đại học Quốc gia Tp.Hồ Chí Minh.