

Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy khắc laser

Research, design, manufacture laser engraving machine

Hoàng Ngọc Hải, Đoàn Nguyên Vũ, Nguyễn Trương Công Thắng,
Nguyễn Quang Thành*, Ngô Kiều Nhi

PTN Cơ học Ứng dụng, Trường Đại học Bách khoa TP HCM

**Email: ngqthanh@hcmut.edu.vn*

Tel: +84-8378637868; Mobile: 0973 184 199

Tóm tắt

Từ khóa:

Máy khắc laser, Ứng suất cho phép, Mô phỏng, Moment quán tính, Vận tốc, Gia tốc, Chuyển vị.

Máy khắc laser không chỉ quan trọng trong ngành cơ khí mà còn trong nhiều ngành khác như: may mặc, giày dép, vẽ mạch điện tử... và đặc biệt được ứng dụng trong ngành thủ công mỹ nghệ. Với ưu điểm của máy khắc đã và đang nâng cao khả năng tự động hóa của doanh nghiệp tại Việt Nam như: người vận hành ít, ít phải can thiệp vào hoạt động của máy. Nhiều máy khắc laser có thể tự động chạy liên tục cho tới khi kết thúc và như vậy giải phóng nhân lực cho công việc khác và ít xảy ra hỏng hóc do lỗi vận hành, thời gian gia công được dự báo chính xác, người vận hành không đòi hỏi phải có kỹ năng thao tác (chân tay) cao như điều khiển máy công cụ truyền thống. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy khắc laser trong điều kiện phát triển tại Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng chủ động trong chế tạo và đáp ứng yêu cầu trong điều khiển.

Abstract

Keywords:

Laser engraving machine, Allowable stresses, Simulation, Velocity, Acceleration, Displacement.

The laser engraving machine is not only important in mechanical engineering but also many other industries as: garment, footwear, electronics, and especially in handicrafts. Any laser engraving machine will also improve the level of automation of the business: little operator. Many laser engraving machine can automatically run continuously until the end and freeing manpower for other work, it is less error-prone to operate, processing time is predicted accurately, the operator does not require manipulation skills (hand-foot) high as machine control traditional tools. In this study, the authors conducted research, design and manufacture of laser engraving machines under conditions of development in Vietnam. The research results show that the ability to be proactive in fabrication and meet the requirements in control.

Ngày nhận bài: 12/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 10/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Từ khi được phát triển cuối thập niên 1940 đầu thập niên 1950, sự xuất hiện của máy CNC (Computerized Numeric Control) là một trong những thành tựu khoa học, kỹ thuật của nhân loại, nhanh chóng thay đổi việc sản xuất công nghiệp. Máy CNC đã góp phần giải quyết nhiệm vụ cấp

bách hiện nay là tự động hoá quá trình sản xuất, tạo nên sự phát triển đáng kể về chính xác và chất lượng. Tuy nhiên, ở Việt Nam, việc nghiên cứu, chế tạo và ứng dụng CNC vào sản xuất gặp rất nhiều hạn chế. Đa phần máy CNC hiện nay chỉ được đầu tư ở các doanh nghiệp chuyên về gia công, chế tạo khuôn mẫu với quy mô sản xuất lớn. Tuy nhiên, hầu hết các xưởng gia công nhỏ, phòng thí nghiệm tại trường Đại học, Cao Đẳng kỹ thuật ít được sử dụng máy CNC đặc biệt các máy CNC nhiều trục với công nghệ hiện đại. Để khắc phục những khó khăn hiện tại, nhiều đơn vị doanh nghiệp và một số trường đại học, cao đẳng đã và đang cố gắng tự chủ động chế tạo máy CNC để đáp ứng nhu cầu của xã hội.

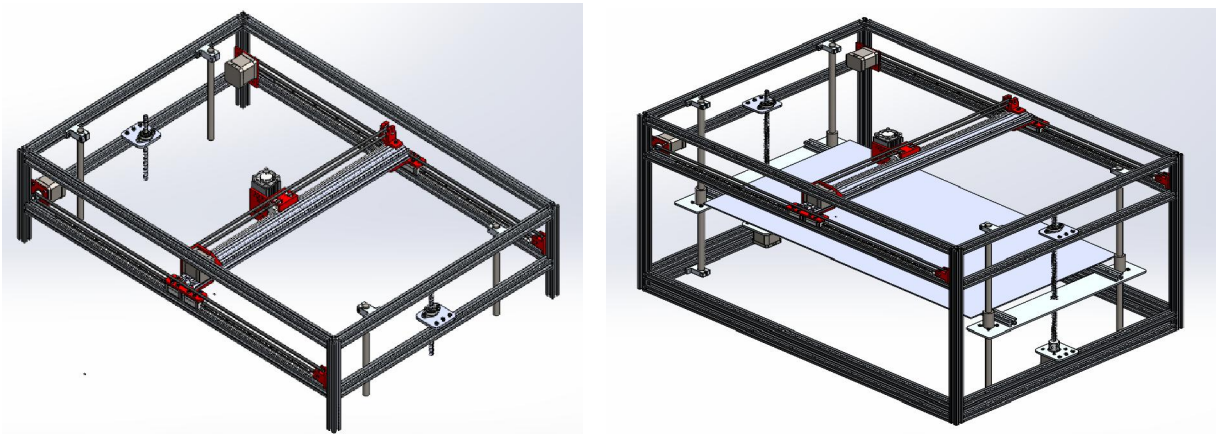
Máy khắc laser tự động là một dạng khác của máy CNC. Nó phù hợp với định hướng nghiên cứu chung của xã hội vì nó phục vụ theo đúng nhu cầu cuộc sống. Do đó, hướng nghiên cứu này không những giúp chủ động tìm tòi, nghiên cứu, dần dần làm chủ kiến thức lĩnh vực này trong tương lai. Khái niệm về laser còn tương đối mới mẻ ở Việt Nam, với "LASER" viết tắt của "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", laser là sự khuếch đại ánh sáng bằng phát xạ kích thích. Bức xạ laser được tạo ra từ một bộ nguồn laser. Hiện nay hai loại laser nguồn thông dụng là laser tinh thể bán dẫn và laser khí. Nguồn laser có thể được kích hoạt bằng ánh sáng (đèn chớp hoặc diot) hoặc điện thế. Tinh thể laser hoặc khí được đặt giữa hai gương cho phép cộng hưởng và định hướng chùm tia laser. Một tỉ lệ xác định của chùm tia laser được truyền qua gương phản xạ bán toàn phần và nó có thể dùng để gia công vật liệu. Ngoài ra, laser còn có rất nhiều ứng dụng khác như trong công nghệ quân sự, viễn thông, đo lường, y tế [13-17].

Bài báo trình bày về việc tính toán, thiết kế các bộ phận của máy dựa trên lý thuyết đồng thời tiến hành mô phỏng bền cho kết cấu bao gồm các chỉ tiêu về độ chính xác, độ bền, tính công nghệ. Kết quả từ nghiên cứu cho thấy khả năng tự chế tạo, chủ động chế tạo máy khắc laser tại Việt Nam.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT/PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tính toán công suất động cơ [1-6]

Động cơ chấp hành cho chuyển động của Laser theo hai phương X,Y; động cơ chạy theo 2 phương X, Y thường có cùng công suất. Trong trường hợp này, lực cắt bằng 0 do đầu laser không gây ra lực cắt, chỉ chuyển động tịnh tiến. Trọng lượng các bộ phận di động gồm: kết cấu của các cụm trục X và Y.



Hình 1. Cơ cấu chuyển động của trục X, Y

Tổng khối lượng của đai và tải	$m_Y = 3 \text{ (kg)}; m_T = 1 \text{ (kg)}$
Tốc độ di chuyển	$V = 50 \text{ (mm/s)}$
Chiều dài dịch chuyển của con trượt	$l_x = 600 \text{ (mm)}; l_y = 400 \text{ (mm)}$
Ngoại lực tác dụng	F_A
Góc nghiêng của trục so với phương ngang	$\theta = 0^\circ$
Đường kính pulley	$D = 12 \text{ (mm)}$
Khối lượng mỗi Pulley	$m_P = 0,01 \text{ (kg)}$
Hiệu suất dây đai và pulley	$\eta = 0,9$
Tần số nguồn cấp	$f = 60 \text{ Hz}$
Hệ số an toàn	$S_f = 2$
Độ phân giải mong muốn	$\Delta l = 200 \text{ (mm/bước)}$
Thời gian điều chỉnh	$t_o = 2,4 \text{ (s)}$

Ta có thông số đầu vào như sau:

$$\text{Góc bước cần thiết của động cơ: } \theta_s = \frac{360^\circ}{\Delta l} = \frac{360^\circ}{200} = 1,8^\circ$$

Tổng số bước quay A trong hành trình hoạt động:

$$A_x = \frac{l_x}{D_p} \cdot \frac{360^\circ}{\theta_s} = \frac{600}{12} \times \frac{360^\circ}{1,8} = 10000 \frac{n!}{r!(n-r)!} \text{ (bước)}$$

$$A_y = \frac{l_y}{D_p} \cdot \frac{360^\circ}{\theta_s} = \frac{400}{12} \times \frac{360^\circ}{1,8} = 6666,667 \text{ (bước)}$$

$$\text{Thời gian tăng tốc (giảm tốc): } t_1 = t_o \cdot 0,25 = 2,4 \cdot 0,25 = 0,6 \text{ (s)}$$

Tần số hoạt động f_2 :

$$f_{2x} = \frac{A_x - f_1 t_1}{t_o - t_1} = \frac{10000 - 0 \cdot 0,2}{2,4 - 0,6} = 5,6 \text{ (kHz)}$$

$$f_{2y} = \frac{A_y - f_1 t_1}{t_o - t_1} = \frac{6666,667 - 0 \cdot 0,2}{2,4 - 0,6} = 3,7 \text{ (kHz)}$$

Vận tốc hoạt động N_M :

$$N_{Mx} = f_{2x} \cdot \frac{\theta_s}{360} \cdot 60 = 5,6 \cdot \frac{1,8}{360} \cdot 60 = 1,68 \text{ (v/ph)}$$

$$N_{My} = f_{2y} \cdot \frac{\theta_s}{360} \cdot 60 = 3,7 \cdot \frac{1,8}{360} \cdot 60 = 1,11 \text{ (v/ph)}$$

Lực gây ra khi tải chuyển động:

$$F_x = F_A + m_Y g \cdot (\sin \theta + \mu \cos \theta) = 0 + 3 \cdot 9,8 \cdot (\sin 0 + \cos 0 \cdot 0,3) = 8,82 \text{ (N)}$$

$$F_y = F_A + m_T g \cdot (\sin \theta + \mu \cos \theta) = 0 + 1,9,8 \cdot (\sin 0 + \cos 0 \cdot 0,3) = 2,94(N)$$

Moment tải:

$$T_{Lx} = \frac{F_x \cdot D_P}{2\eta} = \frac{8,82 \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,9} = 0,0588(Nm); \quad T_{Ly} = \frac{F_y \cdot D_P}{2\eta} = \frac{2,94 \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,9} = 0,0196(Nm)$$

Moment quán tính của dây đai và tải:

$$J_{M1x} = m_y \cdot \left(\frac{\pi D_P}{2}\right)^2 = 3 \cdot \left(\frac{12 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 1,08 \cdot 10^{-4}(kg \cdot m^2);$$

$$J_{M1y} = m_T \cdot \left(\frac{\pi D_P}{2}\right)^2 = 1 \cdot \left(\frac{12 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 = 3,6 \cdot 10^{-5}(kg \cdot m^2)$$

$$\text{Moment quán tính của pulley: } J_{M2} = \frac{1}{8} m_p D_P^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,01 \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2 = 1,8 \cdot 10^{-7}(kg \cdot m^2)$$

Tổng moment quán tính:

$$J_{Lx} = J_{M1x} + 2J_{M2} = 1,08 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-7} = 1,0836 \cdot 10^{-4}(kg \cdot m^2)$$

$$J_{Ly} = J_{M1y} + 2J_{M2} = 3,6 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-7} = 3,636 \cdot 10^{-5}(kg \cdot m^2)$$

Moment gia tốc:

$$T_{ax} = (J_o + J_{Lx}) \frac{\pi \theta_s}{180} \frac{f_{2x} - f_1}{t_1} = (J_o + 1,08 \cdot 10^{-4}) \cdot \frac{\pi \cdot 1,8}{180} \cdot \frac{5555,556}{0,6} = 290,89J_o + 0,0314(Nm)$$

$$T_{ay} = (J_o + J_{Ly}) \frac{\pi \theta_s}{180} \frac{f_{2y} - f_1}{t_1} \\ = (J_o + 3,636 \cdot 10^{-5}) \cdot \frac{\pi \cdot 1,8}{180} \cdot \frac{3703,704}{0,6} = 193,92J_o + 7,051 \cdot 10^{-3}(Nm)$$

Trong đó: J_o : Moment quán tính của rotor ($kg \cdot m^2$)

Moment hoạt động cần thiết:

$$T_M = (T_L + T_a) S_f;$$

$$T_{Mx} = (T_{Lx} + T_{ax}) S_f = (0,0588 + 290,89J_o + 0,314) \cdot 2 = 0,1804 + 581,78J_o(Nm)$$

$$T_{My} = (T_{Ly} + T_{ay}) S_f = (0,0196 + 193,92J_o + 7,051 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 = 0,0533 + 387,84J_o(Nm)$$

Bảng 2. Chọn động cơ có thông số kỹ thuật

Động cơ bước Nema 17			
Đặc tính kỹ thuật chung		Đặc tính kỹ thuật điện	
Góc bước	1,8°	Điện áp định mức	3,75 V
Số pha	2	Dòng điện định mức	2 A
Điện trở cách nhiệt	100 MΩ min (500V DC)	Điện trở mỗi pha	3,3 Ω ± 10%

Loại cách điện	B	Cảm kháng mỗi pha	$5 \text{ mH} \pm 10 \%$
Quán tính của rotor	$57 \text{ g} \times \text{cm}^2$	Moment kéo	$480 \text{ mN} \times \text{m}$
Khối lượng	0,28 kg	Moment hãm	$15 \text{ mN} \times \text{m}$

Với $J_o = 57.10^{-7}$ khi đó, moment yêu cầu theo thông số của động cơ:

$$T_{My} = 0,0533 + 387,84J_o = 0,0533 + 387,84.57.10^{-7} = 0,055(\text{Nm}) < 0,48(\text{Nm})$$

Với $J_o = 57.10^{-7}$ khi đó, moment yêu cầu theo thông số của động cơ:

$$T_{Mx} = 0,1804 + 581,78J_o = 0,1804 + 581,78.57.10^{-7} = 0,184(\text{Nm}) < 0,48(\text{Nm})$$

⇒ Kết luận: Động cơ thỏa yêu cầu trục X, Y.

2.2. Động cơ chấp hành cho chuyển động của máy theo phương Z

Ta có thông số đầu vào như bảng 3.

Bảng 3. Thông số đầu vào của máy theo phương Z

Tổng khối lượng của bàn và tải	$m_z = 10 \text{ (kg)}$
Tốc độ di chuyển	$V = 20 \text{ (mm/s)}$
Ngoại lực tác dụng	F_A
Góc nghiêng của trục so với phương ngang	$\theta = 90^\circ$
Tổng chiều dài vitme	$L_B = 400 \text{ (mm)}$
Đường kính vitme	$D_V = 8 \text{ (mm)}$
Khoảng dịch chuyển khi vitme quay 1 vòng	$p_s = 8 \text{ (mm)}$
Hiệu suất	$\eta = 0,9$
Độ phân giải mong muốn	$\Delta l = 200 \text{ (mm/bước)}$
Khối lượng riêng của vitme	$\rho = 7,9.10^3 \text{ (kg / m}^3\text{)}$
Hệ số ma sát giữa bề mặt vitme và con trượt	$\mu = 0,3$
Hệ số an toàn	$S_f = 2$
Thời gian điều chỉnh	$t_o = 0,8$
Hệ số ma sát trên ren	$\mu_o = 0,2$

Trong trường hợp này, lực cất bằng 0 do bàn máy chỉ chuyển động tịnh tiến. Trọng lượng các bộ phận di động gồm: khối lượng vật và khối lượng cụm bàn máy.

$$\text{Góc bước cần thiết của động cơ: } \theta_s = \frac{360^\circ}{\Delta l} = \frac{360^\circ}{200} = 1,8^\circ$$

Tổng số bước quay A trong hành trình hoạt động:

$$A = \frac{L}{D_V} \cdot \frac{360^\circ}{\theta_s} = \frac{400}{8} \cdot \frac{360^\circ}{1,8} = 10000 \text{ (bước)}$$

$$\text{Lực dọc trục: } F = F_A + mg \cdot (\sin \theta + \mu \cos \theta) = 0 + 10 \cdot 9,8 \cdot (\sin 90 + \cos 90 \cdot 0,3) = 98(N)$$

$$\text{Lực gây ra trên trục vitme: } F_o = \frac{F}{3} = \frac{98}{3} = 32,667(N)$$

$$\text{Thời gian tăng tốc (giảm tốc): } t_1 = t_o \cdot 0,25 = 0,8 \cdot 0,25 = 0,2(s)$$

$$\text{Tần số xung hoạt động: } f_2 = \frac{A - f_1 t_1}{t_o - t_1} = \frac{10000 - 0 \cdot 0,2}{0,8 - 0,2} = 16666,667(Hz)$$

$$\text{Vận tốc hoạt động: } N_M = f_2 \frac{\theta_s}{360} 60 = 16666,667 \cdot \frac{1,8}{360} \cdot 60 = 5000(v / ph)$$

$$\text{Moment tải: } T_L = \left(\frac{FD_V}{2\eta\pi} + \frac{\mu_o F_o D_V}{2\pi} \right) \frac{1}{i} = \left(\frac{98 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 0,9} + \frac{0,2 \cdot 49 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{2\pi} \right) = 0,147(Nm)$$

$$\text{Moment quán tính của bàn và tải: } J_B = m \cdot \left(\frac{P_s}{2\pi} \right)^2 = 10 \cdot \left(\frac{8 \cdot 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 = 1,62 \cdot 10^{-5} (kg \cdot m^2)$$

Moment quán tính của vitme:

$$J_V = \frac{\pi}{32} \rho L D_V^4 = \frac{\pi}{32} \cdot 7,9 \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot (8 \cdot 10^{-3})^4 = 1,27 \cdot 10^{-6} (kg \cdot m^2)$$

$$\text{Tổng moment quán tính: } J_L = J_B + J_V = 1,62 \cdot 10^{-5} + 1,27 \cdot 10^{-6} = 1,747 \cdot 10^{-5} (kg \cdot m^2)$$

Moment gia tốc:

$$T_a = (J_o + J_L) \frac{\pi \theta_s}{180} \frac{f_2 - f_1}{t_1} = (J_o + 1,747 \cdot 10^{-5}) \cdot \frac{\pi \cdot 1,8}{180} \cdot \frac{16666,667}{0,2} = 2617,99 J_o + 0,0457(Nm)$$

Trong đó: J_o : Moment quán tính của rotor ($kg \cdot m^2$)

Moment hoạt động cần thiết:

$$T_M = (T_L + T_a) S_f = (0,147 + 2617,99 J_o + 0,0457) \cdot 2 = 0,3854 + 5235,98 J_o (Nm)$$

Bảng 4. Chọn động cơ có thông số kỹ thuật

Động cơ bước 17		Đặc tính kỹ thuật điện	
Đặc tính kỹ thuật chung		Điện áp định mức	7,2 V
Góc bước	1,8°	Dòng điện định mức	1.2 A
Số pha	2	Điện trở mỗi pha	6 Ω ± 10%
Điện trở cách nhiệt	100 MΩ min (500V DC)	Cảm kháng mỗi pha	7 mH ± 20%
Loại cách điện	B	Moment kéo	650 mN × m
Quán tính của rotor	82 g × cm ²	Moment hãm	92 mN × m
Khối lượng	0,5 kg		

Với $J_o = 82 \cdot 10^{-7}$ khi đó, moment yêu cầu theo thông số của động cơ:

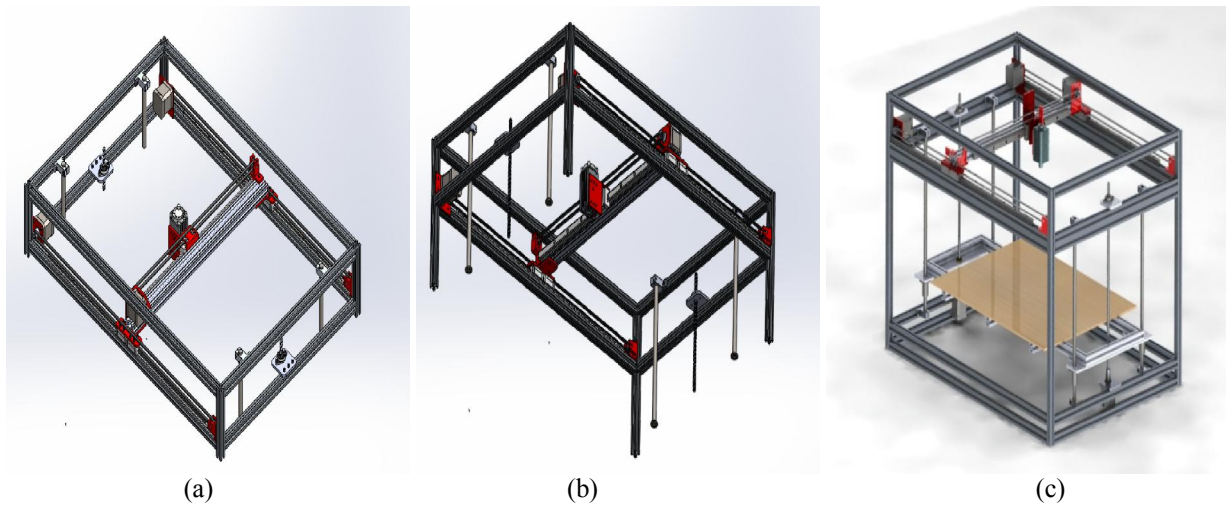
$$T_M = 0,3854 + 5235,98 J_o = 0,3854 + 5235,98 \cdot 82 \cdot 10^{-7} = 0,43(Nm) < 0,65(Nm)$$

⇒ Kết luận: Đảm bảo yêu cầu về moment kéo của động cơ treo phương Z.

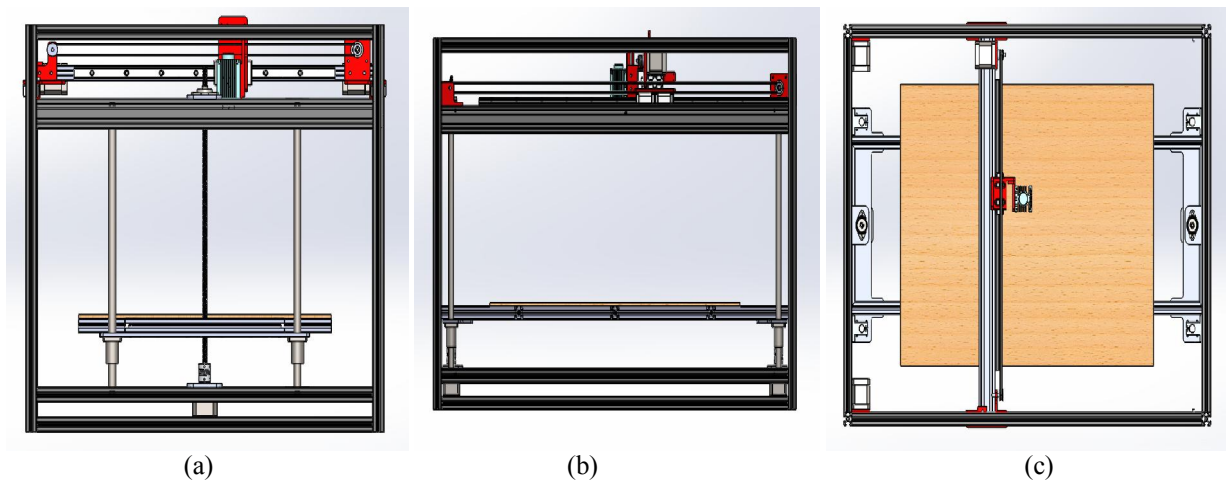
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết kế mô hình trên phần mềm 3D [7-12]

Thiết kế khung máy theo kích thước ước lượng 830 x 580 x 550 (mm). Thực hiện khảo sát thực tế và đo đạc các linh kiện, vật liệu gia công có sẵn trên thị trường để từ đó thiết kế mô hình máy có bản vẽ giống như thực tế. Mô hình như Hình 2 và các hình chiếu như Hình 3.



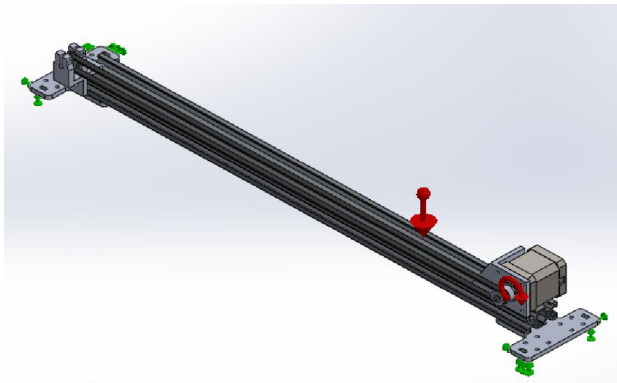
Hình 2. Bản thiết kế hoàn chỉnh cho mô hình máy khắc laser



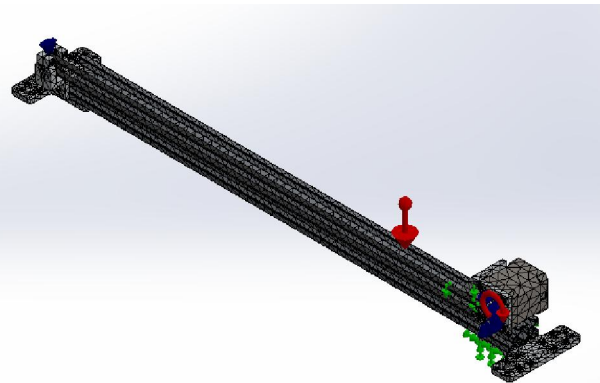
Hình 3. Các hình chiếu của máy

3.2. Kết quả kiểm tra bền cho các khâu

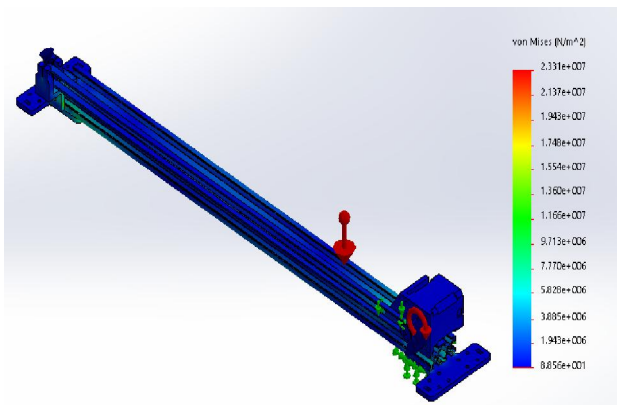
Trong điều kiện tĩnh, lực tác dụng lên trục Y như sau bao gồm: Moment của động cơ và Trọng lực P của trục Y.



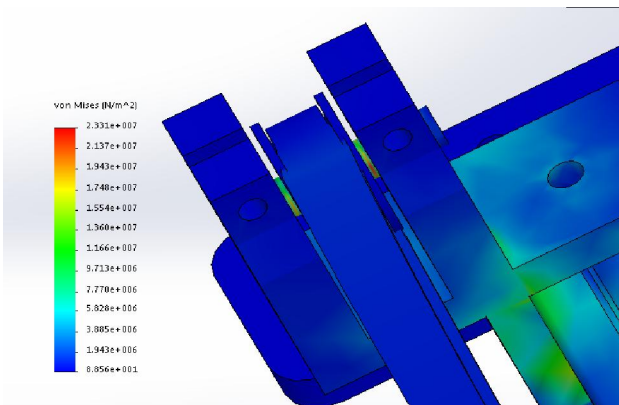
Hình 4. Điều kiện biên và lực cho trục



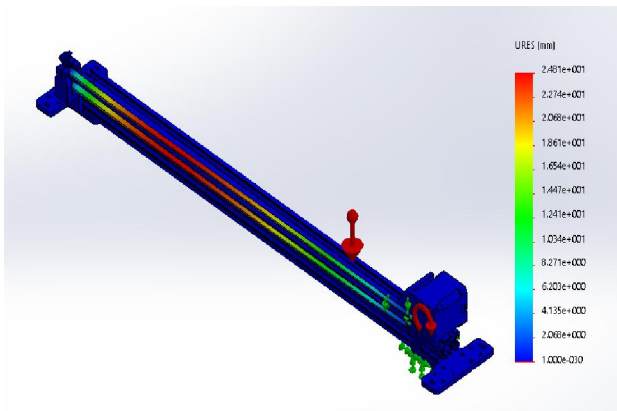
Hình 5. Chia lưới cho khâu 2



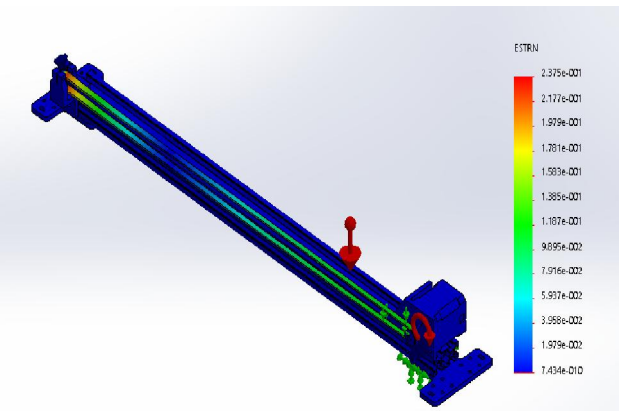
Hình 6. Trường ứng suất trên trục Y



Hình 7. Vị trí tập trung ứng suất



Hình 8. Trường chuyển vị của khâu 2



Hình 9. Trường biến dạng của khâu 2

3.3. Kết quả kiểm tra bền cho khung máy

Bảng 5. Thông số kỹ thuật của khung máy

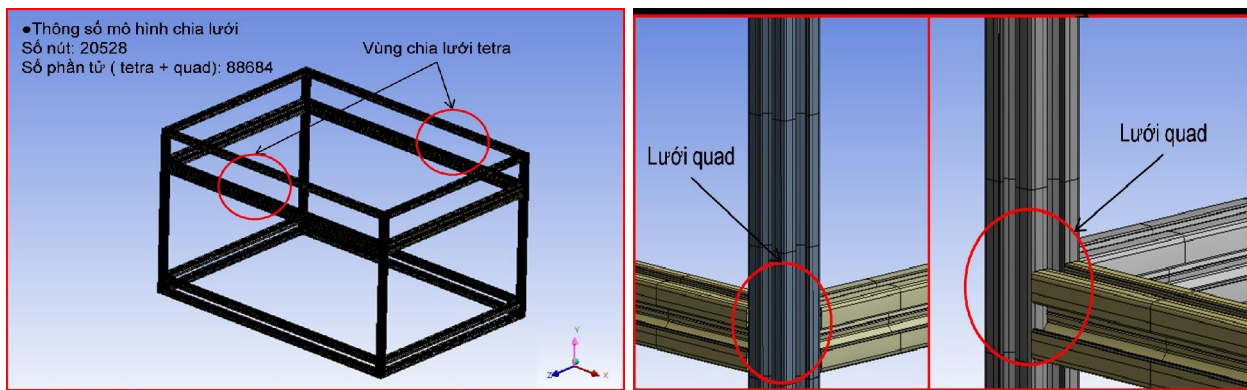
Thông số vật liệu	Aluminum Alloy (Hợp kim nhôm)
Module đàn hồi E (MPa)	$7,1.10^{10}$ Pa
Khối lượng riêng ρ (kg/m ³)	2770 kg/m ³

Hệ số Poisson ν	0,33
Yield Stress	$2,8.10^8$ Pa

Lưới có thể chia thành 3 dạng: lưới tetra, lưới mix (2 loại tetra và quad), lưới map (toàn bộ là quad - tứ giác). Mô hình chia lưới máy in laser 3D sử dụng tính năng chia lưới tự động của phần mềm Ansys Workbench vẫn thỏa các tiêu chuẩn sau:

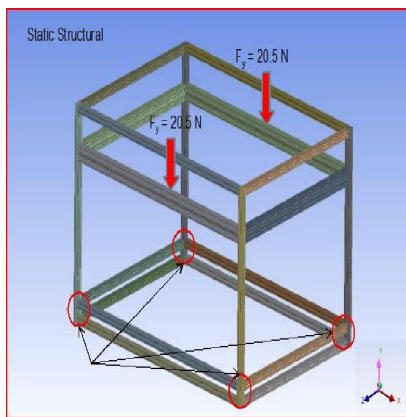
Bảng 6. Tiêu chuẩn chia lưới Ansys

Skewness	45^0
Jacopian	0.7
Aspect Ratio	3.0
Min Length	5

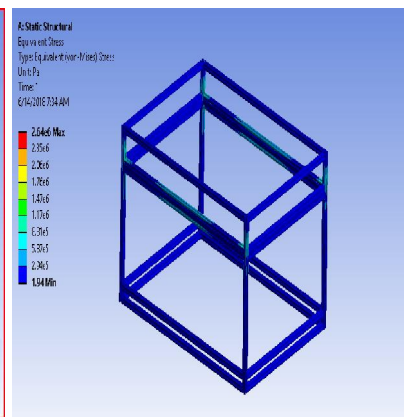


Hình 10. Thông số chia lưới

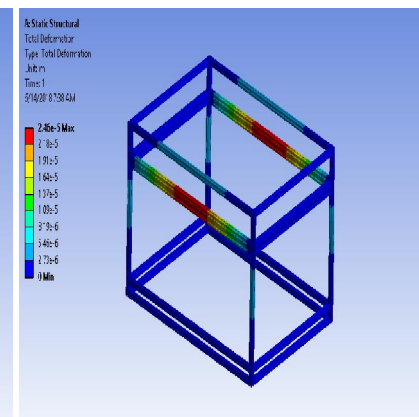
Điều kiện biên cho mô hình: Ở trạng thái tĩnh, khung nhôm chịu tác dụng của trọng lượng toàn bộ các khâu và trọng lượng của bản thân.



Hình 11. Điều kiện biên cho mô hình



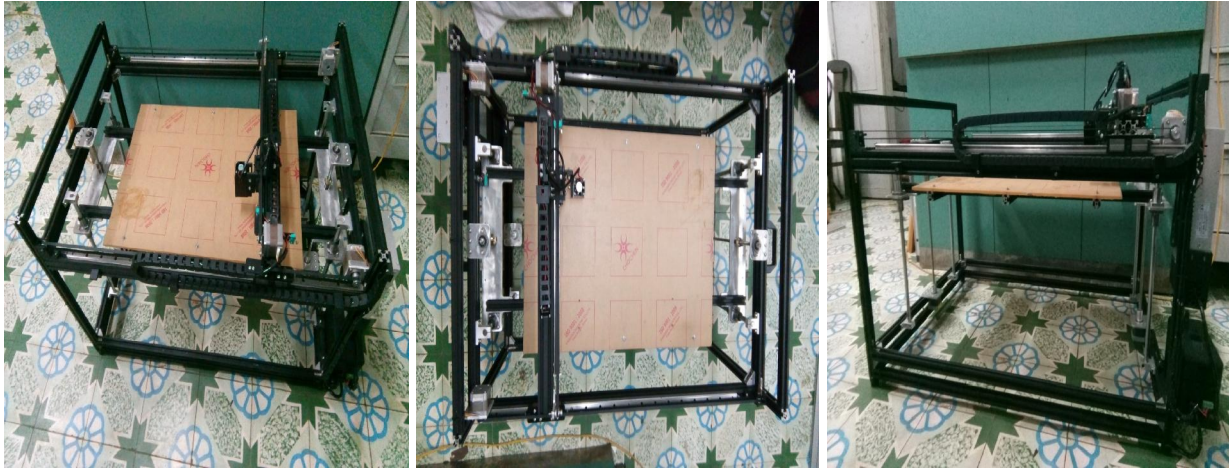
Hình 12. Kết quả ứng suất



Hình 13. Kết quả chuyển vị tĩnh

Nhận xét: Ứng suất lớn nhất là $8,81.10^5$ (Pa) chưa đạt tới ứng suất chảy dẻo ($2,8.10^8$) (Pa), khung thỏa bền.

3.4. Mô hình thực tế và sản phẩm



Hình 14. Máy khắc hoàn chỉnh



Hình 15. Hình ảnh một số sản phẩm

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu, thiết kế, chế tạo đã lắp ráp hoàn chỉnh phần cơ khí và phần điện cho máy laser theo mô hình đã thiết kế. Tính toán, mô phỏng bền cho khung và các cụm của máy đồng thời ứng dụng được các phần mềm CAD-CAM để thiết kế và xuất file G-code. Trong những nghiên cứu tiếp theo nhóm nghiên cứu sẽ xây dựng được mô hình tính toán hoàn chỉnh về tần số dao động riêng của khung, các cụm máy, đầu laser.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển, Tính toán Thiết kế Hệ thống dẫn động Cơ khí, tập 1, NXB Giáo dục, 2006.
- [2]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển, Tính toán Thiết kế Hệ thống dẫn động Cơ khí, tập 2, NXB Giáo dục, 2006.

- [3]. Nguyễn Hữu Lộc, Cơ sở Thiết kế máy, NXB Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2009.
- [4]. Nguyễn Hữu Lộc, Bài tập chi tiết máy, NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2008.
- [5]. В. П. Вейко, М.Н. Либенсон, Лазерная обработка, Лениздат. 1973.
- [6]. Reza N. Jazar. Theory of Applied Robotics, Kinematics, Dynamics, and Control. Second Edition.
- [7]. Chu Quốc Thắng. Phương pháp phần tử hữu hạn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1997.
- [8]. Nguyễn Văn Phái, Trương Tích Thiện, Nguyễn Tường Long, Nguyễn Định Giang, Giải bài toán cơ kỹ thuật bằng chương trình ANSYS, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2003.
- [9]. www.orientalmotor.com, Technical Reference, CAD Data Manuals.
- [10]. www.Reprap.org/wiki/CoreXY.
- [11]. Ngô Kiều Nhi, Trương Tích Thiện, Cơ ứng dụng, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2011.
- [12]. Ngô Kiều Nhi, Trần Công Nghị, Dao động kỹ thuật, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2014.
- [13]. Bai Hua Zhou, Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO2-laser. S.M. Mahdavian School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, Royal Melbourne Institute of Technology University 31/10/2013.
- [14]. Võ Đức Anh, 2016, Luận văn tốt nghiệp “Động lực học máy CNC bốn trục”, Khoa Khoa học Ứng dụng - Bộ môn Cơ Kỹ thuật - Đại học Bách khoa TP HCM.
- [15]. Phạm Hoàng Vũ, Xa Viết Khoa, Luận văn tốt nghiệp “Tính toán, thiết kế, chế tạo máy in 3D”, Khoa Khoa học Ứng dụng - Bộ môn Cơ Kỹ thuật - Đại học Bách khoa TP HCM.
- [16]. Nguyễn Trọng Vinh, Luận văn tốt nghiệp “Thiết kế và chế tạo máy in 3D CARTESIAN dạng COREXY”, Khoa Khoa học Ứng dụng - Bộ môn Cơ Kỹ thuật - Đại học Bách khoa TP HCM.
- [17]. Phan Tấn Tùng, Động lực học và điều khiển Robot, Khoa Cơ khí - Bộ môn Cơ điện tử - Đại học Bách khoa TP HCM, 2010.