

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÔ HÌNH MÁY THỬ ĐỘ BỀN CHO CHI TIẾT NHỰA

RESEARCH ON THE FABRICATION OF A STRENGTH TESTING MACHINE MODEL FOR PLASTIC COMPONENTS

Tưởng Phước Thọ, Phạm Thế Sơn, Nguyễn Phương Nam, Lê Hồng Phúc,
Huỳnh Đỗ Song Toàn*

Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: thotp@hcmute.edu.vn;

19144186@student.hcmute.edu.vn;

19144158@student.hcmute.edu.vn;

19144175@student.hcmute.edu.vn;

*toanhds@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế, chế tạo và thử nghiệm mô hình máy thử độ bền xoắn dành cho các chi tiết nhựa được in 3D. Mục tiêu của đề tài là xây dựng một thiết bị thử nghiệm có khả năng đo mô-men xoắn và góc xoay của mẫu vật nhằm đánh giá khả năng chịu xoắn của vật liệu nhựa trong các điều kiện in khác nhau. Mô hình được thiết kế theo tiêu chuẩn ASTM D1043, bao gồm các cụm cơ cấu như hệ truyền động, bộ đo mô-men xoắn, bộ đo góc xoắn (encoder), khung giữ mẫu và hệ truyền đai – giảm tốc. Mẫu thử bằng vật liệu PLA-F được in với các thông số công nghệ khác nhau về nhiệt độ, góc in, mật độ và chiều dày lớp. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô-men xoắn cực đại dao động từ 4,2 đến 15,7 N·m, trong đó các mẫu có mật độ in 100% và chiều dày lớp 0,1 mm đạt giá trị bền xoắn cao nhất. Mật độ in và chiều dày lớp là hai yếu tố ảnh hưởng rõ rệt đến độ bền xoắn của mẫu, trong khi góc in và nhiệt độ in có tác động thứ yếu. Kết quả này chứng minh mô hình máy thử có khả năng hoạt động ổn định, đo đạc chính xác và có thể ứng dụng trong nghiên cứu, giảng dạy cũng như đánh giá cơ tính vật liệu nhựa.

Từ khóa: Máy thử độ bền xoắn; Chi tiết nhựa; In 3D; Mô-men xoắn; Tiêu chuẩn ASTM D1043; Vật liệu PLA-F.

ABSTRACT

This study presents the design, fabrication, and testing of a torsional strength testing machine for 3D-printed plastic specimens. The objective is to develop an experimental setup capable of measuring torque and angular displacement to evaluate the torsional resistance of polymer components under various printing parameters. The testing device was designed in accordance with ASTM D1043, consisting of a drive mechanism, torque sensor, encoder, clamping frame, and belt-reduction transmission system. PLA-F samples were fabricated using different printing conditions 

including temperature, infill angle, density, and layer thickness. Experimental results show that the maximum torque ranged from 4.2 to 15.7 N·m, with the highest torsional strength obtained from samples printed at 220 °C, 100% infill density, and 0.1 mm layer thickness. The infill density and layer thickness exhibited the most significant influence on torsional performance, while the printing temperature and infill angle had lesser effects. The developed testing model demonstrates reliable performance and accuracy, providing a useful platform for mechanical characterization of polymer materials in research and education.

Keywords: *Torsional strength tester; Plastic component; 3D printing; Torque measurement; ASTM D1043; PLA-F material.*

1. TỔNG QUAN

Trong lĩnh vực cơ khí và vật liệu, việc đánh giá độ bền cơ học của chi tiết nhựa đóng vai trò quan trọng nhằm đảm bảo tính an toàn, độ tin cậy và tuổi thọ của sản phẩm trong quá trình sử dụng. Các chi tiết nhựa được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp như điện – điện tử, ô tô, y sinh và hàng tiêu dùng, nhờ vào đặc tính nhẹ, dễ gia công và chi phí thấp. Tuy nhiên, đặc tính cơ học của vật liệu nhựa lại phụ thuộc mạnh vào thành phần polymer, điều kiện gia công và môi trường làm việc, do đó việc xác định chính xác khả năng chịu tải, chịu uốn hoặc chịu xoắn là hết sức cần thiết [1-3].

Các nghiên cứu trong y học, đặc biệt là về vít xương trong phẫu thuật chỉnh hình, đã chỉ ra rằng độ bền và độ tin cậy của mối ghép chịu tải phụ thuộc trực tiếp vào mức mô-men siết và lực nén tại vị trí lắp ghép. Nếu mô-men siết quá lớn, ren có thể bị tuột hoặc biến dạng, làm giảm khả năng chịu tải [6]; ngược lại, nếu siết quá nhỏ, liên kết dễ bị lỏng khi chịu tải lắp hoặc rung động [8]. Áp lực cơ học quá lớn cũng có thể ảnh hưởng đến khả năng sống của tế bào tạo xương (osteoblast) [7], trong khi việc siết không đủ chặt có thể dẫn đến tổn thương mô xung quanh hoặc thậm chí gây biến chứng phải phẫu thuật lại [9]. Những kết quả này cho

thấy tầm quan trọng của việc kiểm soát lực và mô-men trong quá trình lắp ghép và kiểm tra độ bền, qua đó có thể suy rộng sang các ứng dụng trong thiết kế thiết bị thử nghiệm độ bền cho chi tiết nhựa, nơi yêu cầu độ chính xác cao về tải trọng và mô-men tác dụng.

Trong thực tế, nhiều thí nghiệm kiểm tra độ bền cơ học của vật liệu nhựa vẫn được thực hiện bằng các thiết bị nhập khẩu có chi phí cao hoặc các mô hình tự chế có độ chính xác và độ lặp lại chưa cao. Điều này đặt ra nhu cầu cần thiết phải nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mô hình máy thử độ bền chuyên dụng cho các loại chi tiết nhựa khác nhau như mẫu kéo, mẫu uốn hoặc mẫu xoắn, nhằm phục vụ công tác giảng dạy, nghiên cứu khoa học và kiểm nghiệm vật liệu tại các cơ sở đào tạo kỹ thuật.

Bên cạnh đó, sự phát triển của các công nghệ đo lường, cảm biến và trí tuệ nhân tạo (AI) đang mở ra hướng tiếp cận mới trong việc tự động hóa và định lượng quá trình thử nghiệm cơ học. Các cảm biến mô-men, cảm biến biến dạng hoặc cảm biến lực có thể được tích hợp vào mô hình máy thử để ghi nhận dữ liệu chính xác, đồng thời áp dụng các mô hình tính toán và phân tích dữ liệu nhằm đánh giá đặc tính vật liệu một cách khách quan hơn [12]. Xu hướng này phù hợp với định hướng phát triển các mô hình thí nghiệm thông minh, có khả năng đo

đặc, xử lý và đánh giá dữ liệu tự động, góp phần nâng cao chất lượng nghiên cứu và đào tạo trong lĩnh vực cơ khí – vật liệu.

Từ những cơ sở lý thuyết và thực tiễn nêu trên, đề tài “Nghiên cứu chế tạo mô hình máy thử độ bền cho chi tiết nhựa” được thực hiện nhằm phát triển một hệ thống thử nghiệm có khả năng đo, điều khiển và đánh giá lực – mô-men tác dụng một cách định lượng và chính xác, qua đó hỗ trợ công tác nghiên cứu cơ học vật liệu và kiểm định chất lượng sản phẩm nhựa trong thực tế sản xuất.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Quy trình thử nghiệm theo tiêu chuẩn D 1043

Tiêu chuẩn thử độ bền xoắn D 1043 xác định quy trình thử nghiệm chi tiết để đo lường độ bền xoắn của các mẫu vật liệu nhựa. Quy trình thử nghiệm này bao gồm các bước sau:

- Bước 1 – Chuẩn bị mẫu thử: Đầu tiên, các mẫu vật liệu nhựa được chuẩn bị theo quy định của tiêu chuẩn. Mẫu thử có thể có dạng thanh, tấm, hoặc đĩa tùy thuộc vào yêu cầu cụ thể của vật liệu.

- Bước 2 – Xác định điều kiện thử nghiệm: Trước khi thực hiện thử nghiệm, cần xác định các thông số quan trọng như tốc độ xoắn, góc xoắn, và nhiệt độ môi trường. Điều này đảm bảo rằng các thử nghiệm được tiến hành trong điều kiện đồng nhất và có thể so sánh kết quả.

- Bước 3 – Sử dụng thiết bị thử nghiệm: Tiếp theo, mẫu vật liệu được gắn vào thiết bị thử nghiệm xoắn theo quy định của tiêu chuẩn. Thiết bị thử nghiệm bao gồm một bộ trục xoắn

và một bộ đo lường xoắn.

- Bước 4 – Áp dụng lực xoắn: Lực xoắn được áp dụng lên mẫu vật liệu thông qua thiết bị thử nghiệm. Lực này tạo ra một xoắn trong mẫu và đo lường được độ phân giải của xoắn.

- Bước 5 – Ghi nhận và đo lường xoắn: Trong suốt quá trình áp dụng lực xoắn, mô-đun được sử dụng để ghi nhận và đo lường dữ liệu xoắn. Điều này giúp xác định độ bền xoắn của mẫu vật liệu.

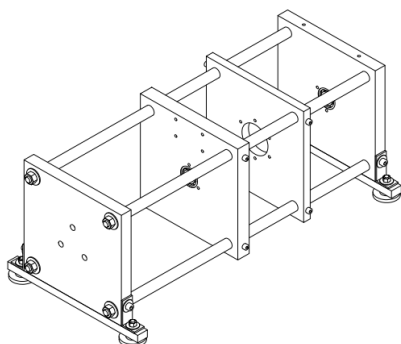
- Bước 6 – Xác định kết quả: Sau khi hoàn thành quá trình thử nghiệm, dữ liệu xoắn được xử lý và phân tích để xác định độ bền xoắn của mẫu vật liệu. Các phương pháp phân tích có thể bao gồm tính toán giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, và so sánh với các giá trị tham chiếu hoặc tiêu chuẩn.

2.2. Nguyên lý hoạt động của máy

Ban đầu bật công tắc nguồn điện được cấp cho mô tơ giúp mô tơ quay và tạo ra mô-men xoắn. Mô-men này được truyền lên trục gắn với vô lăng thông qua bộ truyền đai răng tỉ số truyền 1:2. Trục này được làm bằng thép có khả năng chịu tải cao để chịu được mô-men xoắn từ lực quay vô lăng.

Trục vô lăng nối tiếp với trục đầu vào của hộp giảm tốc thông qua một khớp nối cứng. Khớp nối này giúp truyền động từ trục vô lăng sang hộp giảm tốc một cách liên tục và chính xác. Hộp giảm tốc được sử dụng để giảm tốc độ quay và tăng mô-men xoắn trên trục ra.

Trục ra của hộp giảm tốc kết nối với mâm cặp bằng một khớp nối cứng. Khớp nối cứng đảm bảo truyền động xoắn một cách chính xác. 



Hình 1. Khung máy

Trên trục gắn với mâm cặp, có một cặp bánh đai răng tỉ số truyền 1:1 được gắn để truyền chuyển động quay từ trục gắn mâm cặp tới encoder. Bộ truyền đai răng giúp đồng bộ hóa chuyển động để cung cấp góc xoắn cho encoder. Encoder được sử dụng để thu thập góc xoắn của mẫu thử, cho phép quan sát và ghi lại dữ liệu xoắn thông qua một màn hình nhỏ.

Mâm cặp 1 được kết nối với mẫu thử xoắn thông qua một chi tiết trung gian để liên kết mâm cặp và mẫu với nhau. Khác với mâm cặp 1, mâm cặp 2 của mô hình này được cố định và không thể quay.

Adapter được sử dụng để đo mô-men xoắn của mẫu thử. Nó được gắn vào mâm cặp được cố định thông qua chi tiết trung gian được thiết kế phù hợp với đầu vào và đầu ra của cảm biến. Adapter thu nhận mô-men xoắn từ mẫu thử cho phép quan sát và ghi lại dữ liệu mô-men xoắn.

Khi mô tơ quay, quá trình truyền mô-men xoắn qua các chi tiết trong mô hình giúp tạo ra mô-men xoắn trong mẫu thử, đồng thời đo được góc xoắn thông qua encoder và mô-men xoắn thông qua adapter. Quá trình này cho phép kiểm tra độ bền xoắn và thu thập dữ liệu để phân tích và đánh giá tính chất cơ học của mẫu thử.

2.3. Cấu tạo khung máy

Tấm 1 trong khung máy có nhiều tác dụng quan trọng. Đây là tấm giữ cho mâm cặp được cố định và ổn định trong quá trình hoạt động của máy thử xoắn. Tấm này có một rãnh tròn đặc biệt giúp cho việc định vị cho mâm cặp trở nên dễ dàng hơn (Hình 1).

Ngoài ra, trên tấm 1 còn có 3 lỗ bắt bulong được sử dụng để gắn mâm cặp chắc chắn vào tấm này. Điều này đảm bảo rằng mâm cặp sẽ được cố định vững chắc và không bị rung động trong quá trình hoạt động của máy thử xoắn.

Vị trí của tấm 1 trong khung máy cũng có vai trò trong việc giữ cho 4 thanh liên kết của khung máy ổn định. Tấm này đóng vai trò cố định, giúp giữ cho các bộ phận của máy thử xoắn không bị rung động quá nhiều trong quá trình hoạt động.

Bên dưới tấm 1, có thanh đỡ được sử dụng để kê mặt bên dưới. Thanh đỡ này đảm bảo sự ổn định và chống rung của khung máy, giúp máy thử xoắn hoạt động một cách ổn định và chính xác.

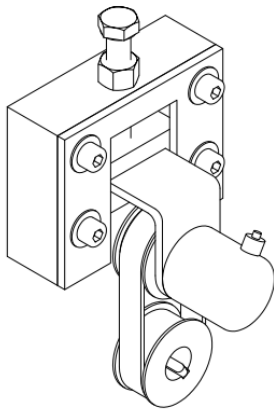
2.4. Bộ căng đai và bộ truyền đai

Chúng ta đã biết rằng bộ căng đai và bộ truyền đai đóng vai trò quan trọng trong việc truyền chuyển động quay từ trục gắn mâm cặp tới encoder để đo góc xoắn một cách chính xác.

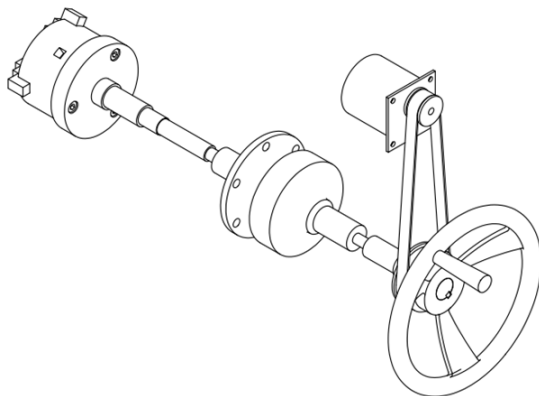
Bộ căng đai có vai trò căng đai, đảm bảo đai luôn trong trạng thái căng đúng đắn. Nhóm căng đai sử dụng một con ốc để căng. Khi vặn ốc, đai sẽ được căng đến độ căng phù hợp. Điều này rất quan trọng để đảm bảo đai không bị luỗi hoặc trượt ra khi đang trải qua quá trình hoạt động của máy thử xoắn.

Bộ truyền đai, đặc biệt bộ truyền đai răng, đóng vai trò truyền chuyển động quay từ trục gắn mâm cặp tới encoder. Bằng cách kết nối đai răng với trục gắn mâm cặp và encoder, sự xoay của trục sẽ được truyền từ mâm cặp tới encoder. Điều này cho phép encoder đo góc xoắn một cách chính xác.

Vì vậy, bộ căng đai và bộ truyền đai là hai bộ phận quan trọng trong hệ thống đo góc xoắn của máy thử xoắn. Sự căng đúng đảm bảo sự ổn định và độ chính xác của đai, trong khi bộ truyền đai đảm bảo truyền chuyển động quay một cách chính xác từ trục gắn mâm cặp tới encoder để đo góc xoắn.



Hình 2. Cơ cấu bộ căng đai



Hình 3. Bộ truyền mô-men xoắn

2.5. Bộ truyền mô-men xoắn

Lực được truyền vào tay quay vô lăng tạo ra mô-men xoắn (Hình 3). Mô-men này được tạo ra bởi người điều khiển. Mô-men xoắn được truyền từ tay quay qua trục gắn với vô lăng. Trục này chịu tải từ mô-men xoắn và truyền nó đến các bộ phận khác trong hệ thống. Đầu còn lại của trục gắn với vô lăng được kết nối với khớp nối cứng. Khớp nối cứng giữ cho trục và các bộ phận khác liên kết chặt chẽ, chuyển động xoay từ trục gắn vô lăng sang trục hộp giảm tốc. Trục vào của hộp giảm tốc được kết nối với một khớp nối khác. Đây là khớp nối để truyền động từ trục hộp giảm tốc đến một khớp nối khác trong hệ thống. Đầu còn lại của khớp nối này gắn với trục gắn vào mâm cặp. Trục gắn này chịu tải từ hộp giảm tốc và truyền nó đến mâm cặp. Qua quá trình truyền lực này, mô-men xoắn ban đầu tạo ra bởi người điều khiển được truyền từ tay quay vô lăng, qua các trục và khớp nối, cho đến khi nó đạt được mâm cặp. Điều này cho phép xoắn được áp dụng lên mâm cặp và các bộ phận liên quan trong hệ thống máy thử xoắn.

3. LẮP RÁP VÀ THỬ NGHIỆM

3.1. Lắp ráp

- Bước 1: Lắp vô lăng và mô tơ vào tấm 1 (Hình 4).

- Vô lăng sẽ được lắp với tấm 1 thông qua trục gắn vô lăng và trục này sẽ có tác dụng giữ vô lăng đồng trục với tấm 1 và kết nối với hộp giảm tốc thông qua khớp nối;

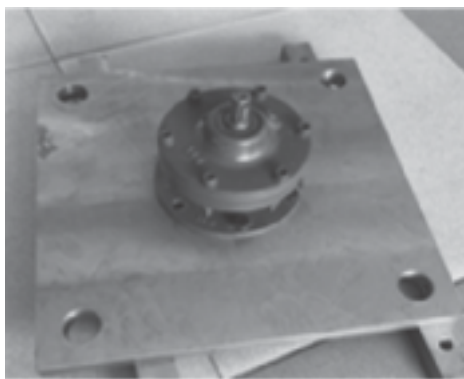
- Cùng với đó mô tơ sẽ được lắp ngay phía bên trên của vô lăng;

- Lắp ráp ở bước này cần có độ hở vì

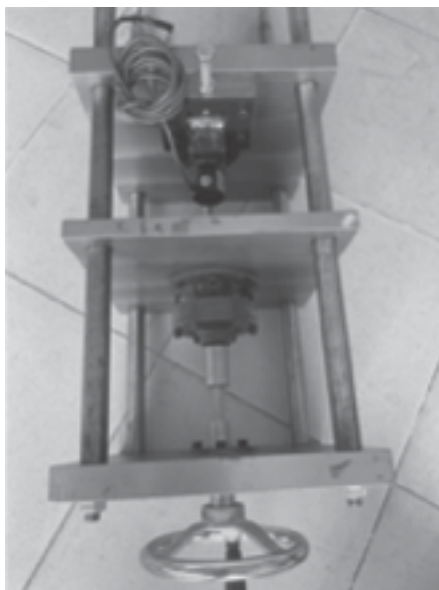
vô lăng cần phải di chuyển theo quỹ đạo đường tròn, sau cùng ta sẽ có cụm chi tiết (1).



Hình 4. Cụm chi tiết 1



Hình 5. Cụm chi tiết 2



Hình 6. Lắp cụm 1, 2, 3 vào máy



Hình 7. Chuẩn bị thiết bị điện tử và đặt chi tiết thử nghiệm vào máy

• Bước 2: Lắp ráp hộp giảm tốc với tấm 2.

- Hộp giảm tốc sẽ được lắp ráp chặt đồng tâm với tấm 2 thông qua 8 con bulong M10;

- Dung sai độ đồng tâm không vượt quá 0,5 mm để đảm bảo độ chính xác khi quay, sau đó ta được cụm chi tiết (2).

• Bước 3: Lắp mâm cặp 1 với tấm 3.

- Đầu tiên mâm cặp 1 sẽ được gắn với trục gắn mâm cặp, trục này có tác dụng liên kết giữa mâm cặp và tấm 3 một cách chắc chắn đảm bảo khi quay được đồng tâm và đều;

- Sau đó trục gắn mâm cặp sẽ được gắn với tấm 3;

- Trục gắn mâm cặp sẽ được gắn thêm 1 bánh đai, bánh đai này có tác dụng truyền tải số quay tới bánh đai trong cụm chi tiết căng đai thông qua dây đai.

3.2. Quy trình thử nghiệm

• Bước 1: Kiểm tra mẫu (mẫu thử nghiệm là nhựa PLA-F) bảo quản mẫu vật.

+ Trước khi thử nghiệm, mẫu vật phải được bảo quản ở môi trường phù hợp, cụ thể là nhiệt độ phòng (khoảng 25-34 độ C), việc bảo quản đúng cách rất quan trọng vì việc này đảm bảo mẫu vật không bị biến dạng khi gặp nhiệt độ quá cao, vì đây là nhựa nên khi gặp nhiệt độ cao sẽ bị biến dạng dẫn tới kết quả thử nghiệm không chính xác.

+ Đo kích thước: Mẫu vật phải đảm bảo có chiều dài là 68 mm, chiều rộng là 14.8 mm và bề dày là 15 mm. Việc đo kích thước này đảm bảo rằng mọi mẫu thử đều đồng nhất về kích thước từ đó cho ra số liệu như mô-men xoắn và góc xoay một cách chính xác và tổng quan nhất, cùng với đó việc đo kích thước cũng là bước để kiểm tra xem liệu mẫu vật có đặt vào được dụng cụ đo, nằm trong khoảng dung sai cho phép để tránh bị tuột khi xoay.

+ Đánh số thứ tự mẫu: Bởi vì ta có tổng cộng 9 mẫu vật được kiểm tra nên việc đánh số này khá quan trọng khi giúp ta phân biệt được số thứ tự mẫu và thứ tự thử nghiệm, cùng với đó là sẽ dễ dàng ghi chép lại thông tin thu được của từng mẫu, phân biệt dễ dàng từ đó tổng hợp số liệu một cách dễ dàng.

• Bước 2: Chuẩn bị các thiết bị điện tử sẵn sàng.

+ Đặt điện thoại vào giá đỡ: Việc này giúp ghi hình lại quá trình thử nghiệm với mẫu và có thể xem lại một cách rõ nét và trực diện từ trên xuống;

+ Bật adapter đo mô-men xoắn lên và

cài đặt đơn vị là N.m;

+ Cắm dây điện của mô tơ;

+ Kiểm tra Encoder: Kiểm tra dây điện của encoder cũng như là màn hình hiển thị góc xoay có hoạt động bình thường không bằng cách quay tay quay nhẹ nhàng và xem góc xoay trên màn hình có nhảy không.

• Bước 3: Đặt mẫu vào máy.

+ Căn chỉnh hai hốc giữ thẳng hàng với nhau: Vì ta không kẹp chặt mẫu vật trực tiếp với mâm cặp mà thông qua hai hốc giữ, hai hốc này có kích thước bằng với hai đầu của mẫu vật và lắp ghép với mẫu có độ dôi (độ dôi để tránh bị tuột mẫu lúc xoay), nên vì thế trước khi đặt mẫu vào ta phải căn chỉnh cho hai hốc thẳng hàng với nhau thì mới bỏ mẫu vật vào dễ dàng tránh làm hư mẫu vật.

+ Nhẹ nhàng đưa hai đầu mẫu vật lại gần hai hốc và lắp vào, dùng búa nhựa nhỏ gõ thật nhẹ để mẫu vật ăn khớp với hốc giữ, đảm bảo sau khi gõ thì hai đầu của mẫu vật phải thật khít và không còn dư một chút không gian nào bên trong hốc để đảm bảo khi xoay hai đầu mẫu thật cân bằng và đồng tâm, giúp cho số liệu chính xác nhất.

• Bước 4: Thu thập dữ liệu (Hình 7).

+ Sau khi đã đặt mẫu vào máy, ta bật công tắc của mô tơ.

+ Mô tơ bắt đầu quay và số mô-men xoắn trên adapter bắt đầu nhảy, cùng với đó là giá trị góc quay trên màn hình cũng nhảy theo, mỗi mẫu vật sẽ cho ra một giá trị mô-men xoắn và góc quay khác nhau tùy thuộc vào thông số in của mẫu vật đó. 

+ Sau khi mẫu vật bị phá hủy, ta ghi lại số mô-men xoắn cực đại thu lại được trên adapter, và giá trị góc xoay ở trên màn hình hiển thị (nếu không nhìn kịp giá trị góc xoay thì ta có thể xem lại trong video vừa quay đối với mẫu vật đó).

3.3. Kiểm tra độ bền xoắn

Kết quả kiểm tra độ bền xoắn của 9 mẫu in 3D (Hình 8) đã cung cấp cái nhìn sâu sắc về khả năng chịu xoắn của từng mẫu và sự tương tác giữa các thông số in. Trên cơ sở dữ liệu này, chúng tôi sẽ tiến hành phân tích chi tiết để hiểu rõ hơn về độ bền xoắn của các mẫu và ảnh hưởng của các yếu tố in lên kết quả này.

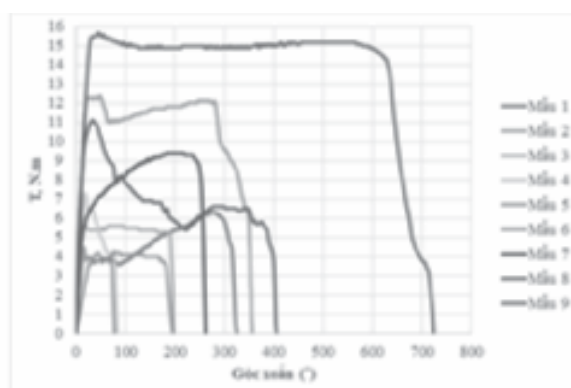
Kết quả phân tích cho thấy trong phạm vi thử nghiệm của chúng tôi với 9 mẫu in 3D, mô-men xoắn thu được dao động trong khoảng từ 4.2 đến 15.7 Nm. Điều này chỉ ra rằng các mẫu này có khả năng chịu xoắn khác nhau, từ những mẫu có độ bền xoắn thấp đến những mẫu có độ bền xoắn cao hơn. Sự biến đổi rộng lớn này đòi hỏi phải xem xét kỹ lưỡng các yếu tố ảnh hưởng để hiểu rõ hơn về tương quan giữa các thông số in và độ bền xoắn của các mẫu in 3D này.

Mối quan hệ giữa mô-men xoắn và góc quay của các mẫu thử nghiệm được biểu diễn qua các hình minh họa dưới đây. Trong những hình này, chúng ta có thể quan sát sự thay đổi của mô-men xoắn theo góc quay tương ứng cho từng mẫu.

Từ các đường cong trên, chúng ta có thể quan sát rằng sự thay đổi các thông số in 3D có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất cơ học của các mẫu thử nghiệm. Điều này được thể hiện qua mô-men xoắn tăng cao hơn khi giá trị thay đổi từ 4.2 Nm đến 15.7 Nm.

Kết quả thử nghiệm đo mô-men xoắn và góc xoắn của tất cả các mẫu được thể hiện trong hình 11 và hình 12. Mẫu 9, với nhiệt độ in 220°C, góc in 45°, mật độ in 100% và độ dày 0,1 mm, có mô-men xoắn lớn nhất là 15,7 N.m. Đáng chú ý, các mẫu có cùng độ dày 0,1 mm, như mẫu 1, 6 và 9, cho thấy mô-men xoắn ở mức cao. Tuy nhiên, giá trị mô-men xoắn nhỏ nhất được ghi nhận khi độ dày là 0,2 mm, đối với các mẫu 2, 5 và 7.

Dựa vào các số liệu trên, chúng ta có thể thấy rằng mật độ in tỷ lệ thuận với mô-men xoắn. Khi tăng mật độ in từ 50% lên 100%, mô-men xoắn cũng tăng theo. Điều này cho thấy sự ảnh hưởng của mật độ in đến đặc tính mô-men xoắn trong quá trình thử nghiệm.



Hình 8. Biểu đồ so sánh mối quan hệ giữa mô-men – góc xoắn của 9 mẫu thử

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo thành công mô hình máy thử độ bền xoắn cho chi tiết nhựa in 3D theo tiêu chuẩn ASTM D1043, cho phép đo chính xác mô-men xoắn và góc xoay của mẫu. Kết quả thử nghiệm với vật liệu PLA-F cho thấy mô-men xoắn cực đại dao động từ 4,2 đến 15,7 N.m, trong đó mật độ in và chiều dày lớp ảnh hưởng rõ rệt đến độ bền xoắn. Mô hình máy thử hoạt động ổn định, độ chính xác cao

và có thể ứng dụng hiệu quả trong nghiên cứu, giảng dạy và đánh giá cơ tính vật liệu nhựa.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Tưởng Phước Thọ, Huỳnh Đỗ Song Toàn;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Tưởng Phước Thọ, Phạm Thế Sơn, Nguyễn Phương Nam, Lê Hồng Phúc, Huỳnh Đỗ Song Toàn.

(*) Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện và hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này (Mã số đề tài: T2024-36).❖

Ngày nhận bài: **16/10/2025**

Ngày phản biện: **31/10/2025**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Bel, J.C., “*Pitfalls and Limits of Locking Plates*”. Orthop. Traumatol. Surg. Res. 2019, 105, S103-S109.

[2]. Stoesz, M.J.; Gustafson, P.A.; Patel, B.V.; Jastifer, J.R.; Chess, J.L., “*Surgeon Perception of Cancellous Screw Fixation*”. J. Orthop. Trauma 2014, 28, e1.

[3]. Qi, W.; Xu, X.; Qian, K.; Schuller, B.W.; Fortino, G.; Aliverti, A., “*A Review of AIoT-Based Human Activity Recognition: From Application to Technique*”. IEEE J. Biomed. Health Inform. 2025, 29, 2425-2438.

[4]. Wilkie, J.; Docherty, P.D.; Möller, K., “*A Simple Screwing Process Model for Bone Material Identification*”. In Proceedings of the 14th Symposium on Automation in Medical Engineering, AUTOMED, Lübeck, Germany, 2-3 March 2020; Number 1. p. 38.

[5]. Wilkie, J.; Docherty, P.D.; Stieglitz, T.; Möller, K. “*Geometric Generalization of Self Tapping Screw Insertion Model*”. In Proceedings of the 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine Biology Society (EMBC), Virtual, 30 October–5 November 2021; pp. 4387-4390.

[6]. Wilkie, J.; Rauter, G.; Möller, K., “*Interfacing with Prototype Instrumented Smart Screwdriver for Bone Screw Torque Regulation*”. IFAC-PapersOnLine 2024, 58, 287-290.

[7]. Wilkie, J.; Docherty, P.D.; Möller, K., “*Stripping Torque Model for Bone Screws*”. IFAC-PapersOnLine 2021, 54, 442-447.

[8]. Reynolds, K.J.; Mohtar, A.A.; Cleek, T.M.; Ryan, M.K.; Hearn, T.C., “*Automated Bone Screw Tightening to Adaptive Levels of Stripping Torque*”. J. Orthop. Trauma 2017, 31, 321-325.

[9]. Thomas, R.L.; Bouazza-Marouf, K.; Taylor, G.J.S., “*Automated Surgical Screwdriver: Automated Screw Placement*”. Proc. Inst. Mech. Eng. Part H J. Eng. Med. 2008, 222, 817-827.

[10]. Wright, B.J.; Grigg, S.; Bergsaker, A.S.; Brattgjerd, J.E.; Steen, H.; Pullin, R., “*Real Time Monitoring of Screw Insertion Using Acoustic Emission Can Predict Screw Stripping in Human Cancellous Bone*”. Clin. Biomech. 2020, 76, 105026.

[11]. Wright, B.J.; Grigg, S.; McCrory, J.; Pullin, R.; Brattgjerd, J.E., “*A Novel Acoustic Emission Screwdriver Reduces Surgeons' Cancellous Screw Stripping Rate – A Biomechanical Study*”. Clin. Biomech. 2025, 123, 106467.

[12]. Fletcher, J.W.A.; Neumann, V.; Silva, J.; Burdon, A.; Mys, K.; Panagiotopoulou, V.C.; Gueorguiev, B.; Richards, R.G.; Whitehouse, M.R.; Preatoni, E.; et al., “*Augmented Screwdrivers Can Increase the Performance of Orthopaedic Surgeons Compared with Use of Normal Screwdrivers*”. Sci. Rep. 2022, 12, 20076.