

ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ ĐẾN CƠ TÍNH CỦA HỢP KIM NHÔM SỬ DỤNG TRONG CÔNG NGHIỆP HÀNG KHÔNG

EFFECTS OF SOME FACTORS ON MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY USED IN AEROSPACE ENGINEERING

Nguyễn Linh Giang¹, Tào Quang Bảng^{1,*}, Võ Trần Anh¹,
Bùi Minh Hiền¹, Lê Văn Dương¹, Trần Ngọc Hải¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.016>

TÓM TẮT

Việc kiểm tra độ bền của chi tiết máy có tầm quan trọng rất lớn trong nhiều ngành công nghiệp khác nhau và việc nghiên cứu và phát triển các máy thử nghiệm độ bền vật liệu cũng có ý nghĩa thực tiễn rất lớn. Nhóm tác giả đã thiết kế và chế tạo một máy thử nghiệm độ bền của vật liệu cỡ nhỏ có xét đến ảnh hưởng của tốc độ biến dạng và nhiệt độ của môi trường. Máy thiết kế có khả năng đo thử nghiệm độ bền của các mẫu thử với nhiều loại vật liệu khác nhau và có thể mở rộng thử nghiệm có các chi tiết máy khác, giúp xác định các thông số cơ tính của vật liệu cũng như tuổi thọ làm việc của chi tiết máy, từ đó giảm thiểu rủi ro, chi phí bảo trì và sửa chữa trong quá trình sử dụng. Một số thí nghiệm cho chi tiết hợp kim Nhôm sử dụng trong công nghiệp hàng không được thực hiện trên máy này với các điều kiện khác nhau để kiểm chứng.

Từ khóa: Độ bền, máy thử nghiệm độ bền, ứng suất kéo, cơ tính vật liệu, hợp kim nhôm.

ABSTRACT

Strength testing is highly important in various industries, and the research and development of testing machines also play a significant role in scientific research. The authors have designed and implemented a miniature strength testing system for materials under different conditions such as strain rate and temperature. This designed machine has the capability to measure the durability of specimens with various types of materials and can be expanded to test different machine components. This aids in determining the mechanical properties of materials as well as the working lifespan of machine components, thereby minimizing risks, maintenance costs, and repairs during usage. Some experiments for Aluminum alloy have been conducted on this machine to validate its effectiveness.

Keywords: Fatigue, Fatigue testing machine, tensile, mechanical properties, Al alloy.

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Email: tqbang@dut.udn.vn

Ngày nhận bài: 10/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

1. GIỚI THIỆU

Một chính sách bảo trì, thay thế hiệu quả là cần thiết để đảm bảo hệ thống sản xuất có độ tin cậy, khả năng sẵn sàng và năng suất cao. Nó có thể giúp giảm chi phí bảo trì và tăng hiệu suất hoạt động của hệ thống sản xuất, cũng như giảm thiểu những rủi ro như hư hỏng đột ngột, dẫn đến có thể gây ra những thiệt hại to lớn về mặt kinh tế, thậm chí là sức khỏe và tính mạng con người [1]. Do đó, trong những thập kỷ gần đây, các nhà khoa học và kỹ sư đã và đang nghiên cứu và phát triển các vật liệu mới có độ bền mỗi cao hơn. Điều này giúp nâng cao hiệu suất và độ an toàn của sản phẩm và thiết bị, giúp đưa ra các giải pháp kỹ thuật để bảo trì và sửa chữa các sản phẩm và thiết bị có độ bền mỗi cao. Trong khoa học vật liệu, mỏi là hiện tượng suy yếu của vật liệu do tác dụng của tải trọng dao động dẫn đến hư hỏng cấu trúc của vật liệu và cuối cùng là hỏng hóc. Những vết nứt tế vi bắt đầu cục bộ và tích tụ theo thời gian dẫn đến hư hỏng chi tiết, cơ cấu máy, máy. Nói cách khác, mỏi là những thay đổi xảy ra trong cấu trúc bên trong của vật liệu dưới ứng suất thay đổi.

Vi vậy các phương pháp kiểm tra độ bền mỗi của vật liệu là quan trọng trong việc đánh giá độ bền mỗi của vật liệu và sản phẩm, giúp đo lường và đánh giá khả năng vật liệu và sản phẩm chịu được sự ăn mòn, phân huỷ hay giảm tính chất vật lý hoá học trong quá trình sử dụng kéo dài theo thời gian. Trong đó, phương pháp SN (Stress/Number of Cycles) được sử dụng phổ biến nhất trong tính toán phân tích mỏi. Đường cong S-N xác định số chu kỳ vật liệu chịu được trước khi hỏng hóc khi chịu tác động lặp đi lặp lại dưới tác dụng của ứng suất thay đổi. Đường cong S-N cho phép xác định được độ bền mỗi tương ứng với vật liệu thử nghiệm. Đó là phạm vi ứng suất dưới đó sẽ không có thiệt hại xảy ra.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến bền mỗi như: vật liệu, kết cấu và kích thước của chi tiết máy tính chất bề mặt, trạng thái ứng suất, nhiệt độ làm việc,... Để tối ưu hoá giới hạn mỗi của vật liệu, nhiều nghiên cứu về độ bền mỗi của

vật liệu được đề đưa ra. Trong đó, nhiều nhóm nghiên cứu được lập ra để nghiên cứu, chế tạo các loại máy thử nghiệm độ bền mỏi.

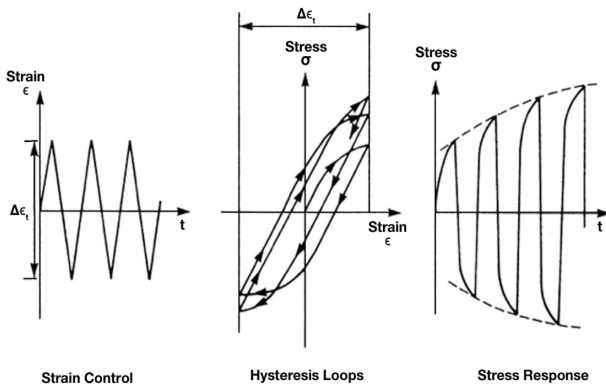
Kiểm tra độ bền của vật liệu và chi tiết máy là việc rất quan trọng trong nhiều ngành công nghiệp, như sản xuất thiết bị điện tử, xây dựng, hàng không vũ trụ, ô tô, hàng hải và nhiều ngành công nghiệp khác. Việc kiểm tra độ bền giúp các nhà sản xuất đảm bảo chất lượng và độ bền của sản phẩm và thiết bị của họ, giảm thiểu rủi ro, chi phí bảo trì và sửa chữa trong quá trình sử dụng. Với tầm quan trọng và cần thiết của việc thử (thí) nghiệm mỏi kéo - nén thì việc nghiên cứu phát triển máy thí nghiệm mỏi kéo - nén có ý nghĩa rất lớn trong việc học tập và nghiên cứu khoa học. Để đáp ứng nhu cầu trên nhóm chúng tôi tiến hành thiết kế, chế tạo máy thử nghiệm độ bền của vật liệu có xét đến ảnh hưởng của một số yếu tố như tốc độ kéo và nhiệt độ. Bên cạnh đó, một số thí nghiệm với hợp kim nhôm sử dụng trong ngành hàng không cũng được tiến hành trên máy này nhằm để kiểm chứng máy thiết kế và từ đó xác định được các thông số của vật liệu này.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nghiên cứu, chế tạo máy thí nghiệm độ bền

2.1.1. Cơ sở thiết kế máy

Dựa trên hiện tượng mỏi do kéo - nén: khi chi tiết chịu tác dụng của lực kéo - nén theo chu kỳ sẽ tạo ra ứng suất thay đổi theo chu kỳ. Dưới sự tác động của ứng suất làm xuất hiện các vết nứt mỏi. Sau một số chu kỳ làm việc nhất định nào đó, các vết nứt dần tăng lên và dẫn đến phá hủy vật liệu. Trong việc thử nghiệm bền mỏi, có thể có nhiều miền lực tải khác nhau. Nếu một vật liệu chịu tải với một ứng suất dao động (đổi chiều) thấp hơn giới hạn mỏi, nó sẽ không bị gãy mỏi cho dù số lượng chu kỳ dao động đến mức vô tận, người ta gọi vật liệu này có độ bền mỏi. Nếu vật liệu bị tác động trên mức độ bền mỏi, nó sẽ bị gãy sau số chu kỳ dao động, được gọi là giới hạn mỏi ngắn hạn.



Hình 1. Mối quan hệ giữa biến dạng và ứng suất trong phá hủy mỏi

Các nguyên lý thử nghiệm kéo - nén: thứ nhất là sử dụng cơ cấu truyền động cơ học, dùng động cơ điện thông qua các cơ cấu truyền lực (đai, xích...) truyền động năng của động cơ lên trục chính. Thông qua cơ cấu trục khuỷu thanh truyền biến chuyển động qua của trục thành chuyển động

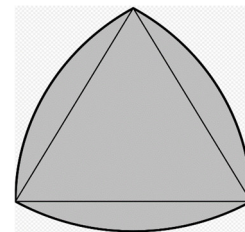
tịnh tiến. Thông qua chuyển động tịnh tiến kéo - nén lò xo tạo ra lực tác động lên mẫu thử để kiểm tra độ bền mỏi của vật liệu làm mẫu. Thứ hai là sử dụng hệ thống thủy lực: động cơ điện hoặc motor diesel hoạt động, kéo theo bơm dầu quay. Bơm sẽ thực hiện việc hút dầu từ thùng chứa và đẩy chúng đi đến các cơ cấu trong hệ thống qua các ống dẫn dầu. Dầu thủy lực thông qua cơ cấu điều khiển từ đó di chuyển đến các cơ cấu chấp hành. Tại đây, nhờ vào lưu lượng và áp suất dầu thủy lực mà tạo ra chuyển động tịnh tiến piston. Piston khi tịnh tiến kéo - nén mẫu thử nhằm tạo ra ứng suất và dựa vào đó để kiểm tra độ bền mỏi của vật liệu.

2.1.2. Thông số thiết kế máy

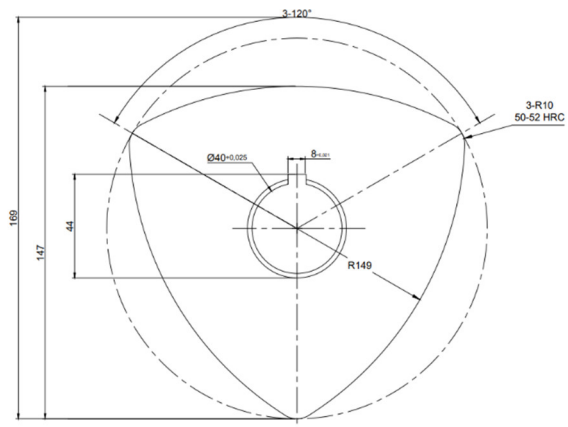
Mục đích thiết kế máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ nhằm thực hiện các thí nghiệm xác định cơ tính vật liệu của các chi tiết có kích thước nhỏ. Để thử nghiệm những chi tiết nhỏ, máy chế tạo có các thông số như sau:

- Mẫu thí nghiệm dạng trục có đường kính từ 4 ÷ 6mm
- Vật liệu mẫu thử: Thép, Nhôm, Nhựa...
- Lực tác dụng F: 3000 ÷ 4500N
- Tốc độ quay của động cơ: $V_{max} = 1450v/ph$
- Tần số: 10Hz
- Nhiệt độ: 25°C ÷ 150°C

Thí nghiệm được thực hiện khi mẫu thí nghiệm được kéo một đầu, đầu còn lại được gắn với cảm biến lực (load cell) để đo lực kéo.



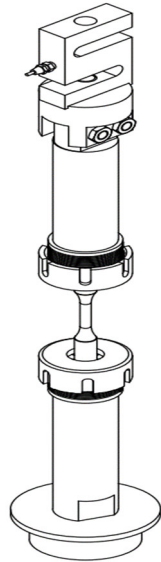
Hình 2. Tam giác Reuleaux



Hình 3. Thông số chế tạo bánh cam tam giác Reuleaux

Để kéo chi tiết ta sử dụng cơ cấu truyền động là cơ cấu cam tam giác Reuleaux (hình 2). Với chuyển động chính là chuyển động quay của tam giác Reuleaux bên trong con đội làm con đội chuyển động tịnh tiến giúp kéo - nén mẫu thử.

Thông số chế tạo tam giác Reuleaux: tam giác Reuleaux là phần giao nhau của 3 tam giác có bán kính bằng 149mm, mỗi đỉnh của tam giác cách nhau 120° và tại mỗi đỉnh đó có góc lượn với bán kính bằng 10mm. Được làm bằng thép C45 có độ cứng từ 50 - 52HRC (hình 3).



Hình 4. Bộ phận kẹp giữ chi tiết

Bộ phận kẹp giữ hai đầu chi tiết thí nghiệm ở đây sử dụng collet có đường kính 12mm được chế tạo bằng thép không gỉ inox nhằm đảm bảo cho chi tiết thí nghiệm được gá đặt vào đúng vị trí, đồng thời không bị trượt khi có lực tác dụng (hình 4).



Hình 5. Cảm biến tiệm cận (a); cảm biến lực loadcell (b); thanh trở gia nhiệt (c); cảm biến nhiệt độ (d)

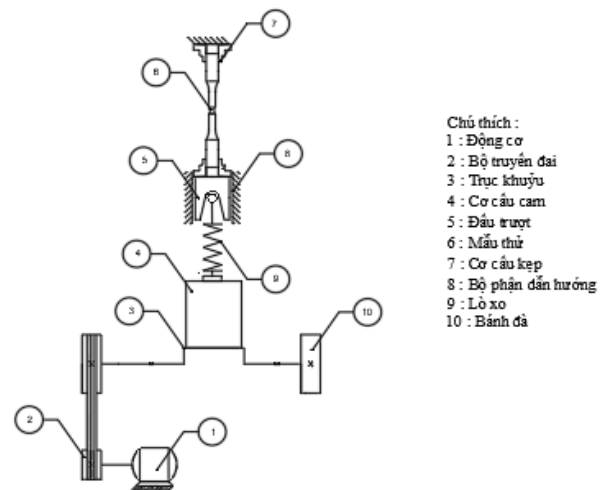
Để xác định số chu kỳ tác động lực đến mẫu thử, ta sử dụng cảm biến tiệm cận (hình 5a). Cảm biến tiệm cận chuyển đổi tín hiệu về sự chuyển động hoặc xuất hiện của vật thể thành tín hiệu điện; cảm biến tiệm cận này có các

thông số kỹ thuật sau: điện áp từ 6 ÷ 36VDC, dòng bằng 300mA, khoảng cách phát hiện từ 3 ÷ 30cm, đầu ra NPN, nhiệt độ làm việc từ -40°C ÷ 70°C, chiều dài dây là 1m.

Để xác định lực kéo (nén) khi thử nghiệm, một cảm biến đo lực loadcell (hình 5b) với dải đo đến 2KN, độ không tuyến tính: $\leq 0,1\%R.O$, điện áp đầu ra: 2mV/V, quá tải cho phép là 150% R.C và giới hạn quá tải là 300% R.C. Để đảm bảo độ chính xác của tín hiệu nhận được từ cảm biến lực được định cỡ (calibration), chuyển tín hiệu từ ADC 24 bit sang tín hiệu 8 bit để tương thích với hầu hết các bộ điều khiển chuyên dụng trước khi lắp đặt vào máy.

Để tạo nhiệt độ làm việc cho mẫu thử, sử dụng thanh gia nhiệt 1 đầu (hình 5c): điện áp: 220V, đường kính thanh điện trở sấy khuôn: 6mm; chiều dài có các loại: 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, công suất: từ 75 đến 250W tùy thuộc vào độ dài ty nhiệt. Thanh nhiệt càng dài công suất càng lớn. Đo đạt và điều khiển mức nhiệt độ thông qua cảm biến nhiệt độ MAX6675 (hình 5d), dải đo: 0 - 800°C; ren bắt vít: M6, độ dài: 0,5m; dây cảm biến bọc kim loại. Sử dụng mạch chuyển tín hiệu MAX6675, hoạt động với Thermocouple loại K, điện áp hoạt động 3,0 ÷ 5,5VDC, độ phân giải ADC 12bit, 0,25 độ trên 1 đơn vị, giao tiếp SPI.

Hình 6 trình bày sơ đồ động làm việc của máy. Sau khi thiết lập các thông số trong bảng điều khiển, ra lệnh cho động cơ hoạt động thì mô men xoắn từ trục động cơ thông qua bộ truyền đai truyền sang trục chính. Trục chính dẫn động cơ cấu cam tam giác Reuleaux quay làm con đội chuyển động tịnh tiến kéo theo lò xo chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng giúp kéo - nén mẫu thử. Mẫu sẽ bị kéo - nén đến khi nào mẫu thí nghiệm đứt thì dừng lại.

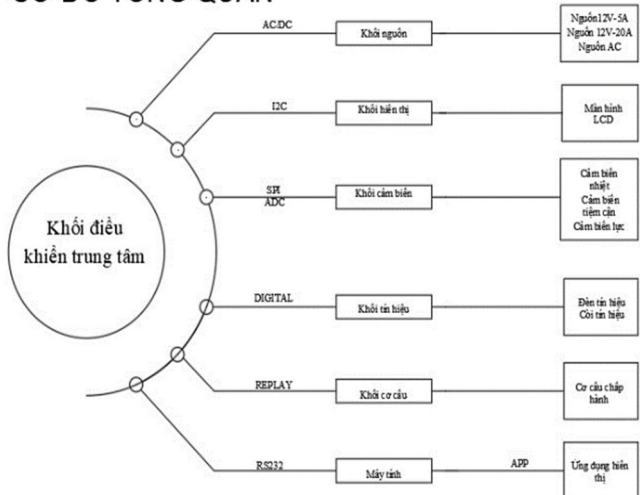


Hình 6. Sơ đồ động toàn máy

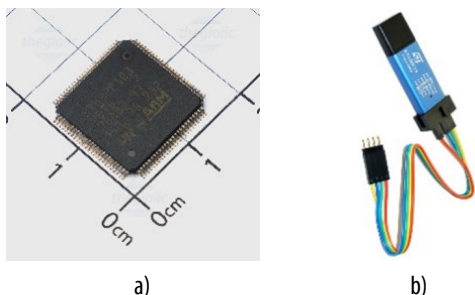
2.1.3. Thiết kế điều khiển và giao diện

Các tín hiệu đọc về từ cảm biến sẽ được đưa đến hệ thống điều khiển trung tâm, từ đó xử lý và đưa ra các tín hiệu điều khiển đến cơ cấu chấp hành, tín hiệu hiển thị ra màn hình LCD, gửi và nhận tín hiệu thời gian thực qua RS232 đến máy tính, để hiển thị đồ thị trên phần mềm giao diện máy tính.

SƠ ĐỒ TỔNG QUAN

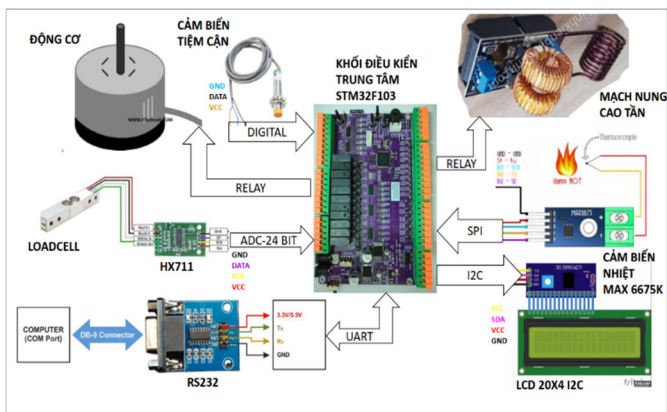


Hình 7. Sơ đồ hệ thống điều khiển

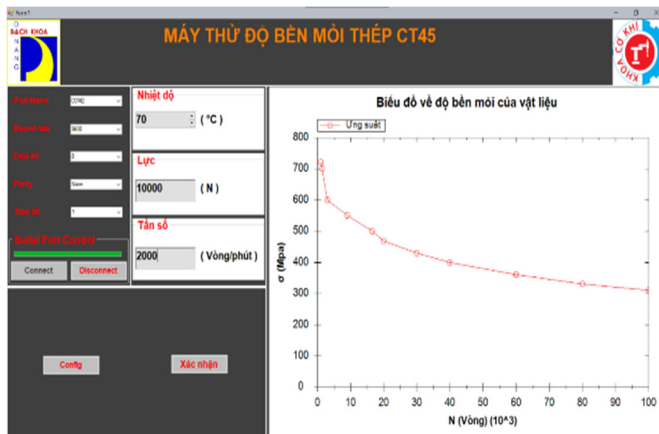


Hình 8. Chip STM32F103VBT6 (a), mạch nạp STLINK (b)

STM32 là một trong những dòng chip phổ biến của ST với nhiều họ thông dụng như F0, F1, F2, F3, F4... STM32F103 thuộc họ F1 với lõi là ARM COTEX M3, là vi điều khiển 32 bit, tốc độ tối đa là 72MHz (hình 8a). Giá thành của nó cũng khá rẻ so với các loại vi điều khiển có chức năng tương tự. Phần mềm lập trình: có khá nhiều trình biên dịch cho STM32 như IAR Embedded Workbench, Keil C... Thư viện lập trình: có nhiều loại thư viện lập trình cho STM32 như STM32snippets, STM32Cube LL, STM32Cube HAL, Standard Peripheral Libraries, Mbed core. Mỗi thư viện đều có ưu và khuyết điểm riêng. Mạch nạp (hình 8b) có khá nhiều loại như ULINK, J-LINK, CMSIS-DAP, STLINK... Ở đây ta sử dụng Stlink vì giá thành khá rẻ và debug lỗi khá tốt.



a)



b)

Hình 9. Sơ đồ kết nối tổng thể (a), Giao diện điều khiển và hiển thị máy tính (b)

Hình 9a trình bày sơ đồ kết nối tổng thể các phần tử của hệ điều khiển. Giao diện của hệ thống được viết trên phần mềm Winform. Có hai chế độ thử nghiệm được thiết lập: (1) thử nghiệm kéo nén xác định trước số chu kỳ tải trọng và thử nghiệm xem liệu mẫu thử có không bị gãy do mỏi sau số chu kỳ đó không và (2) chế độ thử nghiệm để đếm số chu kỳ đến khi nào đứt mẫu thử nghiệm. Nút kết nối (Connect) và hủy kết nối (Disconnect) giúp hệ thống cấu hình tốc độ truyền nhận và kết nối hoặc hủy kết nối đến thiết bị thử nghiệm. Ngoài ra, mối liên hệ giữa ứng suất tác dụng và số chu kỳ được thể hiện bằng đồ thị, được mô tả minh họa như trong hình 9b.

2.2. Vật liệu và quy trình chế tạo mẫu thử

2.2.1. Hợp kim nhôm AA2024-O

Nghiên cứu này sử dụng hợp kim nhôm AA2024-O với thành phần hóa học được đo bởi máy phân tích quang phổ (Thermo-Fischer iSpark8860) như thể hiện ở bảng 1. Vật liệu này được cung cấp bởi Công ty TNHH Universal Alloy Cooperation Việt Nam (UACV) [8]. Thực vậy, hợp kim này là hợp kim của nhiều kim loại khác nhau trong đó Đồng (Cu) chiếm tỉ trọng lớn nhất, ngoài ra còn có các nguyên tố có lợi khác như Magnesium (Mg), Manganese (Mn)... có tác dụng chống ăn mòn được thêm vào. Hợp kim AA2024 là hợp kim được sử dụng nhiều nhất được sử dụng nhiều trong máy bay vì những đặc tính đặc biệt là cơ tính quan trọng sau:

- Độ bền và độ cứng cao và chịu nhiệt tốt;
- Có khả năng chịu ăn mòn tốt (đặc biệt là ăn mòn hóa học);
- Có khả năng chịu bền mỏi tốt;
- Dễ gia công và hàn.

Vì vậy hợp kim AA2024 được sử dụng để chế tạo các bộ phận trong máy bay như thân máy bay, cánh máy bay, càng hạ cánh...

Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm AA2024

Nguyên tố	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	Khác
Thành phần (wt%)	0,5	0,5	4,9	0,9	1,8	0,1	0,2	0,15	90,7-94,7	0,05

2.2.2. Chế tạo chi tiết thí nghiệm và ma trận thí nghiệm

Chi tiết sử dụng cho thí nghiệm được chế tạo để thí nghiệm kéo theo tiêu chuẩn ASTM E8 [9] và TCVN 197-1 [10]. Quy trình chế tạo chi tiết thí nghiệm được thực hiện theo các bước sau:

(i) Đầu tiên vật liệu AA2024 được đúc trong khuôn kim loại thành phôi hình chữ nhật có kích thước là 50mm x 10mm x 10mm lần lượt cho chiều dài, rộng và cao. Sau đó phôi đúc được cắt dây (Wire-EDM) thành nhiều chi tiết với độ dày 1mm. Kích thước của chi tiết thí nghiệm là 40mm x 8mm x 1mm lần lượt cho chiều dài, rộng và dày được thể hiện trong hình 10.

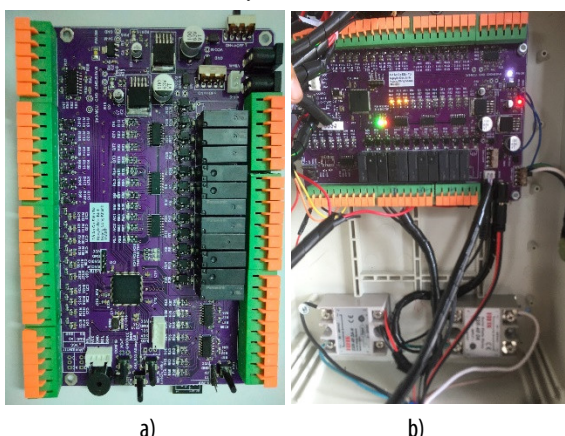
(ii) Sau khi cắt dây xong, tất cả chi tiết thí nghiệm được xử lý ứng suất dư bằng phương pháp nhiệt luyện. Chi tiết được nung đến nhiệt độ 150°C và giữ tại nhiệt độ đó trong vòng 2 giờ sau đó làm nguội trong không khí tĩnh đến nhiệt độ phòng trước khi tiến hành thí nghiệm.

Sau đó chi tiết thí nghiệm được sử dụng cho các thí nghiệm kéo với các tốc độ kéo khác nhau. Thực vậy, chi tiết được thí nghiệm kéo với các tốc độ kéo khác nhau từ 0,005mm/s đến 0,03mm/s ở nhiệt độ phòng. Tốc độ kéo này được tính toán dựa vào kích thước chi tiết thí nghiệm. Để loại bỏ các sai số trong quá trình thí nghiệm, kết quả thí nghiệm cuối cùng được lấy từ ít nhất 3 thí nghiệm trong cùng một điều kiện thí nghiệm.



Hình 10. Chi tiết thí nghiệm bằng hợp kim nhôm AA2024-0

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

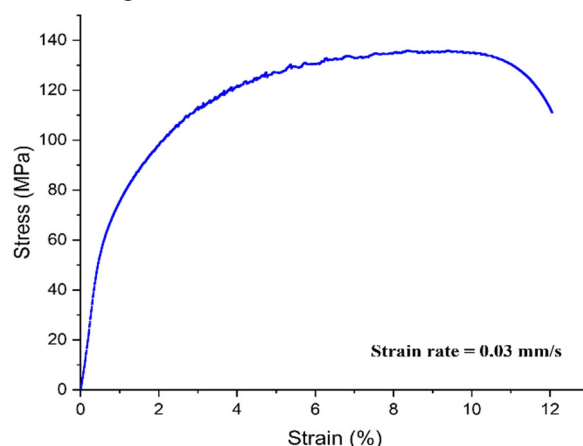


Hình 11. Mạch hệ thống điều khiển trung tâm phát triển trên chip STM32 lõi ARM (a), Lắp đặt hệ thống điều khiển (b)

Sau khi hoàn thành chế tạo và tiến hành lắp ráp các chi tiết của hệ thống cơ khí, tiến hành lắp ráp bộ phận gia nhiệt, kết nối hệ thống điều khiển và màn hình hiển thị LCD, đồng thời kết nối đến giao diện điều khiển máy tính để thu thập dữ liệu, xử lý hiển thị đồ thị mỗi từ thông số thí

nghiệm (hình 11). Hệ thống điều khiển trung tâm được phát triển, thiết kế, lập trình trên chip của hãng ST với core ARM, có hiệu năng cao, giúp quá trình thực thi, xử lý dữ liệu đáp ứng đáng tin cậy.

Sau khi tiến hành các thí nghiệm với các tốc độ kéo khác nhau từ 0,005mm/s đến 0,03mm/s, dữ liệu được xử lý và phân tích để xác định các thông số của vật liệu này. Hình 12 thể hiện mối quan hệ giữa biến dạng và ứng suất của vật liệu AA2024-O với các điều kiện khác nhau. Từ mối quan hệ này, các thông số cơ bản của vật liệu AA2024-O như mô đun đàn hồi (E), hệ số poisson (ν), giới hạn đàn hồi (σ_{dh}), giới hạn chảy (σ_c), giới hạn bền (σ_b) và độ giãn dài tương đối (δ) như thể hiện trên bảng 2.



Hình 12. Mối quan hệ giữa biến dạng (strain) và ứng suất (stress) của hợp kim AA2024-0

Bảng 2. Các thông số cơ tính của hợp kim nhôm AA2024-0

Thông số	E (GPa)	σ_{dh} (MPa)	σ_c (MPa)	σ_b (MPa)	δ (%)	ν
0,005mm/s	70,5	47	65	123	14,7	0,32
0,017mm/s	71,1	49	71	128	13,9	0,32
0,03mm/s	72,6	55	81	132	11,5	0,33

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã nghiên cứu tính toán, thiết kế, chế tạo, chạy thử thành công một hệ thống thử nghiệm độ bền cỡ nhỏ để xác định các thông số của vật liệu, trong đó có xét ảnh hưởng của nhiệt độ làm việc của mẫu thử. Hệ thống đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật đặt ra, có khả năng thử nghiệm được độ bền mỏi của mẫu thử khi bị kéo - nén. Máy thiết kế có thể sử dụng để thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm về độ bền mỏi của các chi tiết máy khác nhau và với các loại vật liệu khác nhau. Bên cạnh đó, thí nghiệm trên máy chế tạo của hợp kim nhôm AA2024-O được thực hiện với các điều kiện khác nhau từ đó xác định được các thông số cơ tính của vật liệu này cũng góp phần chứng minh được độ tin cậy của máy thiết kế.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng đã tài trợ cho nghiên cứu thông qua đề tài mã số: T2023-01-03

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Datasheet MIC29302, "MIC29302 - Advanced Monolithic Systems".
- [2]. N. V. Quyet, *Cơ sở lý thuyết moi*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2000.
- [3]. Pham Dinh Sung, *Vật liệu cơ khí*. Construction Publishing House, Hanoi, 2016.
- [4]. N. D. Duc, D. N. Mai, *Súc ben vật liệu và Ket cau*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, 2011.
- [5]. Trinh Chat, Le Van Uyen, *Tính toán thiết kế hệ den dong cơ khí (tap 1)*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi, 2006.
- [6]. https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_Cortex-M
- [7]. <https://www.nxp.com/docs/en/fact-sheet/AUTOSARFS.pdf>
- [8]. <https://www.universalalloy.com/>

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Linh Giang, Tao Quang Bang, Vo Tran Anh, Bui Minh Hien,
Le Van Duong, Tran Ngoc Hai**

University of Science and Technology, University of Da Nang, Vietnam

