

NGHIÊN CỨU, CHẾ TẠO MÁY KÉO NÉN DẠNG NHỎ ĐỂ XÁC ĐỊNH CƠ TÍNH CỦA VẬT LIỆU

RESEARCH AND MANUFACTURE OF A MINIATURE TENSILE MACHINE FOR MECHANICAL PROPERTIES EVALUATION

Tào Quang Bằng, Lưu Đức Bình

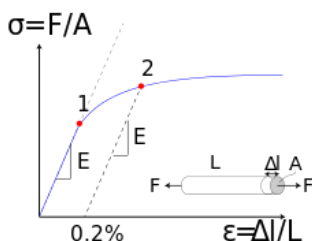
Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; tqbang@dut.udn.vn, ldbinh@dut.udn.vn

Tóm tắt - Xác định các thông số cơ tính của vật liệu đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế, tính toán mô phỏng phần tử hữu hạn cũng như dự đoán tin cậy cho các phương trình đường cong ứng suất - biến dạng. Bên cạnh đó, ngày nay, những yêu cầu về chế tạo các sản phẩm cơ khí, điện tử có kích thước nhỏ gọn, giá thành rẻ, tuổi thọ cao ngày càng tăng, nhưng vẫn đảm bảo hiệu quả và năng suất sử dụng. Vì thế, để xác định chính xác các thông số cơ tính của những vật liệu này, cần phải thí nghiệm những chi tiết có kích thước nhỏ tương đương và sử dụng máy thí nghiệm phù hợp với độ chính xác cao. Bài báo này đã nghiên cứu chế tạo thành công máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ cũng như cách chế tạo chi tiết thí nghiệm phù hợp. Kết quả thí nghiệm của một chi tiết cụ thể được thực hiện đã chứng tỏ rằng máy thí nghiệm chế tạo đáp ứng tốt yêu cầu đề ra. Từ kết quả đó, các thông số cơ tính của vật liệu được xác định.

Từ khóa - cơ tính vật liệu; máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ; vật liệu hàn; vật liệu mới; phần tử hữu hạn

1. Mở đầu

Xác định các đặc tính cơ học của vật liệu là một chủ đề được quan tâm của những nhà nghiên cứu trong suốt thời gian dài cho những vật liệu khác nhau. Xác định chính xác các thông số cơ tính của vật liệu góp phần quan trọng vào việc thiết kế, tính toán mô phỏng phần tử hữu hạn và đưa ra sự dự đoán tin cậy cho các phương trình đường cong ứng suất - biến dạng. Trong thiết kế và phân tích kỹ thuật, phương pháp kiểm tra đặc tính cơ học của vật liệu bao gồm thí nghiệm kéo-nén, uốn, va đập, đo độ cứng,... Trong các thí nghiệm đó, thí nghiệm kéo (tensile test) biểu diễn mối quan hệ của ứng suất - biến dạng kéo (tensile stress-strain), là phương pháp thí nghiệm đơn giản và được sử dụng nhiều nhất vì từ các mối quan hệ đó, hầu hết các đặc tính cơ học của vật liệu, ví dụ như giới hạn bền kéo (UTS), giới hạn chảy (Yield Stress σ_y), mô-đun đàn hồi (Young's Modulus E), hệ số Poisson (Poisson's ratio ν), ... được xác định. Hình 1 biểu diễn mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng và cách xác định các thông số cơ tính của vật liệu dựa vào thí nghiệm kéo [1]. Tuy nhiên, để tiến hành một thử nghiệm xác định các thông số cơ học của vật liệu, điều đầu tiên thực sự cần thiết xem xét là thiết bị thử nghiệm và chi tiết thử nghiệm.



Hình 1. Mối quan hệ của ứng suất - biến dạng

Abstract - Identification of the mechanical properties of the materials plays an important role in the finite element design and simulation as well as reliable prediction for stress-strain relation. In addition, up to date, with increasing requirements for manufacture of mechanical and electronic products which are smaller, less expensive, have longer life expectancy but still maintain their efficiency and productivity. Indeed, in order to determine the mechanical parameters of these materials, it is necessary to experiment on specimens with small size and high accurate testing machines. In this paper, the authors have researched and successfully manufactured miniature tensile machines to fabricate suitable specimens. The results have proved that our design miniature machine meets the requirements. From the results, all material parameters are determined.

Key words - material properties; miniature tensile machine; solder materials; advantaged materials; finite element analysis

Hiện nay, máy thí nghiệm kéo nén vạn năng là công cụ rất cần thiết và phổ biến, được sử dụng trong các phòng thí nghiệm cơ học, trung tâm kiểm định, trường đại học, nhà máy sản xuất. Nó cho phép thực hiện các loại thí nghiệm kéo, nén, uốn để xác định các thông số cơ học của vật liệu như thép, bê tông, gỗ, chất dẻo hay cấu kiện cần thí nghiệm áp dụng trong các lĩnh vực cơ khí chế tạo và xây dựng.

Ngoài ra, sự phát triển của những kỹ thuật công nghệ chế tạo mới giúp tạo ra các sản phẩm ngày càng được thu nhỏ về kích thước và khối lượng nhưng vẫn đảm bảo hiệu quả và năng suất sử dụng, ví dụ như hệ vi cơ điện tử (Micro Electro Mechanical Systems – MEMS), công nghệ nano (Nano Electro Mechanical Systems - NEMS),... Vì thế, việc xác định chính xác cơ tính của những vật liệu này rất khó khăn. Đối với những chi tiết nhỏ này, việc sử dụng phương pháp thử nghiệm truyền thống bằng những máy có diện tích các hạn chế sau:

- Độ chính xác của phương pháp đo không cao.
- Phù hợp với những chi tiết thử nghiệm có kích thước lớn và dày.
- Sử dụng dụng cụ đo biến dạng (extensometer) tiếp xúc. Thiết bị này được gắn trực tiếp tiếp xúc lên bề mặt của chi tiết cần đo nên sẽ gây ra hư hại cho chi tiết và phát sinh ứng suất tiếp xúc, dẫn đến kết quả đo không chính xác.
- Thiết bị đo tiếp xúc rất dễ bị hư hỏng, đặc biệt khi thí nghiệm đến khi chi tiết đứt hẳn.
- Nặng và giá thành đắt.

Vì vậy, từ những hạn chế trên, để kiểm tra xác định cơ tính của vật liệu dùng để chế tạo những chi tiết nhỏ dạng micro và nano, cần phải sử dụng chi tiết thử nghiệm với kích thước nhỏ tương ứng để cho ra kết quả đáng tin cậy

và sắt với thực tế. Để thử nghiệm được chi tiết nhỏ và mỏng như thế đòi hỏi phải thử nghiệm trên máy có kích thước nhỏ phù hợp và có độ chính xác cao, đồng thời sử dụng phương pháp đo không tiếp xúc (non-contact method) để loại bỏ sai số tiếp xúc.

Bên cạnh đó, hiện nay, trên thế giới nhiều máy thí nghiệm dạng micro đã được chế tạo dùng để thử nghiệm những chi tiết dạng nhỏ [2-8]. Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam, việc nghiên cứu và chế tạo máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ còn nhiều hạn chế, chỉ có vài nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy thí nghiệm kéo nén sử dụng để xác định các thông số cơ tính của vật liệu cho những chi tiết có kích thước lớn [9].

Nhận thức được tầm quan trọng của thử nghiệm cơ tính vật liệu cho những chi tiết có kích thước nhỏ với độ chính xác cao nhằm phục vụ công tác đào tạo, nghiên cứu khoa học và ứng dụng thực tế, bài báo này sẽ trình bày cụ thể về nghiên cứu, chế tạo máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ để xác định cơ tính của vật liệu. Bên cạnh đó, quy trình chế tạo chi tiết thí nghiệm với kích thước nhỏ cũng được mô tả trong nghiên cứu này, từ đó, một vài kết quả thí nghiệm được thực nghiệm trên máy chế tạo cũng được thể hiện trong bài báo này.

2. Nội dung

2.1. Nghiên cứu, chế tạo máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ

2.1.1. Đặc tính máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ

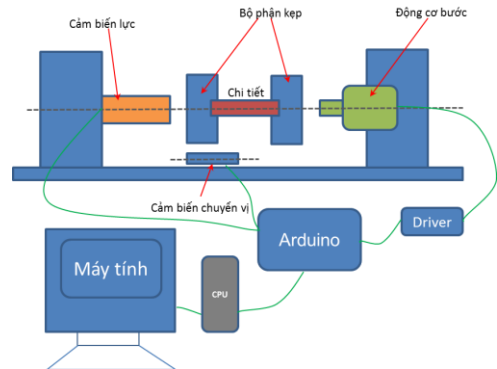
Mục đích thiết kế máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ nhằm thực hiện các thí nghiệm xác định cơ tính vật liệu của các chi tiết có kích thước nhỏ và các mối liên kết hàn. Sơ đồ tổng quan của máy chế tạo được thể hiện trong Hình 1. Máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ này được thiết kế, chế tạo để thử nghiệm những chi tiết nhỏ với các chế độ thử nghiệm khác nhau, đặc tính của máy chế tạo như sau:

- Lực kéo nén tối đa: 2 kN;
- Tốc độ kéo nén có thể thay đổi được (nhỏ nhất 0,0625 mm/s);
- Hành trình tối đa: 25mm;
- Thử nghiệm lặp đi lặp lại.

Một thí nghiệm được thực hiện khi chi tiết thí nghiệm được kéo một đầu, trong khi đầu còn lại được gắn với cảm biến đo lực (load cell) để đo lực kéo. Để kéo chi tiết với độ chính xác cao thì một vít me với bước rất nhỏ được dùng để chuyển đổi chuyển động quay của động cơ bước thành chuyển động tịnh tiến của bàn máy. Động cơ bước có số bước là 200, được điều khiển bởi driver với độ chính xác lên đến 1/16 bước để tạo ra độ dịch chuyển rất nhỏ của bàn máy. Ngoài ra, một thiết bị cảm biến đo chuyển vị với độ phân giải cao cũng được sử dụng để đo chuyển vị của thí nghiệm. Cảm biến chuyển vị này không tiếp xúc trực tiếp với chi tiết thí nghiệm nên loại bỏ được sai số.

Hình 2 thể hiện bộ phận kẹp giữ hai đầu chi tiết thí nghiệm 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. Để đo chuyển vị, một cảm biến chuyển vị với độ phi tuyến: $\pm 0,2\%$, hành trình đầu đo: 25 mm được lắp đặt trên máy chế tạo. Ngoài ra, để xác định lực kéo

(nén) khi thử nghiệm, một cảm biến đo lực (loadcell) với dải đo đến 2 kN, độ không tuyến tính: $\leq 0,1\%$, điện áp đầu ra: 2 mV/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 2 cảm biến là lực và chuyển vị, 2 cảm biến này được định cỡ (calibration) trước khi lắp đặt vào máy. Hình 3(a) và 3(b) thể hiện cảm biến đo lực và đo chuyển vị sử dụng trong nghiên cứu này.



Hình 2. Sơ đồ tổng quan máy kéo nén dạng nhỏ



Hình 3. Cảm biến lực (a); cảm biến chuyển vị (b)

2.1.2. Thiết kế điều khiển và giao diện

Arduino micro-controller-Uno R3 được chọn sử dụng để lập trình điều khiển động cơ và các cảm biến của máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ chế tạo. Arduino đã và đang được sử dụng rất rộng rãi trên thế giới, và ngày càng chứng tỏ được sức mạnh của chúng thông qua vô số ứng dụng độc đáo của người dùng trong cộng đồng nguồn mở (open-source). Arduino board có rất nhiều phiên bản với hiệu năng và mục đích sử dụng khác nhau như: Arduino Mega, Arduino LilyPad... Trong số đó, Arduino Uno R3 là một trong những phiên bản được sử dụng rộng rãi nhất bởi chi phí và tính linh động của nó.



Hình 4. Arduino Uno R3

Hình 4 thể hiện cấu trúc của mạch Arduino micro-controller-Uno R3 được sử dụng cho nghiên cứu này. Các thông số kỹ thuật của mạch Arduino Uno R3 như sau:

- Chip điều khiển chính: ATmega328;
- Chip nạp và giao tiếp UART: ATmega16U2;

- Nguồn nuôi mạch: 5 VDC;
- Số chân Digital: 14;
- Số chân Analog: 6;
- Dòng ra tối đa trên GPIO: 40 mA;
- Flash memory: 32 KB;
- Tốc độ: 16 MHz;
- Chiều dài: 68,6 mm; rộng: 53,4 m.

* Lập trình cho Arduino:

Để lập trình cũng như gửi lệnh và nhận tín hiệu từ mạch Arduino, Arduino Integrated Development Environment (IDE) được sử dụng. Hình 5 là ví dụ một đoạn lập trình sử dụng Arduino IDE để điều khiển động cơ bước sử dụng trong nghiên cứu này.

```
#include <Stepper.h>

// Khai báo các chân để điều khiển Step... tạo đối tượng myStepper
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8,9,10,11);

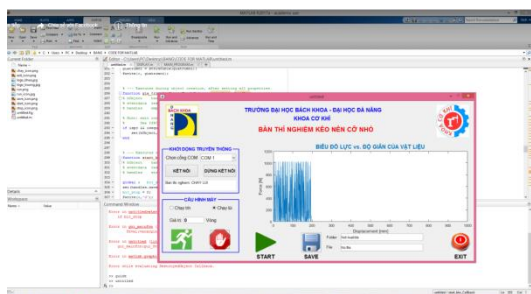
void setup() {
  // Tốc độ 100rpm
  myStepper.setSpeed(100);
  // Initialize the serial port:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // step one revolution in one direction:
  Serial.println("Quay theo chiều kim đồng hồ");
  myStepper.step(250); //Max Step của động cơ bước trong đầu DVD/CD là 250...hệ
  delay(500);

  // step one revolution in the other direction:
  Serial.println("Quay ngược chiều kim đồng hồ");
  myStepper.step(-250);
  delay(500);
}
```

Hình 5. Lập trình điều khiển động cơ bước

Cuối cùng, giao diện của hệ thống được viết trên phần mềm Matlab (Hình 6). Từ Hình 6, có hai chế độ thử nghiệm được thiết lập: thử nghiệm kéo (chạy tới) và nén (chạy lui), nút bắt đầu (Start) và lưu dữ liệu (Save) thành file excel hoặc file txt. Ngoài ra, mỗi liên hệ giữa biến dạng và lực tác dụng được thể hiện bằng đồ thị (xem Hình 6).



Hình 6. Giao diện của máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ

2.2. Vật liệu nghiên cứu và quy trình chế tạo chi tiết thí nghiệm

2.2.1. Vật liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, một vật liệu hàn mới được lựa chọn để nghiên cứu cơ tính của nó. Vật liệu hàn này có tên là InnoLot, được sử dụng để hàn các chi tiết, cấu kiện điện tử, vi mạch,... của ô tô. Thành phần hóa học của vật liệu hàn này được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của vật liệu

Vật liệu	Sn	Ag	Sb	Cu	Bi	Fe	Al	As	Ni	t _{ac}	t _{ng}
InnoLot	90,8	3,8	1,54	0,7	3,0	0,003	<0,001	0,005	0,15	218°C	206°C

Đây là vật liệu hàn mới đã được đưa vào sử dụng trong những năm gần đây với rất nhiều đặc điểm ưu việt so với vật liệu hàn chì trước đây. Vật liệu hàn mới này không chứa nguyên tố chì (Pb) nên không gây ảnh hưởng tới sức khỏe của con người cũng như môi trường.

2.2.2. Chế tạo chi tiết thí nghiệm

Như đã thảo luận ở trên, để xác định chính xác các thông số cơ học của vật liệu thì yêu cầu chi tiết thí nghiệm phải có kích thước tương đương hoặc bằng với kích thước chi tiết sử dụng thực tế. Các chi tiết hàn sử dụng trong ô tô đều có kích thước rất nhỏ, từ vài trăm micromet tới milimet (mm), vì thế tác giả đã lựa chọn chế tạo chi tiết thí nghiệm với kích thước tối đa tới mm. Phương pháp đúc được lựa chọn để chế tạo mẫu thí nghiệm và quy trình chế tạo được thể hiện trên Hình 6, theo các bước sau:

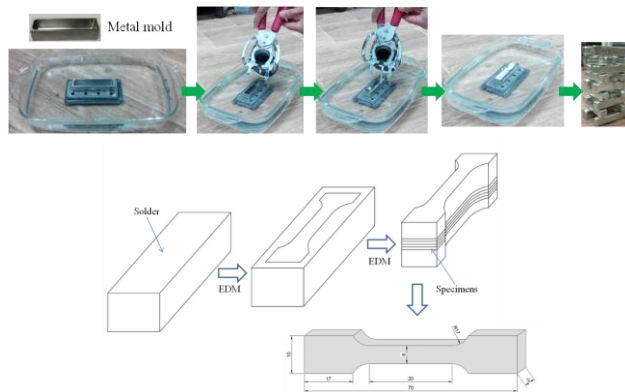
i) Đầu tiên, vật liệu hàn được nung chảy trong lò với nhiệt độ lớn hơn 100°C, so với nhiệt độ nóng chảy của vật liệu trong 1 cái ly được chế tạo từ vật liệu graphite;

ii) Sau khi vật liệu hàn đã nấu chảy loãng, sẽ được rót nhanh chóng vào khuôn kim loại, khuôn kim loại này được chế tạo từ vật liệu 304-Inox với kích thước 80x18x16 mm. Bên cạnh đó, khuôn được đặt trong nước với nhiệt độ của nước được giữ ở khoảng 25-35°C.

iii) Sau khoảng 3-5 phút, vật đúc nguội và được lấy ra dễ dàng từ khuôn;

iv) Vật đúc được đem đi cắt thành nhiều chi tiết nhỏ, mỏng bằng phương pháp cắt dây EDM. Chi tiết sau khi cắt có kích thước 20x5x1 mm với bán kính góc lượn 17 mm để giảm tập trung ứng suất;

v) Cuối cùng, trước khi thí nghiệm, chi tiết được Ram ở nhiệt độ 100°C trong 2 giờ để loại bỏ hoàn toàn ứng suất dư trong quá trình cắt EDM.

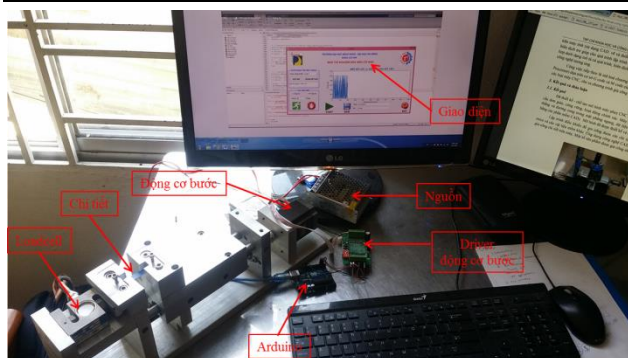


Hình 6. Quy trình chế tạo chi tiết thí nghiệm

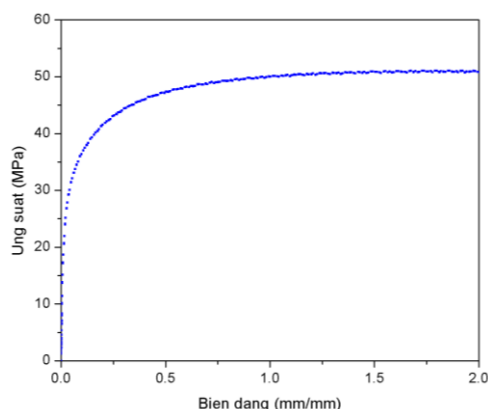
3. Kết quả và thảo luận

Sau khi lắp ráp các bộ phận của máy chế tạo, mô hình của máy kéo nén dạng nhỏ được chế tạo hoàn chỉnh như Hình 7.

Sau khi chế tạo chi tiết thí nghiệm xong, chi tiết sẽ được gá đặt vào máy kéo nén dạng nhỏ để thực hiện thí nghiệm kéo. Tốc độ kéo được tính toán dựa vào kích thước của chi tiết thí nghiệm, và trong bài báo này, tốc độ được chọn để thí nghiệm là $2,0 \times 10^{-4}$ s trong điều kiện nhiệt độ phòng. Kết quả thí nghiệm được lấy từ ít nhất 3 thí nghiệm trong cùng 1 điều kiện thí nghiệm để loại bỏ sai số.



Hình 7. Mô hình máy kéo nén dạng nhỏ



Hình 8. Đường cong biến dạng - ứng suất

Hình 8 thể hiện mối quan hệ đường cong biến dạng và ứng suất trong điều kiện thí nghiệm $2,0 \times 10^{-4}$ 1/s và nhiệt độ phòng. Có thể nhận xét từ mối quan hệ này rằng, máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ được chế tạo trong nghiên cứu này đã hoạt động tốt và cho ra kết quả với độ tin cậy cao. Bên cạnh đó, từ mối quan hệ này, các thông số cơ học của vật liệu được tìm ra, ví dụ: mô-đun đàn hồi E, giới hạn chảy σ_c , giới hạn bền kéo UTS,...

4. Kết luận

Bài báo này đã hoàn thành việc nghiên cứu chế tạo thành công máy thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ sử dụng để xác định cơ tính của vật liệu với độ chính xác cao và phù

hợp cho những chi tiết có kích thước nhỏ. Bên cạnh đó, quá trình chế tạo chi tiết thí nghiệm cũng được trình bày cụ thể trong nghiên cứu này. Vật liệu được sử dụng nghiên cứu là vật liệu hàn mới, được sử dụng trong các chi tiết thiết bị điện tử của ô tô.

Những thí nghiệm kéo được thực hiện trên máy chế tạo và đường cong biểu thị mối quan hệ biến dạng và ứng suất được thiết lập. Từ đó, các thông số cơ tính của vật liệu được xác định.

Nghiên cứu này đã góp phần khẳng định khả năng chế tạo thiết bị thí nghiệm kéo nén dạng nhỏ với giá thành cạnh tranh, sử dụng trong nghiên cứu cũng như trong sản xuất.

Trong những nghiên cứu sắp tới, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục hoàn thiện và phát triển thêm các mô-đun mới cho máy chế tạo, ví dụ như sử dụng phương pháp Digital Image Correlation (DIC) để xác định biến dạng toàn bộ chi tiết bằng cách so sánh sự khác nhau giữa hình ảnh thu được từ CCD camera trước và sau khi biến dạng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Stress%E2%80%93strain_curve
- [2] Partheepan, G., "Design and usage of a simple miniature specimen test setup for the evaluation of mechanical properties", *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 1, 2005, pp. 38-50.
- [3] Panayotou N. F., "Design and use of Nonstandard Tensile Specimens for Irradiated Materials Testing", *SPT- 888*, 2001, pp. 201-219.
- [4] Rosinski S. T., "Application of Sub-size specimens in Nuclear Plant Life Extension", *ASTM STP 1204*, 2010, pp. 405-416.
- [5] Yuancho X., "Application of the miniature specimen technique to material irradiation tests and surveillance for reactor components", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 77, 2000, pp. 715- 721.
- [6] Yutaka K., "Specimen size effects on the tensile properties of JPCA and JFMS", *Journal of Nuclear Materials*, 283-287, 2000, pp. 1014-1017.
- [7] Jung P., "Recommendation of miniaturized techniques for mechanical testing of fusion materials in an intense neutron source", *Journal of Nuclear Materials*, 232, 1996, pp. 186-205.
- [8] Klueh, R. L., "Miniature Tensile Test Specimens for Fusion Reactor Irradiation Studies", *Nuclear Engineering and Design Fusion*, 2, 1985, pp. 407-416.
- [9] Nguyễn Văn Hưng, *Thiết kế chế tạo máy kéo nén vạn năng cấp tải 300 kN*, Kỷ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về Cơ khí – Lần thứ IV, 2015.

(BBT nhận bài 10/08/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 22/08/2017)