



## ESTABLISHMENT OF PROCEDURES AND PROGRAMS TO PERFORM TENSION FATIGUE TESTS FOR METALLIC MATERIALS ON LFV 500-HH FATIGUE TESTING MACHINE

Nguyen Duc Toan, Do Duc Tuan\*

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

### ARTICLE INFO

Received: 25/10/2019

Revised: 28/02/2020

Accepted: 28/02/2020

Published online: 29/02/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.2.9>

\* *Corresponding author*

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

**Abstract.** Walter+bai AG LFV 500-HH fatigue testing machine at the laboratory of University of Transport and Communications has many different features, including tension and tension – compression fatigue tests for metallic materials. The tension – compression fatigue tests for metallic materials were firstly implemented in 2016. Nevertheless, tension fatigue tests on the machine have not been implemented yet. In order to exploit the feature of the machine, further research is needed, including the establishment of procedures and programs for tension fatigue tests of metallic materials on the fatigue testing machine type LFV 500-HH. The procedures and programs will be applied to test specific metallic materials, thereby determining fatigue curves and corresponding fatigue characteristics for training, scientific research and technology transfer.

**Keywords:** tension fatigue test, fatigue testing procedure, fatigue testing program, fatigue testing machine type LFV 500-HH.

© 2020 University of Transport and Communications



# THIẾT LẬP QUY TRÌNH VÀ CHƯƠNG TRÌNH THỬ NGHIỆM MỎI KÉO THUẦN TÚY VẬT LIỆU KIM LOẠI TRÊN MÁY THỬ NGHIỆM MỎI LFV 500-HH

Nguyễn Đức Toàn, Đỗ Đức Tuấn\*

Trường Đại học Giao thông vận tải, số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 25/10/2019

Ngày nhận bài sửa: 28/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 28/02/2020

Ngày xuất bản Online: 29/02/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.2.9>

\* Tác giả liên hệ

Email: ddtuan@utc.edu.vn; Tel: 0913905814

**Tóm tắt.** Thiết bị thử nghiệm LFV 500-HH của hãng Walter+bai AG tại Phòng thí nghiệm Trường Đại học Giao thông vận tải có nhiều tính năng khác nhau, trong đó có các tính năng thử nghiệm mỏi kéo và kéo-nén đối với vật liệu kim loại. Việc thử nghiệm mỏi kéo-nén vật liệu kim loại đã được thực hiện lần đầu tiên vào năm 2016. Tuy nhiên việc thử nghiệm mỏi kéo thuần túy trên thiết bị này cho đến nay vẫn chưa thực hiện được. Để khai thác tính năng này của thiết bị, cần tiếp tục các nghiên cứu tiếp theo, trong đó có việc thiết lập quy trình và chương trình thử nghiệm mỏi kéo thuần túy mẫu vật kim loại trên thiết bị thử nghiệm LFV 500-HH. Quy trình và chương trình thử nghiệm này sẽ được ứng dụng để tiến hành thử nghiệm các loại vật liệu kim loại cụ thể, từ đó xác định họ đường cong mỏi và các đặc trưng mỏi tương ứng, phục vụ công tác đào tạo, nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ.

**Từ khóa:** thử nghiệm mỏi kéo thuần túy, quy trình thử nghiệm mỏi, chương trình thử nghiệm mỏi, máy thử nghiệm mỏi LFV 500 – HH.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay ở nước ngoài, các nghiên cứu về mỏi đối với vật liệu kim loại khá đa dạng, phong phú và được tiến hành trên các thiết bị chuyên dùng gồm: Thử nghiệm mỏi uốn thuần túy quay tròn, chu kỳ đối xứng; Thử nghiệm mỏi uốn thuần túy trong một mặt phẳng; Thử nghiệm mỏi mẫu công-son quay tròn (uốn ngang phẳng); Thử nghiệm mỏi mẫu công-son với

lực P quay tròn; Thử nghiệm mỗi mẫu kéo và kéo-nén; Thử nghiệm mỗi mẫu chịu xoắn, v.v. [1,14,15].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về mỏi đối với vật liệu kim loại cũng như các thiết bị thử nghiệm mỏi còn khá hạn chế, các cơ sở thí nghiệm hầu như mới chỉ được trang bị thiết bị thử nghiệm mỏi uốn thuần túy chu kỳ đối xứng. Các kết quả nghiên cứu trong các công trình ở trong nước [2 ÷ 9], đều là kết quả thử nghiệm trên thiết bị thử nghiệm mỏi uốn thuần túy, trong đó có các thiết bị PWC-6, Fatigue Testing Machine [9]. Việc thử mỏi kéo, kéo-nén và xoắn cho đến thời gian gần đây hầu như vẫn chưa có điều kiện thực hiện vì không có thiết bị. Những năm gần đây, Trường đại học Giao thông vận tải đã được trang bị thiết bị thử nghiệm LFV 500-HH của hãng Walter+bai AG với nhiều chức năng khác nhau, trong đó có chức năng thử nghiệm mỏi kéo và kéo-nén. Lần đầu tiên các thử nghiệm mỏi kéo-nén vật liệu kim loại trên thiết bị này đã được thực hiện năm 2016 [10,11], trong khi đó việc thử nghiệm mỏi kéo thuần túy cho đến nay vẫn chưa có điều kiện thực hiện. Vì vậy, để tiếp tục khai thác tính năng này của thiết bị, cần tiếp tục xây dựng quy trình và chương trình thử nghiệm mỏi kéo thuần túy đối với vật liệu kim loại, làm cơ sở cho việc tiến hành các thử nghiệm cụ thể, từ đó xây dựng các họ đường cong mỏi và các đặc trưng mỏi tương ứng, phục vụ quá trình đào tạo, nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ. Đây là một phần của nội dung đề tài NCKH mã số T2019-CK-009. Tuy nhiên, do điều kiện thiếu kinh phí để thử nghiệm mẫu vật liệu trên máy, nên đề tài chỉ giới hạn ở mức "thiết lập quy trình và chương trình thử nghiệm...", và nó sẽ được áp dụng để thử nghiệm khi điều kiện cho phép.

## 2. CÁC BƯỚC CHUẨN BỊ CHO QUÁ TRÌNH THỬ NGHIỆM

### 2.1. Giới thiệu máy thử mỏi LFV 500-HH của hãng walter+bai ag [12]



Hình 1. Máy thử mỏi LFV 500-HH.

Nước chế tạo: Thụy sỹ; Năm chế tạo: 2011.

1. Máy thử mỏi LFV 500-HH; 2. Cảm biến tải trọng GTM nhóm K; Bộ kẹp thủy lực song song SPG 500; 4. Bộ nguồn thủy lực PAR-160; 5. Bộ nguồn thủy lực cho bộ kẹp NS19 09/9; 6. Màn hình HP Compaq la 2205 wg; 7. Hệ thống điều khiển số PCS 500; 8. Bàn phím; 9. Bàn máy tính 1400 x 800 mm; 10. Máy tính HP Compaq 6000; 11. Bộ điều khiển cầm tay.

Các thông số kỹ thuật cụ thể của máy được thể hiện trong [12,13].

### 2.2. Thử nghiệm đặc trưng cơ học

- Chế tạo mẫu với kích thước và yêu cầu kỹ thuật của mẫu theo tiêu chuẩn hiện hành.
- Thử nghiệm xác định các đặc trưng cơ học, bao gồm: giới hạn chảy  $\sigma_{ch}$ , giới hạn bền  $\sigma_b$ , modun đàn hồi  $E$  và hệ số biến dạng  $\varepsilon$  theo tiêu chuẩn hiện hành.

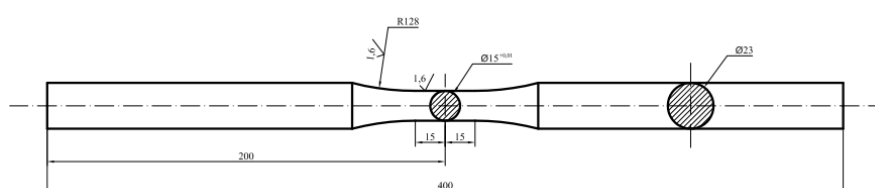
Việc thử nghiệm xác định đặc trưng cơ học có thể được thực hiện trên máy LFV 500-HH với sự trợ giúp của module DIONSTAT trong phần mềm DION PRO được cài đặt kèm theo máy.

### 2.3. Tiêu chuẩn và mẫu thử nghiệm mỏi kéo

Chế tạo mẫu với kích thước và yêu cầu kỹ thuật của mẫu theo tiêu chuẩn hiện hành. Đối với thử mỏi kéo, có thể áp dụng một trong các tiêu chuẩn sau:

a. TCVN 8185:2009 (tương đương với ISO 1099:2006): Vật liệu kim loại – Thử mỏi – Phương pháp đặt lực dọc trục điều khiển được (Metallic materials – Fatigue testing – Axial force-controlled method); b. ASTM E 466: Standard practice for conducting force controlled constant amplitude axial fatigue tests of metallic materials.

Kích thước mẫu thử nghiệm được xác định theo Tiêu chuẩn ASTM E 466, được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Mẫu kim loại thử nghiệm kéo thuần túy.

Quá trình công nghệ chế tạo mẫu:

Dùng thép tấm có chiều dày 26 mm cắt thành các thanh có chiều dài 40 mm, sau đó gia công cơ khí trên máy CNC và đánh bóng theo kích thước bản vẽ (hình 2).

## 3. THIẾT LẬP QUY TRÌNH THỬ NGHIỆM MỎI KÉO THUẦN TÚY TRÊN MÁY LFV 500-HH CỦA HÃNG WALTER+BAI AG

### 3.1. Quy trình thử nghiệm mỏi tổng quát [1]

Nhìn chung quy trình thử nghiệm mỏi phụ thuộc vào mục đích việc nghiên cứu, hay nói khác là phụ thuộc vào mục đích của thử nghiệm.

Nếu mục đích của thử nghiệm là xây dựng đường cong mỏi hoàn chỉnh với sự phân bố của giới hạn mỏi hữu hạn, thì quy trình tổng quát thử nghiệm mỏi có thể tiến hành như sau:

1. Xác định số mức ứng suất để gia tải trên máy. Thông thường định ra từ 3 tới 4 (hoặc 5) mức ứng suất trên giá trị trung bình của giới hạn mỏi dự đoán  $\sigma_{-1}$ , mỗi mức cách nhau một số gia  $\Delta\sigma_{-1} = 0,1 \cdot \sigma_{-1}$ ; 2. Trong lần thí nghiệm mẫu thử thứ nhất, người ta đặt tải trọng để ứng suất cực đại  $\sigma_1$  trên mẫu vào khoảng 70% giới hạn bền. Với giá trị này chỉ sau một số chu trình  $N_1$  mẫu sẽ bị gãy. Với mẫu thí nghiệm thứ hai, người ta giảm tải trọng để có ứng suất cực đại là  $\sigma_2$ , tương ứng với nó, số chu trình làm gãy mẫu tăng lên thành  $N_2$ . Cứ như vậy tiếp tục thử nghiệm đối với các mức ứng suất còn lại; 3. Mỗi mức ứng suất cơ thể tiến hành từ 5 đến 10 (hoặc từ 3 đến 8) thí nghiệm cho một loại mẫu. Mỗi một mẫu thí nghiệm sẽ cho một số chu kỳ ứng suất tương ứng  $N_i$ . Tìm giá trị trung bình  $N_{tb,i}$  của các thí nghiệm ấy; 4. Tiến hành xác định giới hạn mỏi bằng việc tiếp tục thí nghiệm không ít hơn 10 mẫu theo phương pháp chia đôi giá trị xung quanh giá trị ứng suất ứng với chu kỳ cơ sở  $N_0$ . Nếu tiếp tục tiến

hành thí nghiệm với nhiều mẫu thử ta có thể dựng được đồ thị đường cong mỏi Voller ( $\sigma-N$ ). Như vậy, quy trình thí nghiệm là giảm dần ứng suất thay đổi trong mẫu để xem xét sự ứng xử của vật liệu như thế nào; 5. Tiến hành xây dựng đường cong xác suất phá hỏng và họ đường cong mỏi ứng với các xác suất phá hỏng khác nhau.

### 3.2. Quy trình thử nghiệm mỏi kéo thuần túy trên máy thử mỏi LFV 500-HH

a. **Khởi động máy.** Việc bố trí các thiết bị trong phòng thí nghiệm thử nghiệm mỏi kéo và kéo – nén được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Bố trí các thiết bị trong phòng thí nghiệm thử nghiệm mỏi kéo và kéo – nén.



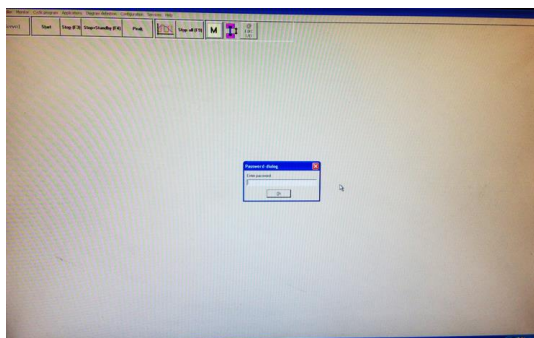
Hình 4. Biểu tượng phần mềm DION PRO.

- Đóng cầu giao tổng (đưa về vị trí “ON”);
- Xoay cầu giao trên bộ nguồn thủy lực PAR-160 về vị trí “ON”;
- Xoay chìa khóa điện trên bộ điều khiển (lắp cạnh máy thử) để bật nguồn cấp cho máy tính (đèn báo “ON” sáng);
- Khởi động máy tính. Sau khi máy tính đã khởi động xong, chạy phần mềm DION PRO (được cài sẵn trong máy tính).

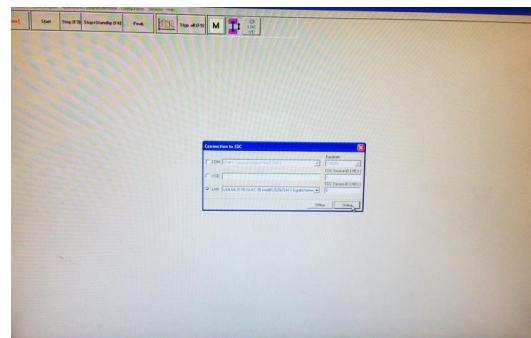
+ Nếu phần mềm yêu cầu nhập password thì không cần nhập mà bấm chọn “OK” để sang bước tiếp theo.

+ Tiếp theo phần mềm sẽ hiển thị cửa sổ lựa chọn các thiết bị sẽ được kết nối, để mặc định và bấm chọn “online” để máy tính có thể kết nối với máy thử mỏi và bộ điều khiển cầm tay.

- Vào thanh trình đơn (menu) chọn “Cyclic program/New/Open” để mở chương trình thử nghiệm đã được lập trình từ trước (chương trình được lập trình tại mục 4). Cửa sổ giao diện của chương trình sẽ xuất hiện.

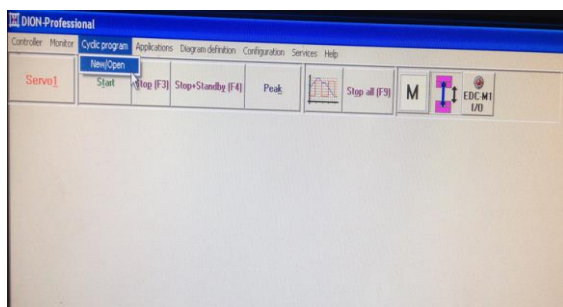


Hình 5. Cửa sổ nhập password.

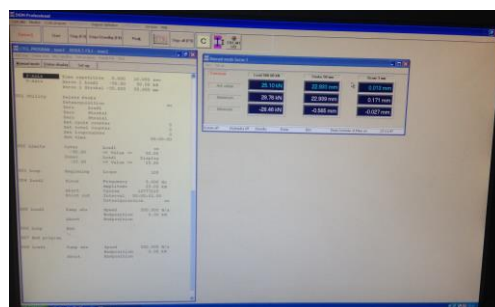


Hình 6. Cửa sổ kết nối các thiết bị.





Hình 7. Trình đơn tạo mới hoặc mở một chương trình thử nghiệm.

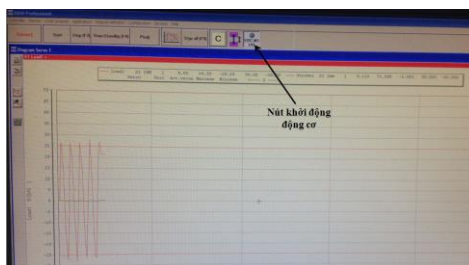


Hình 8. Chương trình thử nghiệm sau khi được mở.

Để chắc chắn phần mềm đã kết nối được với máy thử mỗi, ta bấm chọn “Set up” trên thanh công cụ của cửa sổ chương trình. Một cửa sổ hiển thị các giá trị hiện tại (lực, hành trình piston, ...) của máy thử sẽ xuất hiện (cửa sổ “Manual mode Servo 1”) (hình 8). Kiểm tra các thông số trên bộ điều khiển cầm tay xem có thay đổi giống như trên cửa sổ vừa hiển thị trên phần mềm hay không. Nếu các giá trị thay đổi giống nhau thì phần mềm đã kết nối được với máy thử.

- Khởi động các bơm nước và quạt gió của hệ thống làm mát bằng cách bật các aptomat tương ứng (hình 3).

- Khởi động động cơ bằng cách bấm chọn nút “EDC-M1 I/O” trên thanh công cụ của phần mềm. Động cơ bắt đầu chạy thì nút “EDC-M1 I/O” sẽ chuyển từ màu đỏ sang màu xanh.



Hình 9. Khởi động động cơ.

**b. Gá kẹp mẫu vật liệu.** Sau khi động cơ đã được khởi động, đưa mẫu vào bộ kẹp thủy lực để kẹp chặt. Tùy theo hình dạng của mẫu thử mà sử dụng các nêm kẹp khác nhau. Tuy nhiên, bộ nêm kẹp kèm theo máy chủ yếu kẹp được các mẫu có dạng thanh trụ tròn hoặc dẹt. Nếu mẫu có hình dạng đặc biệt khác thì phải làm thêm đồ gá chuyên dùng. Quá trình kẹp mẫu trên bộ kẹp khá thuận tiện với việc sử dụng bộ điều khiển lắp cạnh máy hoặc bộ điều khiển cầm tay.



Hình 10. Nêm kẹp các mẫu thử nghiệm dạng trụ tròn trên máy thử mỗi.



Hình 11. Thiết bị đo độ dãn dài của mẫu thử nghiệm.

**c. Hiệu chỉnh:** Để có thể ghi lại được độ biến dạng dài của mẫu, ta có thể gá lên mẫu thử một thiết bị đo độ giãn dài kèm theo máy.

- Trên cửa sổ “Manual mode Servo 1” bấm chọn “Zero” trên thanh công cụ để lần lượt cài đặt lại đưa các thông số hiện tại (lực, hành trình piston, độ biến dạng) của máy về gốc 0.

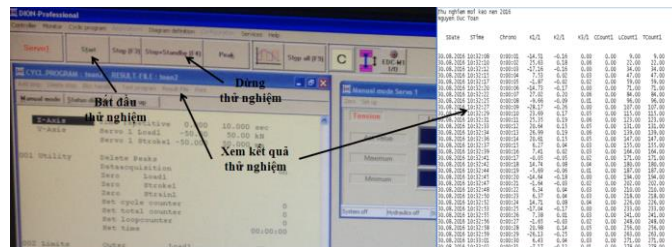
**d. Thiết lập chế độ thử nghiệm.** Trên cửa sổ làm việc của chương trình thử nghiệm đã được lập trình (chương trình được lập trình tại mục 4), để thiết lập lại chế độ tải trọng thử nghiệm ta thực hiện như sau:

Tại dòng “002” của chương trình, bấm chọn “Load1”. Xuất hiện cửa sổ cho phép thay đổi các thông số về chế độ gia tải: tốc độ gia tải (“Ramp abs Speed”), mức tải trọng lớn nhất (“Endposition”); Tại dòng “005” của chương trình, bấm chọn “Load1”. Xuất hiện cửa sổ cho phép thay đổi các thông số về chế độ tải trọng: tần số (“Frequency”), biên độ lực (“Amplitude”).

**e. Chạy máy.** Sau khi đã thiết lập xong chế độ thử nghiệm, bấm nút “Start” trên thanh công cụ của phần mềm.

**f. Dừng máy.** Khi cần dừng máy vì một lý do nào đó, bấm nút “Stop+Standby (F4)” trên thanh công cụ của phần mềm. Khi đó, muốn xem các kết quả của quá trình thử nghiệm, truy cập trình đơn “Result-File” trên cửa sổ của chương trình. Xuất hiện tệp tin chứa toàn bộ các kết quả đã thử nghiệm được như: ngày, giờ, lực, hành trình piston, biến dạng dài của mẫu, số chu trình tương ứng đã thực hiện được.

Để tắt máy hoàn toàn, ta thực hiện ngược lại các bước khởi động máy.



Hình 12. Bắt đầu, dừng và xem kết quả thử nghiệm.

#### 4. THIẾT LẬP CHƯƠNG TRÌNH THỬ NGHIỆM MỖI KÉO THUẦN TÚY TRÊN MÁY LFV 500-HH CỦA HÃNG WALTER+BAI AG

Phần mềm DION PRO kèm theo máy không có sẵn modul tiêu chuẩn nào cho việc thử nghiệm mỗi mà cung cấp cho người dùng một ngôn ngữ lập trình để có thể tự tạo chương trình thử nghiệm theo yêu cầu thực tế của việc thử nghiệm. Dưới đây là chương trình mà tác giả đã lập trình để đáp ứng được yêu cầu của việc thử mỗi kéo- nén.

**Thiết lập các thông số của tệp tin lưu trữ dữ liệu kết quả thử nghiệm (Result-File):**

Print out Part 1

Thu nhien moi keo 2019

Nguyen Duc Toan

Records per Buffer 1000

Buffers per Ringfile 0

Saving on

Print out Part 2

Mask XXXXXX.XX XXXXXX.XX XXXXXX.XX

XXXXX.XX

Comment

Comment

Print out Definition

Colonne 13 14 15 16

Variable

<i>Print out Definition</i>	<i>Mask XXXXX.XX XXXXX.XX XXXXX.XX</i>
<i>Colonne 1 2 3 4</i>	<i>XXXXX.XX</i>
<i>Variable Chrono STime K1/1 K2/1</i>	<i>Comment</i>
<i>Mask XXXXX.XX XXXXX.XX XXXXX.XX</i>	<i>Comment</i>
<i>XXXXX.XX</i>	<i>Print out Definition</i>
<i>Comment</i>	<i>Colonne 17 18 19 20</i>
<i>Comment</i>	<i>Variable</i>
<i>Print out Definition</i>	<i>Mask XXXXX.XX XXXXX.XX XXXXX.XX</i>
<i>Colonne 5 6 7 8</i>	<i>XXXXX.XX</i>
<i>Variable K3/1 K5/1 K6/1 K7/1</i>	<i>Comment</i>
<i>Mask XXXXX.XX XXXXX.XX XXXXX.XX</i>	<i>Comment</i>
<i>XXXXX.XX</i>	<i>Print out Definition</i>
<i>Comment</i>	<i>Colonne 21 22 23 24</i>
<i>Comment</i>	<i>Variable</i>
<i>Print out Definition</i>	<i>Mask XXXXX.XX XXXXX.XX XXXXX.XX</i>
<i>Colonne 9 10 11 12</i>	<i>XXXXX.XX</i>
<i>Variable K8/1 CCount1 LCount1</i>	<i>Comment</i>
<i>TCount1</i>	<i>Comment</i>

**Thiết lập các thông số hiển thị của đồ thị theo dõi quá trình thử nghiệm:**

*X-Axis Time repetitive 0.000 8.000 min*  
*Y-Axis Servo 1 Load1 0.00 80.00 kN*  
*001 Utility Zero Load1*  
*Zero Stroke1*  
*Zero Strain1*

**Thiết lập các thông số của chế độ thử nghiệm:**

<i>002 Load1 Ramp abs Speed 700.000 N/s</i>	<i>Set total counter 0</i>
<i>Endposition 40.70 kN</i>	<i>Set loopcounter 0</i>
<i>Abort Endposition</i>	<i>Set time 00:00:00</i>
<i>003 Limits Outer Load1 Display</i>	<i>X-Axis Time repetitive 0.000 8.000 min</i>
<i>7.80 &lt;= Value &lt;= 73.60</i>	<i>Y-Axis Servo 1 Load1 0.00 80.00 kN</i>
<i>Inner Load1 Display</i>	<i>005 Load1 Sinus Frequency 5.000 Hz</i>
<i>12.20 &lt;= Value &lt;= 69.20</i>	<i>Amplitude 30.70 kN</i>
<i>004 Utility Dataacquisition on</i>	<i>Abort Cycles 16777215</i>
<i>Set cycle counter 0</i>	<i>Print out Interval 00:00:01.00</i>
	<i>Dataacquisition on</i>

**5. KẾT LUẬN**

Quy trình và chương trình thử nghiệm mới kéo thuần túy trên máy thử mỏi LFV 500 của hãng Walter+bai AG tại Phòng thí nghiệm của Trường Đại học GTVT nêu trên sẽ được ứng dụng cho việc thử nghiệm các mẫu vật liệu kim loại cụ thể, từ đó xác định họ đường cong mỏi và các đặc trưng mỏi tương ứng, đồng thời có thể so sánh đặc trưng mỏi của một loại vật liệu nào đó khi chịu mỏi kéo thuần túy và chịu mỏi kéo-nén ở các chế độ tải trọng và tần số gia tải tương ứng.



## LỜI CẢM ƠN

Cảm Trường Đại học Giao thông vận tải, Trung tâm KHCN GTVT đã tạo điều kiện trong quá trình thực hiện nội dung bài báo liên quan đến đề tài mã số T2019-CK-009.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ngô Văn Quyết, Cơ sở lý thuyết môi, NXB Giáo dục, Hà Nội 1999.
- [2]. Phạm Lê Tiến, Nghiên cứu đánh giá độ bền mỏi và tuổi thọ mỏi của khung giá chuyên hướng và trục bánh xe đầu máy D19E vận dụng trên đường sắt Việt Nam, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội 2011.
- [3]. Đỗ Đức Tuấn, Nghiên cứu, thử nghiệm đánh giá độ bền giá xe và giá chuyên hướng đầu máy D9E vận dụng trên đường sắt Việt Nam, Đề tài NCKH cấp Bộ, mã số B2000-35-106 TĐ, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội 2001.
- [4]. Đỗ Đức Tuấn, Đánh giá độ bền và độ bền mỏi kết cấu giá xe, giá chuyên hướng và trục bánh xe đầu máy diesel. NXB Xây dựng. Hà Nội 2005.
- [5]. Đỗ Đức Tuấn, Nghiên cứu thử nghiệm độ bền thùng xe, bệ xe và giá chuyên hướng toa xe khách Rumani sử dụng tại Xí nghiệp toa xe Sài Gòn, Đề tài NCKH cấp Bộ, mã số B2010-04-111, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội 2011.
- [6]. Đỗ Đức Tuấn, Phạm Lê Tiến, Hoàng Năng Khang, Thử nghiệm xác định các đặc trưng cơ học và đặc trưng mỏi vật liệu khung giá chuyên hướng và trục bánh xe đầu máy D9E và D19E, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 41 (2013) 28-35. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/6629>
- [7]. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, Hoàng Năng Khang, Xây dựng đường cong mỏi, xác định giới hạn mỏi của vật liệu khung giá chuyên hướng và trục bánh xe đầu máy D9E và D19E, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 41 (2013) 53-59. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/6633?locale=vi>
- [8]. Đỗ Đức Tuấn, Phạm Lê Tiến, Hoàng Năng Khang, Tổng hợp kết quả nghiên cứu thử nghiệm xác định các đặc trưng mỏi vật liệu khung giá chuyên hướng và trục bánh xe đầu máy toa xe sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, số đặc biệt tháng 10 (2013) 334-339. <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/8128?locale=vi>
- [9]. Đỗ Đức Tuấn, Nghiên cứu đánh giá độ bền và độ bền mỏi kết cấu bộ phận chạy đầu máy, toa xe sử dụng trong ngành đường sắt Việt Nam, Đề tài NCKH cấp Bộ, mã số B2012-04-07, Trường Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội 2014.
- [10]. Đỗ Đức Tuấn, Phạm Lê Tiến, Nguyễn Đức Toàn, Thử nghiệm và xác định các đặc trưng mỏi của vật liệu chế tạo toa xe trên máy thử nghiệm mỏi kéo tại Phòng thí nghiệm Trường đại học GTVT”, Đề tài NCKH mã số T2016-CK-43, Trường Đại học GTVT.
- [11]. Đỗ Đức Tuấn, Nguyễn Đức Toàn, Thiết lập quy trình và chương trình thử nghiệm mỏi kéo-nén vật liệu kim loại trên máy thử nghiệm mỏi LFV 500-HH của hãng Walter+bai AG, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 54 (2016). <http://repository.utc.edu.vn/handle/19999/7347?locale=en>
- [12]. Walter+bai AG, Instruction Manual Original Servohydraulic Fatigue Testing Machine Type LFV 500-HH, Hydraulic Power Pack Type PAR-160, Digital Control System Type PCS 5000 and DION Software.
- [13]. Walter+bai AG, Testing Software for Static and Dynamic Material Testing Systems.
- [14]. Пузанков А.Д., Надёжность конструкций локомотивов, МИИТ, Москва 1999.
- [15]. Пузанков А.Д., Надёжность локомотивов, МИИТ, Москва 2006.