

1. Tính cấp thiết của đề tài

Sau một số nguyên công chế tạo (đặc biệt là hàn, đúc), ứng suất dư có hại (USD) thường có trong chi tiết. Sự tồn tại USD thường làm giảm các đặc trưng cơ học nói chung và các đặc trưng bền mỏi nói riêng của chi tiết. Vì vậy, khử USD là cần thiết và thậm chí được qui định trong các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan đến thiết kế chế tạo chi tiết. Nghiên cứu, đề xuất các giải pháp nhằm khử và giảm USD cho chi tiết máy và kết cấu là vấn đề quan trọng, được quan tâm nghiên cứu cả trong nước và trên thế giới.

Trong số các phương pháp khử USD, phương pháp rung khử (VSR) có nhiều ưu điểm và được thừa nhận là có hiệu quả cao. Tuy nhiên, quá trình VSR có ảnh hưởng đến độ bền mỏi của chi tiết, hơn nữa vấn đề này đang được quan tâm nghiên cứu. Vì vậy, các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm nhằm xác định chế độ VSR để giảm USD và cải thiện các đặc trưng bền mỏi của chi tiết là việc làm cần thiết có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Làm rõ mối quan hệ giữa các tham số trong chế độ rung khử với USD và đặc trưng bền mỏi của chi tiết.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Chi tiết có USD do quá trình gia nhiệt cục bộ và các tham số trong chế độ VSR.

Về phạm vi nghiên cứu: USD hình thành do gia nhiệt cục bộ, biến dạng được coi là nhỏ, nội lực được xem là lực có thể trên các chuyển vị bổ sung.

4. Phương pháp nghiên cứu

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với mô phỏng số và thực nghiệm.

5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu của luận án góp phần làm rõ mối quan hệ của các tham số VSR với USD và các đặc trưng bền mỏi của chi tiết, kết cấu.

Kết quả nghiên cứu của luận án góp phần hoàn thiện qui trình công nghệ VSR, nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả sản xuất.

6. Bố cục của luận án

Gồm phần mở đầu, 4 chương và phần kết luận, danh mục các công trình khoa học của tác giả, tài liệu tham khảo và phụ lục.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ RUNG KHỬ ỨNG SUẤT DƯ

1.1. Tổng quan về ứng suất dư và ảnh hưởng của ứng suất dư

Sau một số nguyên công chế tạo, trong chi tiết, kết cấu thường xuất hiện USD (có hại). Theo phạm vi tác dụng, USD được chia thành USD thô đại (tồn tại trong từng phần chi tiết) và USD tế vi (tồn tại trong từng phần nhỏ của hạt), trong đó USD thô đại có ảnh hưởng mạnh đến khả năng chịu tải, độ bền mỏi, tính chịu ăn mòn và trong nhiều trường hợp là nguyên nhân gây cong vênh, nứt vỡ chi tiết.

Có nhiều phương pháp xác định USD, các phương pháp này được chia thành hai nhóm là phương pháp phá hủy (khoan lỗ, đo độ võng) và phương pháp không phá hủy (siêu âm, từ tính, nhiễu xạ tia X, nhiễu xạ tia Neutron...), trong đó phương pháp khoan lỗ và phương pháp nhiễu xạ tia X thường được sử dụng do có thiết bị đơn giản nhưng độ chính xác cao.

1.2. Phương pháp khử USD

Các phương pháp khử USD có thể phân chia thành hai nhóm:

- Khử USD bằng các phương pháp sử dụng nhiệt: dùng nhiệt để nung nóng và làm nguội chậm vùng vật thể có USD, với quá trình nhiệt xảy ra chậm tạo điều kiện các phần của vật thể được giãn nở đều hơn, từ đó làm giảm USD. Các phương pháp giảm USD bằng nhiệt có thể kể đến như: nhiệt luyện, nung nóng cục bộ...

- Khử USD bằng các phương pháp cơ học: dùng ngoại lực cưỡng bức chi tiết, kết cấu có USD biến dạng đến trạng thái chảy dẻo, sau khi cắt tải USD trong chi tiết, kết cấu giảm đi. Phương pháp khử USD bằng cơ học bao gồm: đặt tải tăng cường, rung động...

Khả năng giảm USD của các phương pháp đều rất lớn, nhưng với những ưu điểm nổi trội của mình, các phương pháp khử USD bằng cơ học ngày càng được quan tâm, đặc biệt khử USD bằng rung động.

1.3. Khử ứng suất dư bằng phương pháp rung động

1.3.1. Quá trình phát triển công nghệ rung khử ứng suất dư

Có thể khái quát quá trình phát triển VSR bằng 3 giai đoạn chính:

- + Giai đoạn bắt đầu: Trong những năm đầu thế kỷ 19, các kỹ sư tình cờ phát hiện ra hiện tượng giảm USD khi chi tiết, kết cấu được vận chuyển bằng tàu hỏa. Năm 1943, McGoldric đã tiến hành thí nghiệm và công bố rung động có khả năng giảm USD, với kết quả đó hai ông đã đặt nền móng đầu

tiên cho sự phát triển VSR.

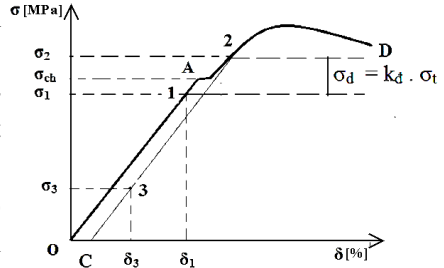
+ Giai đoạn phát triển và hình thành công nghệ: từ năm 1970 đến 1990 có rất nhiều hệ thống thiết bị VSR được phát minh với những cải tiến ngày càng gọn nhẹ, dễ dùng.

+ Giai đoạn phát triển hoàn thiện và ứng dụng: ngày càng có nhiều ngành công nghiệp chế tạo máy chính xác sử dụng VSR, thậm chí có nhiều loại chi tiết, kết cấu bắt buộc phải VSR.

1.3.2. Nguyên lý tích thoát ứng suất dư

Nguyên lý cơ học của quá trình VSR được giải thích thông qua hình 1.1 như sau:

- Giả sử ban đầu trạng thái ứng suất-biến dạng của một phân tử nào đó của vật thể được biểu diễn tại điểm 1 (ứng suất σ_1).
- Khi rung khử, đặc biệt tại tần số cộng hưởng, mức tải được khuếch đại lên k_d lần đủ lớn để kết cấu bị biến dạng, trạng thái ứng suất- biến dạng của phân



Hình 1.1: Nguyên lý cơ học của công nghệ VSR

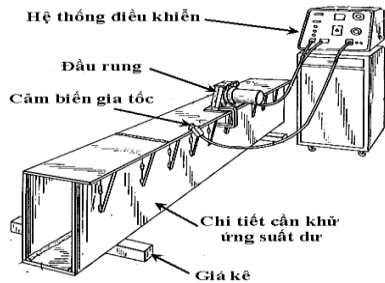
tử này đạt tới điểm 2 (trong vùng chảy dẻo), vượt qua điểm chảy A.

- Khi cắt tải, trạng thái ứng suất- biến dạng của phân tử này trở về điểm C (không còn USD). Tuy nhiên, do có sự ràng buộc của các phân tử khác trong vật thể, vì vậy trạng thái ứng suất - biến dạng của phân tử khảo sát chỉ có thể trở về điểm 3 (ứng suất σ_3), với $\sigma_3 < \sigma_1$.

1.3.3. Thiết bị và nguyên lý rung khử ứng suất dư

Để VSR, hệ thống thiết bị rung khử (hình 1.2) bao gồm các thành phần sau:

- Đầu rung: là một động cơ có khả năng tạo rung động.
- Giá kê: có khả năng đàn hồi giúp chi tiết cần rung khử dao động tự do.
- Cảm biến gia tốc: có khả năng ghi nhận được lượng chuyển vị, gắn vào chi tiết rung để xác định tần số cộng hưởng.



Hình 1.2: Hệ thống thiết bị VSR

- Hệ thống điều khiển trung tâm: tạo tín hiệu rung động cho đầu rung và thu tín hiệu từ cảm biến gia tốc để duy trì quá trình rung khử.

1.3.4. Quy trình rung khử ứng suất dư

- **Bước 1:** Xác định tần số dao động riêng của chi tiết, kết cấu trước khi

VSR, làm cơ sở để rung khử và đánh giá hiệu quả của quá trình VSR.

- **Bước 2:** VSR cho chi tiết, kết cấu ở tần số xác định được từ bước 1, biên độ và thời gian rung được ước lượng bằng kinh nghiệm.

- **Bước 3:** Kiểm tra tần số dao động riêng của chi tiết, kết cấu sau VSR để đánh giá USD đã được khử hay chưa.

- **Bước 4:** Đánh giá kết quả rung khử, thực hiện lại từ bước 1 cho đến khi tần số dao động riêng của chi tiết, kết cấu hầu như không thay đổi.

1.4. Tình hình nghiên cứu về rung khử ứng suất dư

Các kết quả nghiên cứu tập trung vào hai nội dung sau:

- Khả năng giảm USD của phương pháp rung khử: Có khá nhiều tác giả quan tâm đến vấn đề này trên nhiều phương diện như: phương pháp nghiên cứu đa dạng (tính toán lý thuyết, tính toán mô phỏng số và cả thực nghiệm); nhiều đối tượng (mẫu, chi tiết, kết cấu thực); nhiều loại vật liệu cũng đã được xem xét. Qua nghiên cứu các tác giả cho thấy rằng khả năng giảm USD của VSR chỉ đạt được khi mức tải vượt giới hạn đàn hồi của vật liệu, mức giảm USD tương đương với các phương pháp khử USD bằng nhiệt và tần số dao động riêng của chi tiết giảm là dấu hiệu giảm USD. Tuy nhiên các tác giả cũng chưa quan tâm mức tải đạt hiệu quả giảm USD cao nhất.

- Ảnh hưởng của rung khử đến các đặc trưng bền mỏi: Có khá ít tác giả nghiên cứu vấn đề này, một số nghiên cứu bằng thực nghiệm về ảnh hưởng của VSR tới tuổi thọ mỏi của chi tiết, kết cấu. Tuy nhiên, các điểm khảo sát còn ít, chưa quan tâm đầy đủ việc khảo sát trước VSR để có số liệu chính xác, chưa có nghiên cứu lý thuyết đặc biệt là nghiên cứu về ảnh hưởng của VSR tới giới hạn mỏi của chi tiết, kết cấu.

Nhìn chung các nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số VSR đến các đặc trưng bền mỏi của chi tiết còn ít được quan tâm, cần phải được nghiên cứu, bổ sung và phát triển.

1.5. Nhiệm vụ nghiên cứu của luận án

Xây dựng các phương pháp để xác định được ảnh hưởng của các tham số rung khử đến mức giảm USD và mức thay đổi các đặc trưng bền mỏi của chi tiết.

Kết luận chương 1

Trong chương đã làm rõ ảnh hưởng của USD đến chi tiết, kết cấu, đã tìm hiểu các phương pháp xác định và khử USD, trong đó VSR được tập trung làm rõ. Qua phân tích và tổng hợp các nghiên cứu về VSR ở trong nước và trên thế giới, NCS đã xác định được nhiệm vụ nghiên cứu của luận án.

Chương 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT VSR VÀ XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG BỀN MÔI CỦA CHI TIẾT CÓ ỨNG SUẤT DƯ

Chương này tiến hành thành lập các công thức, phương trình mô tả quá trình hình thành USD do nhiệt, quá trình VSR và xác định các đặc trưng bền môi của chi tiết. Những vấn đề này là cần thiết để tiến hành nghiên cứu, đánh giá bằng lý thuyết về ảnh hưởng của các tham số rung khử tới mức giảm USD và mức thay đổi các đặc trưng bền môi sau rung khử.

2.1. Cơ sở quá trình hình thành ứng suất dư và rung khử ứng suất dư

2.1.1. Bài toán truyền nhiệt

- Mô hình nguồn nhiệt di động có phân bố dạng Gauss được biểu diễn trên hình 2.1 và được mô tả như công thức:

$$Q(x, \xi) = \frac{3W}{\pi r^2} e^{-\frac{x^2}{r^2}} e^{-\frac{3[z+v(\tau-t)]^2}{r^2}} \quad (2.1)$$

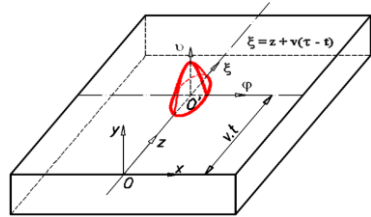
trong đó:

W là mức năng lượng đầu vào (W);

r là bán kính đặc trưng của phân bố dòng nhiệt (m);

τ là độ trễ (s);

v là vận tốc di chuyển của nguồn nhiệt (m/s).



Hình 2.1: Mô hình nguồn nhiệt

- Phương trình biểu diễn quá trình truyền nhiệt ba chiều với sự tham gia của nguồn nhiệt được Fourier thành lập như sau:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \{L\}^T \{q^h\} + Q \quad (2.2)$$

trong đó ρ - khối lượng riêng của vật liệu (kg/m^3); c - nhiệt dung riêng của vật liệu ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$); t - thời gian (s); $T = T(x, y, z, t)$ là hàm nhiệt độ ($^\circ\text{C}$); $\{L\}$ là véc tơ gradient; $\{q^h\}$ là véc tơ dòng nhiệt; Q là lượng nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích.

Phương trình truyền nhiệt của một phần tử như (2.3), với các điều kiện biên như: nhiệt độ môi trường T_B , dòng nhiệt qua một bề mặt là $\bar{q}$ và biết trước lượng nhiệt bức xạ và đối lưu qua một bề mặt cùng các đại lượng đã biết như: nhiệt dung riêng c , hệ số đối lưu h_p , hệ số dẫn nhiệt K^r , hàm dạng

của phần tử là $[N]$ và $[A] = \{L\}[N]^T$.

$$\left[C_e^t \right] \left\{ \dot{T}_e \right\} + \left(\left[K_e^{tb} \right] + \left[K_e^{tC} \right] \right) \left\{ T_e \right\} = \left\{ Q_e^f \right\} + \left\{ Q_e^c \right\} + \left\{ Q_e^g \right\} \quad (2.3)$$

trong đó: $\left[C_e^t \right] = \rho \int_{V_e} c [N][N]^T dV_e$ - ma trận nhiệt dung riêng phần tử;

$$\left[K_e^{tb} \right] = \int_{V_e} [A]^T \left[K^{tr} \right] [A] dV_e \text{ - ma trận hệ số dẫn nhiệt phần tử;}$$

$$\left[K_e^{tC} \right] = \int_{S_3} h_f [N][N]^T dS_3 \text{ - ma trận hệ số truyền nhiệt đối lưu qua bề mặt}$$

của phần tử;

$$\left\{ Q_e^f \right\} = \int_{S_2} [N] \bar{q} dS_2 \text{ - véc tơ lưu lượng nhiệt của phần tử;}$$

$$\left\{ Q_e^c \right\} = \int_{S_3} T_B [N] h_f dS_3 \text{ - véc tơ dòng nhiệt đối lưu qua bề mặt phần tử;}$$

$$\left\{ Q_e^g \right\} = \int_{V_e} Q [N] dV_e \text{ - véc tơ tải trọng nhiệt của phần tử.}$$

2.1.2. Sự hình thành ứng suất do quá trình gia nhiệt cục bộ

Khi vật thể chịu quá trình nhiệt, công nội lực sinh ra trên phần tử được xác định theo công thức sau:

$$\delta U = \int_{V_e} \left\{ \delta \varepsilon \right\}^T \left\{ \sigma \right\} dV_e \quad (2.4)$$

trong đó $\{\varepsilon\}$ là véc tơ biến dạng; $\{\sigma\}$ là véc tơ ứng suất; V_e là thể tích của phần tử khảo sát. Mỗi quan hệ giữa $\{\sigma\}$ và $\{\varepsilon\}$ được xác định như sau:

$$\left\{ \sigma \right\} = [D] \left(\left\{ \varepsilon \right\} - \left\{ \varepsilon^{th} \right\} \right) \quad (2.5)$$

Trong công thức (2.5) thì $\{\varepsilon^{th}\}$ là véc tơ biến dạng do nhiệt độ T :

$$\left\{ \varepsilon^{th} \right\} = \int_{T_B}^T \alpha(T) T dT \quad (2.6)$$

với $\alpha(T)$ là hệ số dẫn nở nhiệt, còn T_B là nhiệt độ môi trường.

Phương trình xác định chuyển vị của một phần tử khi gia nhiệt như sau:

$$\left[K_e \right] \left\{ q \right\} = \left\{ F^{th} \right\} \quad (2.7)$$

trong đó $[K_e] = \int_{V_e} [B]^T [D][B] dV_e$ là ma trận độ cứng của phần tử, còn

$\{F^{th}\} = \int_{V_e} [B]^T [D]\{\varepsilon^{th}\} dV_e$ là véc tơ tải trọng nhiệt của phần tử.

Hai phương trình (2.3) và (2.7) có thể viết dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} [O] & [O] \\ [O] & [C'] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\dot{q}\} \\ \{\dot{T}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K] & [O] \\ [O] & [K'] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{q\} \\ \{T\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F\} \\ \{Q\} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

trong đó: $[K] = \sum_e [K_e]$ - ma trận độ cứng cơ học của chi tiết;

$[K'] = \sum_e ([K_e^{tb}] + [K_e^{tC}])$ - ma trận độ cứng nhiệt của chi tiết;

$[O]$ - ma trận không (tất cả các phần tử đều là số 0);

$[C'] = \sum_e [C_e^t]$ - ma trận cản nhiệt của chi tiết;

$\{F\} = \sum_e \{F^{th}\}$ - véc tơ tải trọng do nhiệt của chi tiết;

$\{Q\} = \sum_e (\{Q_e^f\} + \{Q_e^c\} + \{Q_e^g\})$ - véc tơ tải nhiệt chi tiết.

Phương trình (2.8) là cơ sở để xác định trường USD của chi tiết do quá trình gia nhiệt. Việc xác định USD do quá trình gia nhiệt nhằm cung cấp trường ứng suất đầu vào cho bài toán VSR.

Phương trình (2.8) có thể giải bằng phương pháp số theo các bước thời gian, trong mỗi bước tính được trường nhiệt độ, từ trường nhiệt độ đó có thể tính được chuyển vị và do đó ứng suất do nhiệt sẽ tính được. Khi kết thúc quá trình gia nhiệt (nung nóng- làm nguội), trường USD được lưu thành file số liệu.

2.1.3. Xây dựng phương trình dao động của chi tiết khi VSR

Việc xây dựng phương trình chuyển động của chi tiết trong quá trình rung khử ứng suất dư được thực hiện với một số giả thiết sau:

- 1) Vật liệu làm chi tiết có tính liên tục, đồng chất và đẳng hướng;
- 2) Coi biến dạng của chi tiết là nhỏ và xem thể tích của chi tiết không thay đổi khi bị biến dạng;
- 3) Nội lực được xem là lực có thể trên các chuyển vị bổ sung;

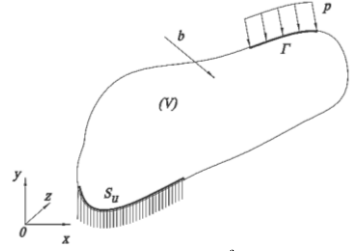
4) Coi quá trình biến dạng của vật liệu chi tiết là quá trình đàn dèo tuân theo tiêu chuẩn chảy dẻo Von Mises với quy luật tái bền động học theo hai đường thẳng.

Khi đó ma trận ứng suất - biến dạng đàn dèo $[D]_{ep}^*$ có dạng:

$$[D]_{ep}^* = [D] - [D_p] \quad (2.9)$$

trong đó $[D]$ là ma trận đàn hồi và $[D_p]$ là ma trận dẻo.

Trường hợp tổng quát, chi tiết được xem xét dưới dạng một vật thể chịu lực có thể tích V , bề mặt S , được liên kết chặt trên biên S_u , chịu tải trọng phân bố p trên biên Γ và chịu lực khối b tác dụng tại mỗi điểm trên vật thể (hình 2.2).



Hình 2.2: Vật thể chịu lực

Để thành lập phương trình chuyển động của chi tiết, chúng ta sử dụng nguyên lý Hamilton. Theo đó:

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta W^d - \delta W_I - \delta W_E) dt = 0 \quad (2.10)$$

trong đó δW_E , δW_I lần lượt là công khả dĩ của ngoại lực và nội lực, còn δW^d là động năng khả dĩ của vật. Các thành phần công khả dĩ trong (2.10) được xác định như sau:

a) Công khả dĩ của ngoại lực được xác định bởi:

$$\delta W_E = - \left(\int_V \rho \{b\}^T \{\delta u\} dV + \int_{\Gamma} \{p\}^T \{\delta u\} dV \right) \quad (2.11)$$

ở đây ρ là khối lượng riêng của vật liệu, $\{b\}$ là véc tơ lực khối tác dụng tại mỗi điểm trên chi tiết, $\{p\}$ véc tơ tải trọng phân bố trên biên Γ và $\{u\}$ là véc tơ chuyển vị.

b) Động năng khả dĩ của vật được xác định bởi:

$$\delta W^d = - \{\delta q\}^T [M] \{\ddot{q}\} \quad (2.12)$$

với $[M]$ là ma trận khối lượng.

c) Xác định công khả dĩ của nội lực.

Công khả dĩ của nội lực bao gồm hai thành phần là công khả dĩ do nội ma sát δU_{ms} và công khả dĩ do biến dạng δU

$$\delta W_I = \delta U_{ms} + \delta U \quad (2.13)$$

Công khả dĩ do nội ma sát δU_{ms} :

$$\delta U_{ms} = \int_V \{\delta u\}^T \mu \{\dot{u}\} dV \quad (2.14)$$

ở đây μ là hệ số ma sát.

Công khả dĩ do biến dạng:

$$\delta U = \int_V \{\delta \varepsilon\}^T \{\sigma\} dV = \int_V \{\delta q\}^T \left([B_0]^T + [B_L]^T \right) \{\sigma\} dV \quad (2.15)$$

trong đó $\{\delta \varepsilon\}$, $\{\delta \sigma\}$ lần lượt là véc tơ biến dạng và ứng suất và $[B_0]$, $[B_L]$ lần lượt là ma trận thể hiện mối quan hệ biến dạng với chuyển vị tuyến tính và chuyển vị phi tuyến, còn chuyển vị phần tử $\{u\}$ được nội suy thông qua chuyển vị nút $\{q\}$ theo biểu thức sau:

$$\{u\} = [N] \{q\} \quad (2.16)$$

Thay các công thức (2.11), (2.12), (2.14) và (2.15) vào công thức (2.10) và để ý tới công thức (2.16) ta nhận được:

$$[M] \{\ddot{q}\} + [C] \{\dot{q}\} + \int_V \left([B_0]^T + [B_L]^T \right) \{\sigma\} dV = \{F\} \quad (2.17)$$

trong đó:

$$[M] = \int_V \rho [N]^T [N] dV - \text{ma trận khối lượng của vật thể.}$$

$$[C] = \int_V \mu [N]^T [N] dV - \text{ma trận cản của vật thể.}$$

$$\{F\} = \int_V \rho [N]^T \{b\} dV + \int_\Gamma [N]^T \{p\} dS - \text{véc tơ lực tác dụng lên vật thể.}$$

Phương trình (2.17) mô tả quá trình rung khử và nó là phi tuyến nên chỉ có thể được giải ở dạng gia số. Phương trình dạng gia số được thành lập bằng cách xét hai trạng thái cân bằng động I và II ở hai thời điểm lân cận t và $t + \Delta t$, trong đó Δt là khoảng thời gian đủ nhỏ, khi đó (2.17) thành:

$$[M] \{\Delta \ddot{q}\} + [C] \{\Delta \dot{q}\} + \left([K_0] + [K_L] + [K_\sigma] - [K_R] \right) \{\Delta q\} = \{\Delta F\} \quad (2.18)$$

ở đây đã đặt:

$$[K_0] = \int_V [B_0]^T [D] [B_0] dV - \text{ma trận độ cứng do hình dạng vật thể.}$$

$[K_L] = \int_V \left([B_0]^T [D] [B_L] + [B_L]^T [D] [B_L] + [B_L]^T [D] [B_0] \right) dV$ - ma trận độ cứng do chuyển vị lớn.

$[K_\sigma] = \int_V [\Delta B_L]^T \{\sigma\} dV$ - ma trận độ cứng do U^{SD}.

$[K_R] = \int_V \left([B_0]^T + [B_L]^T \right) [D_p] ([B_0] + [B_L]) dV$ - ma trận độ cứng hiệu chỉnh.

Phương trình (2.18) thể hiện cả tính phi tuyến hình học (trong quan hệ giữa biến dạng và chuyển vị) và tính phi tuyến vật lý (do quá trình rung khứ diễn ra ở cả hai giai đoạn đàn hồi và dẻo). Véc tơ gia số tải $\{\Delta F\}$ liên quan đến lực quán tính phát sinh trong quá trình rung khứ được xác định qua các tham số thể hiện chế rung.

Có thể giải được (2.18) bằng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark kết hợp phương pháp lặp Newton-Raphson. Tóm tắt thuật toán giải gồm các bước chính sau:

- 1) Lập các ma trận $[M]$, $[C]$, $[K_T]$ tại thời điểm ban đầu
- 2) Gán các điều kiện ban đầu, điều kiện biên và tải trọng
- 3) Sử dụng phương pháp tích phân gia tốc trung bình để tính trong một bước thời gian Δt
- 4) Tính các ma trận $[\bar{K}_T]$, $\{\Delta \bar{F}\}$ theo phương pháp Newmark.
- 5) Thực hiện các vòng lặp để tính gia số chuyển vị $\{\Delta q\}$
- 6) Tính gia số vận tốc $\{\Delta \dot{q}\}$
- 7) Tính chuyển vị, vận tốc, gia tốc tại thời điểm $n+1$.
- 8) Kết quả cuối cùng là file số liệu về trường ứng suất sau VSR.

2.2. Xác định các đặc trưng bền mỗi của chi tiết sau VSR

2.1.1. Xác định giới hạn bền mỗi

- Cơ sở xác định giới hạn bền mỗi

Giới hạn bền mỗi của vật liệu hay kết cấu là giá trị ứng suất lớn nhất mà mẫu hoặc chi tiết có thể chịu đựng được với số chu trình ứng suất không hạn định và với xác suất không bị phá hỏng qui định. Để tìm giới hạn bền mỗi của chi tiết, luận án sẽ nghiên cứu và phát triển phương pháp tính toán số trên cơ sở mô hình phá hủy giòn - mô hình chuỗi các khâu liên kết nối tiếp nhau, chuỗi sẽ bị phá hủy tại khâu yếu nhất do Weibull đề xướng, mô hình được minh họa trên hình 2.3.

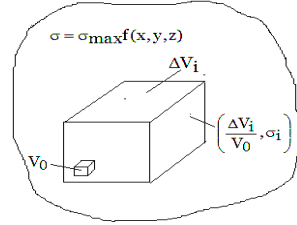
Theo mô hình này, vật thể được chia thành nhiều phần thể tích ΔV_i có mức ứng suất σ_i không đổi. Mỗi phần thể tích ΔV_i lại được chia thành $\Delta V_i/V_0$ khâu có thể tích đơn vị V_0 nối tiếp nhau.

Nếu vật thể có ứng suất lớn nhất là $\sigma_{\max}$ thì ứng suất tại một điểm bất kỳ của vật thể được xác định theo công thức:

$$\sigma_i = \sigma_{\max} f(x_i, y_i, z_i) \quad (2.19)$$

ở đây $f(x_i, y_i, z_i)$ là hàm tọa độ không thứ nguyên thể hiện sự phân bố của ứng suất trong vật thể.

Theo Kogaev thì xác suất phá hủy chi tiết chịu ứng suất lớn nhất $\sigma_{\max}$ được tính theo công thức:



Hình 2.3: Chia vật thể theo mô hình phá hủy giòn của Weibull

$$P_{\sigma_i \geq u_w} = 1 - \exp \left(- \int_{V_0}^{\sigma_{\max}} \left(\frac{\sigma_{\max} f(x_i, y_i, z_i) - u_w}{\sigma_w} \right)^{m_w} \frac{dV}{V_0} \right) \quad (2.20)$$

trong đó u_w – giá trị nhỏ nhất của ứng suất có thể gây tổn thất mỗi tích lũy cho chi tiết (thường lấy $u_w = 0$); σ_w, m_w là thông số liên quan đến quy luật phân bố xác suất Weibull có thể tra trong các bảng tiêu chuẩn.

Trong (2.20), nếu hai chi tiết mà tích phân trong ngoặc có cùng giá trị thì hai chi tiết được xem là đồng dạng về phá hủy mỏi.

Theo Kravtchuk thì giới hạn bền mỏi (kỳ vọng toán học) của chi tiết chịu tải thay đổi theo qui luật đối xứng được xác định theo công thức:

$$\sigma_{-1} = \sigma_w \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{m_w}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{m_w} \right) \quad (2.21)$$

ở (2.21) thì Γ là hàm gamma, $V = \int_V (f(x, y, z))^{m_w} dV$ là thể tích qui đổi.

Khi chi tiết chịu tải chu kỳ bất đối xứng (hoặc chi tiết có USD), Goodman đề xuất công thức xác định ảnh hưởng của ứng suất trung bình tới giới hạn bền mỏi, giới hạn bền mỏi lúc này được hiệu chỉnh theo công thức:

$$\sigma_R = \sigma_{-1} \frac{\sigma_B - \sigma_m}{\sigma_B} = \sigma_w \frac{\sigma_B - \sigma_m}{\sigma_B} \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{m_w}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{m_w} \right) \quad (2.22)$$

trong đó σ_m và σ_B lần lượt là USD và giới hạn bền của vật liệu.

- Phương pháp số xác định mức thay đổi giới hạn bền mỗi của chi tiết sau VSR

Viết công thức (2.22) của chi tiết cho hai trường hợp trước rung và sau VSR (sử dụng các chỉ số tương ứng 1 và 2) rồi chia hai vế cho nhau, thì kết quả nhận được:

$$\frac{\sigma_R^{(2)}}{\sigma_R^{(1)}} = \frac{\sigma_B - \sigma_m^{(2)}}{\sigma_B - \sigma_m^{(1)}} \left(\frac{V^{(1)}}{V^{(2)}} \right)^{\frac{1}{m_w}} \quad (2.23)$$

Để xác định được mức thay đổi giới hạn bền mỗi của chi tiết theo (2.23) thì cần phải tính được giá trị của thể tích qui đổi $V^{(j)}$ ($j=1,2$). Luận án sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với phần tử khối 3 chiều để tính $V^{(j)}$:

$$V^{(j)} = \sum_{m=1}^{N_e} [V_{ELm}^{(j)}] = \sum_{m=1}^{N_e} \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 W_i W_k W_l \left(\sum_{i=1}^{nod} \left(N_i \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^{(j)} \right)^{m_w} \det(J_m) \right] \quad (2.24)$$

trong đó V_{ELm} là thể tích qui đổi của một phần tử, N_e là số phần tử, nod là số nút của phần tử, N_i là hàm dạng của nút i , và J_m , W_i , W_k , W_l lần lượt là ma trận Jacobi và các trọng số Gauss trong tính tích phân theo phương pháp cầu phương.

Công thức (2.23) cho phép đánh giá mức thay đổi giới hạn bền mỗi của chi tiết sau quá trình VSR.

2.1.2. Xác định mức thay đổi tuổi thọ mỗi của chi tiết sau VSR

Tuổi thọ mỗi của vật liệu (chi tiết) là khoảng thời gian làm việc của chúng dưới tác động của một chế độ tải động và các yếu tố ảnh hưởng khác cho tới khi bị phá hủy. Tuổi thọ mỗi thường được tính theo số chu kỳ tải hoặc theo thời gian. Để đánh giá tuổi thọ mỗi của kết cấu khi kể đến ảnh hưởng của VSR, ta sử dụng mô hình tích lũy tổn thất mỗi tuyến tính do Miner đề xuất. Ở đây USD đóng vai trò ứng suất ban đầu trong chi tiết và là ứng suất trung bình trong mỗi chu kỳ chịu tải của chi tiết.

Tuổi thọ mỗi của kết cấu liên quan tới khái niệm tích lũy tổn thất mỗi. Tổng tích lũy tổn thất mỗi đối với chi tiết khi không được khử USD (*chỉ số 1*) và khi được xử lý VSR (*chỉ số 2*) lần lượt được xác định theo các công thức sau:

$$D_1 = D_{\sigma m1}; \quad D_2 = D_r + D_{\sigma m2} \quad (2.25)$$

Giá trị của D_r , $D_{\sigma m1}$ và $D_{\sigma m2}$ được xác định bởi:

$$D_{\sigma m1} = \sum_{i=1}^{n_A} \frac{n_{i\sigma m1}}{N_{i\sigma m1}} = \lambda_{\sigma m1} D_{\sigma m1}^b; D_r = \sum_{i=1}^{n_R} \frac{n_i}{N_i}; D_{\sigma m2} = \sum_{i=1}^{n_A} \frac{n_{i\sigma m2}}{N_{i\sigma m2}} = \lambda_{\sigma m2} D_{\sigma m2}^b \quad (2.26)$$

ở đây $D_{\sigma m1}$, $D_{\sigma m2}$, D_r lần lượt là tổn thất mỗi của chi tiết chịu tải chu kỳ khi chi tiết có USD $\sigma_m^{(1)}$, $\sigma_m^{(2)}$ và khi rung khử; n_A là số biên độ ứng suất khác nhau trong quá trình chi tiết chịu tải; n_R là số chu kỳ rung khử; n là số chu kỳ ứng suất trong mỗi mức biên độ ứng suất; N là số chu kỳ tới phá hỏng tính trên đường cong mỏi tương ứng với mỗi mức biên độ ứng suất; λ là số block tải và D^b là tổn thất mỗi trong mỗi block tải tương ứng.

Trong quá trình làm việc, chi tiết được xem là bị phá hỏng nếu tổng tích lũy tổn thất mỗi bằng 1. Khi đó thay (2.26) vào (2.25) ta được:

$$\lambda_{\sigma m1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_A} \frac{n_{i\sigma m1}}{N_{i\sigma m1}}}, \quad \lambda_{\sigma m2} = \frac{(1-D_r)}{\sum_{i=1}^{n_A} \frac{n_{i\sigma m2}}{N_{i\sigma m2}}} \quad (2.27)$$

Tuổi thọ mỗi của chi tiết được xác định theo số chu kỳ như sau:

$$\bar{N}_1 = \lambda_{\sigma m1} \cdot \sum_{j=1}^{n_a} n_j, \quad \bar{N}_2 = \lambda_{\sigma m2} \cdot \sum_{j=1}^{n_a} n_j \quad (2.28)$$

trong đó n_a là số mức biên độ khác nhau trong block tải.

Xét trường hợp riêng khi chi tiết làm việc chỉ với một mức biên độ tải (thay đổi điều hòa), khi đó thay (2.27) vào (2.28), sau đó lập tỷ số $\bar{N}_2 / \bar{N}_1$:

$$\bar{N}_2 / \bar{N}_1 = (1-D_r) N_{\sigma m2} / N_{\sigma m1} \quad (2.29)$$

Xác định $N_{\sigma mj}$, N_r từ đường cong mỏi và xét tới giả thuyết của Goodman về ảnh hưởng của ứng suất trung bình ta được:

$$N_{\sigma mj} = C \frac{(1 - \sigma_m^{(j)} / \sigma_B)^m}{(\sigma_a)^m}, \quad N_r = \frac{C}{(\sigma_r)^m} \quad (2.30)$$

ở đây m , C lần lượt là hệ số của đường cong mỏi; σ_r ứng suất rung khử.

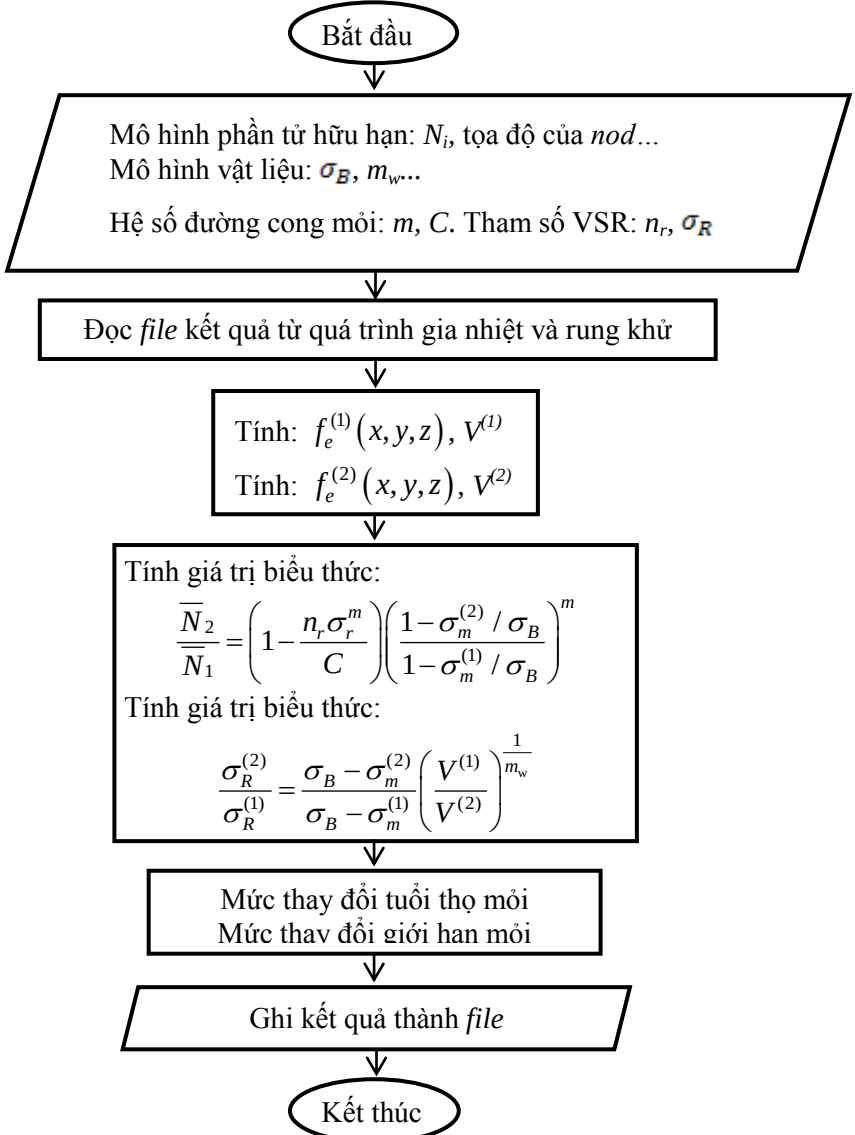
Thay (2.30) vào (2.29) dẫn đến phương trình:

$$\frac{\bar{N}_2}{\bar{N}_1} = \left(1 - \frac{n_r \sigma_r^m}{C} \right) \left(\frac{1 - \sigma_m^{(2)} / \sigma_B}{1 - \sigma_m^{(1)} / \sigma_B} \right)^m \quad (2.31)$$

Phương trình (2.31) cho phép xác định mức thay đổi tuổi thọ mỗi của chi tiết sau VSR nhưng có tính tới ảnh hưởng của quá trình rung khử.

2.1.3. Sơ đồ tính mức thay đổi các đặc trưng bền mỗi của chi tiết sau rung khử ứng suất dư.

Hình 2.4 trình bày sơ đồ tính mức thay đổi các đặc trưng bền mỗi trên cơ sở các công thức (2.23) và (2.31).



Hình 2.4: Sơ đồ tính mức thay đổi các đặc trưng bền mỗi sau VSR

Kết luận chương 2

Chương 2 đã xây dựng được hệ phương trình mô tả quá trình hình thành U_{SD} do gia nhiệt, phương trình vi phân dạng gia số để xác định U_{SD} của chi tiết sau VSR và các công thức cho phép tính mức thay đổi các đặc trưng bền mỏi của chi tiết khi được VSR. Qua đó, luận án đã lập sơ đồ tính toán phục vụ việc xây dựng các chương trình tính, mô phỏng số trong các môi trường ANSYS và MatLab.

Các kết quả nghiên cứu được thể hiện qua các bài báo số 1, 2 trong danh mục công trình đã công bố của luận án.

Chương 3

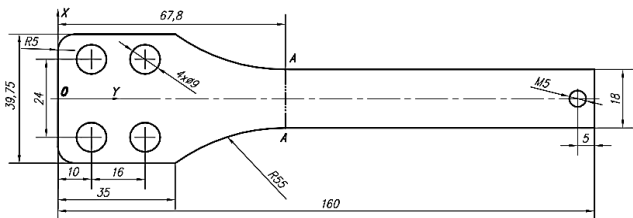
MÔ PHỎNG RUNG KHỦ VÀ TÍNH MỨC THAY ĐỔI ĐẶC TRƯNG BỀN MỎI CỦA CHI TIẾT SAU VSR

Trong chương này, các chương trình tính toán, mô phỏng số FEM-Thermalstress-Vibration và FEM-Fatigue được xây dựng để giải các phương trình đã thành lập trong chương 2. Qua đó, tiến hành lựa chọn chế độ VSR để khảo sát ảnh hưởng của các tham số VSR đến mức giảm U_{SD} và mức thay đổi các đặc trưng bền mỏi của chi tiết.

3.1. Mô phỏng U_{SD} do quá trình gia nhiệt

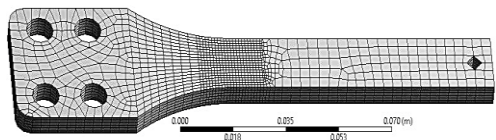
- Các mô hình dùng trong chương trình FEM-Thermalstress-Vibration

+ Hình dạng, kích thước chi tiết mẫu được thiết kế trên cơ sở tiêu chuẩn ASTM E466 và được mô tả trên hình 3.1, mẫu dày 6 mm.



Hình 3.1: Hình dạng kích thước chi tiết mẫu

+ Sử dụng phần tử dạng khối 6 mặt 8 nút, chia toàn bộ chi tiết thành 5754 phần tử và 7413 nút, chia dày hơn tại vùng nguồn nhiệt đi qua (hình 3.2)



Hình 3.2: Chia lưới phần tử chi tiết mẫu

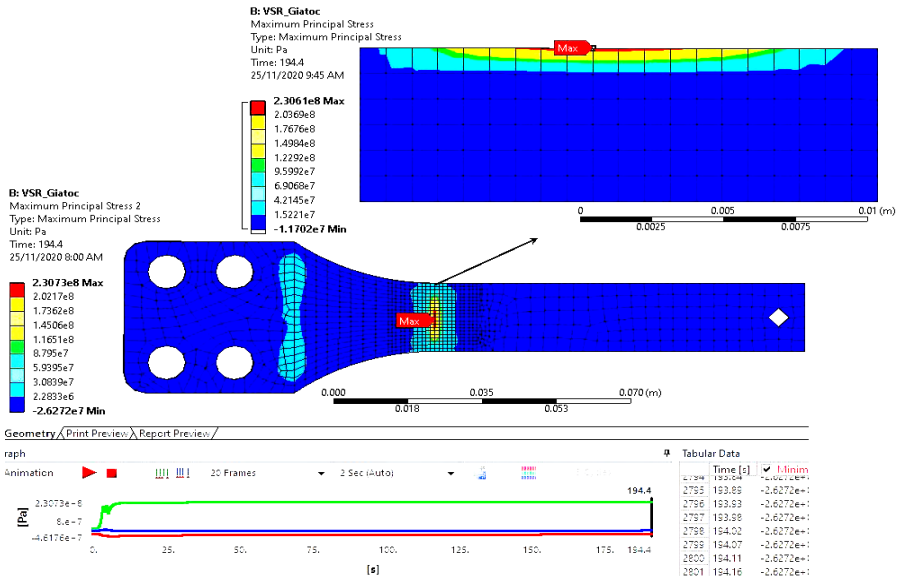
+ Vật liệu có các đặc trưng thay đổi theo nhiệt độ như bảng 3.1.

Bảng 3.1: Sự phụ thuộc tính chất vật liệu vào nhiệt độ

Nhiệt độ (°C)	Nhiệt dung riêng (J/kg°C)	Độ dẫn nhiệt (W/m°C)	Khối lượng riêng (kg/m³)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ giãn nở nhiệt (10 ⁻⁵ /°C)	Mô đun đàn hồi (GPa)	Hệ số poisson
0	480	60	7880	290	1,15	210	0,3
100	500	50	7880	260	1,20	200	0,3
200	520	45	7800	240	1,30	200	0,3
400	650	38	7760	175	1,42	170	0,3
600	750	30	7600	83	1,45	80	0,3
800	1000	25	7520	22	1,45	35	0,3
1000	1200	26	7390	19	1,45	20	0,3
1200	1400	28	7300	20	1,45	15	0,3
1400	1600	37	7250	15	1,45	10	0,3
1550	1700	37	7180	11	1,45	10	0,3

- Các điều kiện biên

Chi tiết được kẹp chặt phần đế và đầu tự do, nguồn nhiệt đi qua mặt cắt A-A có thông số: $W=0,96$ KJ, $r=7$ mm; $v= 30$ cm/phút; $\tau=3,6$ s; sau đó chi tiết mẫu được làm nguội xuống nhiệt độ môi trường $T_B=27^{\circ}\text{C}$.



Hình 3.3: USD do quá trình gia nhiệt

- Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 3.3

Hình 3.3 cho thấy, dọc theo đường đi qua của nguồn nhiệt, USD sinh ra đạt giá trị lớn nhất tại vị trí chính giữa và giảm dần sang hai bên theo chiều rộng và xuống phía dưới theo chiều dày của thiết diện. Các giá trị USD lớn nhất, nhỏ nhất xác định được là 230 MPa và -11 MPa.

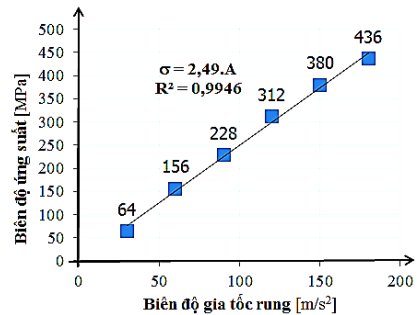
3.2. Mô phỏng quá trình VSR

- Khảo sát các hệ số giảm chấn (hệ số giảm chấn khối lượng, độ cứng) của mẫu thực, dùng các hệ số này để mô phỏng xác định tần số dao động riêng của chi tiết mẫu và giá trị xác định được là 230 Hz, khi đó biên độ ứng suất động tại điểm chính giữa đường A-A khi mẫu dao động với biên độ gia tốc 52,2 m/s² có giá trị là 130 MPa.

Tiến hành mô phỏng với nhiều mức biên độ gia tốc khác nhau, nội suy qua các kết quả này để tìm mối quan hệ giữa ứng suất động σ và biên độ gia tốc rung A , mối quan hệ này được thể hiện trên hình 3.4.

- Phân tích chọn chế độ rung khử

Qua kết quả khảo sát, USD do quá trình nhiệt và giới hạn chảy của mô hình vật liệu, NCS lựa chọn các tham số trong các chế độ rung khử nhằm nghiên cứu làm rõ mối quan hệ của mức tải với USD và mức thay đổi đặc trưng bền mỏi của chi tiết. Cơ sở lựa chọn gia tốc rung là các điểm khảo sát có mức tải tổng (ứng suất động và USD) phủ hết vùng từ USD tới giới hạn bền của vật liệu làm chi tiết, bảng 3.2 thể hiện các chế độ rung khử.



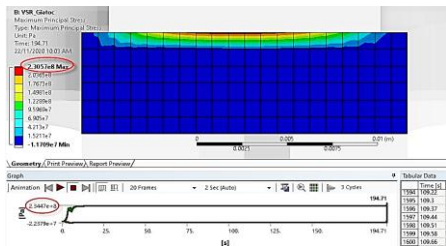
Hình 3.4: Sự phụ thuộc ứng suất tại mặt cắt A-A vào biên độ rung động

Bảng 3.2: Các chế độ VSR

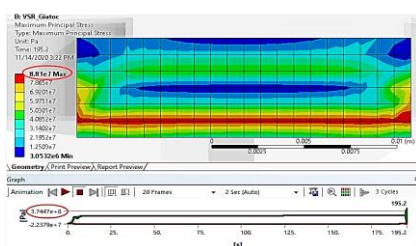
Chế độ rung	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ƯS tổng vượt giới hạn chảy (%)	-20	-10	0	10	20	30	40	60	100
ƯS do rung (MPa)	2	31	60	89	118	147	176	234	350
Gia tốc rung (m/s ²)	0,8	12	24	35	47	59	70	93	140
Tần số rung (Hz)	320								
Số chu kỳ tải rung (Chu kỳ)	Mỗi mức tải được thực hiện rung khử với ba mức chu kỳ tải là 30, 150 và 300 chu kỳ								

- Kết quả giảm USD sau rung

USD có sự phân bố lại đều hơn, giá trị cực đại dịch chuyển vào trong lòng vật thể, hình 3.5 thể hiện sự phân bố ứng suất trên mặt cắt A-A



a) Trước rung khởi

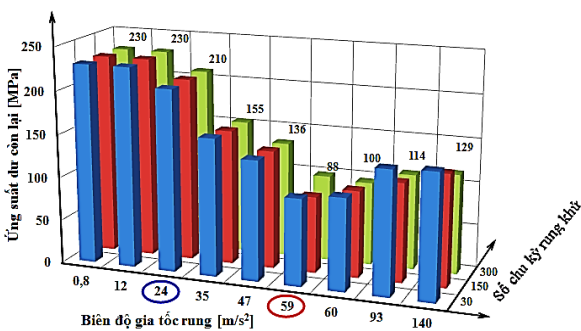


b) Sau rung khử với $A=59m/s^2$

Hình 3.5: Phân bố USD trước và sau rung khử

Giá trị USD lớn nhất còn lại sau các chế độ rung khử được thể hiện trên hình 3.6.

+ Biên độ gia tốc rung khử có ảnh hưởng tới giá trị và sự phân bố của USD trên mặt cắt A-A của chi tiết mẫu. Tuy nhiên, mối quan hệ giữa biên độ gia tốc rung khử và lượng giảm USD là không tuyến tính.



Hình 3.6: Giá trị USD nhất còn lại sau rung khử

+ Khi ứng suất tổng chưa vượt qua giới hạn chảy của vật liệu thì sự giảm và phân bố USD trên mặt cắt A-A của chi tiết mẫu là không xảy ra (chế độ rung 1, 2) hoặc rất nhỏ (chế độ rung 3)

+ Với biên độ gia tốc rung khử làm ứng suất tổng vượt quá giới hạn chảy của vật liệu (chế độ rung 4, 5, 6), giá trị USD giảm rất mạnh và USD phân bố lại đều hơn. Khi ứng suất tổng vượt quá 30% so với giới hạn chảy (chế độ rung 6) thì hiệu quả giảm USD là lớn nhất.

+ Hiệu quả giảm ứng suất dư sẽ đạt được chỉ sau vài chục chu kỳ, sau đó ít có sự thay đổi khi tăng số chu kỳ rung.

3.3. Tính mức thay đổi giới hạn mỗi của chi tiết sau rung khử

- Sử dụng chương trình FEM-Fatigue để tính, thông số đầu vào như sau:
Sử dụng lại các mô hình trong chương trình tính FEM-Thermalstress-

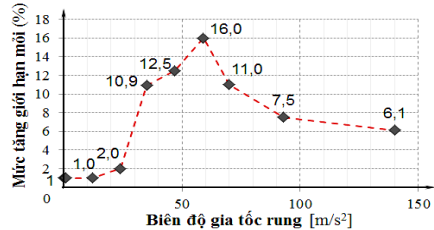
Vibration, sử dụng mô hình tái bền hai đường thẳng, trường USD sau gia nhiệt, phần đế mẫu dao động với gia tốc $a = A \sin(2\pi ft)$.

- Mức thay đổi giới hạn bền mỗi của chi tiết theo các chế độ rung được thể hiện ở hình 3.7, một số nhận xét kết quả này như sau:

- + Biên độ gia tốc rung có ảnh hưởng rõ rệt đến mức thay đổi giới hạn bền.
- + Tồn tại một giá trị nhỏ nhất của biên độ gia tốc rung để quá trình rung bắt đầu có tác dụng. Giá trị nhỏ nhất này có thể xác định bằng phương pháp đúng dần.

+ Tồn tại một giá trị hiệu quả của biên độ gia tốc rung mà với giá trị đó mức tăng giới hạn bền đạt được là lớn nhất (chế độ rung 6).

+ Tăng quá mức biên độ gia tốc rung có thể làm giảm giới hạn bền do ứng suất động vượt quá giá trị có lợi gây nên phá hủy chi tiết.



Hình 3.7: Mức thay đổi giới hạn bền của chi tiết theo biên độ gia tốc rung

3.4. Tính mức thay đổi tuổi thọ mỗi của chi tiết sau rung khử

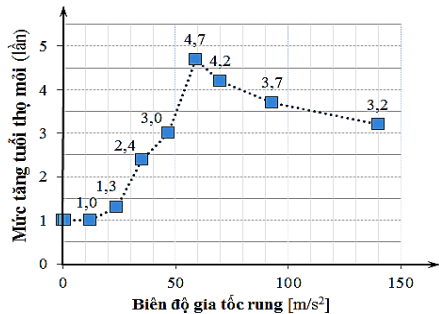
- Sử dụng chương trình FEM-Fatigue để tính, thông số đầu vào như sau: Các mô hình trong chương trình tính FEM-Thermalstress-Vibration, biên độ ứng suất động do rung, giá trị USD lớn nhất của chi tiết trước và sau khi VSR, các hệ số đường cong mỏi.

- Mức thay đổi tuổi thọ mỗi của chi tiết theo các chế độ rung được thể hiện ở hình 3.8, một số nhận xét kết quả này như sau:

+ Biên độ gia tốc rung có ảnh hưởng rõ rệt tới mức thay đổi tuổi thọ mỗi của chi tiết có USD, nhưng sự ảnh hưởng đó là không đơn điệu.

+ Tồn tại một giá trị nhỏ nhất của biên độ gia tốc rung để bắt đầu có sự cải thiện tuổi thọ mỗi của chi tiết mẫu.

+ Có một giá trị biên độ gia tốc rung cho mức tăng tuổi thọ mỗi của chi tiết mẫu lớn nhất.



Hình 3.8: Mức thay đổi giới hạn bền của chi tiết theo biên độ gia tốc rung

Kết luận chương 3

Chương 3 đã tiến hành mô phỏng sự hình thành USD do quá trình nhiệt,

mô phỏng quá trình VSR và tính mức thay đổi đặc trưng bền mỏi của chi tiết sau rung. Tiến hành phân tích và lựa chọn một số chế độ rung khử để tính toán, mô phỏng nhằm làm rõ mối quan hệ giữa các tham số rung khử đến mức giảm USD và mức thay đổi các đặc trưng bền mỏi của chi tiết trước và sau VSR.

Kết quả chính của chương này thể hiện trong bài báo số 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 trong danh mục công trình đã công bố của luận án.

Chương 4

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG BỀN MỎI CỦA CHI TIẾT SAU RUNG KHỬ ỨNG SUẤT DƯ

Dùng thực nghiệm để kiểm tra độ tin cậy của phương pháp tính lý thuyết và các chương trình đã sử dụng để tính toán và mô phỏng trong chương 3. Chương này tiến hành phân tích, lựa chọn và phát triển phương pháp thí nghiệm môi phù hợp với thiết bị hiện có trong nước. Mẫu được thiết kế, chế tạo, các thiết bị và phép đo tuân theo các tiêu chuẩn.

4.1. Phát triển phương pháp thí nghiệm môi trên hệ thống LDS

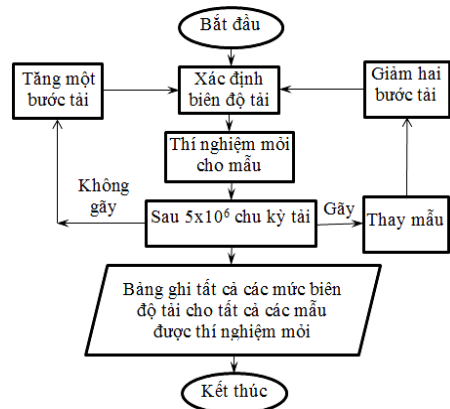
Hệ thống LDS được trang bị tại phòng thí nghiệm trong nước có thể tạo dao động với tần số cao và gia tốc lớn, phương dao động thẳng đứng. Phương pháp thí nghiệm môi được lựa chọn để phát triển phù hợp với hệ thống LDS là phương pháp bậc thang cải tiến. Tiến trình thí nghiệm tìm giới hạn mỏi được sơ đồ hóa như hình 4.1

4.2. Chi tiết mẫu và khảo sát đáp ứng của chi tiết mẫu

- Thiết kế, chế tạo mẫu: Hình dạng và kích thước của mẫu được thiết kế như hình 3.1, mẫu được chế tạo và tạo USD bằng gia nhiệt cục bộ như hình 4.2.

- Khảo sát đáp ứng của mẫu

+ Kéo 3 mẫu để xác định các đặc trưng cơ học của vật liệu làm mẫu (hình 4.3), các giá trị này được lấy trung bình và thể hiện qua bảng 4.1



Hình 4.1: Sơ đồ thí nghiệm môi



Hình 4.2: Mẫu được gia nhiệt

+ Xác định USD của chi tiết bằng cách lấy trung bình USD của 3 chi tiết mẫu sau gia nhiệt (phương pháp khoan lỗ xem hình 4.4), giá trị đo được thể hiện qua bảng 4.2.

Bảng 4.1: Các giá trị đặc trưng cơ học của vật liệu làm mẫu

Giới hạn chảy	Giới hạn bền	Mô đun đàn hồi
296 Mpa	440 MPa	200 GPa

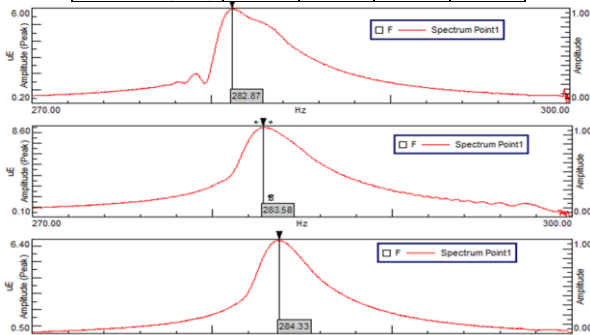
Bảng 4.2: Giá trị ứng suất dư

Lần đo	1	2	3	TB
USD (MPa)	230	203	215	216

+ Đo tần số dao động riêng của chi tiết bằng cách lấy trung bình tần số dao động riêng của 3 chi tiết (đo trên thiết bị LMS), xem bảng 4.3 và hình 4.5.

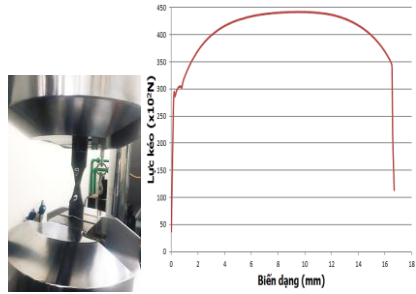
Bảng 4.3: Đo tần số dao động riêng

Lần đo	1	2	3	TB
Tần số (Hz)	282,8	283,6	284,3	283,5



Hình 4.5: Tần số dao động riêng của chi tiết mẫu

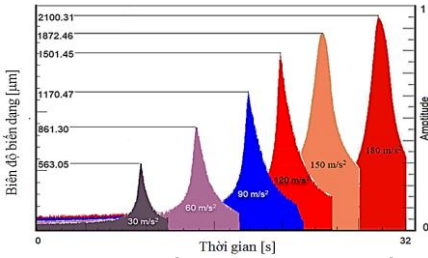
+ Xác định mối quan hệ giữa gia tốc rung với biến dạng (ứng suất) trên chi tiết mẫu, xem hình 4.6 và hình 4.7.



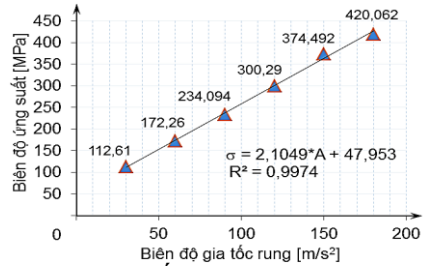
Hình 4.3: Kéo chi tiết mẫu



Hình 4.4: Đo USD cho chi tiết mẫu



Hình 4.6: Mối quan hệ giữa biên độ trên chi tiết và gia tốc rung



Hình 4.7: Mối quan hệ giữa ứng suất động trên chi tiết và gia tốc rung

4.3. Thí nghiệm VSR và thí nghiệm mỏi

Toàn bộ mẫu được chia thành 7 nhóm, trong đó 6 nhóm mẫu được VSR tương ứng 6 chế độ rung như bảng 4.4. Sau khi VSR các nhóm mẫu được kiểm tra USD. Với 7 mẫu còn lại trong mỗi nhóm (7 nhóm) thì dùng 5 mẫu để tìm giới hạn bền mỏi và 2 mẫu để xác định tuổi thọ mỏi ở mức tải cao hơn giới hạn mỏi nhằm xây dựng đường cong mỏi tương ứng cho từng nhóm mẫu.

- Chế độ VSR được lựa chọn trong số các chế độ VSR đã được tính toán mô phỏng trong chương 3. Trong phần này chỉ lựa chọn các chế độ VSR với gia tốc rung lớn nhằm đánh giá lại mức giảm USD và mức thay đổi các đặc trưng bền mỏi.

- Kết quả thí nghiệm

• Sự giảm USD được thể

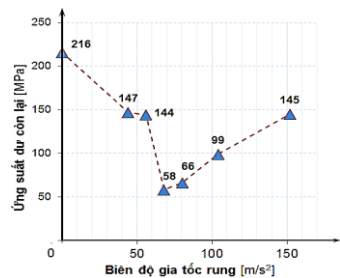
Bảng 4.4: Các chế độ VSR

TT	ƯS tổng vượt giới hạn chảy của vật liệu	Tần số rung (Hz)	Biên độ gia tốc rung (m/s^2)
1	10%	283,59	29,2
2	20%	283,59	43,3
3	30%	283,59	57,4
4	40%	283,59	71,4
5	60%	283,59	99,5
6	100%	283,59	155,8

hiện trên hình 4.8

+ Gia tốc VSR có ảnh hưởng rõ nét tới sự suy giảm USD trên chi tiết mẫu, mối quan hệ giữa chúng là không tuyến tính.

+ Tồn tại một giá trị biên độ gia tốc VSR cho giảm USD tốt nhất. Với giá trị biên độ đó, ứng suất tổng tại vị trí khảo sát vượt 30% giới hạn chảy của vật liệu và độ giảm USD đạt giá trị lớn nhất, lên tới 73%.



Hình 4.8: USD sau các chế độ rung khác

• Sự thay đổi giới hạn bền mỗi của chi tiết theo các chế độ VSR (hình 4.9).

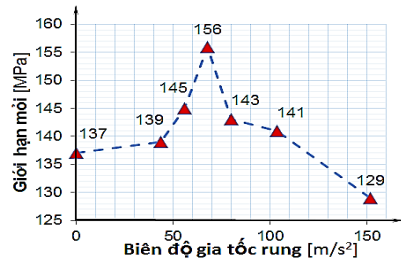
Phương pháp VSR có khả năng cải thiện giới hạn bền mỗi. Mức tăng lớn nhất là 14% khi mức tải khi rung khử phải vượt qua giới hạn chảy của vật liệu 30%. Nhưng nếu biên độ tải lớn hơn nữa thì giới hạn mỗi của chi tiết mẫu cũng bị giảm theo.

• Đường cong mỗi của các nhóm mẫu theo các chế độ VSR (hình 4.10)

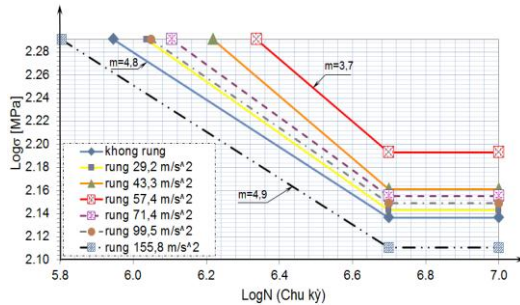
+ Mỗi quan hệ của độ dốc đường cong mỗi (giá trị $1/m$) với biên độ gia tốc rung là không tuyến tính, khi rung khử với biên độ gia tốc là $57,4 \text{ m/s}^2$ (tương ứng mức tải vượt giới hạn chảy 30%) cho độ dốc lớn nhất,

+ Chi tiết ứng với đường cong mỗi có độ dốc càng thấp thì tuổi thọ mỗi của chi tiết thay đổi càng nhiều khi thay đổi ứng suất động tác dụng lên chi tiết, có nghĩa là với sự tăng giảm tải một lượng nhỏ thì tuổi thọ mỗi của chi tiết đã bị thay đổi đáng kể, điều đó cũng có thể hiểu rằng với cùng một mức tải thì chi tiết nào có

đường cong mỗi với độ dốc lớn hơn thì có tuổi thọ mỗi lớn hơn.

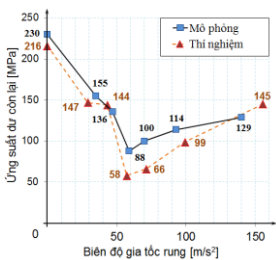


Hình 4.9: Giới hạn mỗi của các chế độ rung khử

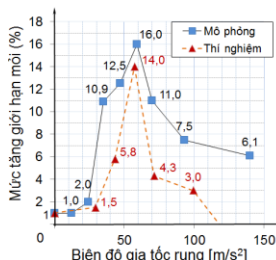


Hình 4.10: Các đường cong mỗi của các nhóm mẫu theo các chế độ rung

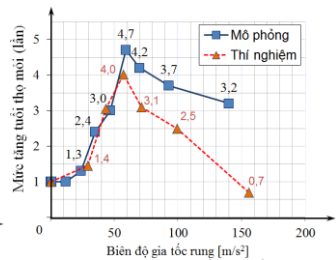
4.4. Đánh giá kết quả tính toán, mô phỏng và thí nghiệm



a) USD còn lại sau VSR



b) Mức thay đổi giới hạn mỗi



c) Mức thay đổi tuổi thọ mỗi

Hình 4.11: So sánh kết quả giữa tính toán mô phỏng với thực nghiệm

Nhân xét:

+ Kết quả giữa mô phỏng và thực nghiệm có sự sai khác về độ lớn, nhưng tính quy luật của chúng là khá tương đồng. Sai lệch về giá trị độ lớn giữa tính toán, mô phỏng và thực nghiệm không quá lớn.

+ Tồn tại một giá trị của biên độ gia tốc rung để quá trình rung khử đạt hiệu quả cao nhất, nghĩa là, việc rung khử với các biên độ gia tốc lớn hơn hay nhỏ hơn đều cho hiệu quả kém hơn, đặc biệt khi rung với biên độ gia tốc quá lớn khi đó chi tiết quá tải, đây chính là điều kiện thuận lợi để vết nứt mới phát triển nhanh và làm giảm các đặc trưng bền mỏi của chi tiết.

Kết luận chương 4

Chương 4 đã xây dựng được phương pháp thí nghiệm mỏi gia tốc có thể thực hiện trên thiết bị hiện có trong nước, thiết kế, chế tạo chi tiết mẫu thí nghiệm theo tiêu chuẩn phù hợp với phương pháp và thiết bị thí nghiệm đã được lựa chọn. Thực hiện VSR theo các chế độ rung khác nhau và thí nghiệm tìm đặc tính mỏi cho các nhóm mẫu sau rung khử. So sánh và đánh giá sự sai khác giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm trong cả quá trình tạo U_{SD}, VSR, với sai số đã được phân tích có thể khẳng định chương trình mô phỏng và tính toán đủ độ tin cậy.

Nội dung chương 4 được tác giả công bố trong các bài báo 4, 5 và 13 trong danh mục công trình đã công bố của luận án.

KẾT LUẬN CHUNG

• Những đóng góp mới của luận án:

1. Thiết lập được các phương trình thể hiện mối quan hệ giữa các tham số rung với ứng suất dư trong chi tiết và với sự thay đổi các đặc trưng bền mỏi của chi tiết sau rung khử ứng suất dư.

2. Xây dựng được các thuật toán và chương trình cho phép tính toán số xác định mức độ thay đổi ứng suất dư, giới hạn mỏi và tuổi thọ mỏi của chi tiết sau rung khử ứng suất dư với các thông số rung động khác nhau.

3. Đã tiến hành thí nghiệm để xác định chế độ rung hợp lý và khảo sát giới hạn bền mỏi, tuổi thọ mỏi sau quá trình rung khử ứng suất dư. Kết quả thí nghiệm có giá trị kiểm chứng, đánh giá mức độ tin cậy của phương pháp lý thuyết và chương trình đã được thành lập.

• Hướng nghiên cứu tiếp theo:

Tiếp tục nghiên cứu khả năng cải thiện tính chất cơ học nói chung, và tính bền mỏi nói riêng của phương pháp rung khử đối với các vật liệu khác, đặc biệt là cho mối hàn và vật liệu FGM.

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

ĐỖ VĂN SĨ

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA RUNG KHỦ' ỨNG SUẤT DƯ'
ĐẾN ĐỘ BỀN MỎI CỦA CHI TIẾT**

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật

Mã số: 9 52 01 01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2022

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học: TS Bùi Mạnh Cường

TS Nguyễn Văn Dương

Phản biện 1: GS. TS Nguyễn Văn Lệ

Phản biện 2: GS. TSKH Nguyễn Đông Anh

Phản biện 3: PGS. TS Vũ Lê Huy

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số 2044/QĐ-HV, ngày 03 tháng 6 năm 2022 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại: Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi:giờ..... ngày.....tháng..... năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Bùi Mạnh Cường, Đỗ Văn Sĩ, Nguyễn Văn Dương (2017), “*Khảo sát ảnh hưởng của một số qui luật tái bền vật liệu đến hiệu quả khử ứng suất dư trong kết cấu bằng phương pháp rung động*”, Tuyển tập công trình khoa học hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, Học viện Kỹ thuật Quân sự, tháng 12-2017, trang 666-673.
2. Nguyễn Văn Dương, Bùi Mạnh Cường, Đỗ Văn Sĩ (2017), “*Nghiên cứu mô hình cơ học quá trình hình thành ứng suất dư và rung khử ứng suất dư*”, Tuyển tập công trình khoa học hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, Học viện Kỹ thuật Quân sự, tháng 12-2017, trang 680-686.
3. Đỗ Văn Sĩ (2018), “*Ảnh hưởng của rung khử ứng suất dư tới tuổi thọ của mối hàn chịu tải ngẫu nhiên*”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 10 năm 2018, trang 64-70.
4. Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường (2019), “*Nghiên cứu xây dựng phương pháp thí nghiệm mới của mối hàn trên bàn rung LDS*”, Tuyển tập công trình khoa học hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, 9/4/2019, trang 183-190.
5. Repetckii O., Do Van Si, Nguyen Van Duong, Bui Manh Cuong (2019), “*Determining the fatigue characteristics of weld component by numerical method*”, Baikal Letter DaaD, N^o1 2019, pp. 4-12.
6. Repetckii O., Bui Manh Cuong, Nguyen Van Duong, Do Van Si (2019), “*Crack detection of butt-welded specimens using experimental and finite element analysis*”, Baikal Letter DaaD, N^o1 2019, pp. 32-41.
7. 8. Đỗ Văn Sĩ; Bùi Mạnh Cường; Nguyễn Văn Dương (2020), “*Khảo sát ảnh hưởng của các thành phần ứng suất dư đến đặc tính dao động của kết cấu*”, Tuyển tập công trình hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ lần thứ XV-năm 2020, trang 172-181.
8. Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường (2020), “*Đánh giá tuổi thọ của mối hàn giáp mối dưới tác dụng của tải trọng thay đổi ngẫu nhiên*”, Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, số 206, tháng 5-2020, trang 5-14.
9. 10. Repetckii O., Bui Manh Cuong, Do Van Si (2020), “*The effect of blowhole defects in the welded structures on its dynamics*” Baikal Letter DaaD, N^o1 2020, pp. 33-42.
10. Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường, Nguyễn Thị Hồng (2021), “*Mô phỏng rung khử ứng suất dư và đánh giá khả năng tăng giới hạn mỏi của phương pháp*”, Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy Lợi & Môi Trường, Trường ĐH Thủy Lợi, số 74, tháng 6-2021, trang 55-61.
11. Đỗ Văn Sĩ; Bùi Mạnh Cường; Nguyễn Văn Dương (2021), “*Tính toán mức tăng tuổi thọ của kết cấu sau rung khử ứng suất dư theo các giả thuyết khác nhau*”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường đại học Công nghiệp Hà Nội, tập 57, số 6, tháng 12 năm 2021.
12. Si Do Van, Cuong Bui Manh, Duong Nguyen Van, Manh Phan Van (2021), “*Effects of the vibration amplitude in vibratory stress relief on the fatigue life of structures*”, Advances in Technology Innovation, vol. 7, no. 1, 2021, pp. 56-65.
[DOI: https://doi.org/10.46604/aiti.2021.8714](https://doi.org/10.46604/aiti.2021.8714)