

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI**

-----

**Phạm Lê Tiến**

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN MỎI VÀ TUỔI  
THỌ MỎI CỦA KHUNG GIÁ CHUYỂN HƯỚNG VÀ  
TRỤC BÁNH XE ĐẦU MÁY D19E VẬN DỤNG TRÊN  
ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Khai thác bảo trì đầu máy xe lửa, toa xe

Mã số: 62.52.44.01

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**Hà Nội - 2011**

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

Phạm Lê Tiến

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN MỎI VÀ TUỔI  
THỌ MỎI CỦA KHUNG GIÁ CHUYỂN HƯỚNG VÀ  
TRỤC BÁNH XE ĐẦU MÁY D19E VẬN DỤNG TRÊN  
ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Khai thác bảo trì đầu máy xe lửa, toa xe

Mã số: 62.52.44.01

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. GS. TS. Đỗ Đức Tuấn
2. PGS. TS. Ngô Văn Quyết

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi.  
Các số liệu, kết quả nghiên cứu nêu trong luận án là trung thực và chưa từng ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

**Tác giả luận án**

Phạm Lê Tiến

## LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành Luận án, tác giả trân trọng cảm ơn các cơ quan đã tạo mọi điều kiện giúp đỡ: Khoa Cơ khí; phòng Đào tạo Sau đại học; phòng Khoa học; Bộ môn Đầu máy toa xe; phòng thí nghiệm VILAS 047-Trung tâm Khoa học công nghệ Trường Đại học Giao thông vận tải; Phòng thí nghiệm Sức bền vật liệu-Trường Đại học giao thông vận tải; Trung tâm đánh giá hư hỏng vật liệu COMFA-Viện Khoa học vật liệu; Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao-Viện Cơ khí năng lượng và mỏ; Ban khoa học công nghệ, Ban đầu máy toa xe, Xí nghiệp đầu máy Hà Nội-Tổng công ty đường sắt Việt Nam; Viện Cơ học Việt Nam; Học Viện Kỹ thuật Quân sự.

Tác giả vô cùng cảm ơn GS.TS Đỗ Đức Tuấn, PGS.TS Ngô Văn Quyết, những người Thầy đã định hướng, và gửi lời cảm ơn đến GS.TSKT Phạm Văn Lang, ThS. Nguyễn Ngọc Viên, TS. Lương Xuân Bính, đã cung cấp các tài liệu quý báu trong quá trình thực hiện Luận án. Cảm ơn các thầy, cô giáo Bộ môn Đầu máy toa xe, Khoa cơ khí, Trường đại học giao thông vận tải.

Trong quá trình làm tác giả đã có trao đổi và gửi cảm ơn tới NCS. Trần Viết Bản, ThS. Trần Văn Khanh, ThS. Nguyễn Trung Kiên và nhiều người bạn nữa đã nhiệt tình cung cấp các tài liệu quý báu.

Hà nội, tháng 7 năm 2011

Phạm Lê Tiến

## MỤC LỤC

<b>Lời nói đầu</b> .....	1
<b>Chương 1: Tổng quan về vấn đề nghiên cứu</b> .....	3
<b>1.1. Khái niệm về cơ học phá huỷ</b> .....	3
1.1.1. Khái niệm về độ bền cơ học phá huỷ .....	3
1.1.2. Ứng dụng của cơ học phá huỷ trong kỹ thuật.....	4
1.1.3. Những khái niệm cơ bản về Lý thuyết môi .....	5
1.1.4. Những chỉ tiêu phá huỷ môi .....	6
<b>1.2 Bản chất sự phá huỷ môi</b> .....	7
<b>1.3 Độ bền vật liệu của kết cấu và các chỉ tiêu đánh giá</b> .....	11
<b>1.4. Tổng quan về đầu máy diesel truyền động điện D19E vận dụng trên đường sắt Việt nam</b> .....	15
1.4.1. Khái niệm về đầu máy D19E .....	15
1.4.2. Tình hình vận dụng ĐM D19E đang sử dụng trên ĐSVN .....	16
<b>1.5 Tình hình về vấn đề nghiên cứu ở trong và ngoài nước</b> .....	18
1.5.1 Tình hình nghiên cứu vấn đề ở ngoài nước .....	18
1.5.2. Tình hình nghiên cứu vấn đề ở trong nước .....	21
<b>1.6. Mục tiêu, hướng, phương pháp và nội dung nghiên cứu của đề tài</b> .....	26
<b>1.7 Kết luận chương 1</b> .....	28
<b>Chương 2: Cơ sở lý thuyết đánh giá độ bền mỏi và dự báo tuổi thọ mỏi khung giá chuyển hướng và trục bánh xe đầu máy</b> .....	30
<b>2.1. Sự lan truyền vết nứt mỏi</b> .....	30
2.1.1 Cơ học phá huỷ đối với vết nứt mỏi.....	30
2.1.2 Đặc điểm của vùng đàn - dẻo ở đầu vết nứt .....	32
2.1.3 Tốc độ phát triển vết nứt mỏi.....	33
<b>2.2. Phương trình đồng dạng phá huỷ mỏi</b> .....	36
2.2.1. Phương trình đồng dạng phá huỷ mỏi dạng tuyệt đối .....	36
2.2.2. Phương trình đồng dạng phá huỷ mỏi dạng tương đối .....	38
<b>2.3. Đề xuất một dạng phương trình lan truyền vết nứt có kể tới tần số tải trọng đối với KGCH đầu máy D19E</b> .....	39
2.3.1 Những nhận xét .....	40
2.3.2. Cơ sở lý thuyết .....	41
2.3.3. Những giả thiết .....	42
2.3.4. Phương pháp xây dựng .....	42
<b>2.4. Tính toán độ bền mỏi theo các hệ số an toàn</b> .....	44

2.4.1. Tính toán độ bền mỏi theo các hệ số an toàn khi đặt tải ổn định .....	44
2.4.2. Tính độ bền mỏi theo các hệ số an toàn khi đặt tải không ổn định .....	46
<b>2.5. Dự báo tuổi thọ mỏi .....</b>	<b>46</b>
2.5.1. Khái niệm cơ bản về tuổi thọ mỏi .....	46
2.5.2. Các phương pháp ước lượng sức sống các bộ phận khi đặt tải không ổn định..	47
<b>2.6. Kết luận chương 2 .....</b>	<b>48</b>
<b>Chương 3: Nghiên cứu thử nghiệm xác định các đặc trưng cơ học, đặc trưng mỏi mẫu vật liệu khung giá chuyển hướng và trục bánh xe đầu máy D19E .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. Phân tích thành phần kim loại, xác định mác .....</b>	<b>49</b>
3.1.1. Phân tích vật liệu trục bánh xe đầu máy D19E.....	49
3.1.2. Phân tích vật liệu khung giá chuyển hướng đầu máy D19E .....	50
<b>3.2. Xác định tiêu chuẩn thử nghiệm .....</b>	<b>51</b>
3.2.1. Tiêu chuẩn thử nghiệm xác định giới hạn mỏi .....	51
3.2.2. Tiêu chuẩn thử nghiệm tốc độ lan truyền vết nứt và độ dai phá huỷ .....	51
<b>3.3. Chế tạo các mẫu vật liệu thử nghiệm .....</b>	<b>54</b>
3.3.1. Chuẩn bị phối của mẫu vật liệu thử nghiệm .....	54
3.3.2. Mẫu vật liệu thử nghiệm xác định các đặc trưng cơ học .....	55
3.3.3. Mẫu vật liệu thử nghiệm xác định giới hạn mỏi .....	55
3.3.4. Mẫu vật liệu thử nghiệm xác định tốc độ lan truyền vết nứt và độ dai phá huỷ .....	56
<b>3.4 Thiết bị thử nghiệm.....</b>	<b>57</b>
3.4.1. Thiết bị thử nghiệm xác định đặc trưng cơ học của mẫu .....	57
3.4.2. Thiết bị thử nghiệm xác định giới hạn mỏi .....	58
3.4.3. Thiết bị thử nghiệm xác định tốc độ lan truyền vết nứt và độ dai phá huỷ .....	59
<b>3.5. Thử nghiệm xác định các đặc trưng cơ học của mẫu thử nghiệm: giới hạn chảy, giới hạn bền, môđun đàn hồi và hệ số biến dạng .....</b>	<b>61</b>
<b>3.6. Thử nghiệm xác định giới hạn mỏi .....</b>	<b>63</b>
3.6.1. Thử nghiệm xác định giới hạn mỏi của vật liệu KGCH .....	63
3.6.2. Thử nghiệm xác định giới hạn mỏi của vật liệu TBX .....	66
<b>3.7. Thử nghiệm xác định tốc độ lan truyền vết nứt và độ dai phá huỷ .....</b>	<b>69</b>
3.7.1. Thử nghiệm xác định tốc độ lan truyền vết nứt và độ dai phá huỷ của mẫu vật liệu KGCH .....	69
3.7.2. Thử nghiệm xác định tốc độ lan truyền vết nứt và độ dai phá huỷ của mẫu vật liệu TBX .....	74
<b>3.8. Kết luận chương 3 .....</b>	<b>77</b>

<b>Chương 4: Tính toán độ bền mỏi và dự báo tuổi thọ mỏi khung giá chuyển hướng và trục bánh xe của đầu máy D19E.....</b>	<b>78</b>
<b>4.1. Đặc điểm kết cấu của KGCH và TBX đầu máy diesel D19E .....</b>	<b>78</b>
4.1.1. Giới thiệu tổng thể đầu máy D19E kiểu CKD <sub>7F</sub> .....	78
4.1.2. Kết cấu trục bánh xe đầu máy D19E .....	80
4.1.3. Kết cấu khung giá chuyển hướng đầu máy D19E .....	81
<b>4.2. Tính toán lý thuyết kiểm nghiệm độ bền khung giá chuyển hướng và trục bánh xe đầu máy D19E .....</b>	<b>82</b>
4.2.1. Tính toán lý thuyết kiểm nghiệm độ bền KGCH đầu máy D19E .....	82
4.2.2. Tính toán lý thuyết kiểm nghiệm độ bền TBX đầu máy D19E .....	87
<b>4.3. Tính toán độ bền mỏi theo lý thuyết cơ học phá huỷ .....</b>	<b>92</b>
4.3.1. Tính độ bền mỏi mỏi theo lý thuyết đồng dạng phá huỷ mỏi .....	92
4.3.2. Tính toán độ bền mỏi theo ngưỡng phát triển vết nứt mỏi .....	125
<b>4.4. Dự báo tuổi thọ mỏi KGCH đầu máy D19E .....</b>	<b>133</b>
<b>4.5. Một số biện pháp nâng cao độ bền mỏi cho KGCH .....</b>	<b>136</b>
4.5.1. Giảm mức độ ứng suất tập trung cục bộ của kết cấu KGCH .....	137
4.5.2. Tránh vận dụng đầu máy khi chịu tải với tần số nhỏ bất lợi .....	139
<b>4.6. Kết luận chương 4 .....</b>	<b>139</b>
<b>Kết luận chung .....</b>	<b>143</b>

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

- $a_0$  - chiều dài vết nứt ban đầu.
- $a$  - chiều dài vết nứt ứng với số chu trình ứng suất  $N$ .
- $a_{th}$  - giá trị tới hạn của chiều dài vết nứt.
- $a_\sigma, a_\tau$  - tuổi thọ tương đối cho trường hợp ứng suất pháp và ứng suất tiếp.
- $a_{tt}$  - chiều dài vết nứt thực tế.
- $a', b'$  - những hằng số mới của vật liệu làm chi tiết.
- $A$  và  $B$  - các hằng số của vật liệu làm khung giá chuyển hướng, trong phương trình lan truyền vết nứt mỗi được đề xuất có xét tới tần số tải trọng.
- $C, n$  - các hệ số phụ thuộc vật liệu chế tạo chi tiết trong phương trình của Paris.
- $da/dN$  - tốc độ lan truyền vết nứt trong một chu trình ứng suất.
- $E$  - môđun đàn hồi.
- $g, h, \omega$  - các chuyển vị thành phần tương ứng với ba dạng tải sinh ra biến dạng .
- $G$  - gradien tuyệt đối của ứng suất lớn nhất.
- $\bar{G}$  - gradien tương đối của ứng suất lớn nhất.
- $\bar{G}_{mu}, \bar{G}_{mx}$  - gradien tương đối ứng suất lớn nhất của mẫu khi uốn và xoắn.
- $\bar{G}_{ctu}, \bar{G}_{ctx}$  - gradien tương đối ứng suất lớn nhất của chi tiết khi uốn và xoắn.
- $K_I$  - hệ số cường độ ứng suất đối với dạng tải sinh ra biến dạng dạng I.
- $K_{Ii}$  - hệ số cường độ ứng suất đối với dạng tải sinh ra biến dạng dạng I thứ  $i$ .
- $K_{th}$  - giá trị tới hạn của hệ số cường độ ứng suất.
- $K_{IC}$  - độ dai phá hủy của vật liệu.
- $K_{IC\text{ KGCH}}, K_{IC\text{ TBX}}$  - độ dai phá hủy của vật liệu làm KGCH và TBX đầu máy D19E.
- $K_{I\max}$  - giá trị lớn nhất của hệ số cường độ ứng suất dạng I.
- $K_{I\min}$  - giá trị nhỏ nhất của hệ số cường độ ứng suất dạng I.
- $\Delta K$  - số gia hệ số cường độ ứng suất ở đầu vết nứt.
- $\Delta K_{th}$  - ngưỡng phát triển vết nứt của vật liệu với hệ số  $R = 0,1$  ứng với  $da/dN = 10^{-7}$ .
- $(\Delta K)_{th}^*$  - ngưỡng phát triển vết nứt của vật liệu với hệ số  $R = 0,1$  ứng với  $da/dN = 10^{-8}$ .
- $K_d$  - hệ số tải trọng động.
- $K_r$  - hệ số cường độ các ứng suất dư.
- $K_m$  - hệ số cường độ các ứng suất tại thời điểm mở vết nứt.
- $k_1$  - hệ số tính tới độ không đồng nhất của vật liệu.
- $k_2$  - hệ số tính tới nội ứng suất.
- $k_\sigma$  và  $k_\tau$  - hệ số tập trung ứng suất pháp và ứng suất tiếp thực tế.
- $L$  - tuổi thọ (số giờ, km) của chi tiết thuộc bộ phận chạy của đầu máy.
- $n_i$  - tổng số chu kỳ ứng suất của  $\sigma_i$  (hoặc  $\tau_i$ ).
- $N_i$  - số lượng chu trình dẫn tới phá hủy mỗi tương ứng với giới hạn mỏi hạn chế  $\sigma_i$



- $N_0$  - số chu trình ứng suất cơ sở.
- $m_\sigma, m_\tau$  - số mũ của đường cong mỏi Wohler cho trường hợp ứng suất pháp và ứng suất tiếp.
- $M_{X,K}, M_{X,H}$  - Mô men xoắn tác dụng lên trục bánh xe khi đầu máy làm việc ở chế độ kéo và hãm.
- $P_{dm}$  - tổng trọng lượng đầu máy.
- $p, q$  - các hằng số đặc trưng cho sự chống mỏi của vật liệu trong phương trình đường cong mỏi
- $R$  - hệ số phi đối xứng của chu trình ứng suất.
- $S_{max}$  - ứng suất lớn nhất tại “khâu yếu nhất” trong chi tiết sẽ gây ra sự phá hủy ở xác suất  $P\%$
- $S_{gh}$  - giới hạn mỏi của mẫu chuẩn ở chu trình ứng suất  $N_0$ .
- $t_b$  - khoảng thời gian, km tác động của một bloc ứng suất, tính theo các khu gian đặc trưng cho các trạng thái vận hành đầu máy.
- $u_p(z_p)$  - phân vị với xác suất phá hủy  $P\%$ .
- $u, \sigma_0, m$  - các thông số phân bố khởi thủy của Veibull trong phương trình đồng dạng phá hủy mỏi
- $W_m$  - chiều rộng mẫu thử nghiệm xác định  $da/dN$  và  $K_{IC}$ .
- $W_{mu}, W_{ctu}$  - mômen chống uốn của mẫu chuẩn tron, của chi tiết.
- $W_{mx}, W_{ctx}$  - mômen chống xoắn của mẫu chuẩn tron, của chi tiết.
- $w$  - Kích thước vùng biến dạng dẻo.
- $V$  - vận tốc của đầu máy.
- $f_i$  - tần số tải trọng thứ  $i$ .
- $f_0$  - tần số tải trọng nhỏ nhất.
- $f_t$  - độ nhún tĩnh của hệ thống lò xo giá chuyên.
- $f(g)$  - tham số không thứ nguyên, hoặc là hệ số hình học của kết cấu có vết nứt.
- $F_{K,đm}, F_{H,đm}$  - Lực kéo khởi động lớn nhất, lực hãm lớn nhất của đầu máy.
- $F_{K,tk}, F_{H,tk}$  - lực kéo, hãm tác dụng lên một vị trí thanh kéo bầu dầu trên KGCH
- $F_{K,TBX}, F_{H,TBX}$  - Lực kéo, hãm tác dụng lên một trục bánh xe.
- $Y_P$  - áp lực ngang của KGCH lên một TBX khi đầu máy đi vào đường cong.
- $s_s$  - độ lệch bình phương trung bình của đại lượng ngẫu nhiên  $\lg(\sigma_{max} - u)$ .
- $s_\sigma, s_\tau$  - hệ số an toàn mỗi ứng suất pháp và ứng suất tiếp.
- $s$  - hệ số an toàn mỗi toàn phần.
- $\alpha_\sigma; \alpha_\tau$  - hệ số tập trung ứng suất lý thuyết.
- $\beta$  - hệ số tính tới chất lượng bề mặt gia công.
- $\epsilon_\sigma$  và  $\epsilon_\tau$  - hệ số ảnh hưởng kích thước của chi tiết.
- $\epsilon_\infty$  - hệ số ảnh hưởng của kích thước tuyệt đối tới sức chống phá hủy mỏi của chi tiết.
- $\phi_K$  - hệ số ma sát giữa quốc hãm bánh xe.
- $\phi_\sigma$  - hệ số độ nhạy của vật liệu ứng với chu trình không đối xứng.
- $\mu$  - hệ số Poisson.
- $\Pi$  - được gọi là chỉ tiêu đồng dạng phá hủy mỏi không thứ nguyên.

- $\Pi_u, \Pi_x$  - chỉ tiêu đồng dạng phá hủy mỗi khi chi tiết bị uốn, bị xoắn.
- $\lambda$  - số bloc (khối) tải trọng tác động trong phổ tải.
- $v_\sigma$  - hệ số đặc trưng mối các cơ tính vật liệu, đối với sự tập trung ứng suất cả yếu tố tỷ lệ.
- $\sigma_{\max}$  - ứng suất lớn nhất ở một điểm nào đó của phân tử đang khảo sát của chi tiết.
- $\sigma_c$  - giới hạn chảy.
- $\sigma_b$  - giới hạn bền.
- $\sigma_t$  - ứng suất tĩnh.
- $\sigma_R$  - giới hạn mỏi của vật liệu với hệ số chu trình ứng suất R.
- $\sigma_N$  - ứng suất ứng với số chu trình N.
- $\sigma_{-1ct}$  - giới hạn mỏi của chi tiết.
- $\sigma_0$  - giới hạn bền mỏi các mẫu thí nghiệm với chu trình mạch động.
- $\sigma_{-1k}$  - giới hạn mỏi uốn thuần túy, chu trình đối xứng, có xét tới hệ số tập trung ứng suất.
- $\sigma_{-1KGCH}, \tau_{-1KGCH}$  - giới hạn mỏi của vật liệu khi chịu uốn và xoắn của KGCH đầu máy D19E.
- $\sigma_{-1TBX}, \tau_{-1TBX}$  - giới hạn mỏi của vật liệu khi chịu uốn và xoắn của trục bánh xe đầu máy D19E.
- $\sigma_{-1}$  và  $\tau_{-1}$  - giới hạn mỏi của vật liệu khi chịu uốn và xoắn của mẫu chuẩn.
- $\bar{\sigma}_{-1}; \bar{\tau}_{-1}$  - giới hạn mỏi trung bình của mẫu vật liệu khi chịu uốn và xoắn.
- $\sigma_m$  và  $\tau_m$  - ứng suất pháp và ứng suất tiếp trung bình.
- $\sigma_a$  và  $\tau_a$  - ứng suất pháp và ứng suất tiếp biên độ.
- $\sigma_e, \tau_e$  - ứng suất pháp và ứng suất tiếp tương đương.
- $\xi$  - thông số của phương trình đồng dạng phá hủy mỗi tuyệt đối.
- $\Psi_\sigma, \Psi_\tau, \Psi_{\tau\sigma}$  và  $\Psi_{\sigma\tau}$  - hệ số ảnh hưởng sự bất cân đối đến biên độ giới hạn của vật liệu.
- $\psi_b$  - hệ số bám giữa mặt lăn bánh xe và ray.

## DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

1. KGCH: Khung giá chuyển hướng.
2. TBX: Trục bánh xe.
3. TĐĐ: Truyền động điện.
4. ĐCĐK: Động cơ điện kéo.
5. ĐSVN: Đường sắt Việt Nam.
6. HSCĐUS: Hệ số cường độ ứng suất.
7. HSATM: Hệ số an toàn mỏi.
8. GHBM: Giới hạn bền mỏi.