

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN LÊ VĂN

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ TẢI
NHIỆT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC CỦA CẶP PÍT
TÔNG - XI LANH ĐỘNG CƠ DIESEL LAI
MÁY PHÁT ĐIỆN TÀU THỦY**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2014

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN LÊ VĂN

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ TẢI
NHIỆT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC CỦA CẶP PÍT
TÔNG - XI LANH ĐỘNG CƠ DIESEL LAI
MÁY PHÁT ĐIỆN TÀU THỦY**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực

Mã số: 62 52 01 16

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS, TS Đào Trọng Thắng

2. PGS, TS Lại Văn Định

HÀ NỘI – NĂM 2014

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận nêu trong luận án là trung thực, không sao chép từ bất kì một nguồn nào và dưới bất cứ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

Tác giả luận án

Nguyễn Lê Văn

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn các thầy hướng dẫn khoa học: PGS.TS Lại Văn Định, PGS.TS Đào Trọng Thắng đã tận tình hướng dẫn về phương pháp và nội dung nghiên cứu trong quá trình thực hiện luận án. Nhân dịp này, tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn đến các thầy PGS.TS Hà Quang Minh, PGS.TS Vy Hữu Thành, PGS.TS Nguyễn Hoàng Vũ, TS Nguyễn Trung Kiên thuộc Bộ môn Động cơ, Khoa Động lực, Học viện KTQS đã có rất nhiều ý kiến đóng góp quý báu cho việc thực hiện luận án.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ môn Động cơ, Khoa Động lực, Phòng Sau đại học, Học viện KTQS; Cục Kỹ thuật Hải quân, Nhà máy X46 Hải quân; các thầy, các nhà chuyên môn, các chuyên gia và các đồng nghiệp trong và ngoài Học viện KTQS cùng những người thân trong gia đình, bạn bè đã thường xuyên quan tâm, động viên, giúp đỡ nhiều mặt để tác giả hoàn thành luận án.

MỤC LỤC

| | Trang |
|---|--------------|
| LỜI CAM ĐOAN | i |
| LỜI CẢM ƠN | ii |
| MỤC LỤC..... | iii |
| DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT | vi |
| DANH MỤC CÁC BẢNG..... | viii |
| DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ..... | xi |
| MỞ ĐẦU..... | 1 |
| Chương 1. TỔNG QUAN VỀ SỰ TƯƠNG TÁC CỦA CẶP PÍT TÔNG - XI LANH VÀ PHỤ TẢI NHIỆT ĐỘNG CƠ..... | 4 |
| 1.1. Đặt vấn đề..... | 4 |
| 1.2. Đặc điểm kết cấu và lắp ghép cặp pitt tông - xi lanh động cơ diesel lai máy phát tàu thủy | 5 |
| 1.2.1. Đặc điểm kết cấu của pitt tông..... | 5 |
| 1.2.2. Đặc điểm kết cấu của xi lanh..... | 6 |
| 1.2.3. Đặc điểm lắp ghép của cặp pitt tông - xi lanh..... | 8 |
| 1.3. Các mô hình tương tác | 9 |
| 1.3.1. Mô hình không có khe hở và không có sự tương tác..... | 9 |
| 1.3.2. Mô hình có khe hở, không có sự tương tác..... | 10 |
| 1.3.3. Mô hình có khe hở, có tương tác | 15 |
| 1.4. Ảnh hưởng của phụ tải nhiệt đến sự tương tác của cặp pitt tông - xi lanh | 25 |
| 1.4.1. Đặc điểm của quá trình trao đổi nhiệt ở động cơ đốt trong..... | 25 |
| 1.4.2. Trao đổi nhiệt giữa thành ống lót xi lanh và nước làm mát..... | 26 |
| 1.4.3. Ảnh hưởng của rung động ống lót xi lanh đến cường độ trao đổi nhiệt..... | 26 |
| 1.4.4. Các chỉ tiêu đánh giá phụ tải nhiệt..... | 27 |
| 1.4.5. Ảnh hưởng của phụ tải nhiệt đến biến dạng và khe hở giữa pitt tông và xi lanh | 27 |
| 1.5. Lựa chọn mô hình tính toán | 28 |
| Kết luận chương 1 | 30 |
| Chương 2. MÔ HÌNH KHẢO SÁT SỰ TƯƠNG TÁC CỦA CẶP PÍT TÔNG - XI LANH KHI XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ TẢI NHIỆT | 31 |
| 2.1. Đặt vấn đề..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2. Mô hình tương tác của cặp pít tông - xi lanh | 31 |
| 2.2.1. Mô hình xác định chuyển động phụ của pít tông..... | 32 |
| 2.2.2. Sự va đập giữa pít tông và xi lanh..... | 38 |
| 2.3. Mô hình tính toán trường nhiệt độ pít tông và xi lanh | 42 |
| 2.3.1. Mô hình hình học | 42 |
| 2.3.2. Mô hình toán học | 43 |
| 2.3.3. Các điều kiện biên của bài toán tính trường nhiệt độ | 45 |
| 2.3.4. Xác định trường nhiệt độ của pít tông và xi lanh..... | 48 |
| 2.3.5. Biến dạng nhiệt của cặp pít tông và xi lanh..... | 50 |
| 2.3.6. Xác định khe hở nhiệt giữa pít tông và xi lanh..... | 51 |
| 2.4. Mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của phụ tải nhiệt đến sự tương tác của cặp pít tông – xi lanh | 54 |
| 2.5. Lựa chọn phương pháp tính và phần mềm tính toán | 55 |
| 2.5.1. Các phương pháp tính toán trường nhiệt độ và lựa chọn phương pháp tính | 55 |
| 2.5.2. Các phương pháp tính toán tương tác của cặp pít tông - xi lanh | 59 |
| Kết luận chương 2 | 60 |
| Chương 3. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ TẢI NHIỆT TỚI SỰ TƯƠNG TÁC CỦA CẶP PÍT TÔNG - XI LẠNH ĐỘNG CƠ 6Ч 12/14 . | 61 |
| 3.1. Đặc điểm kết cấu của cặp pít tông - xi lanh động cơ 6Ч 12/14 | 61 |
| 3.1.1. Giới thiệu sơ bộ về động cơ 6Ч 12/14 | 61 |
| 3.1.2. Giới thiệu sơ bộ về kết cấu ống lót xi lanh của động cơ 6Ч 12/14..... | 62 |
| 3.1.3. Đặc điểm kết cấu của pít tông động cơ 6Ч 12/14 | 63 |
| 3.2. Xây dựng mô hình tính toán cặp pít tông - xi lanh động cơ 6Ч 12/14 | 64 |
| 3.3. Xác định trường nhiệt độ và khe hở nhiệt của cặp pít tông - xi lanh động cơ 6Ч 12/14 | 65 |
| 3.3.1. Tính toán điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho bài toán xác định trường nhiệt độ..... | 65 |
| 3.3.2. Xác định trường nhiệt độ và trường biến dạng nhiệt của cặp pít tông - xi lanh | 79 |
| 3.3.3. Xác định khe hở nhiệt của cặp pít tông - xi lanh | 83 |
| 3.4. Tính toán sự tương tác của cặp pít tông - xi lanh động cơ 6Ч 12/14..... | 85 |
| 3.4.1. Xây dựng sơ đồ thuật toán | 85 |
| 3.4.2. Tính toán sự tương tác của cặp pít tông – xi lanh động cơ 6Ч 12/14 khi không có ảnh hưởng của phụ tải nhiệt..... | 88 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.3. Tính toán sự tương tác của cặp pít tông - xi lanh khi có ảnh hưởng của phụ tải nhiệt..... | 91 |
| 3.5. Nhận xét, đánh giá kết quả..... | 94 |
| Kết luận chương 3 | 95 |
| Chương 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM..... | 96 |
| 4.1. Mục đích nghiên cứu..... | 96 |
| 4.2. Trang thiết bị phục vụ nghiên cứu thử nghiệm..... | 96 |
| 4.2.1. Nguyên lí và đặc tính kĩ thuật của thiết bị đo nhiệt độ | 96 |
| 4.2.2. Nguyên lí hiệu chỉnh thiết bị đo nhiệt độ..... | 103 |
| 4.2.3. Quy trình đo nhiệt độ cho thành ống lót xi lanh động cơ | 104 |
| 4.2.4. Trang thiết bị thử nghiệm..... | 104 |
| 4.3. Đo nhiệt độ của thành ống lót xi lanh động cơ 6C 12/14 | 108 |
| 4.3.1. Lựa chọn các vị trí đo..... | 108 |
| 4.3.2. Phương pháp lấy số liệu..... | 109 |
| 4.3.3. Kết quả đo | 110 |
| 4.4. Xử lí số liệu thực nghiệm..... | 110 |
| 4.5. Đánh giá độ tin cậy của mô hình tính | 114 |
| Kết luận chương 4 | 117 |
| KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ..... | 118 |
| DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ..... | 120 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO..... | 121 |
| PHỤ LỤC | 126 |
| Phụ lục 1. Kết quả tính nhiệt độ, áp suất, hệ số truyền nhiệt và lực ngang của động cơ 6C12/14 bằng phần mềm Diesel - RK..... | 127 |
| Phụ lục 2. Hệ số trao đổi nhiệt và nhiệt độ tại các bề mặt tính toán của ống lót xi lanh và pít tông động cơ 6C12/14 | 130 |
| Phụ lục 3. Trường nhiệt độ và trường biến dạng nhiệt của ống lót xi lanh và pít tông động cơ 6C12/14 ở chế độ (80, 40, 20)% tải | 132 |
| Phụ lục 4. Chương trình tính chuyển động phụ bằng Matlab..... | 134 |
| Phụ lục 5. Ảnh hưởng của phụ tải nhiệt đến sự tương tác của cặp pít tông - xi lanh động cơ 6C 12/14 ở chế độ 80%, 40% và 20% phụ tải | 137 |
| Phụ lục 6. Nhiệt độ thực nghiệm của ống lót xi lanh..... | 142 |
| Phụ lục 7. Biên bản thử nghiệm và một số hình ảnh thử nghiệm đo nhiệt độ ống lót xi lanh động cơ 6C 12/14..... | 145 |

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt:

| | |
|------|---------------------|
| ĐGD | Điểm gốc dưới |
| ĐGT | Điểm gốc trên |
| GQTK | Góc quay trục khuỷu |
| PTHH | Phần tử hữu hạn |

Kí hiệu :

| | | |
|-----------|--|----------------------|
| a | Hệ số khuếch tán nhiệt | |
| b | Hệ số ma sát ngoài (giảm chấn) | |
| c | Nhiệt dung riêng của vật liệu | [J/kg.K] |
| c_p | Độ cứng của thân pít tông | [N.m ²] |
| [C_e] | Ma trận nhiệt dung riêng tại phần tử | |
| D | Đường kính xi lanh ở trạng thái nguội | [m] |
| [D] | Ma trận các hệ số dẫn nhiệt | |
| {D} | Ma trận đàn hồi của vật liệu | |
| d_p | Đường kính pít tông | [m] |
| E | Mô đun đàn hồi của vật liệu | [Pa] |
| F | Diện tích bề mặt vật rắn | [m ²] |
| F_L | Diện tích tiết diện ngang của mặt cắt ống lót | [m ²] |
| G | Mô đun đàn hồi trượt ngang của vật liệu | [Pa] |
| H | Khoảng cách từ trọng tâm đến đáy pít tông | [m] |
| I_O | Mô men quán tính của hệ pít tông đối với tâm của chốt pít tông | [kg.m ²] |
| I_{O1} | Mô men quán tính của hệ pít tông đối với trọng tâm | [kg.m ²] |
| j_y | Gia tốc của pít tông khi chuyển động tịnh tiến | [m/s ²] |
| k | Hệ số phục hồi | |
| [K_e] | Ma trận dẫn nhiệt của phần tử | |
| l | Chiều dài thanh truyền | [m] |
| m_1 | Khối lượng chuyển động tịnh tiến của cơ cấu khuỷu trục thanh truyền | [kg] |
| M_k | Mô men lật của lực khí thể do pít tông quay quanh trục của chốt pít tông | [N.m] |
| M_{mc} | Mô men ma sát của chốt pít tông | [N.m] |
| N | Lực ngang tác dụng vuông góc với thành xi lanh | [N] |
| n | Tốc độ của động cơ | [v/ph] |
| N_{vd} | Lực va đập của pít tông lên ống lót xi lanh | [N] |
| P_j | Lực quán tính của các chi tiết tham gia chuyển động tịnh tiến | [N] |
| p_k | Áp suất khí thể | [N/m ²] |

| | | |
|-------------------------------|---|------------------------------------|
| P_k | Lực khí thể | [N] |
| P_{mx} | Lực ma sát giữa xéc măng với rãnh | [N] |
| P_{tt} | Lực tác dụng dọc theo đường tâm thanh truyền | [N] |
| P_{Σ} | Lực tổng hợp | [N] |
| q | Dòng nhiệt theo một hướng nhất định | [J/m] |
| Q_1 | Nhiệt lượng cấp cho hệ vật | [J] |
| Q_2 | Nhiệt lượng sản sinh trong lòng hệ vật | [J] |
| Q_3 | Nhiệt lượng thoát ra khỏi hệ vật | [J] |
| Q_4 | Sự thay đổi nội năng hệ vật | [J] |
| R | Bán kính quay của trục khuỷu | [m] |
| S_y | Chuyển vị của pít tông khi chuyển động tịnh tiến | [m] |
| T | Nhiệt độ | [K], [$^{\circ}\text{C}$] |
| t_0 | Thời gian ban đầu | [s] |
| t_{δ} | Thời gian dịch chuyển hết khe hở Δ | [s] |
| V | Thể tích của vật rắn | [m^3] |
| v_0 | Vận tốc ban đầu khi va đập | [m/s] |
| x | Dịch chuyển theo phương ngang | [m] |
| x_0 | Tọa độ của lực va đập | [m] |
| y | Khoảng cách đến trọng tâm | [m] |
| α | Hệ số trao đổi nhiệt | [W/m^2] |
| α_g | Hệ số trao đổi nhiệt bề mặt theo góc quay trục khuỷu | [$\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$] |
| β | Góc nghiêng của đường tâm thanh truyền so với đường tâm xi lanh | [độ] |
| γ | Góc quay của pít tông quanh trọng tâm | [độ] |
| Δ | Khe hở giữa pít tông – xi lanh | [mm] |
| ε | Hiệu dịch chuyển của pít tông và độ lệch ống lót xi lanh | |
| $\{\varepsilon\}$ | Véc tơ biến dạng tổng | |
| $\{\varepsilon^{\text{th}}\}$ | Véc tơ biến dạng nhiệt | |
| λ | Hệ số kết cấu | |
| λ_1 | Hệ số dẫn nhiệt của vật thứ nhất | [$\text{W}/\text{m.K}$] |
| λ_2 | Hệ số dẫn nhiệt của vật thứ hai | [$\text{W}/\text{m.K}$] |
| Λ | Hệ số giãn nở nhiệt | [K^{-1}] |
| ν | Hệ số Poisson | |
| ρ | Khối lượng riêng của vật liệu | [kg/m^3] |
| $\{\sigma\}$ | Véc tơ ứng suất | |
| τ | Hệ số kì | |
| φ | Góc quay trục khuỷu | [độ] |
| χ | Giá trị riêng | |
| ω | Vận tốc góc trục khuỷu | [rad/s] |

DANH MỤC CÁC BẢNG

| | |
|---|-----|
| Bảng 3.1. Đặc tính vật liệu của gang hợp kim chế tạo ống lót C424-44 | 65 |
| Bảng 3.2. Đặc tính vật liệu của gang hợp kim chế tạo thân máy C418-36 | 66 |
| Bảng 3.3. Đặc tính vật liệu của nhôm rèn AK4 | 76 |
| Bảng 3.4. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và nhiệt độ tại các bề mặt tính toán của ống lót xi lanh động cơ 6412/14 ở chế độ 100% tải | 80 |
| Bảng 3.5. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và nhiệt độ tại các bề mặt tính toán của pít tông động cơ 6412/14 ở chế độ 100% tải | 80 |
| Bảng 3.6. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và nhiệt độ tại các bề mặt tính toán của ống lót xi lanh động cơ 6412/14 ở chế độ 60% tải | 80 |
| Bảng 3.7. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và nhiệt độ tại các bề mặt tính toán của pít tông động cơ 6412/14 ở chế độ 60% tải | 81 |
| Bảng 3.8. Các thông số của hệ pít tông động cơ 64 12/14 để tính chuyển động phụ | 87 |
| Bảng 3.9. Giá trị ban đầu sử dụng tính lực va đập của pít tông với xi lanh ở chế độ 100% tải không có ảnh hưởng của phụ tải nhiệt | 90 |
| Bảng 3.10. Các thông số đầu vào dùng để tính lực va đập của pít tông với xi lanh ở chế độ 100% tải | 92 |
| Bảng 3.11. Các thông số đầu vào dùng để tính lực va đập của pít tông với xi lanh ở chế độ 60% tải | 93 |
| Bảng 3.12. So sánh ảnh hưởng của phụ tải nhiệt đến chuyển động phụ của pít tông động cơ 64 12/14 | 94 |
| Bảng 3.13. So sánh ảnh hưởng của phụ tải nhiệt đến lực va đập của pít tông lên xi lanh động cơ 64 12/14 | 95 |
| Bảng 4.1. Đặc tính của các loại cặp nhiệt | 102 |
| Bảng 4.2. Các thông số môi trường thử nghiệm | 110 |
| Bảng 4.3. Nhiệt độ tại các điểm đo của ống lót xi lanh động cơ 64 12/14 tại chế độ 60% tải | 112 |
| Bảng 4.4. Nhiệt độ trung bình tại các điểm đo của ống lót xi lanh động cơ 64 12/14 ở chế độ không tải | 113 |