

BỘ GIÁO DỤC ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

MAI ĐỨC SƠN

**NGHIÊN CỨU ĐỘ BỀN MÒN CỦA ĐĨA MA SÁT
LY HỢP CHÍNH XE TĂNG T55 SẢN XUẤT TẠI VIỆT NAM
BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM TĂNG CƯỜNG**

Chuyên ngành : Kỹ thuật Cơ khí động lực

Mã số: : 9.52.01.16

TOÁN TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2026

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

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS. TS Tô Viết Thành - Học viện Kỹ thuật Quân sự**
- 2. TS Cù Xuân Phong - Học viện Kỹ thuật Quân sự**

Phản biện 1:

PGS. TS Thái Hà Phi - Trường Đại học CNGTVT

Phản biện 2:

PGS. TS Vũ Văn Tấn - Trường Đại học GTVT

Phản biện 3:

PGS. TS Nguyễn Huy Trường - Tổng cục HC-KT

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo Quyết định số 6193/QĐ-HV ngày 18 tháng 8 năm 2026 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi ... giờ ... phút, ngày ... tháng ... năm 2026.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

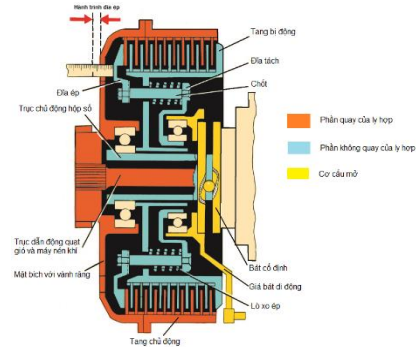
- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

Chương 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 sản xuất ở Việt Nam

1.1.1. Đặc điểm của ly hợp chính

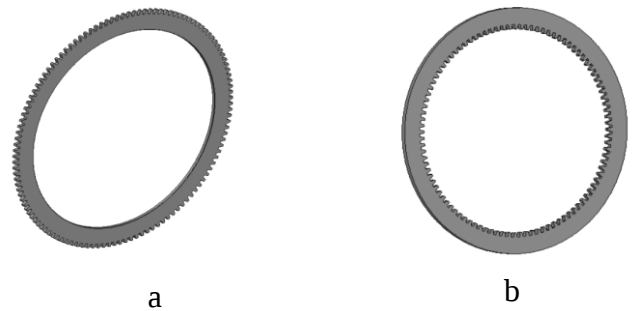
Trong hệ thống truyền lực của xe tăng T55, ly hợp chính (19 đĩa) là cơ cấu nằm giữa động cơ và hộp số, có nhiệm vụ nối hoặc ngắt dòng mô men xoắn từ động cơ đến hộp số (hình 1.1). Ly hợp là kết cấu truyền lực nhờ ma sát, nên khi xảy ra quá tải, các đĩa có thể trượt tương đối với nhau để bảo vệ hệ thống, góp phần đảm bảo độ tin cậy và tuổi thọ cho toàn bộ hệ thống động lực và truyền lực [1].



Hình 1.1. Cấu tạo ly hợp chính xe tăng T55

1.1.2. Đặc điểm của đĩa ma sát sản xuất tại Việt Nam

Đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 chia thành hai loại: Đĩa chủ động (10 đĩa, răng ngoài); đĩa ma sát bị động (9 đĩa, răng trong) (hình 1.2).



Hình 1.2. Đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55

a) Đĩa ma sát chủ động; b) Đĩa ma sát bị động

Trong thiết kế, đĩa ma sát nguyên bản được chế tạo bằng vật liệu thép hợp kim 30XГCA (ГОСТ 4543-71) [15], với độ dày ($5 \pm 0,03$)

Bảng 1.1. Thành phần hóa học hai loại vật liệu chế tạo đĩa ma sát

Tên mẫu	Hàm lượng (%)								
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	W	Fe
Thép 30XГCA	0,367	1,021	0,0059	0,016	0,382	0,0032	1,402	0,005	96,73
Thép 65Mn	0,667	0,232	0,0061	0,013	1,00	0,0015	0,014	0,005	98,01

mm. Ở Việt Nam, do yêu cầu tự chủ của ngành công nghiệp quốc phòng, Nhà máy Z153 cùng Viện Kỹ thuật Cơ giới Quân sự đã triển khai nghiên cứu, chế tạo đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 bằng vật liệu thép 65Mn. Bảng 1.1 trình bày thành phần hóa học cụ thể của các vật liệu chế tạo đĩa ma sát [2].

1.2. Tổng quan về độ bền mòn của đĩa ma sát và các yếu tố ảnh hưởng

1.2.1. Độ bền mòn của đĩa ma sát ly hợp chính

Độ bền mòn được hiểu là khả năng chống lại sự suy giảm chiều dày lớp vật liệu ma sát trong điều kiện chịu ứng suất tiếp xúc cao, nhiệt độ lớn và thường xuyên xảy ra trượt tương đối [3].

Trong lý thuyết mòn, trường hợp ly hợp làm việc trong môi trường ma sát khô, tuổi thọ mòn của đĩa ma sát thường được mô tả thông qua quan hệ thực nghiệm giữa áp suất tiếp xúc p và quãng đường ma sát s bằng công thức [3]:

$$s = \frac{Const}{p^m} \quad (1.1)$$

1.2.2. Các yếu tố ảnh hưởng tới độ bền mòn của cặp đĩa ma sát

Khi làm việc ở điều kiện bình thường, cặp bề mặt ma sát sẽ chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố, gồm: Áp suất pháp tuyến; hệ số ma sát; nhiệt độ làm việc; tính chất vật liệu; độ nhám và đặc điểm hình học của bề mặt; điều kiện môi trường; chế độ vận hành và thao tác điều khiển.

1.3. Tổng quan về phương pháp thử nghiệm tăng cường

1.3.1. Định nghĩa

Thử nghiệm tăng cường (TNTC) là phương pháp thử nghiệm mà trong đó tải trọng tác động lên sản phẩm hoặc cường độ sử dụng sản phẩm được tăng cường vượt quá mức sử dụng thông thường. Mục đích của thử nghiệm là nhanh chóng thu được dữ liệu, đặc tính của sản phẩm và phân tích chúng, đưa ra thông

tin về tuổi thọ hoặc các thông số khác về ĐTC của sản phẩm trong điều kiện sử dụng bình thường [42].

1.3.2. Bản chất, phân loại và ứng dụng của thử nghiệm tăng cường

Bản chất của thử nghiệm tăng cường là dựa trên cơ chế hư hỏng tích lũy. Tải trọng tác động lên sản phẩm trong suốt quá trình làm việc, khiến chúng bị xuống cấp từ từ cho đến khi sản phẩm hư hỏng hoàn toàn. Có thể chia thử nghiệm tăng cường thành hai loại: Thử nghiệm tăng cường định tính; Thử nghiệm tăng cường định lượng.

1.4. Tình hình nghiên cứu trong nước và nước ngoài

1.4.1. Quá trình phát triển các phương pháp thử nghiệm

Giai đoạn đầu, chủ yếu dựa trên thử nghiệm tại thực địa và nguyên mẫu, đòi hỏi nhiều thời gian và chi phí. Các nghiên cứu liên quan có thể kể đến các tác giả: Greg Ramsey [43], Cliff C Chou [48], Karan A Dutt và Roland Biczó [54, 55], Meng Li và Dariusz Grzelczyk [58, 59]... Việc ứng dụng phương pháp TNTC cho đĩa ma sát ly hợp được sử dụng phổ biến, có thể kể đến các tác giả: Tsyganov VV [60], Matija Hoic [61, 63]. Mauro Velardocchia - OB Чепвотока [17, 18]... Các phương pháp thử nghiệm đã có sự chuyển biến rõ nét từ thử nghiệm toàn bộ xe làm việc ở điều kiện thực tế sang thử nghiệm từng cụm, chi tiết.

1.4.2. Tình hình nghiên cứu nước ngoài

Trên thế giới, từ lâu đã quan tâm tới việc nghiên cứu các biện pháp nâng cao độ bền mòn và tuổi thọ của đĩa ma sát ly hợp. Các nghiên cứu liên quan tới ảnh hưởng của ma sát, vật liệu chế tạo có thể kể đến tác giả Xincai Tan [19], B.I. Kostetskii [16], Oday I Abdullah [20], Aravind Vadiraj [21], Taimin Gong [22], Yazhou Yang [23], Gábor Kalácska [24, 25], JeFoa Archard [33],

Matthew Watson [26]...

Đối với các công trình liên quan tới thử nghiệm tăng cường xác định độ tin cậy, tuổi thọ làm việc của sản phẩm, có thể kể đến: Tác giả Wayne B Nelson [27], AJ Watkins - CM Kim - ZF Jaheen...[28-32, 34-36, 41], Guangbin Yang [37], Pala Mannaa [38], CF Jeff Wu [39] và Lloyd Condra [40]...

1.4.3. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trong những năm gần đây, lĩnh vực chuẩn đoán kỹ thuật và độ tin cậy đã được quan tâm nhiều hơn ở Việt Nam. Các nghiên cứu điển hình liên quan đến đánh giá tình trạng ly hợp chính xe tăng có thể kể đến các tác giả: PGS.TS Lê Kỳ Nam [4], PGS.TS Nguyễn Trường Sinh [5], PGS.TS Tô Viết Thành [6], TS Cù Xuân Phong [44-47, 49-53, 56]... các công trình chủ yếu tập trung vào nghiên cứu lý thuyết, đánh giá hư hỏng và đề xuất quy trình sửa chữa, thay thế, chưa có nghiên cứu nào tiếp cận theo hướng kết hợp mô hình hóa cơ, nhiệt với thử nghiệm tăng cường cho ly hợp chính xe tăng T55.

1.5. Kết quả nghiên cứu đã đạt được từ các công trình có liên quan đã công bố và những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu

1.5.1. Đánh giá tổng quan các kết quả nghiên cứu đã công bố

Các nghiên cứu hiện nay đã xây dựng được nền tảng lý thuyết vững chắc, thông qua việc ứng dụng các mô hình mài mòn của Archard, Rabinowicz và mô hình thực nghiệm kết hợp mô phỏng, dự báo chính xác sự suy giảm chất lượng bề mặt ma sát. Hệ thống tiêu chuẩn quốc tế về thử nghiệm tăng cường như IEC 62506 và MIL-STD-810H đã được chuẩn hóa và áp dụng trong nhiều ngành công nghiệp mũi nhọn. Tại Việt Nam, các nghiên cứu cũng đã tập trung vào khảo sát kết cấu, chẩn đoán hư hỏng và hoàn thiện quy trình bảo dưỡng, sửa chữa cho hệ thống truyền lực.

Điểm hạn chế của các mô hình lý thuyết hiện tại là chưa phản ánh được chế độ tải trọng phức tạp của các phương tiện quân sự trong điều kiện thực tế. Bên cạnh đó, vẫn còn thiếu bộ tiêu chuẩn TNTC dành riêng cho đĩa ma sát, cùng với việc các nghiên cứu trong nước chưa đi sâu vào đánh giá cơ chế hư hỏng do mài mòn và nhiệt gây ra, làm ảnh hưởng trực tiếp đến việc đánh giá tuổi thọ và chất lượng cho đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 sản xuất ở trong nước.

1.5.2. Định hướng nghiên cứu của luận án

Một là, nghiên cứu tổng quan các vấn đề liên quan đến đề tài luận án, làm rõ các kết quả đã đạt được và hạn chế, chỉ rõ vấn đề luận án cần tập trung nghiên cứu. *Hai là*, nghiên cứu cơ sở lý thuyết liên quan đến đề tài, xây dựng mô hình tính toán mòn cho ly hợp chính xe tăng T55. *Ba là*, Nghiên cứu, thiết kế, xây dựng bộ thử nghiệm tăng cường cho ly hợp chính xe tăng T55 trên cơ sở lý thuyết đồng dạng và tiến hành thử nghiệm. *Bốn là*, khảo sát ảnh hưởng của độ bền mòn tới tuổi thọ đĩa ma sát ly hợp.

1.6. Kết luận chương 1

Hiện tượng hư hỏng của đĩa ma sát được xác định chủ yếu do cơ chế mòn, mỏi, tích lũy nhiệt. Các tham số ảnh hưởng đến tốc độ mòn tuyến tính đã được chỉ ra bao gồm: Áp suất tiếp xúc, vận tốc trượt tương đối, tần suất đóng - mở ly hợp và sự biến thiên nhiệt độ tại bề mặt tiếp xúc.

Tổng quan các nghiên cứu trong nước và nước ngoài đã chỉ ra rằng, hiện chưa có một bộ dữ liệu thực nghiệm và mô hình toán học nào dự báo chính xác tuổi thọ (thời gian hoặc quãng đường hành tiến) dành riêng cho đối tượng đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 sản xuất ở Việt Nam.

Qua phân tích, so sánh các mô hình toán học dự báo mòn, luận án đã lựa chọn định luật mòn Archard làm cơ sở để xây dựng mô hình tính mòn cho đĩa

ma sát ly hợp xe tăng T55. Đồng thời, trên cơ sở tổng quan về phương pháp TNTC, chương 1 đã xác định hướng thử nghiệm thông qua việc tăng cường hai biến tải trọng cốt lõi: Tăng mô men cản quy dẫn về trục bị động ly hợp M_c lên các mức cao hơn trong giới hạn đàn hồi của vật liệu; Tăng tần suất đóng - mở ly hợp lên hàng chục lần so với điều kiện làm việc thực tế.

Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN MÒN ĐĨA MA SÁT LY HỢP CHÍNH XE TĂNG

2.1. Cơ sở lý thuyết về mòn đĩa ma sát

2.1.1. Đặc trưng của quá trình mòn và các dạng mòn thường gặp

a) Đặc trưng của quá trình mòn

Trong điều kiện làm việc bình thường, có thể phân chia sự phụ thuộc của mòn theo thời gian thành ba giai đoạn cơ bản: giai đoạn chạy rà, giai đoạn mòn ổn định và giai đoạn mòn khốc liệt.

b) Các dạng mòn thường gặp

Tùy thuộc vào điều kiện nhiệt, tính chất động lực học và đặc tính vật liệu của cặp ma sát, các dạng mòn phổ biến trên đĩa ma sát ly hợp bao gồm: Mài mòn, mòn dính và biến dạng dẻo, mòn oxy hóa, tróc, mòn do mỏi, mòn fretting, mòn ép lún.

2.1.2. Các dạng hư hỏng của đĩa ma sát ly hợp

Đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 là chi tiết chịu ảnh hưởng trực tiếp của tải trọng tiếp xúc, nhiệt độ cao và tốc độ trượt trong suốt quá trình truyền mô men xoắn từ động cơ đến hộp số. Dưới tác động lâu dài của điều kiện làm việc khắc nghiệt, đĩa ma sát thường gặp phải nhiều dạng hư hỏng khác nhau, ảnh hưởng đến hiệu suất và ĐTC của hệ thống truyền lực, cụ thể: Mòn bề mặt;

nứt và cong vênh do nhiệt; cháy bề mặt; hư hỏng do mỏi cơ nhiệt.

2.1.3. Phương pháp tính cường độ mòn cặp ma sát

a) Phương pháp tính theo thực nghiệm $I = k \cdot \frac{P_a^m}{H}$ (2.1)

b) Phương pháp tính theo năng lượng: $I = \frac{\tau v}{e_{\tau c} n_k}$ (2.2)

c) Phương pháp tính theo độ bền nhiệt: $I \approx \exp \left[-\frac{U_0 - \gamma \sigma}{k \theta} \right]$ (2.3)

d) Phương pháp tính mòn theo lý thuyết ma sát mới: $n = \frac{C}{\tau^{t_f}}$ (2.4)

2.2. Cơ sở lý thuyết phương pháp thử nghiệm tăng cường

2.2.1. Các dạng thử nghiệm tăng cường thường gặp

TNTC định tính được sử dụng nhằm xác định các cơ chế hư hỏng tiềm ẩn của sản phẩm dưới tác động của các yếu tố như quá tải, nhiệt độ cao, dao động hoặc độ ẩm. TNTC định lượng là dạng thử nghiệm được thiết kế nhằm xác định các thông số định lượng về ĐTC và tuổi thọ của sản phẩm trong điều kiện chịu tác động của các yếu tố tăng cường như nhiệt độ, tải trọng hay môi trường.

2.2.2. Mô hình thử nghiệm tăng cường

2.2.2.1. Phân phối xác suất

a) Phân phối Weibull

Phân phối Weibull là một phân phối xác suất liên tục quan trọng trong thống kê, mô tả xác suất hư hỏng của chi tiết theo thời gian hoặc số chu kỳ làm việc. Hàm mật độ xác suất của phân phối Weibull 3 tham số được biểu diễn:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.5)$$

$$\text{Tuổi thọ trung bình } \bar{T} \text{ (hay MTTF): } \bar{T} = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.6)$$

$$\text{Hàm tỷ lệ hư hỏng: } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.7)$$

b) Phân phối mũ

Phân phối mũ là một lớp của các phân phối xác suất liên tục, được sử dụng để mô hình hóa các thành phần hoặc hệ thống có tỷ lệ hư hỏng không đổi. Hàm mật độ xác suất của phân phối mũ được mô tả như sau [64]:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

c) Phân phối chuẩn

Phân phối chuẩn thường được sử dụng để phân tích ĐTC chung, chu kỳ làm việc đến hư hỏng do mỏi, ứng suất của vật liệu hoặc tải trọng thay đổi. Hàm mật độ xác suất của phân phối chuẩn được mô tả như sau [64]:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (2.9)$$

2.2.2.2. Mối quan hệ giữa tuổi thọ và tải trọng

a) Mô hình công suất nghịch đảo

Tuổi thọ trung bình $\bar{T}$ hay thời gian làm việc trung bình tới khi hư hỏng của mô hình này được xác định như sau:

$$\bar{T} = \frac{1}{KV^n} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.10)$$

Trong đó $\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$ là hàm gamma được tính tại giá trị $\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$.

b) Mô hình Arrhenius

Hàm đại diện cho tuổi thọ có thể được xác định như sau:

$$L(T) = Ae^{\frac{E_a}{k_B T}} \quad (2.11)$$

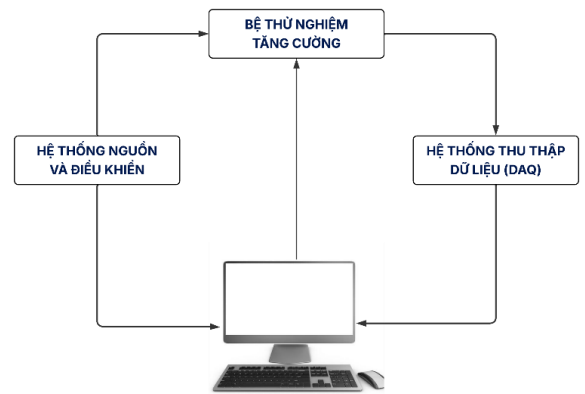
c) Mô hình Eyring

Mô hình này được sử dụng phổ biến nhất khi tải trọng là nhiệt độ, tương tự mô hình Arrhenius [57]:

$$L(T) = \frac{1}{T} e^{-\left(A - \frac{B}{T}\right)} \quad (2.12)$$

2.2.3. Các bước tiến hành thử nghiệm tăng cường

Thử nghiệm đánh giá, dự đoán tuổi thọ của sản phẩm dưới tác động của tải trọng tăng cường được tiến hành theo các bước: Xác định mục tiêu thử nghiệm; Xác định điều kiện làm việc của sản phẩm; Xác định các điều kiện thử nghiệm; Thiết lập thử nghiệm; Chạy thử nghiệm và thu thập dữ liệu; Phân tích dữ liệu thử nghiệm



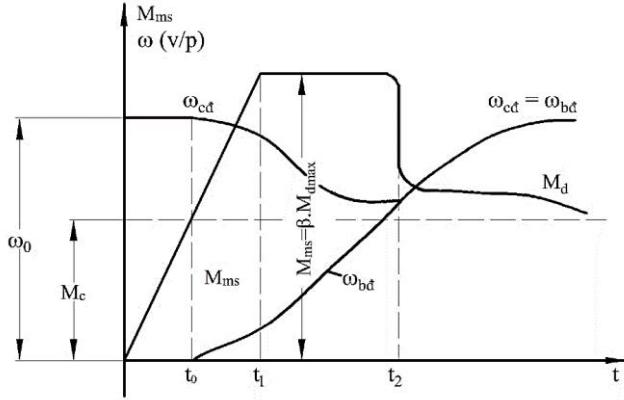
Hình 2.17. Hệ thống TNTC cho đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55

2.3. Nghiên cứu bài toán khởi hành và tăng tốc xe tăng giai đoạn thứ nhất

2.3.1. Giai đoạn khởi hành xe

Dựa trên cơ hệ hai khối lượng tương tác, thiết lập mô hình toán học và cơ sở động lực học của quá trình khởi hành xe tăng.

Quá trình khởi hành và tăng tốc được biểu diễn thông qua quy luật biến thiên của các vận tốc góc (ω_{cd} , ω_{bd}) và đặc tính mô men (M_d , M_{ms} , M_c) tương



Hình 2.23. Quá trình khởi hành và tăng tốc thực của xe tăng

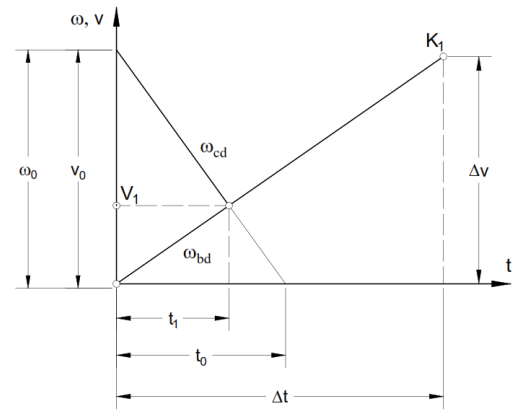
2.3.2. Xây dựng đồ thị khởi hành và tăng tốc của xe tăng ở giai đoạn thứ nhất

Bằng việc xây dựng đồ thị biến thiên vận tốc góc của phần chủ động ω_{cd} và bị động ly hợp ω_{bd} theo thời gian, thời điểm kết thúc giai đoạn trượt thứ nhất được xác định tại giao

điểm của hai đặc tính tuyến tính, cho phép xác định thời gian tăng tốc và vận tốc giới hạn v_1 . Nhiệt lượng sinh ra trên một bề mặt tiếp xúc q_t và độ tăng nhiệt độ trung bình của một đĩa ΔT được xác định thông qua các mối liên hệ:

$$q_t = \frac{Q_t}{Z_{ms}} \quad (2.13)$$

$$\Delta T = \frac{q_t}{m \cdot C} \quad (2.14)$$



Hình 2.24. Xây dựng đồ thị tăng tốc ở giai đoạn thứ nhất

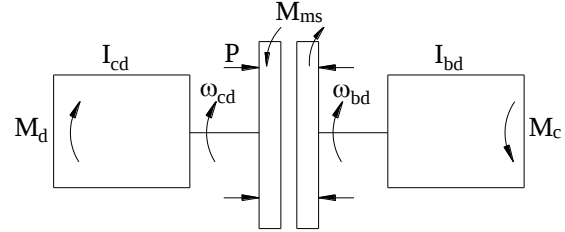
2.4. Xây dựng mô hình đánh giá độ mòn đĩa ma sát

2.4.1. Các giả thuyết

Hệ động lực học được mô hình hóa dưới dạng hệ hai khối lượng có xét đến đặc tính đàn hồi của hệ thống truyền lực; Quy luật mòn tuân theo định luật mòn của Archard, trong đó lượng vật liệu mòn tỉ lệ thuận với công ma sát; Hệ số ma sát (μ) trong mô hình tính toán độ bền mòn, hệ số ma sát được coi là hằng số.

2.4.2. Mô hình vật lý

Mô hình vật lý khối ly hợp như hình 2.25 ở dưới đây [1, 10, 11].



Hình 2.25. Mô hình vật lý khối ly hợp chính

Trong đó: M_d là mô men tác động lên khâu chủ động; I_{cd} , ω_{cd} là mô men quán tính và vận tốc góc phần chủ động; I_{bd} , ω_{bd} là mô men quán tính và vận tốc góc phần bị động; M_{ms} là mô men ma sát; M_c là mô men cản quy dẫn về trục bị động của ly hợp; P là lực ép lên bề mặt ma sát.

2.4.3. Mô hình toán học

Động lực học của quá trình trượt ly hợp được mô tả bằng hệ phương trình vi phân D'Alembert:

$$\begin{cases} J_{cd} \frac{d\omega_{cd}}{dt} = M_d(t) - M_{ms}(t) \\ J_{bd} \frac{d\omega_{bd}}{dt} = M_{ms}(t) - M_c(t) \end{cases} \quad (2.15)$$

Theo Định luật mòn của Archard [33], tốc độ mòn tại một điểm bất kỳ

trên bề mặt ma sát tỷ lệ thuận với áp suất tiếp xúc và vận tốc trượt tại điểm đó. Tốc độ mòn được xác định theo công thức:

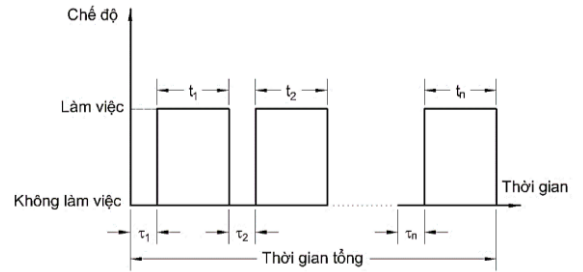
$$\frac{dh(r,t)}{dt} = K \cdot p(r,t) \cdot v_{tr}(r,t) \quad (2.16)$$

Tại vị trí bán kính có áp suất cực đại r_0 , chiều sâu mòn trong một chu kỳ đóng mở ly hợp h_m được rút gọn dưới dạng

$$h_m = K \cdot p(r_0) \cdot r_0 \cdot \sum_{\Delta t} \Delta \omega_r(t) \cdot \Delta t \quad (2.17)$$

Nhằm chuyển đổi từ chiều cao mòn h_m sang tuổi thọ khai thác thực tế của xe tăng T55, mô hình phân bố thời gian khai thác (hình 2.26):

Khi đó, mối quan hệ giữa chiều cao mòn bề mặt đĩa ma sát, độ mòn giới hạn và số lần xảy ra trượt trung bình được biểu diễn theo công thức:



Hình 2.26. Phân bố thời gian khai thác trong năm của xe

$$\zeta_{gh} = \frac{\Delta_{gh}}{\chi_{tr} \cdot h_m} \quad (2.18)$$

Kết luận chương 2

Chương 2 đã phân tích bản chất của quá trình mòn, các dạng hư hỏng đặc thù và các phương pháp xác định cường độ mòn trên bề mặt đĩa ma sát. Đồng thời, nghiên cứu, thiết lập cơ sở khoa học của phương pháp thử nghiệm tăng cường. Qua phân tích, đánh giá luận án lựa chọn mô hình công suất nghịch đảo kết hợp phân phối Weibull làm mô hình biểu diễn mối quan hệ tuổi thọ và

tải trọng. Đây là cơ sở lý thuyết quan trọng để xây dựng quy trình thử nghiệm tăng cường định lượng, cho phép đánh giá nhanh, chính xác độ bền và tuổi thọ của các đĩa ma sát ly hợp xe tăng T55.

Qua khảo sát quá trình khởi hành và tăng tốc ở giai đoạn thứ nhất của xe tăng T55, luận án đã xác định đây là chế độ làm việc điển hình, khắc nghiệt và mang tính quy luật nhất, và được chọn làm chế độ tính toán cơ sở cho ly hợp chính. Các kết quả phân tích khẳng định trượt ly hợp trong giai đoạn này là nguyên nhân chính sinh ra nhiệt và công trượt ly hợp, ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ mòn của đĩa ma sát.

Chương 2 đã xây dựng các mô hình tính toán tổng quát cho ly hợp chính xe tăng T55. Đồng thời, trên cơ sở Định luật mòn Archard, luận án đã thiết lập được công thức tính toán chiều cao mòn h_m của đĩa ma sát sau mỗi lần đóng - mở ly hợp chính. Từ đó, cho phép khảo sát sự biến thiên của vận tốc, áp suất tiếp xúc và dự báo định lượng chính xác chiều cao mòn của đĩa ma sát sau từng chu kỳ làm việc.

Chương 3. NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO BỘ THỬ NGHIỆM TĂNG CƯỜNG KHẢO SÁT ĐỘ MÒN ĐĨA MA SÁT

3.1. Mục tiêu và cơ sở nghiên cứu bộ thử nghiệm

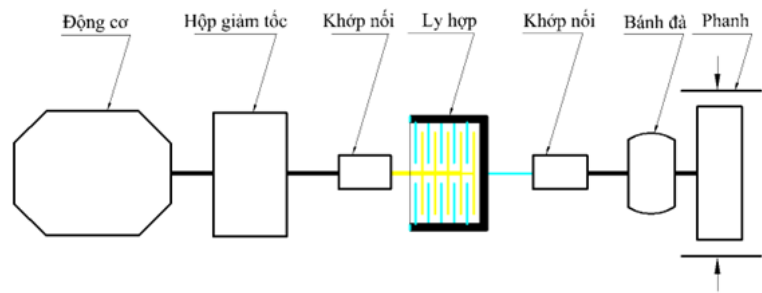
3.1.1. Mục tiêu thử nghiệm

- Xây dựng mô hình thử nghiệm tăng cường có kiểm soát lực ép, tốc độ quay, mô men xoắn và tần suất làm việc, để đảm bảo thời gian làm việc tương đương với nhiều năm sử dụng thực tế;

- Đo và phân tích độ mòn (sự suy giảm chiều dày) của đĩa ma sát nhằm đánh giá quy luật hư hỏng của chúng. Qua đó, đưa ra dự đoán tuổi thọ làm việc còn lại và giới hạn làm việc an toàn của đĩa ma sát.

3.1.2. Cơ sở nghiên cứu bộ thử nghiệm

Cần xác lập cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc lựa chọn phương pháp xây dựng bộ thử nghiệm, đánh giá độ bền mòn



Hình 3.1. Sơ đồ phương án thử nghiệm

và tuổi thọ của đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55. Từ đặc điểm làm việc: Chịu tải trọng lớn, va đập mạnh và nhiệt tích lũy cao... Nghiên cứu đã đánh giá toàn diện các tiêu chí về tính ổn định, khả năng tái hiện chính xác cơ chế mài mòn trong thực tế và tính khả thi công nghệ trong nước. Từ đó, khẳng định phương pháp thử nghiệm tăng cường là giải pháp tối ưu nhằm rút ngắn thời gian thử nghiệm nhưng vẫn bảo toàn bản chất hư hỏng thực tế, phục vụ đo lường chính xác các thông số trạng thái cốt lõi như vận tốc góc, mô men, áp suất và nhiệt độ.

3.2. Cơ sở tính toán xây dựng hệ thống thử nghiệm

3.2.1. Các giả thiết và dữ liệu ban đầu

Quá trình đóng ly hợp xảy ra tức thời; Số vòng quay tính toán của động cơ ở thời điểm đóng ly hợp bằng số vòng quay ở chế độ công suất cực đại (n_N); Mô men ma sát M_{ms} và mô men cản M_c không thay đổi.

3.2.2. Tính toán các thông số làm việc liên quan

a) Lực tác dụng lên tay quay bất di động

Bài toán được hệ thống hóa qua việc xác định lực tác động lên tay quay bất di động P_m dựa trên đặc tính hình học của cơ cấu mở kiểu bi và hằng số độ cứng của hệ lò xo ép.

$$P_m = P_{\max}^m \cdot \frac{R}{L} \cdot \frac{f + tg\alpha}{1 - f \cdot tg\alpha} \quad (3.1)$$

b) Xác định mô men ma sát của ly hợp chính

Nghiên cứu, cụ thể hóa năng lượng truyền động thông qua tính toán tổng lực ép và mô men ma sát M_{ms} của ly hợp chính, với 20 cặp bề mặt tiếp xúc thép - thép khi ly hợp đóng hoàn toàn:

$$M_{ms} = P_{\max}^d \cdot \mu \cdot R_{tb} \cdot z \quad (3.2)$$

c) Hệ số dự trữ mô men của ly hợp chính

$$\text{Hệ số dự trữ mô men của ly hợp: } \beta = \frac{M_{ms}}{M_t} \quad (3.3)$$

$$\text{Với } M_t \text{ là mô men tính toán của ly hợp chính: } M_t = M_{d\max} \cdot i_{gt} \cdot \eta_{gt} \quad (3.4)$$

d) Tính mô men cản quy dẫn về trục bị động của ly hợp chính

Mô men cản quy dẫn về trục bị động ly hợp M_c được xác định thông qua phương trình (3.15) phụ thuộc trực tiếp vào lực kéo đơn vị lớn nhất và hiệu suất truyền động thực tế của dải xích khớp kín [13]:

$$\frac{M_c}{M_{d\max}} = \frac{f_c}{f_{d\max}} \quad (3.5)$$

Kết quả tính toán các thông số làm việc của ly hợp là cơ sở thiết lập số liệu đầu vào và lựa chọn các cụm, bộ phận trên bộ thử nghiệm.

3.3. Cơ sở thiết kế và lựa chọn thiết bị cho hệ thống thử nghiệm

3.3.1. Lý thuyết đồng dạng trong bài toán tính mòn

Nghiên cứu đã thiết lập một mô hình thử nghiệm thu gọn tối ưu chỉ với 1 cặp bề mặt tiếp xúc. Hệ số đồng dạng quy đổi K được xác định thông qua tỷ số cặp ma sát:

$$K = \frac{z_{TN}}{z_{TT}} = \frac{1}{20} = 0,05.$$

Các thông số đầu vào cho hệ thống thử nghiệm được xác định:

Bảng 3.2. Số liệu thực tế và thử nghiệm

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị tính	Giá trị tính toán	Thông số thiết bị chọn
1	Mô men xoắn lớn nhất quy dẫn về trục chủ động ly hợp	Nm	80,5	82,5
2	Tốc độ vòng quay của trục chủ động ly hợp	Vg/ph	1714	2900
3	Lực tác dụng lên tay quay đĩa di động	N	771	$2 \cdot 10^4$
4	Hành trình tay quay đĩa di động	mm	27	350
5	Mô men cản quy dẫn về trục bị động ly hợp chính	Nm	22,15	200

- Mô men xoắn lớn nhất của động cơ quy dẫn về trục chủ động ly hợp:

$$M_{cdTN} = M_{e\max} \cdot i_{gt} \cdot K = 2300 \cdot 0,7 \cdot 0,05 = 80,5 \text{ (Nm)}$$

- Mô men cản quy dẫn về trục bị động ly hợp:

$$M_{bdTN} = M_c \cdot K = 443 \cdot 0,05 = 22,15 \text{ (Nm)}$$

- Lực tác dụng lên tay quay đĩa di động: $P_{mTN} = 771 \text{ (N)}$

- Hành trình tay quay đĩa di động [1]: $h_{tq} = 27 \text{ (mm)}$

- Tốc độ vòng quay của trục chủ động ly hợp ở chế độ khởi hành:

$$n_{cdTN} = n_{dc} \cdot i_{gt} = 1200 / 0,7 \approx 1714 \text{ (vòng/phút)}$$

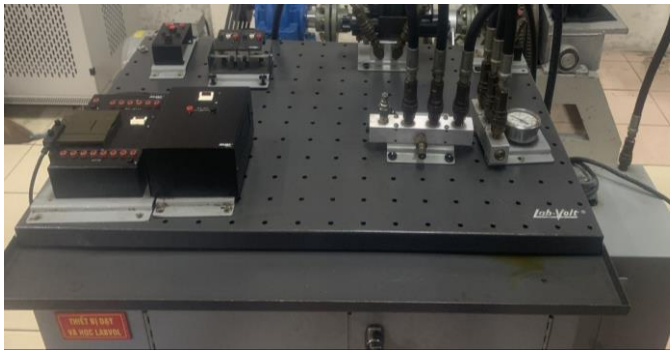
3.3.2. Lựa chọn thiết bị cho hệ thống thử nghiệm

Hệ thống truyền động và mô phỏng tải của bộ thử nghiệm tăng cường được xây dựng đồng bộ bao gồm: Động cơ điện ba pha PARMA Y3-132S2-2 điều khiển qua biến tần Delta C2000 Plus, hộp giảm tốc ZDY-160, khớp nối đàn hồi FCL-250, ly hợp



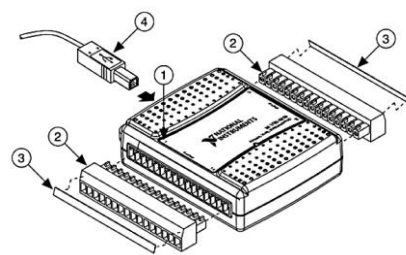
Hình 3.5. Thiết bị tạo cản

và thiết bị tạo cản mô phỏng quán tính chuyển động (bánh đà kết hợp phanh) (hình 3.5).



Hình 3.10. Thiết bị điều khiển thủy lực Lab-Volt

hợp hệ thống van điều khiển tuyến tính của thiết bị Lab-Volt (hình 3.10), loại trừ các sai số thao tác thủ công. Mạng lưới cảm biến (đồng hồ đo tốc độ Omega HHT-13, cảm biến tiệm cận PRT18-8DO) phối hợp cùng bộ thu thập dữ liệu NI-USB 6009 (hình 3.11) có nhiệm vụ chuyển đổi dữ liệu theo thời gian thực các biến thiên động lực học phức tạp của hệ thống.



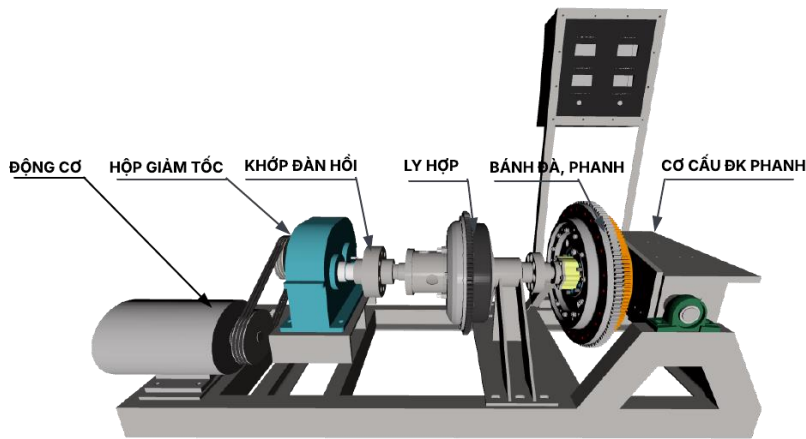
Hình 3.11. Bộ chuyển đổi dữ liệu NI-USB 6009

1. Vỏ; 2. Đầu nối có vít xiết (16 vị trí); 3. Kênh tín hiệu; 4. Cáp USB

3.4. Chuẩn bị và tổ chức thử nghiệm

3.4.1. Chuẩn bị thử nghiệm, bố trí lắp đặt các thiết bị đo

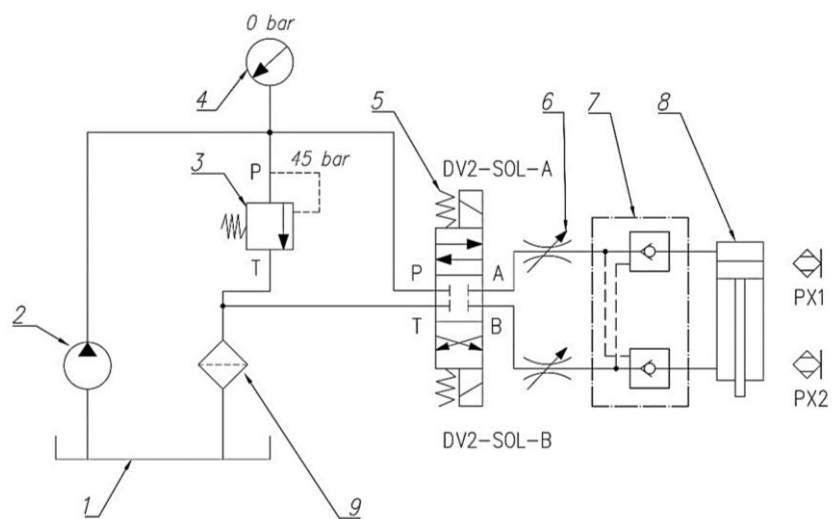
Để đảm bảo độ tin cậy và tính ổn định động học của bộ thử nghiệm, toàn bộ cơ hệ, bao gồm động cơ, hộp giảm tốc, các khớp nối, ly hợp chính, bánh đà



Hình 3.13. Sơ đồ bố trí tổng thể hệ thống thử nghiệm

và thiết bị tạo cản, được kiểm tra kỹ càng về độ đồng trục, khe hở ổ đỡ và độ chắc chắn của các mối ghép liên kết nhằm triệt tiêu dao động cơ học, rung lắc do lệch tâm khi lắp đặt và hạn chế tối đa các sai số đo.

Đối với các thiết bị đo lường, các mẫu đĩa ma sát được chuẩn hóa về nguồn gốc, cơ tính vật liệu, đo đặc kích thước hình học ban đầu và làm sạch bề mặt tiếp xúc. Các cảm biến đo thông số trạng



Hình 3.16. Sơ đồ thủy lực

1. Thùng dầu thủy lực; 2. Bơm thủy lực; 3. Van an toàn;
4. Đồng hồ đo áp suất; 5. Van phân phối 4/3; 6. Van tiết lưu;
7. Van 1 chiều kép; 8. Xylanh thủy lực tác động kép;
9. Bộ lọc dầu

thái được hiệu chuẩn dài đo, kết nối với máy tính qua bộ chuyển đổi thu thập dữ liệu DAQ (NI-USB 6009) với tần số lấy mẫu và cấu hình kênh đo theo đặc tính biến thiên nhanh của các tín hiệu cơ, điện, đồng thời sử dụng cáp chống

nhieu để bảo đảm độ trung thực của tín hiệu.

Quá trình đóng - mở ly hợp được tự động hóa hoàn toàn bằng mạch điều khiển thủy lực áp suất cao. Trạm thủy lực Lab-Volt kết hợp điều khiển xy lanh tác động kép được gá đặt tối ưu hóa chiều dài đường ống dẫn nhằm giảm thiểu tổn thất áp suất và xung lực trễ, đảm bảo tính đáp ứng nhanh của cơ cấu chấp hành theo đúng yêu cầu điều khiển. Tín hiệu đầu ra của thiết bị đo được dẫn qua cáp chống



Hình 3.17. Kết nối các thiết bị đo và cảm biến với bộ DAQ

nhieu về bộ DAQ (NI-USB-6009), mỗi kênh được gán cho một tín hiệu xung riêng để phần mềm ghi nhận và chuyển đổi thành tốc độ (vòng/phút) theo thời gian thực (hình 3.17).

3.4.2. Mức tải trọng, số lượng mẫu thử nghiệm và tiêu chuẩn đánh giá

Trên cơ sở định luật mòn Archard, nghiên cứu giải pháp rút ngắn thời gian thử nghiệm bằng cách tác động đồng thời vào hai thông số tải trọng:

Tần suất đóng

Bảng 3.10. Mức tải và số lượng mẫu thử nghiệm

- mở ly hợp được đẩy lên mức 1,5 phút/lần (tương đương 960 lần/ngày), đạt hệ số gia tốc thời gian là

TT	Mức tải tăng cường	Tần suất đóng-mở LHC (lần/ngày)	Mô men cản M_c (Nm)	Số lượng mẫu
1	Thấp (120%)	960	26,58	10
2	T.bình 150%)	960	33,23	10
3	Cao (175%)	960	38,76	10

26,7 lần so với tần suất khai thác thực tế trung bình (36 lần/ngày).

Mô men cản quy dẫn về trục bị động ly hợp M_c được gia tăng trực tiếp theo ba mức: 120%, 150% và 175% (bảng 3.10).

Bảng 3.11. Tiêu chuẩn đánh giá hư hỏng do mòn đối với đĩa ma sát

Tham số	Tiêu chuẩn	Phương pháp đo	Ghi chú
Độ mòn đĩa ma sát	$\Delta_{gh} > 0,175 \text{ mm}$	Trực tiếp	Sau 500 chu kỳ tiến hành đo 1 lần

3.4.3. Tổ chức thử nghiệm

1. Kiểm tra, hiệu chỉnh các thông số ban đầu của bộ thử nghiệm, thiết bị đo (vận tốc, mô men, áp suất); đo và ghi nhận kích thước ban đầu của đĩa ma sát và phân nhóm mẫu theo mức tải trọng.

2. Lắp đặt đĩa ma sát vào ly hợp và đưa lên bộ thử, bảo đảm độ đồng trục, vận hành không tải ngắn để hiệu chỉnh tín hiệu cảm biến và kiểm tra độ ổn định làm việc.

3. Cài đặt chế độ đóng - mở ly hợp tự động theo chu kỳ xác định, kết hợp giám sát theo thời gian thực các thông số trạng thái (tốc độ, nhiệt độ, áp suất, số chu kỳ).

4. Dừng thử nghiệm và ghi nhận số chu kỳ làm việc, khi lượng mòn bề mặt đĩa ma sát đạt trạng thái giới hạn ($\Delta_{gh} = 0,175 \text{ mm}$) hoặc xuất hiện hiện tượng trượt không kiểm soát; lặp lại quy trình trước khi tăng lên mức tải trọng kế tiếp.

5. Tổng hợp, kiểm tra và xử lý tập dữ liệu thống kê thu thập được.



Hình 3.19. Thiết bị thử nghiệm độ bền mòn đĩa ma sát ly hợp chính

Kết luận chương 3

Thông qua phân tích, thiết lập các giả thiết và dữ liệu ban đầu, luận án đã xác định các thông số làm việc của ly hợp chính trên xe tăng T55. Đồng thời, đã tính toán quy đổi các thông số làm việc từ hệ thống truyền lực trên xe tăng T55 sang bộ thử nghiệm tăng cường.

Luận án đã thiết kế, xây dựng và lắp đặt hoàn chỉnh bộ thử nghiệm tăng cường dành riêng cho ly hợp chính xe tăng T55.

Đã xây dựng phương án bố trí các thiết bị đo lường, phân bố các mức tải trọng thử nghiệm (thấp, trung bình và cao) và xác định số lượng mẫu thử cần thiết (mỗi mức tải trọng 10 mẫu). Xây dựng tiêu chuẩn đánh giá (độ mòn giới hạn $\Delta_{gh} = 0,175 \text{ mm}$) và quy trình thử nghiệm.

CHƯƠNG 4. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ MÒN ĐẾN TUỔI THỌ ĐĨA MA SÁT LY HỢP CHÍNH

4.1. Khảo sát độ mòn đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 bằng phương pháp lý thuyết kết hợp mô phỏng

4.1.1. Khảo sát trạng thái làm việc của ly hợp trong giai đoạn thứ nhất quá trình khởi hành và tăng tốc

Bảng 4.1. Thông số tính toán quá trình khởi hành xe tăng

STT	Tên gọi	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Hệ số dự trữ mô men của ly hợp	β	2,63	
2	Hệ số ảnh hưởng khối lượng chuyển động quay	δ_0	1,3314	
3	Lực kéo đơn vị lớn nhất ở số truyền đang xét	f_{dmax}	0,273	
4	Hệ số cản chuyển động tổng cộng	f_c	0,06	
5	Mô men xoắn lớn nhất của động cơ	M_{dmax}	2015	Nm
6	Mô men quán tính quy dẫn về trục khuỷu động cơ (động cơ và phần chủ động của LHC)	I_{d0}	9,731	Nms ²
7	Vận tốc góc ban đầu của các chi tiết chủ động khi đóng LHC ứng với số vòng quay tính toán của động cơ	ω_0	209,4	rad/s
8	Mô men ma sát	M_{ms}	3571,4	Nm

Khoảng thời gian trượt của các đĩa ma sát trong giai đoạn khởi hành t_{tr} và đường thẳng biểu diễn vận tốc góc phân bị động và chủ động của ly hợp:

$$t_{tr} = \frac{\omega_0}{\ddot{\varphi}_{cd1} + \ddot{\varphi}_{bd1}} = \frac{209,4}{337,5 + 220} \approx 0,4 \text{ (s)} \quad (4.1)$$

$$(d1): \omega_{bd} = 17,45.t \quad (4.2)$$

$$(d2): \omega_{cd} = -337,7.t + 209,4 \quad (4.3)$$

Giao điểm A của 2 đường thẳng (d1) và (d2) cho phép ta xác định thời gian t_1 của giai đoạn tăng tốc thứ nhất: $t_1 = 0,59 \text{ (s)}$ tương với vận tốc góc bằng

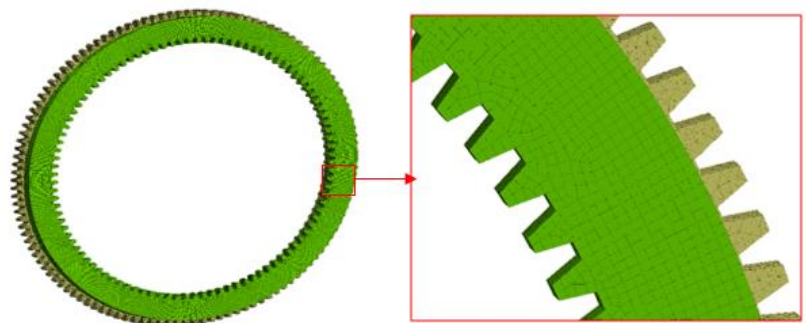
10,3 (rad/s). Bảng 4.2 biểu diễn vận tốc góc phần chủ động và bị động ly hợp.

Bảng 4.2. Bảng thông số vận tốc góc phần chủ động và bị động ly hợp

TT	Thời gian (s)	Vận tốc	
		Phần chủ động (ω_{cd} , rad/s)	Phần bị động (ω_{bd} , rad/s)
1	0	209.40	0
2	0.059	189.49	1.03
3	0.118	169.58	2.06
4	0.177	149.67	3.09
5	0.236	129.76	4.12
6	0.295	109.85	5.15
7	0.354	89.94	6.18
8	0.413	70.03	7.21
9	0.472	50.12	8.24
10	0.531	30.21	9.27
11	0.590	10.30	10.30

4.1.2. Khảo sát phân phối áp suất trên bề mặt đĩa ma sát của ly hợp chính bằng phương pháp mô phỏng trong ANSYS Workbench

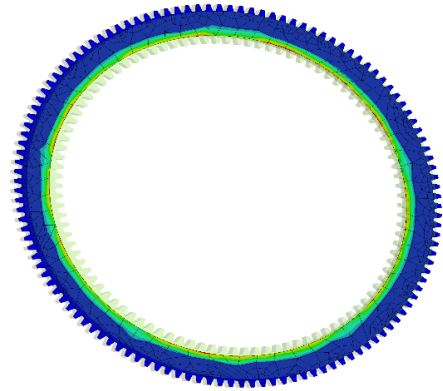
Mô hình được chia lưới phần tử hữu hạn 3D dạng solid với giải pháp tinh chỉnh mịn cục bộ tại bề mặt ma sát và thô dần về phía vùng không chịu



Hình 4.4. Mô hình chia lưới phần tử đĩa ma sát

tải để nâng cao độ chính xác, đạt tổng số 400.373 nút và 191.984 phần tử (hình 4.4).

Kết quả mô phỏng cho thấy phân phối áp suất trên bề mặt ma sát không đồng đều, tập trung cao hơn tại vùng bán kính trong (hình 4.5). Giá trị áp suất cực đại đạt khoảng 0,01933 MPa, trong khi áp suất trung bình trên toàn bộ vùng tiếp xúc ổn định ở mức 0,00089 MPa (hình 4.6).



Hình 4.7. Phân bố ứng suất ma sát trên bề mặt tiếp xúc

4.1.3. Khảo sát độ mòn đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55

Từ dữ liệu thống kê tại các đơn vị sẵn sàng chiến đấu, tần suất khởi hành trung bình của xe tăng T55 xác định được là 4.752 lượt/năm. Dựa trên kết quả tích phân phương trình động học ở giai đoạn trượt với tổng thời gian trượt là 0,59 s và tổng góc trượt xấp xỉ 61,77 rad, áp suất tiếp xúc lớn nhất xác định từ mô hình phần tử hữu

Bảng 4.5. Cường độ sử dụng xe tăng T55 của H01
(Số xe huấn luyện chiến đấu: 18 xe)

Tháng	Số km sử dụng trong tháng (km)	Số lượt khởi hành xe trong ngày	Số ngày sử dụng xe trong tháng (ngày)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	2.981	1.215	22
5	3.240	1.312	20
6	4.160	1.361	21
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	3.175	1.231	17
11	3.964	1.426	22
12	3.240	1.231	21
T. bình	1.730	648	10,25

hạn $P_{tb} = 1,933.10^4 \text{ N/m}^2$, lượng mòn bề mặt đĩa ma sát trong một chu kỳ khởi

hành h_m được tính toán cụ thể thông qua hệ số mòn thực nghiệm $K = 6.10^{-14}$ $m^3/N.m$: $h_m = 1,196.10^{-5}(mm)$.

Đối chiếu với tiêu chuẩn giới hạn hư hỏng kỹ thuật cho phép là **0,175** mm trên mỗi mặt (bảng 3.11), Theo công thức (2.49), thời gian khai thác xe tăng tính theo năm được xác định là 3,079 năm. Kết quả này tương đương 3.551 km xe chạy hoặc 14.631 chu kỳ đóng - mở ly hợp.

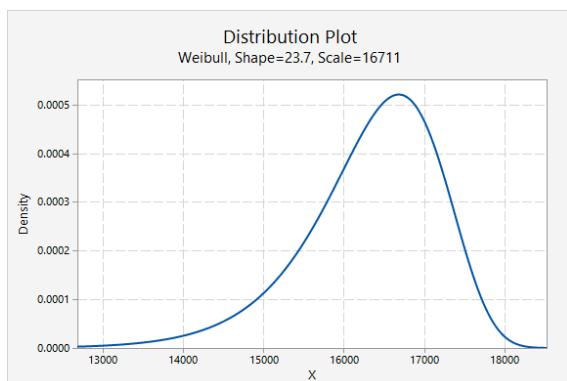
4.2. Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của độ mòn đến tuổi thọ đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55

Kết quả thử nghiệm thể hiện trên bảng 4.6 (sắp xếp theo thứ tự tăng dần).

Từ tập dữ liệu số chu kỳ đóng - mở ly hợp đến khi đạt giới hạn mòn tại ba mức tải trọng cân tăng cường, nghiên cứu ứng dụng phương pháp ước lượng hợp lý cực đại (MLE) và kiểm định Anderson-

Bảng 4.6. Kết quả thử nghiệm tăng cường

TT	Mức tải (M_c)		
	Thấp	Trung bình	Cao
1	11340	8570	6490
2	11630	8760	6860
3	11850	9010	7070
4	11920	9150	7200
5	12200	9290	7410
6	12350	9440	7460
7	12490	9650	7550
8	12780	9710	7720
9	12920	10000	7810
10	13070	10140	7910



Hình 4.13. Đồ thị biểu diễn hàm mật độ xác suất của phân phối Weibull.

Darling (A-D) để tìm ra hàm phân phối xác suất phù hợp. Kết quả kiểm định khẳng định phân phối Weibull phản ánh chính xác nhất đặc tính hư hỏng do mòn của đĩa ma sát.

Nhằm ngoại suy tuổi thọ từ điều kiện thử nghiệm tăng cường về điều kiện khai thác bình thường, luận án sử dụng mô hình luật công suất nghịch đảo (IPL-Weibull). Theo phương pháp bình phương nhỏ nhất, các tham số phân phối Weibull ở điều kiện làm việc tiêu chuẩn được xác định gồm tham số hình dáng $\beta_0 = 23,7$ và tham số tỷ lệ $\eta_0 = 16.711$.

Tuổi thọ trung bình (MTTF) của đĩa ma sát theo phân phối Weibull được xác định như sau:

$$MTTF = \eta \times \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (4.4)$$

Kết quả tính toán cho thấy tuổi thọ làm việc trung bình đến khi hỏng của đĩa ma sát đạt **16.351** chu kỳ đóng - mở. Dựa trên giới hạn hư hỏng cho phép, chiều cao mòn trung bình sau mỗi chu kỳ tính được là **1,07.10⁻⁵** mm. Quy đổi theo tuổi thọ thực tế của đĩa ma sát tương đương **3,442** năm hoặc **3969,8** km hành trình.

4.3. Đánh giá kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm

Khoảng sai số dao động dưới 11% là một chỉ số đảm bảo trong các nghiên cứu thực nghiệm về ma sát học và mài mòn, hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép đối với các bài toán động lực học xe tăng. Đây là luận cứ khoa học

Bảng 4.9. Kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm

Thông số	Kết quả		Sai số (%)
	Lý thuyết	Thử nghiệm	
Số chu kỳ làm việc đến hỏng (chu kỳ)	14.631	16.351	10,52
Chiều cao mòn sau mỗi chu kỳ (mm)	1,196.10 ⁻⁵	1,07.10 ⁻⁵	10,54
Tuổi thọ của đĩa ma sát (năm)	3,079	3,442	10,54
Quãng đường quy đổi tới hỏng (km)	3.551	3.969,8	10,54

chúng tỏ rằng các giả thuyết, và phương pháp tính mòn thông qua định luật Archard theo thời gian đã phản ánh chính xác bản chất vật lý của cụm ly hợp.

Kết quả thực nghiệm ghi nhận tốc độ mòn tuyến tính $1,07.10^{-5}$ mm sau mỗi chu kỳ đóng mở, thấp hơn một lượng nhỏ so với tính toán lý thuyết $1,16.10^{-5}$ mm.

Do chiều cao mòn thực tế ($1,07.10^{-5}$ mm) sau một lần khởi hành nhỏ hơn so với lý thuyết ($1,196.10^{-5}$ mm), hệ quả kéo theo là tổng số chu kỳ đóng - mở tích lũy cho đến khi tổng lượng mòn chạm giới hạn cho phép Δ_{gh} trên bề thử nghiệm (16.351 chu kỳ) đạt giá trị cao hơn lý thuyết (14.631 chu kỳ). Khi quy đổi các đại lượng này sang tuổi thọ công tác (năm) và quãng đường hành tiến (km) dựa trên cường độ sử dụng xe đã thống kê thực tế (36 lần/ngày), các kết quả giữa tính toán lý thuyết với thực nghiệm tính tỷ lệ tuyến tính với nhau (10,54 %). Sự nhất quán của các chênh lệch dữ liệu khẳng định, thử nghiệm tăng cường được xây dựng dựa trên cơ sở lý thuyết đồng dạng tại Chương 3 là chính xác, loại bỏ được các sai số ngẫu nhiên của hệ thống đo lường.

Quan trọng hơn, các chỉ số tuổi thọ của đĩa ma sát sản xuất tại Việt Nam đạt được (3.969,8 km) so với tiêu chuẩn thực tế của đĩa ma sát nguyên bản sản xuất tại Nga (4000 km) được cho ở Bảng 4.10 [14] là nhỏ hơn nhưng không đáng kể (số liệu được tra tính từ khi bắt đầu sử dụng đến sửa chữa vừa, đạt độ mòn giới hạn $\Delta_{gh} = 0,175$ mm, trang 129 tài liệu [7]).

Bảng 4.10. Chu kỳ sửa chữa xe tăng T55

Tên xe	Xe mới			Xe qua sửa chữa ở Việt Nam		
	Từ bắt đầu sử dụng đến sửa chữa vừa (km)	Từ SCV đến SCL (km)	Từ bắt đầu sử dụng đến sửa chữa lớn (km)	Từ bắt đầu sử dụng đến sửa chữa vừa (km)	Từ SCV đến SCL (km)	Từ bắt đầu sử dụng đến sửa chữa lớn (km)
T55	4000	3000	7000	3000	2000	5000

Vì vậy, có thể khẳng định sản phẩm đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55

chế tạo tại Việt Nam, có thể đáp ứng các tiêu chuẩn động lực học, có khả năng làm việc ổn định, mòn đều, không nứt vỡ, đủ điều kiện đưa vào sản xuất hàng loạt thay thế cho các đĩa ma sát nguyên bản nhập khẩu của Nga.

Kết luận chương 4

Thông qua việc kết hợp giữa tính toán lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm, chương 4 này đã đạt được các kết quả cụ thể sau:

1. Đã làm rõ phân bố trường áp suất và động học mòn bằng mô phỏng số: Bằng phương pháp lý thuyết kết hợp mô phỏng số trên nền tảng phần mềm ANSYS Workbench, luận án đã chỉ ra quy luật phân bố áp suất tiếp xúc không đều theo phương hướng kính trên bề mặt đĩa ma sát trong quá trình khởi hành và tăng tốc xe tăng T55.

2. Đã thu thập thành công bộ dữ liệu thử nghiệm độc lập và tin cậy: Quá trình nghiên cứu thực nghiệm trên bộ thử nghiệm tăng cường (tải trọng quy đổi đồng dạng) đã vận hành ổn định, ghi nhận chính xác các chỉ tiêu trạng thái giới hạn của đĩa ma sát chế tạo tại Việt Nam. Kết quả thực tế chỉ ra mẫu thử nghiệm đạt độ bền tích lũy lên tới 16.351 chu kỳ làm việc, tương đương tuổi thọ vận hành khai thác đạt 3,442 năm và quãng đường hành tiến đạt 3.969,8 km.

3. Sai số tương đối giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm dao động rất hẹp và ổn định ($\leq 11\%$). Khoảng sai số này, không chỉ chứng minh việc lựa chọn mô hình tính mòn theo định luật Archard là phù hợp, mà còn khẳng định đĩa ma sát do Việt Nam sản xuất đạt chất lượng đảm bảo, đủ điều kiện ứng dụng thay thế vật tư ngoại nhập.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết quả đạt được và những đóng góp mới của luận án

Luận án: "Nghiên cứu độ bền mòn của đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng

T55 sản xuất tại Việt Nam bằng phương pháp thử nghiệm tăng cường" đã hoàn thành đầy đủ các mục tiêu khoa học và thực tiễn đề ra. Dựa trên việc kết hợp chặt chẽ giữa lý thuyết cơ học ma sát và mài mòn, mô phỏng số học và thực nghiệm, luận án đã đạt được những kết quả cụ thể sau:

- Luận án đã hệ thống hóa và phân tích toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến độ bền mòn của đĩa ma sát ly hợp chính trên xe tăng. Xây dựng mô hình toán học và vật lý dựa trên định luật mòn Archard để tính toán lượng mòn của đĩa ma sát. Thông qua mô phỏng đã giải quyết được bài toán phân bố áp suất tiếp xúc không đồng đều trên bề mặt đĩa ma sát trong giai đoạn khởi hành xe tăng, làm cơ sở tính toán độ mòn đĩa ma sát.

- Đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thành công bộ thử nghiệm tăng cường khảo sát độ mòn đĩa ma sát. Hệ thống bộ thử nghiệm này tuân thủ nghiêm ngặt lý thuyết đồng dạng trong bài toán tính mòn, cho phép tái hiện chính xác chế độ tải trọng và cơ chế mòn bề mặt của đĩa ma sát trong thời gian ngắn hơn nhiều so với việc thử nghiệm trong điều kiện thực tế (hệ số tăng cường tần suất làm việc 26,7).

- Đã tiến hành thử nghiệm và thu thập được bộ số liệu tin cậy về ảnh hưởng của độ mòn đến tuổi thọ đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng. Qua phân tích, so sánh và đánh giá kết quả giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm cho thấy mức độ hội tụ cao. Độ sai lệch của các thông số liên quan giữa hai phương pháp (lý thuyết và thực tế): Số chu kỳ làm việc đến hỏng (14.631 chu kỳ và 16.351 chu kỳ); chiều cao mòn sau mỗi chu kỳ ($1,196 \cdot 10^{-5}$ mm và $1,07 \cdot 10^{-5}$ mm); tuổi thọ đĩa ma sát (3,079 năm và 3,442 năm). Sai số tương đối giữa tính toán lý thuyết với thử nghiệm thực tế duy trì ở mức thấp (dưới 11%), khẳng định độ tin cậy của mô hình lý thuyết đã xây dựng.

Kết quả nghiên cứu là minh chứng khoa học vững chắc khẳng định: Đĩa

ma sát chế tạo trong nước hoàn toàn đáp ứng được các tiêu chuẩn khắt khe về độ bền cơ học và đặc tính mài mòn, đủ điều kiện để ứng dụng rộng rãi và thay thế sản phẩm nhập khẩu từ Nga.

Từ những kết quả đạt được, có thể rút những đóng góp mới của luận án:

- Luận án đã nghiên cứu, xây dựng một mô hình tính toán kết hợp với định luật mòn Archard, giải quyết triệt để bài toán đánh giá độ bền mòn đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55.

- Luận án đã tính toán, thiết kế, xây dựng và đưa vào vận hành bộ thử nghiệm tăng cường cho đối tượng đĩa ma sát ly hợp chính xe tăng T55 sản xuất tại Việt Nam tuân thủ nghiêm ngặt lý thuyết đồng dạng, tạo ra bộ công cụ đánh giá độ bền mòn có độ chính xác cao.

2. Hướng phát triển tiếp theo của luận án

Hướng phát triển tiếp theo của luận án có thể tập trung vào việc phát triển các mô hình vật lý đa trường, đặc biệt là kết hợp bài toán tương tác cơ, nhiệt, nhằm đánh giá chính xác hiện tượng mất ổn định nhiệt đàn hồi trên bề mặt tiếp xúc của đĩa ma sát.

Đồng thời, nền tảng phương pháp luận từ nghiên cứu này sẽ là cơ sở vững chắc để tiến tới khảo sát các công nghệ xử lý bề mặt tiên tiến, hoặc phát triển các hệ vật liệu ma sát mới trên nền thép 65Mn, nhằm tối ưu hóa hơn nữa tuổi thọ phục vụ và hệ số tin cậy của các đĩa ma sát sản xuất trong nước.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Xuan Phong Cu, Zdenek Vintr, và Duc Son Mai (2021), *Prediction of the Lifetime of Tank Track Components Using the Accelerated Testing*, 2021 International Conference on Military Technologies (ICMT), IEEE, pp. 1-6. .
2. Mai Đức Sơn, Tô Viết Thành và Cù Xuân Phong (2021), *Nghiên cứu hiện tượng trượt của ly hợp chính xe tăng trong quá trình khai thác*, Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải (Hội nghị Khoa học & công nghệ Cơ khí động lực lần thứ XIV), ISSN 1859-316X, Số đặc biệt 10/2021, tr. 262-267.
3. Mai Đức Sơn, Tô Viết Thành và Cù Xuân Phong (2022), *Nghiên cứu lý thuyết phương pháp thử nghiệm tăng cường trong đánh giá tuổi thọ các chi tiết trên xe tăng thiết giáp*, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ lần thứ XVII năm 2022, ISBN: 978 - 604 - 51 - 824 7 - 5, tr 468-476.
4. Mai Đức Sơn, Tô Viết Thành, Cù Xuân Phong và Vũ Văn Thế (2022), *Ứng dụng phương pháp thử nghiệm tăng cường trong đánh giá tuổi thọ các chi tiết trên xe xích chiến đấu*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam (Hội nghị KH&CN Cơ khí - động lực lần thứ XV), ISSN 2615-9910, Số đặc biệt 11/2021, tr. 408-414.
5. Mai Đức Sơn, Tô Viết Thành và Cù Xuân Phong (2023), *Nghiên cứu mô hình thử nghiệm tăng cường đánh giá độ bền đĩa ma sát ly hợp chính trên xe xích quân sự*, Tạp chí Giao thông vận tải (Hội nghị KH&CN Cơ khí - Động lực lần thứ XVI), ISSN: 1859-2724, tr. 111-117.
6. Mai Đức Sơn, Cù Xuân Phong, Tô Viết Thành (2024). *Ứng dụng thử nghiệm tăng cường trong đánh giá độ bền của đĩa ma sát ly hợp chính trên xe xích quân sự*. HNKH các nhà nghiên cứu trẻ lần thứ XIX, Học Viện KTQS.
7. Xuan Phong Cu, and Duc Mai Son (2026). "An Experimental Investigation into the Durability of the Main Clutch Friction Disc in Tracked Vehicles." *Advances in Military Technology*: 83-93. (Scopus)