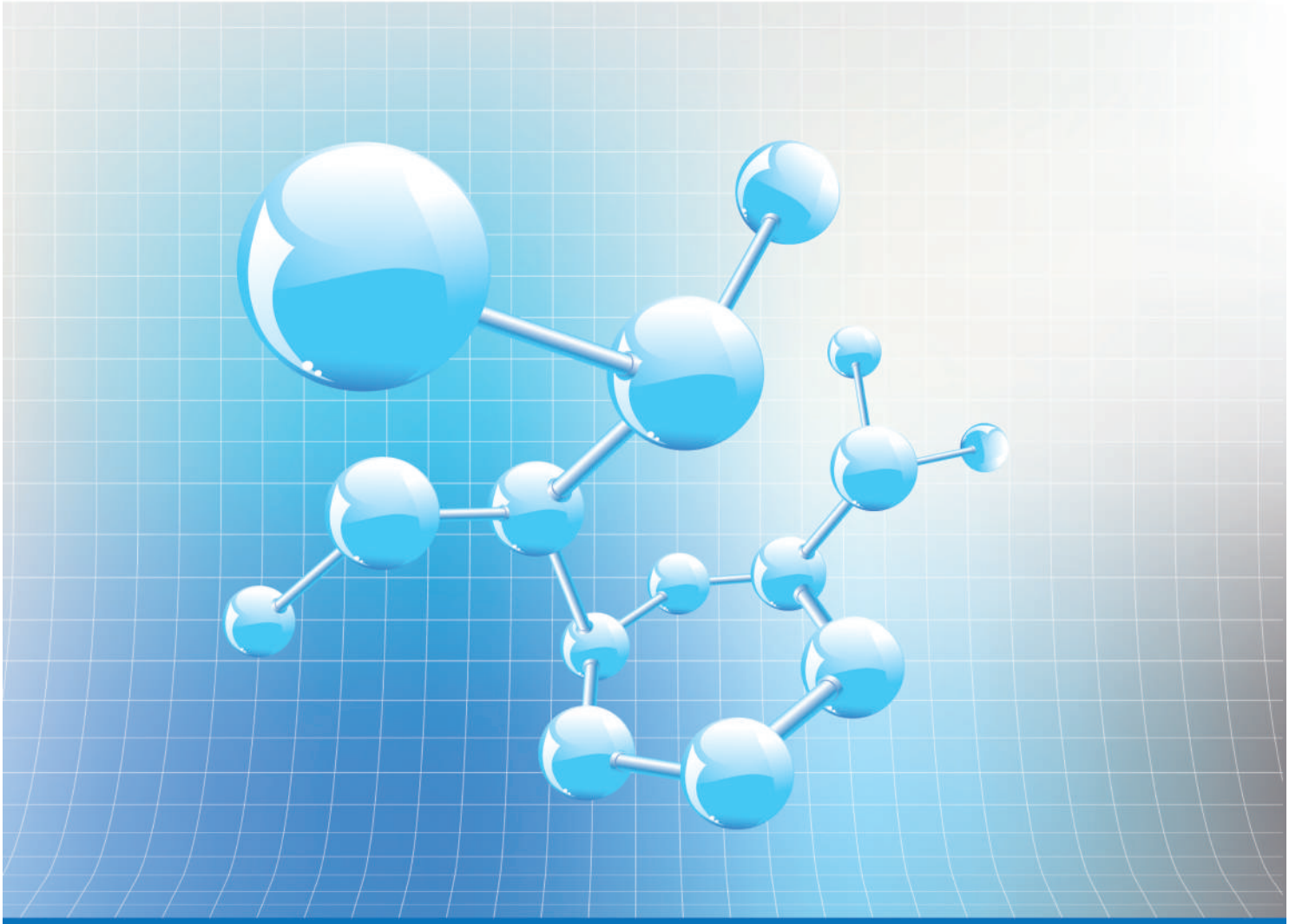
# Tạp chí
# NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
## ĐẠI HỌC SAO ĐỎ
## SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X



Số 1 (93)
2026

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

**Tổng Biên tập**
TS. Đỗ Văn Đỉnh

**Phó Tổng biên tập**
TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

**Thư ký Tòa soạn**
PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

**Hội đồng Biên tập**

**TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng**
GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến
PGS.TSKH. Trần Hoài Linh
PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn
GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn
GS.TSKH. Bành Tiến Long
GS.TS. Nguyễn Đức Toàn
PGS.TS. Lê Thu Quý
GS.TS. Lê Anh Tuấn
GS.TS. Đinh Văn Sơn
PGS.TS. Trương Thị Thủy
PGS.TS. Nguyễn Thị Bất
GS.TS. Đỗ Quang Kháng
PGS.TS. Ngô Sỹ Lương
PGS.TS. Khuất Văn Ninh
GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải
PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải
PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà
GS.TS. Yu Ming Zhang
GS.TS. Nguyễn Văn Anh

**Ban Biên tập**
TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban
ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

**Editor-in-Chief**
Dr. Do Van Dinh

**Vice Editor-in-Chief**
Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

**Office Secretary**
Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

**Editorial Board**

**Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman**
Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen
Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh
Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien
Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan
Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long
Prof.Dr. Nguyen Duc Toan
Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy
Prof.Dr. Le Anh Tuan
Prof.Dr. Dinh Van Son
Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy
Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat
Prof.Dr. Do Quang Khang
Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong
Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh
Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai
Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai
Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha
Prof.Dr. Yu Ming Zhang
Prof.Dr. Nguyen Van Anh

**Editorial**
Dr. Vu Van Dong - Head
MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:
Trường Đại học Sao Đỏ.
Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.
Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.
Website: http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

TẠP CHÍ
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

# TRONG SỐ NÀY

Số 1(93) 2026

## LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA


| | | |
|---|---|---|
| Nghiên cứu sử dụng các bộ lọc thụ động cho lưới điện PV nhằm giảm sóng hài | 5 | Tạ Thị Mai |
| Phân tích các đặc tính chính của máy điện từ kháng hai khối làm việc ở chế độ động cơ - máy phát | 12 | Phạm Công Tảo<br>Phạm Thị Hoan |
| Mô phỏng tán xạ sóng điện từ 2D sử dụng lớp hấp thụ hoàn hảo | 19 | Mạc Thị Nguyên |
| Ứng dụng học sâu (Deep Learning) trong bài toán dự báo công suất tiêu thụ của phụ tải điện công nghiệp | 25 | Phạm Văn Tài |
| Phương pháp điều khiển giám sát hệ thống sự kiện rời rạc trên PLC | 32 | Nguyễn Thị Quyên<br>Vũ Bảo Tạo |


## LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC


| | | |
|---|---|---|
| Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến hình dạng mối hàn khi hàn thép SS400 bằng công nghệ hàn MAG tự động | 38 | Nguyễn Hữu Chấn |
| Ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong dầu bôi trơn | 44 | Nguyễn Đình Cương |
| Ứng dụng lý thuyết phiếm hàm mật độ trong tính toán tối ưu cấu trúc và đặc tính cơ - lý của vật liệu 2D | 51 | Trần Thế Quang<br>Phạm Thị Thanh Giang<br>Dương Thị Loan<br>Vũ Khắc Hưng<br>Vũ Văn Tản |
| Ảnh hưởng của loại dầu ATF và điều kiện vận hành đến quá trình phát nhiệt của biến mô thủy lực GM 258 mm | 57 | Nguyễn Lương Căn<br>Lê Đức Thắng<br>Đỗ Tiến Quyết |
| Mô phỏng quá trình thấm - tôi Carbonitriding và sự hình thành ứng suất dư trên bánh răng thép C20 | 63 | Mạc Văn Giang<br>Đào Văn Kiên<br>Ngô Hữu Mạnh |

TẠP CHÍ
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC
ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

# TRONG SỐ NÀY

Số 1(93) 2026

## NGÀNH KINH TẾ


| | | |
|---|---|---|
| Lợi thế so sánh và tăng trưởng kinh tế vùng của Việt Nam giai đoạn 2025-2030 | 70 | Nguyễn Minh Tuấn<br>Phạm Thị Hồng Hoa |
| Các nhân tố ảnh hưởng đến phát triển năng lực số của đội ngũ quản lý cấp trung tại các công ty, đơn vị thuộc Tập đoàn công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) | 77 | Trần Xuân Chiến |
| Phát triển kỹ năng số của lực lượng lao động Việt Nam trong thời đại số: thực trạng và hàm ý chính sách | 84 | Vũ Thị Lý<br>Nguyễn Thị Quỳnh |
| Tác động của chuyển đổi số tới hoạt động của các doanh nghiệp bán lẻ tại Việt Nam: Cơ hội và thách thức | 90 | Vũ Thị Thanh Thủy |
| Hoàn thiện công tác kế toán thuế trong điều kiện các chính sách thuế thay đổi theo hướng chuyển đổi số tại một số doanh nghiệp nhỏ và vừa trên địa bàn phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng | 96 | Nguyễn Thị Quỳnh<br>Đinh Thị Kim Thiết<br>Vũ Thị Lý<br>Hoàng Thị Bích Ngọc<br>Đoàn Thị Thu Hằng |


## LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC


| | | |
|---|---|---|
| Đổi mới phương pháp giảng dạy các môn khoa học Mác - Lênin trong thời đại số | 102 | Nguyễn Thị Nhan |
| Quan điểm của chủ nghĩa Mác - Lênin về con người và sự vận dụng của quan điểm đó ở Việt Nam hiện nay | 108 | Trần Thị Hồng Nhung<br>Nguyễn Chí Dũng<br>Nguyễn Vinh Diện<br>Trần Thị Hiền |
| Tư tưởng của Lênin về sử dụng các chuyên gia tư sản và sự vận dụng cửa Đảng ta trong xây dựng, phát triển đội ngũ trí thức Việt Nam hiện nay | 113 | Phạm Văn Dự<br>Vũ Thị Quyên<br>Nguyễn Thị Diễm<br>Dương Thị Thanh |
| Vai trò của triết học đối với sự hình thành tư duy phản biện cho sinh viên đại học hiện nay | 118 | Trần Thị Hồng Nhung<br>Vũ Văn Đông<br>Nguyễn Vinh Diện |
| Tư tưởng Hồ Chí Minh về con người với việc phát huy vai trò của giảng viên đại học trước tác động của ChatGPT hiện nay | 124 | Trần Mai Ước<br>Nguyễn Thị Kim Nguyên |

SCIENTIFIC JOURNAL
SAO DO UNIVERSITY

# CONTENTS

No 1(93) 2026

## TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION


| | | |
|---|---|---|
| Research on the use of passive filters for PV grids to reduce harmonics | 5 | Ta Thi Mai |
| Analysis of the main characteristics of the two - package switched reluctance machine operating in motor - generator mode | 12 | Pham Cong Tao<br>Pham Thi Hoan |
| Simulation of 2D electromagnetic wave scattering using perfectly matched layer | 19 | Mac Thi Nguyen |
| Application of deep learning in the problem of forecasting power consumption of industrial electricity loads | 25 | Pham Van Tai |
| A supervisory control method for discrete event system on PLC | 32 | Nguyen Thi Quyen<br>Vu Bao Tao |


## TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING


| | | |
|---|---|---|
| Study on factors affecting weld bead geometry in automatic MAG welding of SS400 steel | 38 | Nguyen Huu Chan |
| Effect of sliding speed on the self-repairing behavior of TiC nanoparticle additives in lubricating oil | 44 | Nguyen Dinh Cuong |
| Application of density functional theory in structural optimization and mechanical-physical property calculations of 2D materials | 51 | Tran The Quang<br>Pham Thi Thanh Giang<br>Duong Thi Loan<br>Vu Khac Hung<br>Vu Van Tan |
| Effect of ATF type and operating conditions on heat generation in the GM 258 mm torque converter | 57 | Nguyen Luong Can<br>Le Duc Thang<br>Do Tien Quyet |
| Simulation of the carbonitriding quenching process and residual stress formation in C20 steel gears | 63 | Mac Van Giang<br>Dao Van Kien<br>Ngo Huu Manh |

SCIENTIFIC JOURNAL
SAO DO UNIVERSITY

# CONTENTS

No 1(93) 2026

## TITLE FOR ECONOMICS


| | | |
|---|---|---|
| Vietnam's comparative advantages and regional economic growth during the period 2025-2030 | 70 | Nguyen Minh Tuan<br>Pham Thi Hong Hoa |
| Factors affecting the development of digital competence of middle management teams in companies and units under Vietnam national Coal - Mineral industries holding corporation limited (TKV) | 77 | Tran Xuan Chien |
| Developing digital skills of Vietnam's workforce in the digital age: Current situation and policy implications | 84 | Vu Thi Ly<br>Nguyen Thi Quynh |
| The impact of digital transformation on retail businesses in Vietnam: Opportunities and challenges | 90 | Vu Thi Thanh Thuy |
| Improving tax accounting practices under the digital transformation of tax policies in small and medium-sized enterprises in Chu Van An ward, Hai Phong city | 96 | Nguyen Thi Quynh<br>Dinh Thi Kim Thiet<br>Vu Thi Ly<br>Hoang Thi Bich Ngoc<br>Doan Thi Thu Hang |


## TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE


| | | |
|---|---|---|
| Innovation in teaching methods Marxist-Leninist political theory in the digital age | 102 | Nguyen Thi Nhan |
| The Marxist - Leninist view on humans and the applicatinon of that perspective in Vietnam today | 108 | Tran Thi Hong Nhung<br>Nguyen Chi Dung<br>Nguyen Vinh Dien<br>Tran Thi Hien |
| V.I. Lenin's thoughts on utilizing bourgeois experts and the Party's application of them in training, nurturing and attracting the current intellectual team | 113 | Pham Van Du<br>Vu Thi Quyen<br>Nguyen Thi Diem<br>Duong Thi Thanh |
| The role of philosophy in the formation of critical thinking for today's university students | 118 | Tran Thi Hong Nhung<br>Vu Van Dong<br>Nguyen Vinh Dien |
| Ho Chi Minh's thought on people with promoting the role of university lecturers in the face of the impact of ChatGPT today | 124 | Tran Mai Uoc<br>Nguyen Thi Kim Nguyen |

# Mô phỏng quá trình thấm - tôi Carbonitriding và sự hình thành ứng suất dư trên bánh răng thép C20

## Simulation of the Carbonitriding quenching process and residual stress formation in C20 steel gears

**Mạc Văn Giang*, Đào Văn Kiên, Ngô Hữu Mạnh**

Trường Đại học Sao Đỏ

**Tác giả liên hệ: macvgiang@gmail.com*

Ngày nhận bài: 12/9/2025
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/02/2026
Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2026

**Tóm tắt**

Nghiên cứu này xây dựng mô hình mô phỏng phần tử hữu hạn (FEM) trên phần mềm COMSOL Multiphysics cho quá trình thấm carbon-nitơ (carbonitriding) và tôi dầu bánh răng thép C20. Mô hình tích hợp đa trường vật lý gồm khuếch tán đồng thời, truyền nhiệt, chuyển biến pha và cơ học, đặc biệt có xét đến hiệu ứng biến dạng dẻo do chuyển pha (TRIP). Kết quả mô phỏng sau 12 giờ thấm và 10 phút tôi cho thấy nồng độ C-N bề mặt đạt khoảng 0,85%, hình thành lớp vỏ cứng Martensite và lõi dẻo. Đáng chú ý, tại vùng chân răng xuất hiện trường ứng suất nén dư có lợi đạt giá trị 489 MPa. Kết quả định lượng này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để dự báo độ bền mỏi và tối ưu hóa quy trình xử lý nhiệt cho bánh răng chế tạo từ thép C20.

***Từ khóa:*** *Phương pháp phần tử hữu hạn; COMSOL Multiphysics; thấm carbonitriding; ứng suất dư; chuyển biến pha; bền mỏi; tuổi thọ.*

**Abstract**

This study develops a finite element method (FEM) simulation model using COMSOL Multiphysics to investigate the carbonitriding and oil quenching process in C20 steel gears. The model incorporates multiphysics coupling, including simultaneous diffusion, heat transfer, phase transformation and solid mechanics, with special consideration given to transformation-induced plasticity (TRIP) effects. Simulation results after 12 hours of carbonitriding and 10 minutes of quenching indicate a surface C-N concentration reaching approximately 0.85%, leading to the formation of a hard martensitic case over a ductile core. Notably, a favorable compressive residual stress field of up to 489 MPa is generated at the tooth root region. These quantitative findings provide an important scientific basis for fatigue strength prediction and optimization of heat treatment processes for C20 steel gears.

***Keywords:*** *Finite element method (FEM); COMSOL Multiphysics; carbonitriding diffusion; residual stress; phase transformation; fatigue strength; lifespan.*

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bánh răng là chi tiết máy quan trọng, thường xuyên chịu tải trọng lớn và ứng suất mỏi tập trung tại vùng chân răng. Các phương pháp xử lý nhiệt bề mặt, đặc biệt là thấm carbon-nitơ (carbonitriding) kết hợp tôi, được coi là giải pháp hiệu quả nhằm nâng cao độ bền mỏi và tuổi thọ trong điều kiện làm việc êm, yêu cầu độ chính xác cao.

Nhiều nghiên cứu đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để mô phỏng quá trình thấm và tôi. [1] phân tích ảnh hưởng của thời gian thấm đến chiều sâu lớp cứng; [2] dự đoán hàm lượng C-N bằng nhiệt động học tính toán; [3] đánh giá biến dạng và ứng suất dư sau thấm tôi; [4] kết hợp mô phỏng và thực nghiệm để khảo sát quá trình tôi bánh răng. Nghiên cứu gần đây [5] tiếp tục làm rõ ảnh hưởng của ứng suất dư và biến dạng dẻo do chuyển biến pha (TRIP).

Tuy vậy, phần lớn công trình trước chủ yếu tập trung vào thấm carbon, sử dụng mô hình vật liệu lý tưởng hoặc bỏ qua ảnh hưởng đồng thời của nitơ và hiệu ứng TRIP. Đặc biệt, thép C20 là vật liệu phổ biến cho bánh răng chưa được nghiên cứu chi tiết bằng FEM cho quá trình carbonitriding.

Nghiên cứu này xây dựng mô hình FEM đa vật lý cho quy trình thấm carbon-nitơ và tôi trên bánh răng

Người phản biện: 1. TS. Nguyễn Văn Hinh
2. PGS.TS. Trần Vệ Quốc

thép C20. Điểm mới là tích hợp khuếch tán đồng thời C-N, sử dụng công thức Ms xét đến C, N, Mn và tính đến hiệu ứng TRIP. Kết quả cho phép đánh giá định lượng phân bố nguyên tố, pha và ứng suất dư, góp phần tối ưu hóa xử lý nhiệt trong chế tạo bánh răng.

Mục đích chính của nghiên cứu này là giải quyết bài toán dự báo định lượng các thông số mà thực nghiệm khó xác định, bao gồm:

Phân tích ảnh hưởng đồng thời của Carbon và Nitơ đến động học chuyển biến pha trên thép C20.

Xác định giá trị và quy luật phân bố ứng suất dư tại vùng chân răng - yếu tố quyết định độ bền mỏi.

Xây dựng cơ sở dữ liệu số để tối ưu hóa quy trình công nghệ, giúp giảm thiểu chi phí thử nghiệm và rủi ro nứt vỡ, biến dạng trong sản xuất thực tế.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Mô hình hình học và vật liệu

Đối tượng nghiên cứu là bánh răng trụ răng thẳng được sử dụng trong mô phỏng quy trình thấm carbon-nitơ và tôi. Mô hình hình học được xây dựng ở dạng 2D với các thông số cơ bản được trình bày trong Bảng 1 [6].

Bảng 1. *Thông số của bánh răng trụ răng thẳng tiêu chuẩn trong mô phỏng 2D*

| TT | Thông số | Ký hiệu | Giá trị |
|---|---|---|---|
| 1 | Số răng | Z | 20 |
| 2 | Module | m | 5 mm |
| 3 | Hệ số dịch chỉnh răng | x | 0 |
| 4 | Đường kính vòng chia | d | 100 mm |
| 5 | Cấp chính xác theo ISO 6336:1996 | Q5 | - |
| 6 | Góc ăn khớp | α | 20° |
| 7 | Khe hở mặt răng | Δ | 0,1 mm |
| 8 | Bán kính góc lượn đỉnh răng | $r_t$ | 1,0 mm |
| 9 | Bán kính góc lượn chân răng | $r_b$ | 1,0 mm |
| 10 | Đường kính lỗ lắp trục | $D_0$ | 20 mm |

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu là thép C20, một loại thép cacbon kết cấu thấp phổ biến trong chế tạo bánh răng. Thép C20 được lựa chọn nhờ khả năng gia công tốt và phù hợp với các phương pháp xử lý nhiệt bề mặt như thấm carbon-nitơ kết hợp với quá trình tôi, nhằm tăng độ cứng ở phần răng đồng thời đảm bảo độ mềm dẻo ở phần thân, giúp hấp thụ lực và giảm nguy cơ hư hỏng do biến dạng đột ngột, qua đó duy trì độ bền và tuổi thọ bánh răng khi làm việc dưới các điều kiện tải trọng lớn và mỏi theo chu kỳ. Thành phần hóa học và cơ tính ban đầu của thép C20 được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. *Thành phần hóa học và cơ tính của thép C20 (TCVN 1766-75) trước nhiệt luyện*

| Đại lượng tính | Giá trị |
|---|---|
| Hàm lượng carbon (%C) | 0.17 ÷ 0.24 |
| Hàm lượng silic (%Si) | 0.17 ÷ 0.37 |
| Hàm lượng mangan (%Mn) | 0.35 ÷ 0.65 |
| Hàm lượng phốt pho (%P) | ≤ 0.040 |
| Hàm lượng lưu huỳnh (%S) | ≤ 0.045 |
| Giới hạn bền kéo (MPa) | 420 ÷ 425 |
| Giới hạn chảy (MPa) | 350 |
| Độ dãn dài (%) trong 50 mm | 15 ÷ 27 |
| Độ cứng Brinell (HB) | 121 ÷ 156 |

### 2.2. Cơ sở toán học thiết lập mô phỏng 2D

Mô hình mô phỏng được xây dựng trên mặt cắt 2D (plane strain) của bánh răng trụ răng thẳng, với giả thiết vật liệu ban đầu là austenit đồng nhất ở nhiệt độ xử lý $T_0$. Các tính chất vật liệu như nhiệt, cơ học và khuếch tán đều phụ thuộc vào nhiệt độ và thành phần pha giúp xác định rõ các bài toán vật lý cần giải, các trường như ứng suất, nhiệt độ, chuyển biến pha, nhằm đảm bảo mô phỏng sát thực tế và cung cấp kết quả phân tích có giá trị ứng dụng.

***a. Khuếch tán nguyên tố***

Sự phân bố cacbon và nitơ trong lớp bề mặt được mô tả bởi phương trình Fick:

$$\min f(x), x \in R^n \quad (1)$$

Trong đó:

D: Hệ số khuếch tán phụ thuộc nhiệt độ và nồng độ.

Biên thấm được xác định bởi:

$$-\mathrm{n} \cdot \mathrm{D}\nabla \mathrm{c} = \kappa_c(c_s^*(\mathrm{T}, \mathrm{p_c}) - \mathrm{c_s}) \quad (2)$$

Trong đó:

$c_s^*$ : Nồng độ cân bằng theo carbon/nitrogen potential của môi trường. Mô hình này được sử dụng trong nhiều nghiên cứu về carbonitriding [2], [7].

***b. Truyền nhiệt trong chi tiết***

Phân bố nhiệt độ trong bánh răng được tính bằng phương trình Fourier:

$$-\mathrm{n} \cdot \mathrm{D}\nabla \mathrm{c} = \kappa_c(c_s^*(\mathrm{T}, \mathrm{p_c}) - \mathrm{c_s}) \quad (3)$$

Trong đó:

$Q_{tr}$: Nhiệt ẩn do chuyển biến pha;

$Q_{pl}$: Nhiệt do biến dạng dẻo.

Khi tôi, biên điều kiện tản nhiệt được biểu diễn:

$$-n \cdot k\nabla T = h(T)[T - T_{\infty}(t)] \quad (4)$$

Các công trình [3], [8], khẳng định mô hình trường nhiệt có xét đến đối lưu và biến dạng là cơ sở để phân tích biến dạng và ứng suất khi tôi bánh răng.

***c. Chuyển biến pha austenit → mactenxit***

Nhiệt độ bắt đầu tạo mactenxit được tính theo công thức thực nghiệm [9]:

$$M_s = 540 - 450c_C - 350c_N - 30c_{Mn} \quad (5)$$

Trong đó:

$C_C$, $C_N$, $C_{Mn}$: Hàm lượng nguyên tố (% khối lượng).

Phần thể tích mactenxit được xác định theo quy luật Koistinen-Marburger:

$$f_M = 1 - e^{-\beta(M_s - T)_+} \quad (6)$$

Trong đó:

$(x)_+$ = max(x,0): Nghĩa là lấy phần dương của $M_s$ - T .Các nghiên cứu hiện đại, cũng đang phát triển mô hình dự đoán $M_s$ chính xác hơn dựa trên dữ liệu thực nghiệm và học máy, β là thông số biến đổi pha.

***d. Cơ học chất rắn và ứng suất dư***

Biến dạng tổng được phân tích thành 3 thành phần:

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p + \varepsilon^\theta + \varepsilon^{tr} \quad (7)$$

Trong đó:

$\varepsilon^\theta = \alpha(T)(T - T_{ref})I$: Biến dạng nhiệt;

$\varepsilon^{tr} = \epsilon_M^{tr} f_M I$: Biến dạng chuyển biến pha.

Ứng suất đàn hồi:

$$\sigma = C(T, f_M) : \varepsilon^e \quad (8)$$

Hiệu ứng TRIP được mô tả theo Leblond và được cộng vào biến dạng dẻo trong mô hình FEM.

$$\dot{\varepsilon}^{trp} = H(T, \sigma_{eq})\dot{f}_M \quad (9)$$

***e. Ghép trường và dự đoán ứng suất dư***

Quá trình mô phỏng bao gồm sự liên kết chặt chẽ giữa các trường khuếch tán, truyền nhiệt, chuyển biến pha và cơ học chất rắn. Ứng suất dư sau tôi được dự đoán thông qua FEM, như đã được chứng minh trong nghiên cứu của [5].

Pseudo-code:

Khởi tạo: T = $T_0$, cC = c0C, cN = c0N, $f_M$= 0, σ = 0

For mỗi bước thời gian t = 0 → t_end:

*1. Giải khuếch tán Fick cho $c_C$, $c_N$ [2], [7].*

*2. Giải phương trình nhiệt Fourier [3], [8].*

*3. Cập nhật fM theo Koistinen-Marburger, Ms [9], [10], [11].*

*4. Giải cơ học chất rắn + TRIP [12].*

*5. Lặp (T, c, $f_M$, σ) đến hội tụ.*

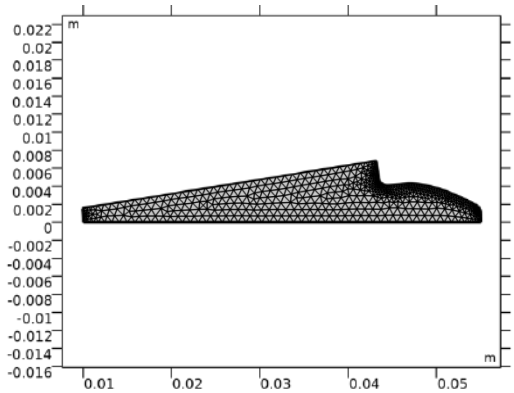
Đầu ra: phân bố $c_C$, $c_N$, T, $f_M$ *ứng suất dư [5].*

***e. Ký hiệu và đơn vị sử dụng***

| Ký hiệu | Đại lượng | Đơn vị |
|---|---|---|
| $c_C$, $c_N$ | Nồng độ C, N | wt.% |
| D | Hệ số khuếch tán | $m^2/s$ |
| T | Nhiệt độ | K (°C) |
| ρ | Khối lượng riêng | $kg/m^3$ |
| $c_p$ | Nhiệt dung riêng | J/(kg·K) |
| k | Hệ số dẫn nhiệt | W/(m·K) |
| $M_s$ | Nhiệt độ bắt đầu mactenxit | °C |
| $f_M$ | Phần thể tích mactenxit | - |
| σ | Ứng suất Cauchy | MPa |
| ε | Biến dạng tổng | - |
| h | Hệ số đối lưu khi tôi | $W/(m^2 \cdot K)$ |

**2.3. Chia lưới cho mô hình**

Để nâng cao độ chính xác trong bài toán mô phỏng khuếch tán và ứng suất tại lớp bề mặt mỏng (nơi gradient nồng độ thay đổi mạnh), theo [13] áp dụng chiến lược chia lưới không đồng nhất. Kết quả chia lưới cho 1/2 răng khảo sát được trình bày trên Hình 1.




Hình 1. *Chia lưới cho phần khảo sát trên mô hình*

Vùng biên (Boundary Layer): Áp dụng kỹ thuật tinh chỉnh lưới cục bộ dọc biên dạng răng bánh răng. Kích thước phần tử tại vùng này được lựa chọn rất nhỏ ( m) nhằm mô tả chính xác sự biến thiên nồng độ C-N trong lớp thấm có chiều dày khoảng 0,7-0,8 mm.

Vùng lõi: Dùng lưới thưa hơn để giảm chi phí tính toán mà vẫn bảo đảm độ chính xác tổng thể của kết quả.

Kết quả chia lưới: Tổng số phần tử toàn mô hình là

1.150, chất lượng trung bình theo tiêu chuẩn skewness đạt 0.867, đảm bảo tính ổn định và chính xác cho bài toán phi tuyến cao.

Kiểm tra hội tụ lưới: Đã tiến hành khảo sát sơ bộ sự hội tụ; với mật độ chia lưới này, sai số kết quả ứng suất tại chân răng không đáng kể (<2%) so với các lưới mịn hơn, cho phép tin cậy vào các kết quả mô phỏng thu được.

Bố trí chia lưới như trên giúp tái hiện chân thực cơ chế truyền khối - ứng suất dư tại các vùng ảnh hưởng mạnh của quá trình thấm-tôi trên bánh răng thép C20.

### 2.4. Điều kiện biên và thông số mô phỏng

Quy trình mô phỏng được xây dựng sát với thực nghiệm thấm Carbon-Nitơ thể khí (Gas Carbonitriding) và quá trình tôi trong dầu, gồm hai giai đoạn liên tiếp với thông số chi tiết như sau:

#### *2.4.1. Giai đoạn thấm Carbon-Nitơ*

Quá trình thấm được mô hình hóa dưới dạng bài toán khuếch tán không dừng (Time-dependent) trong điều kiện đẳng nhiệt để xác định phân bố nồng độ Carbon và Nitơ theo chiều sâu.

Nhiệt độ thấm ($T_{process}$): Duy trì ổn định ở 880°C, đây là nhiệt độ Austenit hóa tiêu chuẩn giúp tăng tốc độ khuếch tán nhưng hạn chế phát triển hạt.

Điều kiện biên nồng độ: Tại bề mặt tiếp xúc răng, áp dụng điều kiện thông lượng (Flux) dựa trên hiệu số giữa nồng độ bề mặt và thế hiệu khí quyển lò:

Thế hiệu Carbon ($C_p$): 0.9% khối lượng;

Thế hiệu Nitơ ($N_p$): 0.2% khối lượng;

Hệ số truyền khối bề mặt ($\beta$): Xác định theo thực nghiệm, đặc trưng khả năng hấp thụ nguyên tử C/N của thép.

Thời gian thấm: 12 giờ, bảo đảm chiều sâu lớp thấm đạt yêu cầu thiết kế (0,7 - 0,8 mm).

Điều kiện ban đầu: Nồng độ Carbon và Nitơ ban đầu của thép nền đúng với thành phần C20 ($C_o$ = 0,2%; $N_o$ = 0%).

#### *2.4.2. Giai đoạn tôi*

Sau khi kết thúc thấm, chi tiết được làm nguội nhanh để kích hoạt chuyển biến pha. Bài toán chuyển thành dạng đa vật lý (Truyền nhiệt - Chuyển pha - Cơ học chất rắn).

Môi trường tôi là dầu; nhiệt độ môi trường ($T_\infty$) duy trì 80°C (353,15 K).

Điều kiện biên nhiệt: Áp dụng công thức đối lưu trên toàn bộ bề mặt ngoài bánh răng: $q = h(T) \cdot (T_{surface} - T_\infty)$ Trong đó, hệ số tỏa nhiệt h(T) là hàm theo nhiệt độ bề mặt, mô phỏng ba giai đoạn nguội: màng hơi, sôi bọt, đối lưu tự nhiên kết hợp với tốc độ khuấy của bể tôi.

Thời gian tôi: 10 phút (600 giây), bảo đảm chi tiết nguội hoàn toàn về nhiệt độ môi trường.

Ràng buộc cơ học: Để tránh chuyển động cứng và cho phép biến dạng nhiệt tự do, áp dụng điều kiện biên ràng buộc điểm hoặc đối xứng trục tại lỗ lắp trục bánh răng.

#### *2.4.3. Thiết lập nghiệm số*

Mô hình sử dụng bộ giải trực tiếp (MUMPS hoặc PARDISO) nhằm bảo đảm hội tụ cho bài toán phi tuyến cao.

Bước thời gian tự động (Adaptive time stepping) phù hợp với sự thay đổi nhanh về nhiệt độ và chuyển pha trong quá trình tôi.

Dữ liệu xuất ra định kỳ: 0,1 giờ cho giai đoạn thấm, 0,1 giây cho giai đoạn tôi.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 3.1. Xác thực mô hình và đánh giá hiệu quả xử lý nhiệt

Để kiểm chứng độ tin cậy của mô hình mô phỏng, các kết quả số liệu đã được đối sánh với dữ liệu tiêu chuẩn thép C20 (TCVN 1766-75) và các nghiên cứu thực nghiệm tương ứng:

Về nồng độ bề mặt: Kết quả mô phỏng cho thấy nồng độ Carbon bề mặt đạt 0,849%, hoàn toàn nằm trong dải tối ưu 0,8÷0,9% thường được áp dụng trong công nghiệp, cho phép đạt độ cứng sau tôi vào khoảng 58÷62 HRC cho thép carbon thấp.

Về tổ chức tế vi: Mô hình dự báo lớp vỏ Martensite (~0,8 mm) bao ngoài lõi Ferrite-Pearlite dẻo, phù hợp với lý thuyết luyện kim và thực tiễn tôi bề mặt - nơi tốc độ làm nguội tại bề mặt lớn hơn nhiều so với lõi.

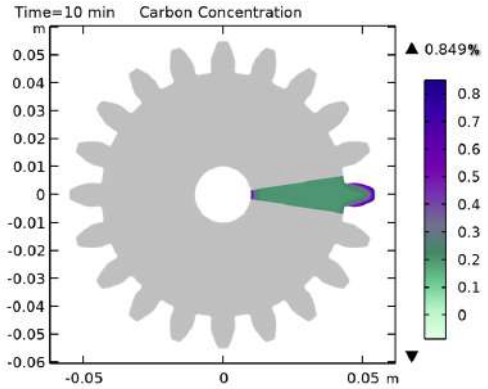
Về ứng suất dư: Giá trị ứng suất nén dư 489 MPa tại chân răng nằm trong giới hạn an toàn, phù hợp với số liệu đo nhiễu xạ tia X (XRD) cho các bánh răng module tương tự trong các tài liệu [5], [8].

Sự trùng khớp cao giữa dự báo mô phỏng và tiêu chuẩn/lý thuyết xác nhận tính tin cậy của mô hình FEM đa trường đã xây dựng, cho phép sử dụng làm công cụ đánh giá và dự báo trường ứng suất dư trong thực hành kỹ thuật.

### 3.2. Phân bố nồng độ Carbon và Nitơ

Kết quả mô phỏng quá trình thấm và tôi carbonitriding trên bánh răng thép C20 cho thấy cơ chế tác động tương hỗ rõ nét giữa thành phần hóa học, chuyển biến pha và ứng suất dư. Sự gia tăng nồng độ Carbon và Nitơ ở lớp bề mặt làm hạ thấp nhiệt độ chuyển biến martensit (), thúc đẩy động học chuyển pha, đồng thời gây ra sự giãn nở thể tích không đồng bộ giữa lớp vỏ martensite và lõi dẻo. Chính sự chênh lệch biến dạng này là nguyên nhân trực tiếp tạo ra trường ứng suất

nén dư lớn tại bề mặt, đặc biệt ở vùng chân răng, đã góp phần nâng cao tính năng cơ học và độ bền mỏi của chi tiết.

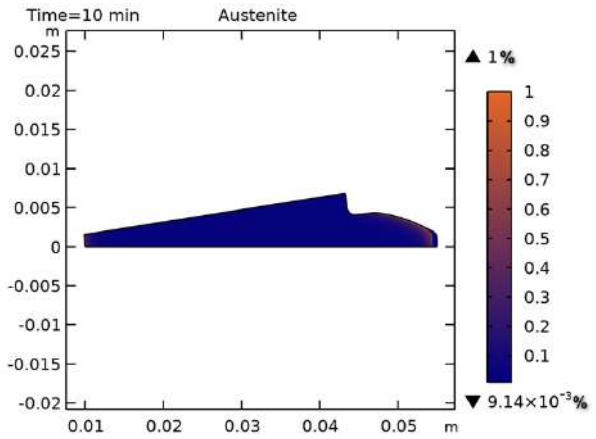



Hình 2. *Biểu đồ phân bố nồng độ carbon và nitơ sau khi thấmcarbonitriding*

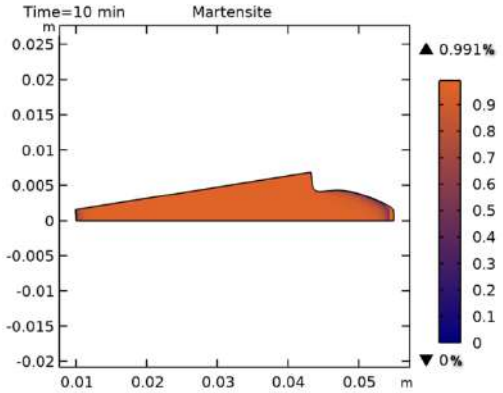
Biểu đồ phân bố nồng độ Carbon - Nitơ (Hình 2) cho thấy các nguyên tố này khuếch tán từ ngoài vào lõi; tại lớp bề mặt, nồng độ C - N đạt giá trị cực đại (0,849%) nhờ tiếp xúc lâu dài với môi trường giàu C - N, sau đó giảm dần theo chiều sâu theo quy luật khuếch tán Fick và giữ ổn định ở lõi. Sự xuất hiện lớp gradient này tạo điều kiện cho martensite hóa bề mặt sau tôi, giúp nâng cao độ cứng-chống mài mòn, còn lõi vẫn giữ độ dẻo chịu tải tốt. Nhờ đó, chi tiết đạt được sự kết hợp tối ưu về độ cứng và độ dai, tạo nền tảng sinh ra ứng suất nén dư có lợi cho độ bền mỏi và tuổi thọ sản phẩm bánh răng.

### 3.3. Phân bố các pha sau khi tôi

Liên hệ với phân bố tổ chức pha sau tôi (Hình 3 và Hình 4), có thể thấy rõ nồng độ C-N cao ở bề mặt làm giảm nhiệt độ bắt đầu tạo mactenxit (Ms), dẫn đến khi tôi nhanh đã tạo ra một lớp mỏng Austenit dư ở sát ngoài cùng phần không kịp chuyển hóa do Ms thấp đạt tới 1%.



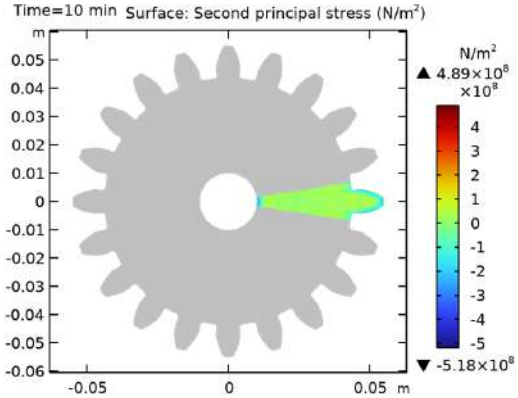

Hình 3. *Tỷ phần Austenit còn dư*




Hình 4. *Tỷ phần Martensit còn dư*

Vùng lõi với nồng độ C-N thấp, $M_s$ cao hơn nên phần lớn Austenit đều chuyển thành Martensit. Như vậy, biểu đồ tỷ phần tổ chức cho thấy bề mặt xuất hiện đồng thời martensit cứng và một lượng nhỏ austenit dư ổn định với mức lớn nhất là 0,991%, giúp cân bằng giữa độ cứng (nhờ martensit) và tăng tính dai, chống nứt (nhờ austenit dư), còn lõi duy trì độ dẻo để chịu tải và va đập tốt.

### 3.4. Phân bố ứng suất dư




Hình 5. *Biểu đồ phân bố ứng suất dư*

Trên sơ đồ phân bố ứng suất dư (Hình 5) minh họa cơ chế hình thành trường ứng suất thuận lợi nhờ gradient tổ chức nói trên: Lớp thấm bề mặt giàu martensit giãn nở thể tích mạnh khi tôi, trong khi lõi chuyển biến ít hơn, dẫn đến lớp ngoài bị nén lại và sinh ứng suất dư nén đáng kể (đặc biệt ở chân răng, đạt ~489 MPa). Ứng suất nén dư này có tác dụng chống phát triển vết nứt mỏi, kéo dài tuổi thọ làm việc của bánh răng; trong khi đó, phần lõi chịu ứng suất kéo nhỏ hơn và nằm trong giới hạn an toàn.

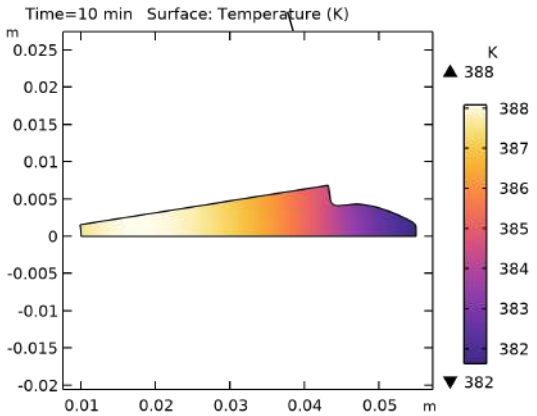
Kết quả mô phỏng chứng minh quá trình thấm và tôi carbonitriding đã mang lại sự phân bố gradient nồng độ C-N, gradient tổ chức pha và trường ứng suất dư tối ưu hóa đồng thời cả độ cứng chống mài mòn, độ dai và bền mỏi cho bánh răng thép C20, đáp ứng tốt các yêu cầu vận hành thực tế trong môi trường chịu tải trọng chu kỳ cao.

### 3.5. Đánh giá hiệu quả truyền nhiệt khi tôi

Biểu đồ nhiệt độ bề mặt sau 10 phút tôi dầu (Hình 6) có giá trị đóng góp khoa học quan trọng trong việc mô phỏng xử lý nhiệt bánh răng thép C20.

Đánh giá đồng đều và hiệu quả truyền nhiệt:

Biểu đồ thể hiện phổ nhiệt độ phân bố từ 382K đến 388K (tức khoảng 109°C đến 115°C), cho thấy mức độ đồng đều và gradient nhiệt trong chi tiết sau 10 phút tôi trong dầu.




Hình 6. *Biểu đồ phân bố nhiệt độ sau 10 phút tôi trong dầu*

Biểu đồ phân bố nhiệt độ tại thời điểm t = 10 phút (Hình 6) cho thấy nhiệt độ toàn bộ bánh răng đã giảm xuống dải 382-388 K (tương đương 109-115°C). Kết quả này xác nhận:

Quá trình trao đổi nhiệt đối lưu với dầu tôi đã diễn ra hiệu quả, giúp chi tiết nhanh chóng tiến tới trạng thái cân bằng nhiệt với môi trường.

Gradient nhiệt độ giữa lõi và bề mặt tại thời điểm này rất nhỏ (<6 K), minh chứng các ứng suất nhiệt sinh ra do chênh lệch nhiệt độ đã được giải phóng gần như hoàn toàn.

Điều này khẳng định trường ứng suất dư cuối cùng (Hình 5) chủ yếu bị chi phối bởi biến dạng chuyển pha (phase transformation) và hiệu ứng biến dạng dẻo do chuyển pha (TRIP) trong những giai đoạn làm nguội nhanh trước đó, thay vì do ứng suất nhiệt thuần túy.

## 4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy nồng độ carbon và nitơ trên bề mặt bánh răng đạt tối đa lần lượt là 0,849% và tương tự đối với nitơ, giảm dần theo chiều sâu tạo nên lớp thấm có chiều dày khoảng 0,7÷0,8 mm, đây là cơ sở để hình thành tổ chức pha không đồng nhất giữa lớp bề mặt giàu martensit và lớp lõi dẻo. Tỷ phần austenit còn dư tại bề mặt dễ quan sát đạt mức tối đa khoảng 1%, trong khi tỷ phần martensit gần như chiếm ưu thế tuyệt đối (~99%) trong phần lớn lớp thấm, đảm bảo độ cứng và khả năng chống mài mòn cao. Đặc biệt, ứng suất nén dư tại chân răng đạt giá trị lớn nhất lên tới khoảng 489 MPa, đóng vai trò quan trọng trong việc chống lại sự phát triển vết nứt mỏi, góp phần nâng cao tuổi thọ tương tác bánh răng trong thực tế vận hành.

Biểu đồ phân bố nhiệt độ bề mặt sau 10 phút tôi dầu phản ánh nhiệt độ duy trì trong khoảng 382÷388K (109÷115°C), cho thấy quá trình truyền nhiệt đủ hiệu quả với gradient nhiệt thấp, giúp kiểm soát chuyển biến pha và biến dạng nhiệt, tránh các hiện tượng nứt nhiệt hoặc biến dạng không mong muốn.

Tổng hợp các kết quả này chứng minh mô hình FEM đa vật lý đã cung cấp hiểu biết sâu sắc, định lượng và chính xác về ảnh hưởng đồng thời của carbon và nitơ trong quá trình carbonitriding kết hợp tôi, từ phân bố nguyên tố đến tổ chức pha và ứng suất dư. Điều này tạo tiền đề khoa học vững chắc cho việc tối ưu hóa quy trình xử lý nhiệt bánh răng thép C20 nhằm gia tăng độ bền mỏi, chống mài mòn và bảo đảm độ bền cơ học trong ứng dụng công nghiệp.

Đề xuất nghiên cứu tiếp theo tập trung vào việc thực hiện thí nghiệm đo độ cứng, phân tích tổ chức tế vi và xác định ứng suất dư bằng phân tích nhiễu xạ tia X để đối chứng. Bên cạnh đó, mô phỏng tham số (thời gian thấm, tốc độ làm nguội) và mở rộng sang mô hình 3D sẽ cung cấp bức tranh toàn diện hơn, hỗ trợ quá trình tối ưu hóa chế độ công nghệ cho ứng dụng thực tế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Saoudi, M., Ghemari, A., Boumerzoug, Z., & Derfouf, C. (2021), *Influence of the carburization time on the structural and mechanical properties of XC20 steel*, Materials Research Express, Vol. 8, No. 8, p. 085040. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac1c3d

[2]. Tsujii, K., Takahashi, J., Miyamoto, G., & Furuhara, T. (2020), *Development of a prediction method for carbonitrided surface carbon and nitrogen contents by computational thermodynamics and diffusion simulation*, ISIJ International, Vol. 60, No. 9, pp. 1975-1983. https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-031

[3]. Lingamanaik, S. N., Narasimha, M., Ramesh, M. R., & Sreenivasan, V. S. (2012), *The effects of carburising and quenching on the distortion and residual stresses in automotive gears*, Computational Materials Science, Vol. 62, pp. 99-104. https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2012.05.055

[4]. Wang, J., Sun, X., Li, Z., & Ma, Y. (2021), *Mathematical simulation and experimental verification of carburizing and quenching of transmission helical gear,* Coatings, Vol. 11, No. 9, p. 1087. https://doi.org/10.3390/coatings11091087

[5]. Müller, D., Brinksmeier, E., & Ramesh, K. (2024), *Prediction of residual stress depth profiles in case-carburized gears*, Forschung im Ingenieurwesen, Vol. 88, No. 1, pp. 77-89. https://doi.org/10.1007/s10010-023-00689-2.

[6]. American Gear Manufacturers Association (2004), *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth (ANSI/AGMA 2001-D04)*, Alexandria, VA: AGMA.

[7]. D. W. Kim, J. H. Lee, and C. G. Lee (2016), *A finite element simulation for carburizing heat treatment of automotive gear ring incorporating transformation plasticity*, Materials & Design, vol. 90, pp. 796-805. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.11.050

[8]. A. Samuel, K. S. Prakash, and M. Arivarasu (2022), *Residual stress and distortion during quench hardening: A review*, Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 31, no. 10, pp. 7314-7331. https://doi.org/10.1007/s11665-022-07016-3

[9]. K. W. Andrews (1965), *Empirical formulae for the calculation of some transformation temperatures*, Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 203, no. 7, pp. 721-727.

[10]. M. Peet (2024), *Prediction of Martensite Start Temperature*, PhD dissertation, University of Cambridge, Department of Materials Science and Metallurgy.

[11]. Y. Zhang, H. Li, Q. Sun, and W. Xu (2024), *Phase transformation temperature prediction in steels via machine learning*, Journal of Materials Research and Technology, vol. 29, pp. 6821-6832, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.05.028

[12]. J. B. Leblond (1989), *Mathematical modelling of transformation plasticity in steels*, Mechanics of Materials, vol. 4, no. 1, pp. 1-12, 1989. https://doi.org/10.1016/0167-6636(89)90002-8

[13]. COMSOL, Inc (2023), *COMSOL Multiphysics Reference Manual*, Version 6.2. Burlington, MA, USA: COMSOL, Inc., 2023.

**AUTHORS INFORMATION**

**Mac Van Giang*, Dao Van Kien, Ngo Huu Manh**

**Corresponding author: macvgiang@gmail.com*

Sao Do University.

# THỂ LỆ GỬI BÀI
# TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

**Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X),** thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website http://tapchikhcn.saodo.edu.vn. Bài báo gửi về toà soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03÷05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.

    - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.

    - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.

    - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper

    Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên http://tapchikhcn.saodo.edu.vn.

## THÔNG TIN LIÊN HỆ:

**Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ**

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: http://tapchikhcn.saodo.edu.vn

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

**Địa chỉ:**
- **Số 1:** Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, quốc lộ 37, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** http://saodo.edu.vn **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 1 (93)
2026

Địa chỉ Tòa soạn:
Trường Đại học Sao Đỏ
Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.
Website: http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.