

HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM
HỘI CƠ HỌC VẬT RẮN

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

TUYỂN TẬP CÔNG TRÌNH
HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
CƠ HỌC VẬT RẮN
LẦN THỨ XV

Thái Nguyên, ngày 24, 25 tháng 9 năm 2021



TUYỂN TẬP CÔNG TRÌNH
HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC CƠ HỌC VẬT RẮN LẦN THỨ XV

Thái Nguyên, ngày 24, 25 tháng 9 năm 2021



Sách không bán


NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM
HỘI CƠ HỌC VẬT RẮN

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

TUYỂN TẬP CÔNG TRÌNH

Hội nghị Khoa học toàn quốc

Cơ học Vật rắn lần thứ XV

TP. Thái Nguyên, ngày 24 - 25 tháng 9 năm 2021

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
NĂM 2021**

Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn lần thứ XV

TP Thái Nguyên, 24-25/9/2021

© 2021 Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên.

Không phần nào trong xuất bản phẩm này được phép sao chép hay phát hành dưới bất kỳ hình thức hoặc phương tiện nào mà không có sự cho phép trước bằng văn bản của cơ quan chủ quản.

Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên

Địa chỉ : Phường Tân Thịnh – Thành phố Thái Nguyên – Tỉnh Thái Nguyên

Điện thoại liên hệ: (0280) 3.840023 - (0280) 3.601004

Email: nxb.dhtn@gmail.com

Website: <http://nxb.tnu.edu.vn>

Ban Biên tập

Đồng trưởng ban: Đào Huy Bích, Trần Ích Thịnh

Nguyễn Đông Anh, Nguyễn Đăng Bích, Phạm Đức Chính, Nguyễn Thái Chung, Nguyễn Tiến Chương, Nguyễn Mạnh Cường, Nguyễn Văn Đạt, Phạm Tiến Đạt, Nguyễn Đình Đức, Nguyễn Trung Hiếu, Lê Khả Hòa, Đặng Xuân Hùng, Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Tiến Khiêm, Ngô Như Khoa, Nguyễn Đình Kiên, Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Việt Khoa, Bùi Hải Lê, Trần Văn Liên, Đào Như Mai, Dương Phạm Tường Minh, Nguyễn Trang Minh, Vũ Hoài Nam, Nguyễn Thị Thanh Nga, Vũ Ngọc Pi, Trần Hữu Quốc, Lê Minh Quý, Nguyễn Hồng Thái, Trương Tích Thiện, Đỗ Văn Trường, Trần Thanh Tuấn, Trần Minh Tú, Hoàng Văn Tùng, Trần Bảo Việt, Phạm Chí Vĩnh

MÃ SỐ: $\frac{02 - 153}{\text{ĐHTN} - 2021}$

LỜI KHAI MẠC

Kính thưa: Các Quý vị đại biểu, Thưa các đồng nghiệp,

Kính thưa toàn thể Hội nghị,

Hôm nay, chúng tôi rất vinh dự được chào đón các Quý vị đại biểu, các Nhà khoa học, các đồng nghiệp từ các trường Đại học, Cao đẳng, các Viện nghiên cứu, các Bộ, Ngành, Trung tâm, các Công ty trong cả nước về tham dự Hội nghị Cơ học Vật rắn lần thứ XV dưới hình thức trực tuyến (nếu không vì dịch bệnh Covid-19, Hội nghị đã được tổ chức trực tiếp tại trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên vào đầu tháng 8 vừa qua).

Đây là Hội nghị khoa học thường kỳ của Hội Cơ học Vật rắn, được tổ chức hai năm một lần nhằm tạo điều kiện cho các cán bộ giảng dạy và nghiên cứu khoa học, cán bộ quản lý và sản xuất trong cả nước báo cáo và trao đổi các kết quả nghiên cứu khoa học mới, đồng thời định ra những hướng nghiên cứu, ứng dụng thiết thực trong thời gian tới.

Thay mặt BCH Hội Cơ học Vật rắn, tôi xin trân trọng tuyên bố khai mạc Hội nghị khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn lần thứ XV.

Kính thưa Hội nghị,

Đến dự Hội nghị hôm nay, chúng ta vui mừng được đón tiếp gần **200** cán bộ cơ học chuyên ngành Cơ học Vật rắn trong cả nước với **116** công trình khoa học sẽ được báo cáo. Các công trình khoa học tại Hội nghị thuộc cả hai lĩnh vực nghiên cứu cơ bản và nghiên cứu ứng dụng của Cơ học Vật rắn trong kỹ thuật đều có tính thời sự, đi vào các lĩnh vực mới của chuyên ngành Cơ học Vật rắn mà giới khoa học quốc tế và trong nước đang quan tâm.

Các báo cáo khoa học đã qua một quy trình phân biện nghiêm túc (hai hoặc ba phân biện độc lập cho 1 báo cáo) và đã được xuất bản trong Tuyển tập các công trình khoa học của Hội nghị, Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên, với ISBN theo quy định quốc tế (đây là điểm mới đáng ghi nhận của Hội nghị lần này) và các báo cáo sẽ được trình bày tại 7 phân ban trong ngày hôm nay theo chương trình chi tiết mà các Quý vị đã có trong tay từ hơn 2 tuần qua.

Thay mặt Ban tổ chức Hội nghị, chúng tôi xin cảm ơn các Quý vị đại biểu, cảm ơn các báo cáo viên đã gửi bài đúng hạn, chất lượng và đến báo cáo tại Hội nghị trong ngày hôm nay. Đặc biệt, chúng tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến Đảng Ủy, Ban Giám Hiệu, các Phòng, Ban, Khoa và cán bộ của trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên đã rất nhiệt tình và giành nhiều thời gian, công sức đồng tổ chức Hội nghị này.

Xin cảm ơn các tập thể và cá nhân trong các Ban của Hội nghị: Ban Khoa học (Đồng trưởng ban là GS. Đào Huy Bích, PGS. Ngô Như Khoa và các thành viên), Ban Tổ chức (Đồng trưởng ban là GS. Trần Ích Thịnh, PGS. Nguyễn Duy Cương và các thành viên; đặc biệt là Ban tổ chức tại trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên) và Ban Thư ký (PGS. Đào Như Mai, TS. Nguyễn Thị Thanh Nga, ThS. Nguyễn Thị Bích Ngọc) đã làm việc không mệt mỏi với tinh thần trách nhiệm cao trong nhiều tháng qua cho các công việc của Hội nghị khoa học Cơ học Vật rắn lần thứ XV này.

Cuối cùng, xin chúc sức khoẻ tất cả các Quý vị đại biểu cùng toàn thể các Hội nghị viên và hy vọng rằng Hội nghị khoa học Cơ học Vật rắn lần thứ XV sẽ mang lại cho chúng ta nhiều ấn tượng tốt đẹp và nhiều kết quả bổ ích.

Xin trân trọng cảm ơn.

Ngày 24 tháng 9 năm 2021

TM BCH HỘI CƠ HỌC VẬT RẮN

Chủ tịch

GS.TS Trần Ích Thịnh

MỤC LỤC

	<i>Số trang</i>
Lời khai mạc	iii
Mục lục	iv
GS. TSKH. Đào Huy Bích Về hoạt động khoa học và xây dựng đội ngũ cán bộ ngành Cơ học Vật rắn giữa hai kỳ hội nghị 2018 – 2021	1
Đỗ Phương Anh, Vũ Thị Ngọc Ánh và Phạm Chí Vĩnh Sự phản xạ của sóng SV đối với biên phân chia liên kết trượt	8
Lê Xuân Bách, Vương Văn Thanh, Nguyễn Duy Văn, Giáp Văn Lợi, Đỗ Văn Trường và Nguyễn Tuấn Hưng Ảnh hưởng của biến dạng đến tính chất cơ học và điện tử của vật liệu đơn lớp GeTe cấu trúc β	17
Vũ Trọng Bách và Nhã Tường Linh Xác định chế độ chèn, xoắn hợp lý đối với phiê Titan VT1-0 bằng phương pháp thực nghiệm	25
Kim Bang Tran, Quang Sang Nguyen and Thien Tich Truong Numerical modeling of creep concrete beam and slab with Boltzmann superposition principle	33
Nguyễn Đăng Bích và Nguyễn Hoàng Tùng Phân tích đáp ứng động lực phi tuyến của vỏ cầu trồng độ dày thay đổi, chịu tải cơ - nhiệt - thủy động	42
Bùi Văn Bình và Trần Ích Thịnh Dao động tự do của tấm vát có gân gia cường làm bằng vật liệu composite	52
Bùi Văn Bình và Trần Ích Thịnh Phân tích dao động của tấm vát-gấp nếp làm bằng vật liệu composite	61
Chu Thanh Bình, Trần Hữu Quốc và Hoàng Thu Phương Dao động tự do của tấm quay bằng vật liệu có cơ tính biến thiên chứa lỗ rỗng và graphene	71
Le Pham Binh, Doan Trac Luat, Tran Trung Thanh, Pham Quoc Hoa and Pham Tien Dat Forced vibration of FGP nanoplates resting on elastic foundation using finite element formulation	81

Le Pham Binh, Le Minh Thai, Pham Tien Dat and Tran Trung Thanh Static behavior of FGP half-annular nanoplates resting on elastic foundation using nonlocal elasticity theory	91
Nguyễn Văn Chinh, Phùng Văn Minh, Lê Trường Sơn và Tạ Đức Tâm Phân tích tĩnh tấm 2D-FGSW trên nền đàn hồi bằng phương pháp phần tử hữu hạn, sử dụng lý thuyết biến dạng trượt bậc cao Quasi3D	100
Nguyen Van Chinh, Tran Huu Quoc and Nguyen Dinh Kien Nonlinear static analysis of bi-directional functionally graded sandwich plates using a higher-order finite element formulation	110
Phạm Đức Chính và Vương Thị Mỹ Hạnh Xây dựng biên cho các mô đun đàn hồi dọc vĩ mô của vật liệu tổ hợp đồng phương đẳng hướng ngang	120
Nguyen Thai Chung, Duong Thi Ngoc Thu, Le Hai Chau and Le Xuan Thuy Dynamic Analysis of Stiffened Functionally Graded Composite Plates Reinforced by Carbon Nanotubes under Blast Loading	130
Vũ Văn Du, Nguyễn Văn Hiền, Phạm Văn Thu, Nguyễn Văn Đạt, Nguyễn Công Luật và Trần Ích Thịnh. Nghiên cứu thực nghiệm xác định khả năng chịu lực của kết cấu composite sandwich trong đóng tàu	141
Trương Thị Thùy Dung, Phạm Thúy Nga, Lê Đức Thọ, Nguyễn Văn Vĩnh và Trần Thanh Tuấn Tỷ số H/V của sóng Rayleigh trong bán không gian đàn nhiệt đẳng hướng	152
Trương Thị Thùy Dung, Trần Ngọc Trung, Nguyễn Thị Thu, Phạm Thúy Nga và Trần Thanh Tuấn Tỷ số H/V của sóng Rayleigh-Lamb trong lớp có ứng suất trước không nén được và bài toán ngược	161
Luong Viet Dung, Ngo Nhu Khoa, Nguyen Thi Hoa, Nguyen Thi Bich Ngoc and Duong Pham Tuong Minh The analysis of ultrasonic transducers using the finite element method	169

Luong Viet Dung, Ngo Nhu Khoa, Nguyen Thi Bich Ngoc, Duong Pham Tuong Minh, Nguyen Thi Hoa, Nguyen Quang Hung and Sy Nguyen-Van	
Measuring the vibration amplitude of the ultrasonic transducer	176
Luong Viet Dung, Dao Lien Tien and Duong Pham Tuong Minh	
Finite element analysis for the composite sandwich plate using the homogenization method	185
Nguyễn Anh Dũng	
Ảnh hưởng của việc xác định tham số mô hình thiết kế lên dự đoán phản ứng động của nhà cao tầng khi chịu động đất	192
Hoàng Ngọc Duy, Nguyễn Minh Sơn, Nguyễn Văn Hội, Nguyễn Hoàng Linh, Vương Văn Thanh, Nguyễn Tuấn Hưng và Đỗ Văn Trường	
Khả năng hấp thụ năng lượng cơ học của cấu trúc các bon ba chiều	201
Trần Thùy Dương và Phạm Hoàng Anh	
Tối ưu tần số dao động riêng tấm composite lớp gia cường ống nano carbon (CNT) theo phương pháp PTHH kết hợp với thuật toán tiến hóa vi phân cải tiến	210
Nguyễn Văn Đạt, Huỳnh Tấn Đạt, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Văn Hiền, Nguyễn Công Chánh và Đinh Đức Tiến	
Nghiên cứu ứng dụng động cơ ô tô điện cho tàu thủy vỏ composite có tích hợp điện mặt trời (E-Boat)	220
Cao Van Doan and Dao Nhu Mai	
Nonlinear buckling analysis of oblique stiffened FG-GPLRC doubly curved shallow shells in the thermal environment	230
Dang Thuy Dong, Le Ngoc Ly, Vu Hoai Nam, Vu Minh Duc, Nguyen Van Tien and Tran Quang Minh	
Nonlinear dynamic buckling of stiffened FG-CNTRC cylindrical shells under axial compression	240
Dang Thuy Dong, Nguyen Thi Phuong, Nguyen Thi Thanh Xuan, Nguyen Thi Giang, Nguyen Van Tien and Tran Quang Minh	
Nonlinear vibration of FG-CNTRC doubly curved shallow shells stiffened by FG-CNTRC stiffeners	250

Vũ Lâm Đông, Phạm Đức Chính và Lê Hoài Châu

Mô phỏng số mô đun đàn hồi trượt vật liệu đa tinh thể hỗn độn Voronoi 2D từ các đơn tinh thể đối xứng square 260

Nguyen Dinh Duc và Pham Dinh Nguyen

Tối ưu vị trí gân trong phân tích ổn định của tấm composite nhiều lớp 269

Phạm Lê Trung Đức và Trương Tích Thiện

Mô phỏng động lực học thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng biển 279

Nguyễn Thị Hương Giang và Trần Bảo Việt

Phương pháp số xác định hệ số dẫn nhiệt của vật liệu Composite với cốt là vi cầu thủy tinh rỗng trên nền epoxy 286

Phạm Thị Hà Giang và Phạm Chí Vĩnh

Công thức độ chậm của sóng SH đàn điện truyền trong mặt phân cách của hai bán không gian đàn hồi áp điện 294

Lê Thị Hà

Dao động tự do của dầm xốp có cơ tính biến thiên hai chiều với các điều kiện biên khác nhau 303

Hoàng Việt Hải, Đỗ Anh Tú và Trần Quang Minh

Thực nghiệm ứng xử đốt dầm lắp ghép bê tông cường độ siêu cao (UHPC) lắp ghép dưới tác dụng tải trọng thẳng đứng 312

Nguyễn Đình Hải, Trần Anh Tuấn, Nguyễn Tiến Dũng, Vũ Bá Thành và Phạm Đức Thọ

Xác định ứng xử nhiệt của vật liệu xếp lớp trong trường hợp miền phân giới là không hoàn hảo tổng quát bằng cách giải bài toán đồng nhất hoá nhiệt cục bộ 322

Vũ Quang Hải, Trương Thị Thùy Dung, Nguyễn Thị Nga và Trần Thanh Tuấn

Hàm phản ứng của sóng SH trong lớp có biến dạng trước 330

Vương Thị Mỹ Hạnh

Mô phỏng số các mô đun đàn hồi vĩ mô của đa tinh thể hướng hỗn độn monoclinic 2D trên nền hình học lục giác 339

Đinh Văn Hiến và Trần Ngọc Thanh

Biên dạng đáy vỏ trụ composite dị hướng nhận được bằng phương pháp quán trắc địa 349

Nguyễn Văn Hiến, Vũ Văn Du, Huỳnh Tấn Đạt, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Công Chánh, Đinh Đức Tiến và Nguyễn Văn Đạt

Xác định sức cản tàu cao tốc bằng phương pháp CFD 358

Dang Van Hieu and Nguyen Thi Hoa

Nonlinear vibration of functionally graded porous micro-beams resting on elastic foundation 367

Nguyễn Trung Hiếu và Nguyễn Mạnh Hùng

Xác định ứng suất kéo trong kết cấu dầm bê tông cốt thép do biến dạng co ngót của bê tông gây ra 376

Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Tuấn Ninh, Trịnh Hoài Linh, Đỗ Văn Hải và Khúc Văn Tài

Nghiên cứu sự làm việc chịu uốn của dầm bê tông cốt hỗn hợp thép- polymer cốt sợi thủy tinh bị hư hỏng do ăn mòn cốt thép 384

Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Văn Quang, Nguyễn Mạnh Hùng, Lê Phước Lành và Dương Đình Đức

Khảo sát sự làm việc của cột bê tông cốt thép bị hư hỏng do ăn mòn cốt thép dưới tác dụng của tải trọng nén lệch tâm 393

Bui Thi Thu Hoai, Nguyen Dinh Kien and Tran Thi Thu Huong

Large deflections of cantilever FG-CNTRC sandwich beams 402

Phạm Văn Hoàn, Đào Như Mai và Lê Khả Hòa

Phân tích ảnh hưởng mô hình phân bố độ xấp đến sự ổn định của panel trụ làm bằng vật liệu FGP 412

Dương Thành Huân, Trần Minh Tú, Trần Hữu Quốc và Vũ Văn Thắm

Dao động tự do của tấm sandwich có lớp lõi bằng vật liệu auxetic và lớp bề mặt composite gia cường CNT 422

Lê Thị Huệ, Ngô Văn Trung, Lê Thị Hà và Phạm Chí Vĩnh

Ma trận chuyển và hàm Green của bán không gian đàn hồi chịu tác dụng của lực tập trung điều hòa theo thời gian 432

Trịnh Thị Thanh Huệ và Phạm Chí Vĩnh

Sóng Rayleigh truyền trong bán không gian đàn hồi trục hướng, nén được phủ lớp trục hướng, nén được lệch trục 441

Đặng Xuân Hùng, Trần Minh Tú và Trần Đại Hào

Phân tích dao động riêng của tấm chữ nhật composite lớp gia cường bằng GPL theo các điều kiện biên khác nhau sử dụng phương pháp Pb2-Ritz 451

Đặng Xuân Hùng, Trần Minh Tú và Hương Quý Trường

Phân tích ổn định dầm sandwich FGM xấp với điều kiện biên khác nhau theo phương pháp Ritz 461

Nguyễn Quốc Hùng, Mạnh Cường Nguyễn and Tạ Văn Cường

Study on free vibration behavior of composite inner/outer ring-stiffened cylindrical shells 471

Tran Quang Hung, Do Minh Duc and Tran Minh Tu

Thermal buckling of P-FGM sandwich beam with porous core on elastic foundation 480

Nguyễn Thị Huyền, Đỗ Xuân Tùng, Nguyễn Thị Kiều và Phạm Chí Vĩnh

Phương trình thuần nhất hóa dạng hiện của lý thuyết đàn hồi trục hướng trong miền chứa biên phân chia độ nhám cao dạng hình tròn 490

Nguyễn Duy Hưng, Nguyễn Đăng Điềm, Nguyễn Lộc Kha, Tạ Duy Hiền và Nguyễn Trung Kiên

Mô phỏng số cho tương tác cầu-xe của dầm giản đơn chịu tác dụng bởi phương tiện nhiều trục-bất đối xứng sử dụng phương pháp bán giải tích 497

Nguyễn Duy Hưng, Nguyễn Công Thức, Trần Huy Thiệp, Lê Mạnh Tuấn và Tạ Duy Hiền

Đánh giá khả năng trích xuất tần số dao động cầu từ dao động thân xe của phương tiện ba trục dựa trên mô phỏng số 506

Luu Quỳnh Hoàng, Nguyễn Ngọc Huyền, Nguyễn Thị Lan và Nguyễn Tiến Khiêm	
Bài toán chẩn đoán vết nứt trong dầm FGM sử dụng vật liệu áp điện	516
Khanh Phạm Minh, Nghĩa Trung Tran, and Thien Tich Trung	
Development a prototype of Mobile Laminar Air Flow instrument	525
Khoa Viet Nguyen, Thao Thi Bich Dao, Ngoc Van Bach Pham, Quang Van Nguyen and Long Do Vu	
Damage detection of cables in cable-stayed bridges using vibration data measured from climbing robot	534
Nguyễn Triệu Khương, Lò Siu Vỹ và Trương Tích Thiện	
Phân tích ứng xử phi tuyến và tối ưu hóa cấu trúc nẹp chỉnh hình mắt cá chân bằng phương pháp phần tử hữu hạn	543
Hoàng Trung Kiên, Trương Đức Phúc và Phạm Hồng Phúc	
Nâng cao tần số làm việc ngưỡng của vi chấp hành điện nhiệt dạng chữ V sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn	552
Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Văn Luật và Phạm Đức Chính	
Hệ số dẫn hiệu quả của vật liệu composite đối xứng cầu có lớp vỏ dị hướng	562
Nguyễn Trung Kiên, Trần Bảo Việt và Phạm Đức Chính	
Xấp xỉ đơn giản mô đun đàn hồi trượt vật liệu composite cốt liệu cầu và pha trung gian có tính chất thay đổi liên tục	569
Lê Phước Lành, Nguyễn Văn Quang, Đặng Anh Tài , Châu Xuân Thắng, Tăng Bá Hoàn và Nguyễn Văn Thế	
Nghiên cứu hiệu quả ứng xử uốn của dầm bê tông cốt cứng sử dụng bê tông cốt sợi thép	575
Bùi Hải Lê	
Ảnh hưởng của trọng số luật mờ đến hiệu quả điều khiển của hệ thống treo chủ động trên mô hình 1/4 xe ô tô	584
Bùi Hải Lê	
Điều khiển chủ động hệ thống treo của xe ô tô có kể đến dữ liệu trích mẫu của lực điều khiển	594

Trần Văn Liên và Vũ Ngọc Ánh

Ứng xử của dầm nano có cơ tính biến thiên chịu tải trọng tĩnh 604

Nguyễn Hoàng Linh, Phạm Ngọc Hưng, Nguyễn Văn Hội, Hoàng Ngọc Duy, Nguyễn Minh Sơn, Trần Thế Quang, Vương Văn Thanh, Nguyễn Tuấn Hưng và Đỗ Văn Trường

Ảnh hưởng của biến dạng cơ học đến tính chất sắt điện của vật liệu SrTiO₃ 613

Nguyễn Duy Long, Nguyễn Hồng Thái và Trương Công Giang

Ảnh hưởng của hệ số thiết kế biên dạng rôto đến kích thước và chất lượng làm việc của bơm Roots có biên dạng đỉnh rôto là cung tròn 622

Nguyễn Văn Long, Lê Thanh Hải, Chu Thanh Bình và Trần Minh Tú

Phân tích phi tuyến đáp ứng động của tấm bằng vật liệu FGM rỗng đặt trên nền đàn hồi 632

Giáp Văn Lợi, Nguyễn Duy Văn, Lê Xuân Bách, Nguyễn Tuấn Hưng, Đỗ Văn Trường và Vương Văn Thanh

Tính chất nhiệt điện và quang học của vật liệu đơn lớp GeX (X= S, Se, Te) 642

Nguyễn Văn Luật

Xác định hệ số dẫn hiệu quả của mô hình vật liệu ba pha dạng nền cốt liệu elliptic hai lớp 651

Le Ngoc Ly, Nguyen Thi Phuong, Dang Thuy Dong, Nguyen Van Tien, Nguyen Thi Giang and Tran Quang Minh

Nonlinear axisymmetric vibration of shear deformable FG-GPLRC shallow spherical caps with porous core 658

Đào Như Mai và Cao Văn Mai

Phân tích động lực học sà lan giá búa có neo 667

Nguyễn Xuân Mãn, Trần Tuấn Minh, Nguyễn Thành Nam và A.N.Pankratenco

Trạng thái ứng suất-biến dạng trong khối đá xung quanh công trình ngầm tiết diện lớn khi tỷ số ứng suất nguyên sinh thay đổi 677

Phung Van Minh and Do Van Thom

Dynamic response analysis of nanobeams resting on elastic foundations 688

Nguyễn Thành Nam, Nguyễn Xuân Mãn, Nguyễn Duyên Phong và Đào Văn Tuyết	
Sự hình thành các vùng sụp lở đất đá trên biên đường hầm khi tiến hành khai đào	696
Nguyễn Thành Nam, Nguyễn Xuân Mãn, Nguyễn Duyên Phong và Đào Văn Tuyết	
Về một số phương pháp đánh giá lún và chuyển vị ngang của nền đất khi thi công công trình ngầm	702
Pham Vu Nam, Vu Thị An Ninh, Trinh Thị Hien and Nguyen Dinh Kien	
Effect of different beam theories on dynamic response of BFGSW beams under a moving mass	713
Võ Văn Nam, Phạm Đức Thọ và Trần Thế Truyền	
Đánh giá, phân tích thực nghiệm ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm bê tông cốt thép đến sức kháng uốn của dầm	723
Vu Hoai Nam, Vu Tho Hung, Nguyen Thi Phuong, Nguyen Thi Thanh Xuan, Dang Thuy Dong and Vu Minh Duc	
Nonlinear buckling of spiral-corrugated FG-GRMMC laminated cylindrical shells under external pressure	731
Vu Hoai Nam, Nguyen Thi Phuong, Dang Thuy Dong, Vu Minh Duc, Nguyen Van Tien and Vu Tho Hung	
Nonlinear buckling of core-corrugated FG-CNTRC plates and cylindrical panels in thermal environment	741
Nghi Thai Le, Thanh Kim Lu, Vay Siu Lo and Thien Tich Trung	
The behavior analysis of bolted end-plate connections under static load by using finite element method	750
Nguyễn Phạm Thế Nhân, Bùi Hệ Thông, Hoàng Văn Thạnh, Trần Minh Sang, Đỗ Lê Hưng Toàn, Trần Ngọc Hải and Lưu Đức Bình	
Numerical simulation of the nanoindentation experiment for zinc polycrystal through crystal plasticity mode	759

Trương Đức Phúc, Hoàng Trung Kiên và Phạm Hồng Phúc	
Nghiên cứu tối ưu hóa thông số đúc phun vô thiết bị máy tính bảng	769
Dương Văn Quang, Trần Ngọc Đoàn, Đoàn Trắc Luật và Vũ Xuân Đức	
Tính toán tĩnh vô trụ nanocomposite có cơ tính biến thiên theo lý thuyết biến dạng cắt bậc cao có kể đến ứng suất pháp tuyến	779
Nguyễn Văn Quang và Nguyễn Trung Hiếu	
Ứng xử của dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn cốt thép do ion clorua	789
Đoàn Xuân Quý và Nguyễn Tiên Chương	
Sự làm việc chịu xoắn của kết cấu lõi nửa kín nhà nhiều tầng có xét tới ứng xử ngoài giới hạn đàn hồi của dầm nổi	798
Cao Minh Quyền, Nguyễn Xuân Huy, Lê Nguyên Khương và Nguyễn Hữu Giang	
Ảnh hưởng của hình dạng tiết diện đến hiệu quả gia cường cột ngắn bê tông bằng bê tông cốt lưới dệt	808
Hà Trường Sang, Vũ Văn Chiên, Lê Đức Thanh, Nguyễn Trung Định và Nguyễn Mạnh Hùng	
Nghiên cứu tương tác giữa vật rắn biến dạng đàn hồi và dòng chảy không nén bằng phương pháp phần tử hữu hạn	818
Nguyễn Hồ Duy Tân, Nguyễn Như Bửu Đức, Nguyễn Thanh Nhã, Nguyễn Thị Mỹ Hiền và Trương Tích Thiện	
Nonlinear finite element approach for contact problems in hyper-elastic models	827
Nguyễn Hồng Thái, Nguyễn Duy Long và Lê Thị Ninh	
Ảnh hưởng góc lệch pha đến lưu lượng và áp suất khi ghép song song các bơm Roots: Loại biên dạng đỉnh rôto là cung tròn	837
Thanh Kim Lu, Vay Siu Lo and Thien Tich Truong	
Crack growth analysis in 2D structures using the Extended Finite Element Method	847

Pham Ngoc Thanh and Tran Ich Thinh

Vibroacoustic analysis of a finite simply supported double- composite sandwich plate filled with poroelastic materials 856

Vũ Bá Thành, Trần Anh Tuấn, Nguyễn Đình Hải và Nguyễn Xuân Lam

Phương pháp phase field với sử dụng phân rã trực giao thành phần ten-xơ biến dạng để dự đoán sự phát triển vết nứt trong vật liệu giòn 866

Nguyễn Hữu Thắng, Nguyễn Trang Minh và Chu Anh Mỹ

Mô-men truyền động ngắm của Pháo phòng không 37mm-2N khi bắn một thân pháo 875

Nguyễn Tất Thắng

Nghiên cứu sự phá huỷ của cấu kiện bê tông chịu nén và dầm bê tông chịu uốn 3 điểm, dựa trên mô phỏng số, sử dụng phương pháp phần tử rời rạc (DEM) 883

Vũ Văn Thâm, Trần Hữu Quốc và Trần Minh Tú

Phân tích dao động tự do của tấm bằng vật liệu xốp đượcgia cường bởi graphene platelet 893

Tien-Thinh Le and Johann Guilleminot

Influence of surface effect on the macroscopic properties of nanocomposite materials from a probabilistic standpoint 903

Tien-Thinh Le, Johann Guilleminot, Vuong Minh Le and Christian Soize

Virtual testing of polymer nanocomposites and identification of interphase zone using Molecular Dynamics simulation 912

Tran Ich Thinh, Ta Thi Hien and Pham Ngoc Thanh

Experimental investigation of the accuracy of a vibroacoustic model for clamped sandwich-composite plates 924

Tran Ich Thinh and Pham Ngoc Thanh

Prediction and Measurement of Sound Transmission Loss for Finite Clamped Composite Sandwich Plates 937

Tran Thi Thom and Nguyen Dinh Kien

Forced vibration of FG-CNTRC sandwich beams excited by a moving mass 947

Duong Thi Ngoc Thu, Nguyen Thai Chung, Hoang Xuan Luong and Truong Thi Huong Huyen

Nonlinear Flutter Analysis of Functionally Graded Carbon Nanotubes Reinforced Composite Plates 957

Nguyễn Ngọc Tinh

Pile raft foundation: a simple and rigorous approach 968

Ngô Văn Trung, Vũ Thị Ngọc Ánh và Phạm Chí Vĩnh

Sự phân xạ của sóng qP đối với lớp trục hướng không nén được đặt trên bán không gian trục hướng nén được 978

Trần Minh Tú, Nguyễn Văn Long và Vũ Thu Trang

Phân tích tĩnh tấm chữ nhật bằng vật liệu rỗng bão hòa chất lỏng 988

Lại Hoàng Tuấn và Trương Tích Thiện

Mô phỏng sự truyền nhiệt và hình thành ứng suất dư của mối hàn đường ống 998

Trần Anh Tuấn, Nguyễn Đình Hải và Nguyễn Hoàng Quân

Tính toán mô phỏng độ thấm vĩ mô của vật liệu bê tông bằng phương pháp phần tử biên 1007

Trần Anh Tuấn, Vũ Bá Thành, Nguyễn Đình Hải và Nguyễn Tiến Dũng

Phân tích đặc tính thủy lực trong môi trường vật liệu rỗng kép bằng phương pháp phần tử biên 1016

Le Quang Vinh, Nguyen Dong Anh and Nguyen Manh Cuong

Dynamic analysis of FGM joined conical-cylindrical shells surrounded by Pasternak elastic foundations based on the Continuous Element Method 1025

Nguyễn Ngọc Vinh, Nguyễn Tiến Dũng và Nguyễn Đình Đức

Nghiên cứu mối quan hệ giữa mất mát ứng suất và sự phát triển vi cấu trúc của vật liệu thép cường độ cao 1035

Pham Cong Vinh, Manh Cuong Nguyen, Nguyen Tuan Hai and Le Quang Vinh

Dynamic analysis of FGM ring-stiffness cylindrical shells via Continuous Element Method 1045

Pham Van Vinh, Doan Trac Luat, Phung Van Minh and Tran Van Ke

Free vibration analysis of nano-scale functionally graded beams using nonlocal elasticity theory with variable nonlocal parameter 1054

Phạm Văn Vinh, Đỗ Văn Thơm và Trần Trung Thành

Phân tích uôn tĩnh của dầm FGM có lỗ rỗng sử dụng phân tử dầm hỗn hợp dựa trên lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất 1064

Ngô Khắc Yên, Lê Đức Trí và Đặng Hữu Phước

Nghiên cứu xây dựng mô hình bài toán thuật phóng ngoài cho đạn có dây 1074

CHỈ DẪN TRA CỨU TÊN TÁC GIẢ

1083

XÁC ĐỊNH ỨNG XỬ NHIỆT CỦA VẬT LIỆU XÉP LỚP TRONG TRƯỜNG HỢP MIỀN PHÂN GIỚI LÀ KHÔNG HOÀN HẢO TỔNG QUÁT BẰNG CÁCH GIẢI BÀI TOÁN ĐỒNG NHẤT HOÁ NHIỆT CỤC BỘ

Nguyễn Đình Hải^{1*}, Trần Anh Tuấn², Nguyễn Tiến Dũng¹, Vũ Bá Thành² và Phạm Đức Thọ³

¹ Bộ môn Vật liệu xây dựng, Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải,
số 3, đường Cầu Giấy, Láng Thượng, Đống Đa, Hà Nội

² Bộ môn Cầu hầm, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải,
số 3, đường Cầu Giấy, Láng Thượng, Đống Đa, Hà Nội

³ Bộ môn Xây dựng hạ tầng cơ sở, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ địa chất,
số 18, phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội

*Email: nguyendinhhai.1986@utc.edu.vn

Tóm tắt. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định hệ số truyền nhiệt có hiệu của vật liệu composite xếp lớp trong trường hợp mặt phân giới giữa các lớp là không hoàn hảo tổng quát. Để giải bài toán này, báo cáo đã đề xuất phương pháp **đồng nhất hoá giải tích cục bộ**. Đầu tiên, miền phân giới với chiều dày rất nhỏ giữa hai lớp vật liệu sẽ được thay thế bởi một mặt phân giới không hoàn hảo với chiều dày tiến tới không được đặc trưng bởi bước nhảy về nhiệt độ và dòng nhiệt theo phương pháp tuyến bằng cách sử dụng phân tích xấp xỉ. Sau đó, nghiệm giải tích cục bộ chính xác về trường nhiệt độ, mật độ nhiệt và dòng nhiệt tại mỗi lớp sẽ được xác định nhờ vào các điều kiện biên và các điều kiện không liên tục nhận được từ bước thứ nhất. Tiếp theo, ten xơ hệ số dẫn nhiệt có hiệu sẽ được ước tính thông qua phép tính trung bình thể tích trên toàn miền vật liệu với các trường nghiệm cục bộ đã tính toán được. Cuối cùng các kết quả tính được bằng phương pháp này sẽ được so sánh số với các kết quả tính được bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa: Vật liệu composite đa lớp, hệ số dẫn nhiệt, mô hình mặt phân giới không hoàn hảo tổng quát, đồng nhất hoá giải tích cục bộ.

1. Mở đầu

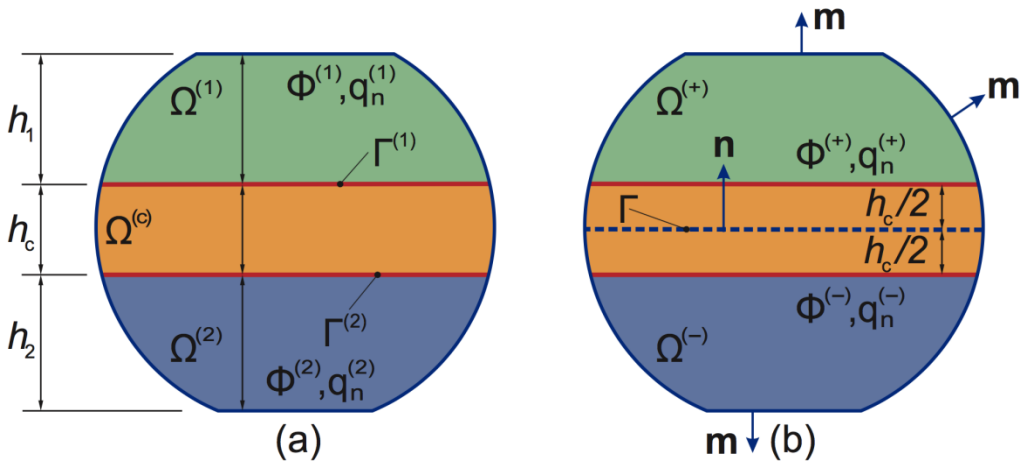
Việc xác định tính chất truyền dẫn có hiệu của vật liệu xây dựng có dạng xếp lớp đã nhận được nhiều sự quan tâm của các nghiên cứu trong những năm gần đây do sự phổ biến của loại vật liệu này trong xây dựng [1, 2]. Trong các bài toán truyền dẫn nói chung (thấm nước, khuếch tán, truyền nhiệt, dẫn điện...) thông thường người ta giả sử rằng miền phân giới giữa hai lớp vật liệu là hoàn hảo vì vậy trường thế và trường dòng theo phương pháp tuyến là liên tục khi đi qua mặt phân giới này [1 - 3]. Tuy nhiên trên thực tế thì mặt phân giới này là không hoàn hảo gây ra do các khuyết tật tại miền phân

giới giữa các vật liệu như thiếu vật liệu, lỗ rỗng, nhám... [4, 5] chính vì vậy giả thuyết về mặt phân giới hoàn hảo không còn đúng nữa mà phải ta phải xét đến mặt phân giới không hoàn hảo. Bài báo này sẽ xem xét mô hình miền phân giới là không hoàn hảo tổng quát (General Imperfect model) được đưa ra bởi Gu [6] trong đó trường thế và trường dòng theo phương pháp tuyến đều không liên tục khi đi qua mặt phân giới này. Trong mô hình này miền phân giới dày sẽ được thay thế bởi mặt phân giới có chiều dày vô cùng nhỏ với bước nhảy của trường thế và trường dòng theo phương pháp tuyến bằng các phân tích tiệm cận dựa trên khai triển chuỗi Taylor.

Khác với trường hợp đơn giản khi mặt phân giới là hoàn hảo, trong bài toán này ta không thể áp dụng các mô hình để đồng nhất hoá vật liệu đa lớp cổ điển [1] để dự đoán ten xơ truyền dẫn có hiệu của vật liệu tổng hợp được. Để xử lý vấn đề này, nghiên cứu đề xuất phương pháp đồng nhất hoá giải tích cục bộ để xác định nghiệm của trường thế, mật độ trường thế, trường dòng trong mỗi lớp vật liệu sau đó lấy trung bình của các nghiệm này ta sẽ dự báo được tính chất truyền dẫn vĩ mô của vật liệu tổng thể. Cuối cùng một áp dụng số cho các kết quả giải tích sẽ được áp dụng để so sánh với các kết quả tính được theo phương pháp phần tử hữu hạn. Trong báo cáo này bài toán truyền dẫn được xem xét là bài toán truyền nhiệt với trường thế (nhiệt độ), mật độ trường thế (gradient nhiệt độ), trường dòng (vec tơ dòng nhiệt) là các tham số cục bộ cần xác định.

2. Mô tả bài toán

Trong không gian ba chiều R^3 , xét một vật liệu tổng hợp có cấu tạo xếp lớp Ω được cấu thành bởi 2 lớp vật liệu đồng nhất và đẳng hướng với hệ số truyền nhiệt $\mathbf{K}^{(i)} = k_i \mathbf{I}$ và cùng với chiều dày là h_i với $i = 1, 2$ (Xem Hình 1). Miền phân giới giữa hai lớp vật liệu này cũng được giả sử là đồng nhất và đẳng hướng với hệ số truyền nhiệt $\mathbf{K}^{(c)} = k_c \mathbf{I}$ cùng với chiều dày h_c là vô cùng nhỏ so với h_i . Trong nghiên cứu này, mặt phân giới giữa pha i và miền phân giới c , kí hiệu là $\Gamma^{(i)}$ với $\Gamma^{(i)} = \partial\Omega^{(i)} \cap \partial\Omega^{(c)}$, mặt phân giới này được giả sử là hoàn hảo vì vậy trường nhiệt độ cũng như thành phần pháp tuyến của vec tơ dòng nhiệt là liên tục khi đi qua nó.



Hình 1. Vật liệu xếp lớp với mô hình mặt phân giới không hoàn hảo.

Ứng xử truyền nhiệt của vật liệu pha $\Omega^{(i)}$ với $i = 1, 2$ được mô tả bằng định luật Fourier:

$$\mathbf{q}^{(i)} = -\mathbf{K}^{(i)} \cdot \nabla\theta^{(i)} \tag{1}$$

Ở đây $\mathbf{q}^{(i)}$ và $\theta^{(i)}$ là trường dòng nhiệt và trường nhiệt độ, $\mathbf{K}^{(i)}$ ten xơ truyền nhiệt bậc 2 của pha $\Omega^{(i)}$. Xét trường hợp trường dòng nhiệt là chấp nhận tĩnh, chế độ truyền nhiệt ổn định và không có nguồn nhiệt. Vec tơ dòng nhiệt cục bộ $\mathbf{q}^{(i)}$ phải thoả mãn phương trình bảo toàn năng lượng

$$\nabla \cdot \mathbf{q}^{(i)} = 0 \quad (2)$$

Trường mật độ nhiệt $\mathbf{e}(\mathbf{x})$ trong không gian Ω là chấp nhận động và xác định như sau:

$$\mathbf{e}(\mathbf{x}) = -\nabla\theta(\mathbf{x}). \quad (3)$$

Ở cấp độ vĩ mô, vec tơ mật độ nhiệt vec tơ \mathbf{E} và dòng nhiệt \mathbf{Q} được xác định như sau:

$$\mathbf{E} = -\frac{1}{|\Omega|} \int_{\partial\Omega} \theta(\mathbf{x}) \mathbf{m}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}, \quad \mathbf{Q} = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\partial\Omega} [\mathbf{q}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x})] d\mathbf{x}, \quad (4)$$

Với \mathbf{m} là vec tơ pháp tuyến đơn vị của $\partial\Omega$, $|\Omega|$ là thể tích miền Ω .

3. Mô hình đồng nhất hoá cục bộ

Khi mặt phân giới $\Gamma^{(i)}$ giữa miền phân giới $\Omega^{(c)}$ với các lớp vật liệu $\Omega^{(i)}$ được giả sử là hoàn hảo với sự liên tục của trường nhiệt độ và pháp tuyến của vec tơ dòng nhiệt

$$\phi^{(c)}|_{\Gamma^{(i)}} = \phi^{(i)}|_{\Gamma^{(i)}} \text{ với } i = 1, 2 \quad (5)$$

$$\mathbf{q}_n^{(c)}|_{\Gamma^{(i)}} = \mathbf{q}_n^{(i)}|_{\Gamma^{(i)}} \text{ với } i = 1, 2 \quad (6)$$

Ta tiến hành khai triển chuỗi Taylor [6] trường nhiệt độ trên miền phân giới như sau:

$$\phi^{(c)}|_{\Gamma} = \phi^{(c)}|_{\Gamma^{(1)}} + \frac{h_c}{2} \nabla\phi^{(c)} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma^{(1)}} + 0(h_c^2) \quad (7)$$

$$\phi^{(c)}|_{\Gamma} = \phi^{(c)}|_{\Gamma^{(2)}} + \frac{h_c}{2} \nabla\phi^{(c)} \cdot \mathbf{n}|_{\Gamma^{(2)}} + 0(h_c^2) \quad (8)$$

Trong các bước tính tiếp theo trên mặt Γ (sau khi đã thay thế miền $\Omega^{(c)}$ bởi mặt Γ) các tính chất trên mặt này ở lớp phía trên sẽ được kí hiệu (+) và thuộc lớp phía dưới kí hiệu (-). Áp dụng mô hình mặt phân giới không đồng nhất cho vật liệu hai lớp của Gu [6] trong trường hợp phương phân lớp trung với phương \mathbf{e}_3 , ta xác định được bước nhảy của trường nhiệt độ và thành phần pháp tuyến của dòng nhiệt qua mặt phân giới không hoàn hảo Γ :

$$\llbracket\phi\rrbracket = \frac{h_c}{2} \left[\left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_c} \right) \mathbf{q}_n^{(-)} + \left(\frac{1}{k_2} - \frac{1}{k_c} \right) \mathbf{q}_n^{(+)} \right] + 0(h_c^2) \quad (9)$$

$$\llbracket\mathbf{q}_n\rrbracket = \frac{h_c}{2} \left[(k_c - k_1) \left(\frac{\partial^2\phi^{(-)}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2\phi^{(-)}}{\partial x_2^2} \right) + (k_c - k_2) \left(\frac{\partial^2\phi^{(+)}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2\phi^{(+)}}{\partial x_2^2} \right) \right] + 0(h_c^2) \quad (10)$$

Xét miền Ω chịu các điều kiện biên sau :

$$\phi(\mathbf{x}) = \phi^0(\mathbf{x}), \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega \quad (11)$$

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x}) = \mathbf{Q}^0(\mathbf{x}), \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega \quad (12)$$

với ϕ^0, \mathbf{Q}^0 là trường nhiệt độ và dòng nhiệt tạo biên $\partial\Omega = \partial\Omega^{(+)} \cup \partial\Omega^{(-)} \cup \partial\Omega_L$; \mathbf{m} là tập hợp các vec tơ pháp tuyến đơn vị hướng ra ngoài miền $\partial\Omega$. Để thực hiện các bước tính toán tiếp theo, hai điều kiện biên đặc biệt được xem xét:

• Điều kiện biên đồng nhất mật độ nhiệt: $\phi(\mathbf{x}) = \mathbf{E}^0 \cdot \mathbf{x}, \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega$ (13)

• Điều kiện biên đồng nhất về trường dòng nhiệt: $\mathbf{q}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x}) = \mathbf{Q}^0 \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x}), \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega$ (14)

Với \mathbf{E}^0 và \mathbf{Q}^0 lần lượt là trường mật độ nhiệt và dòng nhiệt ở cấp độ vĩ mô. Áp điều kiện biên tại $\partial\Omega$ như sau

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_3^0 \end{bmatrix}, \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega^{(+)}, \tag{15}$$

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_3^0 \end{bmatrix}, \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega^{(-)}, \tag{16}$$

$$\phi(\mathbf{x}) = -E_1^0 x_1 - E_2^0 x_2 - f(x_3), \forall \mathbf{x} \in \partial\Omega_L \tag{17}$$

trong đó $\mathbf{E}^0 = \begin{bmatrix} E_1^0 \\ E_2^0 \\ 0 \end{bmatrix}$ là vec tơ mật độ nhiệt và $\mathbf{Q}^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_3^0 \end{bmatrix}$ là vec tơ dòng nhiệt ở cấp độ vĩ mô, với

$\partial\Omega^{(+)}$, $\partial\Omega^{(-)}$ và $\partial\Omega_L$ là các thành phần của $\partial\Omega$. Nghiệm trường nhiệt cục bộ tại mỗi lớp vật liệu $\phi^{(1)}(\mathbf{x})$ và $\phi^{(2)}(\mathbf{x})$ phải thoả mãn phương trình cân bằng năng lượng (2), điều kiện mặt phân giới không hoàn hảo (9) và các điều kiện biên (13, 14, 15, 16, 17). Sau các tính toán ta nhận được

$$f(x_3) = \begin{cases} \frac{Q_3^0}{k_2} x_3, & \forall x_3 \in [h_1, h_1 + h_2] \\ \frac{Q_3^0}{k_1} x_3 + \frac{h_c}{2} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} - \frac{2}{k_c} \right) Q_3^0 - Q_3^0 h_1 \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right), & \forall x_3 \in [0, h_1] \end{cases} \tag{18}$$

thay nghiệm 18 vào phương trình 17 ta nhận được nghiệm giải tích của trường nhiệt độ trong mỗi pha như sau:

$$\phi^{(1)}(\mathbf{x}) = - \left[\frac{Q_3^0}{k_1} x_3 + \frac{h_c}{2} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} - \frac{2}{k_c} \right) Q_3^0 - Q_3^0 h_1 \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right) + E_1^0 x_1 + E_2^0 x_2 \right] \tag{19}$$

$$\phi^{(2)}(\mathbf{x}) = - \left[E_1^0 x_1 + E_2^0 x_2 + \frac{Q_3^0}{k_2} x_3 \right] \tag{20}$$

Thay nghiệm giải tích của trường nhiệt độ (19) và (20) vào công thức (3) ta thu được nghiệm giải tích cục bộ của trường mật độ nhiệt tại mỗi lớp vật liệu như sau:

$$\mathbf{e}^{(1)}(\mathbf{x}) = -\nabla\theta^{(1)}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} E_1^0 \\ E_2^0 \\ \frac{Q_3^0}{k_1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{e}^{(2)}(\mathbf{x}) = -\nabla\theta^{(2)}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} E_1^0 \\ E_2^0 \\ \frac{Q_3^0}{k_2} \end{bmatrix}. \tag{21}$$

Thay nghiệm giải tích cục bộ của trường mật độ nhiệt vào phương trình (1) ta tính được trường dòng nhiệt cục bộ tại mỗi lớp vật liệu như sau:

$$\mathbf{q}^{(1)}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} k_1 E_1^0 \\ k_1 E_2^0 \\ Q_3^0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{q}^{(2)}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} k_2 E_1^0 \\ k_2 E_2^0 \\ Q_3^0 \end{bmatrix}. \tag{22}$$

Trường mật độ nhiệt và dòng nhiệt ở cấp độ vĩ mô sẽ được xác định bằng cách lấy tích phân trên toàn miền vật liệu

$$\begin{aligned} \mathbf{E}^{\text{eff}} &= -\frac{1}{|\Omega|} \int_{\partial\Omega} \phi(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x}) dS = -\frac{1}{|\Omega|} \int_{\partial\Omega^{(-)} \cup \partial\Omega^{(+)}} \phi(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x}) dS \\ &= E_1 \mathbf{e}_1 + E_2 \mathbf{e}_2 + \frac{1}{2} \frac{Q_3(-h_c k_2 k_c - h_c k_1 k_c + 2h_c k_1 k_2 + 2h_1 k_2 k_c + 2h_2 k_1 k_c)}{(h_1 + h_2) k_1 k_2 k_c} \mathbf{e}_3 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}^{\text{eff}} &= -\frac{1}{|\Omega|} \int_{\partial\Omega} [\mathbf{q} \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x})] \cdot \mathbf{x} dS = -\frac{1}{|\Omega|} \int_{\partial\Omega^{(-)} \cup \partial\Omega^{(+)}} [\mathbf{q} \cdot \mathbf{m}(\mathbf{x})] \cdot \mathbf{x} dS \\ &= \frac{E_1(h_1 k_1 + h_2 k_2)}{h_1 + h_2} \mathbf{e}_1 + \frac{E_1(h_1 k_1 + h_2 k_2)}{h_1 + h_2} \mathbf{e}_2 + Q_3 \mathbf{e}_3 \end{aligned} \quad (24)$$

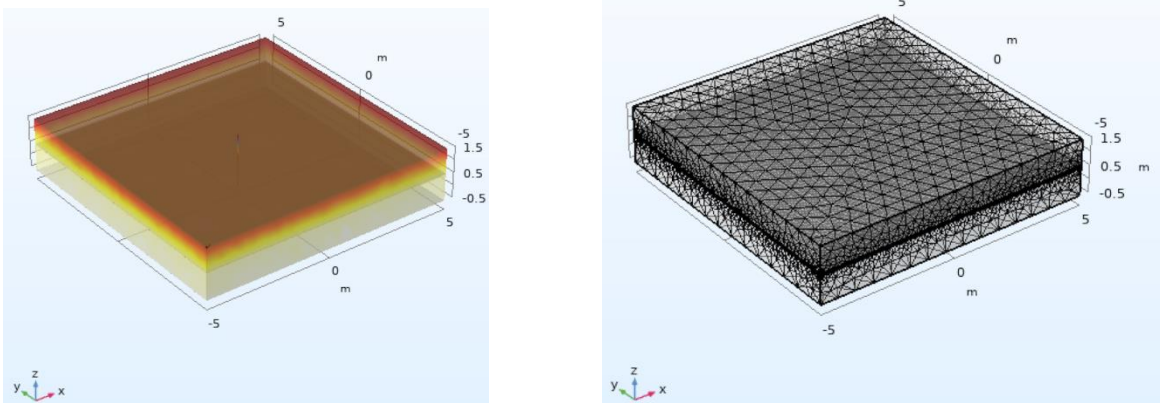
Cuối cùng, các thành phần của ten xơ hệ số dẫn nhiệt vĩ mô của vật liệu xếp lớp được xác định như sau:

$$K_{ij}^{\text{eff}} = \frac{\partial Q_i}{\partial E_j} = \begin{bmatrix} f_1 k_1 + f_2 k_2 & 0 & 0 \\ 0 & f_1 k_1 + f_2 k_2 & 0 \\ 0 & 0 & \left[\frac{f_1}{k_1} + \frac{f_2}{k_2} + \frac{h_c}{2k_c} - \frac{h_c}{2} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)^{-1} \right] \end{bmatrix}$$

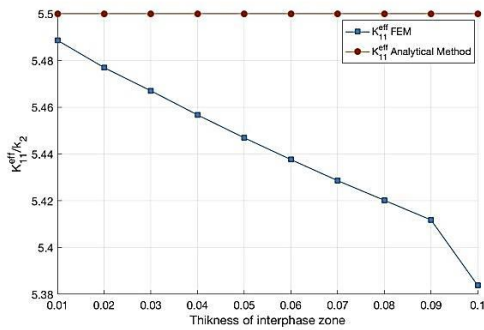
trong đó $f_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2}$, $f_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2}$ là tỷ lệ thể tích của lớp 1 và lớp 2 trong vật liệu tổng hợp.

4. Một số kết quả áp dụng số

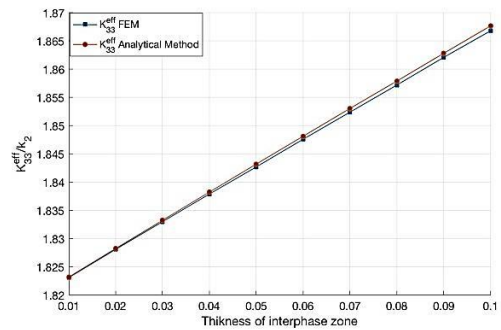
Để minh họa số cho các kết quả giải tích thu được trong nghiên cứu này, xét vật liệu tổng hợp có hai lớp cấu thành với ten xơ truyền nhiệt đẳng hướng lần lượt là $\mathbf{K}^{(1)} = k_1 \mathbf{I}$, $\mathbf{K}^{(2)} = k_2 \mathbf{I}$ trong đó chọn $k_1 = 10$ và $k_2 = 1$. Vật liệu cấu thành nên miền phân giới là vật liệu trục hướng với các thành phần khác không của ten xơ hệ số dẫn nhiệt được lựa chọn như sau $K_{33}^{(c)} = 4.0$, $K_{11}^{(c)} = K_{22}^{(c)} = 1.8$. Chiều dày của hai lớp vật liệu $\Omega^{(1)}$ và $\Omega^{(2)}$ được chọn là $h_1 = h_2 = 1$; chiều dày của miền phân giới h_c là vô cùng nhỏ so với hai lớp vật liệu và được chọn dao động từ 0.01; 0.02; 0.03; 0.04...0.1. Các kết quả số thu được từ phương pháp đồng nhất hoá giải tích cục bộ sẽ được so sánh với các kết quả được thực hiện bởi phương pháp phần tử hữu hạn Hình 2.



Hình 2. Nhiệt độ truyền theo phương zz, chia lưới phần tử vật liệu



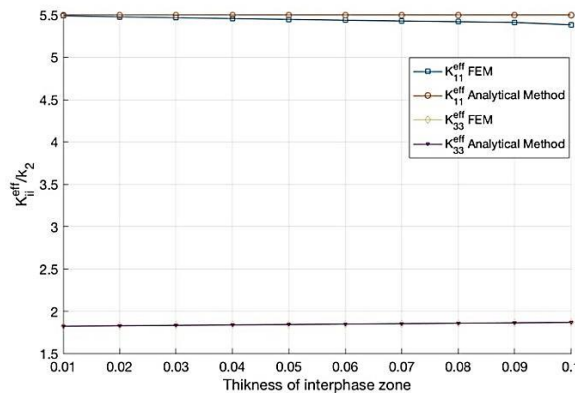
Hình 3. Ảnh hưởng của chiều dày miền phân giới tới hệ số dẫn nhiệt có hiệu K_{11}^{eff}



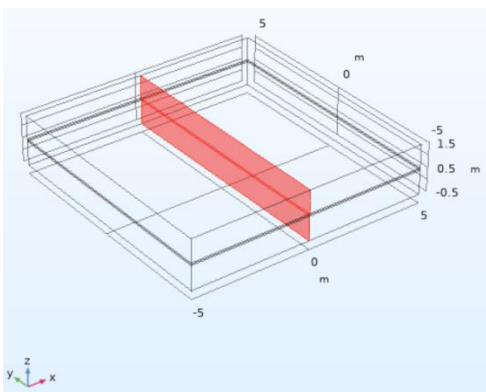
Hình 4. Ảnh hưởng của chiều dày miền phân giới tới hệ số dẫn nhiệt có hiệu K_{33}^{eff}

Các kết quả áp dụng số thực hiện bởi phương pháp đồng nhất hoá cục bộ và phương pháp phần tử hữu hạn được thể hiện ở Hình 3, 4, 5 trình bày sự thay đổi của tỷ số k_{ii}^{eff}/k_2 cho tương quan của các hệ số

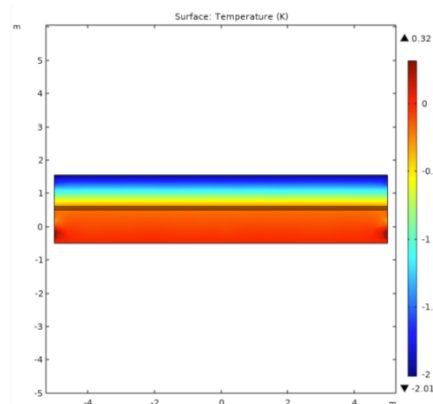
truyền dẫn so với k_2 của lớp 2, các kết quả chỉ ra rằng khi chiều dày miền phân giới càng nhỏ thì thành phần K_{11}^{eff} của ten xơ hệ số dẫn nhiệt xác định theo hai phương pháp càng gần nhau, khi chiều dày miền phân giới = 1/10 chiều dày mỗi lớp thì giá trị này chênh nhau chỉ khoảng 2%. Đối với các giá trị K_{33}^{eff} thì kết quả thu được bởi phương pháp giải tích và phương pháp phần tử hữu hạn gần như trùng khít. Các kết quả này cho thấy tính đúng của phương pháp đồng nhất hoá giải tích cục bộ.



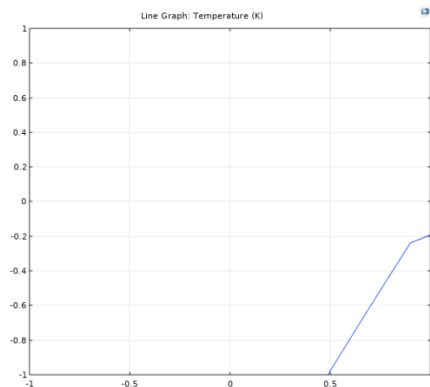
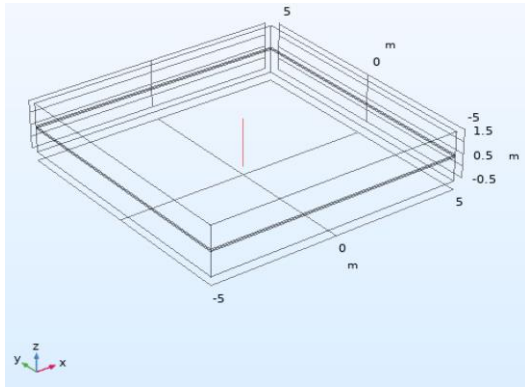
Hình 5. Ảnh hưởng của chiều dày miền phân giới tới các thành phần của ten xơ hệ số dẫn nhiệt có hiệu vẽ trên cùng biểu đồ



Hình 6. Mặt cắt nghiên cứu trường nhiệt độ



Hình 7. Phân bố nhiệt độ trên mặt cắt nghiên cứu



Hình 8. Đường cắt nghiên cứu trường nhiệt độ **Hình 9. Phân bố nhiệt độ trên đường cắt nghiên cứu**

Ngoài ra để minh họa cho ảnh hưởng của miền phân giới tới khả năng truyền nhiệt của vật liệu đa lớp trong trường hợp ta áp cho nhiệt độ truyền theo phương zz . Nghiên cứu đã tiến hành thực hiện mặt cắt Hình 6 và đường cắt Hình 8 đi qua vật liệu xếp lớp. Biểu đồ phân bố nhiệt Hình 7 và Hình 9 thể hiện biến đổi của trường nhiệt độ trong vật liệu tại các vị trí của mặt cắt và đường cắt cho thấy ảnh hưởng của miền phân giới tới sự truyền nhiệt qua vật liệu xếp lớp.

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất phương pháp đồng nhất hoá giải tích hoá cục bộ dựa vào các phép toán giải tích để xác định nghiệm giải tích cục bộ chính xác của bài toán nhiệt, sau đó xác định tính truyền nhiệt vĩ mô của vật liệu đa lớp thông qua phép lấy trung bình trong trường hợp mặt phân giới giữa các lớp vật liệu là không hoàn hảo tổng quát. Các kết quả của nghiên cứu đã được kiểm chứng so sánh áp dụng số với phương pháp phần tử hữu hạn cho thấy tính đúng của phương pháp khi miền phân giới là mỏng. Kết quả của phương pháp cho phép đơn giản hoá tính toán khi xác định hệ số truyền nhiệt có hiệu của vật liệu xếp lớp khi miền phân giới giữa các vật liệu này là mỏng. Các kết quả này có thể dễ dàng mở rộng trong trường hợp vật liệu có nhiều hơn hai lớp, áp dụng trực tiếp vào các bài toán truyền dẫn tương đương như khuếch tán, thấm, dẫn điện và phát triển để xác định tính chất có hiệu của vật liệu đa lớp với mặt phân giới không hoàn hảo tổng quát cho các hiện tượng vật lý khác như đàn hồi, áp điện...

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.02-2018.306.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W. Milton, *The theory of composite*, Cambridge Monographs on applied and computational mathematics. Cambridge University Press, UK, 2004.
- [2]. D.H. Nguyen, A.T. Tran, *Tính chất đàn hồi hiệu quả của vật liệu xếp lớp với mặt phân giới hoàn hảo*. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, 70 (2019) 451 – 459. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.9>

[3]. BV. Trần, TK. Nguyễn, AT. Trần, ĐH. Nguyễn, *Đồng nhất vật liệu nhiều thành phần - Ứng xử tuyến tính*. Xuất bản lần 1, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2019.

[4]. H. LeQuang, D.H. Nguyen, H.T. Le, Q.C. He, *Determination of the effective conductive properties of composites with curved oscillating interfaces by a two-scale homogenization procedure*. Computational Materials Science, 94 (2014) 150 – 162. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.03.014>.

[5]. D.H. Nguyen, *Analyse asymptotique, modélisation micromécanique et simulation numérique des interfaces courbées rugueuses dans des matériaux hétérogènes*. PhD Thesis, Université Paris – Est, France, 2014.

[6]. S. T. Gu, *Contribution à la modélisation des interfaces imparfaites et à l'homogénéisation des matériaux hétérogènes*. PhD Thesis, Université Paris – Est, France, 2010.

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

Địa chỉ: Phường Tân Thịnh - Thành phố Thái Nguyên - Tỉnh Thái Nguyên

Điện thoại: 0208 3840023; Fax: 0208 3840017

Website: nxb.tnu.edu.vn * E-mail: nxb.dhtn@gmail.com

TUYỂN TẬP CÔNG TRÌNH

Hội nghị Khoa học toàn quốc

Cơ học Vật rắn lần thứ XV

TP. Thái Nguyên, ngày 24, 25 tháng 9 năm 2021

Chịu trách nhiệm xuất bản:

TS. PHẠM QUỐC TUẤN

Giám đốc - Tổng biên tập

Biên tập: HOÀNG ĐỨC NGUYỄN

Thiết kế bìa: LÊ THÀNH NGUYỄN

Chế bản: ĐÀO THÁI SƠN

Sửa bản in: HOÀNG ĐỨC NGUYỄN

Đội tác liên kết xuất bản

Hội Cơ học vật rắn – Hội Cơ học Việt Nam

(Địa chỉ: 264 Đội Cấn, Ba Đình, Hà Nội)

ISBN: 978-604-9987-74-8

In 100 cuốn, khổ 19 x 27 cm, tại Xưởng in - Nhà xuất bản Đại học Thái Nguyên (Địa chỉ: Phường Tân Thịnh - Thành phố Thái Nguyên - Tỉnh Thái Nguyên). Giấy phép xuất bản số: 3091-2021/CXBIPH/02-153/ĐHTN. Quyết định xuất bản số: 207/QĐ-NXBDHTN, ngày 23/9/2021. In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2021.