



EFFECTS OF TEMPERATURE, LOADING FREQUENCY AND STRUCTURE PARAMETERS ON THE SHEAR STRESS AT BONDING LAYER BETWEEN ASPHALT WEARING SURFACE AND ORTHOTROPIC STEEL BRIDGE DECK

Hoang Thi Thanh Nhan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 14/02/2023

Revised: 23/03/2023

Accepted: 14/04/2023

Published online: 15/04/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.11>

* *Corresponding author*

Email: ttnhan.hoang@utc.edu.vn

Abstract. The orthotropic steel bridge deck structure covered with asphalt concrete is currently widely used. However, this asphalt-wearing surface is often damaged, affecting the exploitation quality. One of the causes of wearing surface deterioration is poor adhesion between the steel plate and the asphalt pavement. This paper aims to simulate and calculate the maximum value of shear stress appearing at the bonding layer under the asphalt-wearing surface when a vehicle is running on the deck structure. Two types of structures have been used in the simulation, including typical orthotropic steel deck structure and lightweight steel UHPC (ultra high performance concrete) composite structure. Different values of temperature, loading frequency and structure stiffness were used to evaluate their influence on the shear stress occurring in the bonding layer. The calculation results have shown that the structure type and some parameters have a clear influence on the shear stress at the bonding layer.

Keywords: asphalt wearing surface, orthotropic steel bridge deck, bonding layer, shear stress.



ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ, TẦN SỐ TẢI TRỌNG TÁC DỤNG VÀ DẠNG KẾT CẤU ĐẾN ỨNG SUẤT CẮT TRONG LỚP DÍNH BẮM GIỮA LỚP PHỦ VÀ BẢN MẶT CẦU THÉP TRỰC HƯỚNG

Hoàng Thị Thanh Nhân

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 14/02/2023

Ngày nhận bài sửa: 23/03/2023

Ngày chấp nhận đăng: 14/04/2023

Ngày xuất bản Online: 14/04/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.11>

* Tác giả liên hệ

Email: ttnhan.hoang@utc.edu.vn

Tóm tắt. Kết cấu bản mặt cầu thép trực hướng có lớp phủ bằng bê tông nhựa hiện đang được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, lớp phủ mặt cầu thường xuyên bị hư hỏng gây ảnh hưởng đến chất lượng khai thác của công trình. Một trong những nguyên nhân gây ra hiện tượng hư hỏng lớp phủ là do khả năng dính bám kém giữa bản mặt thép và lớp phủ bê tông nhựa. Bài báo này nhằm mục đích mô phỏng tính toán giá trị ứng suất cắt xuất hiện tại vị trí lớp dính bám dưới lớp phủ bê tông nhựa khi có xe chạy trên kết cấu bản mặt cầu. Hai dạng kết cấu đã được sử dụng trong mô phỏng tính toán bao gồm kết cấu có bản mặt thép trực hướng thông thường và kết cấu có bản mặt thép liên hợp với bê tông siêu tính năng UHPC. Các giá trị nhiệt độ tính toán, tần số tác dụng tải trọng, mô đun nền khác nhau đã được sử dụng nhằm đánh giá ảnh hưởng của các thông số này đến ứng suất cắt xuất hiện trong lớp dính bám. Các kết quả tính toán đã cho thấy dạng kết cấu và một số thông số có ảnh hưởng rõ rệt đến ứng suất cắt tại vị trí lớp dính bám.

Từ khóa: lớp phủ bê tông nhựa, bản mặt cầu thép trực hướng, lớp dính bám, ứng suất cắt.

© 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong kết cấu bản mặt cầu thép trực hướng, lớp phủ bằng bê tông nhựa là lớp kết cấu trên cùng tiếp nhận tải trọng từ bánh xe, có chức năng tạo êm thuận cho phương tiện và bảo vệ kết

cầu mặt cầu phía dưới. Cầu Thăng Long (Hà Nội) và cầu Thuận Phước (Đà Nẵng) là hai cầu lớn ở nước ta sử dụng dạng kết cấu này. Tuy nhiên do là lớp trên cùng trực tiếp chịu tác dụng của tải trọng xe và các ảnh hưởng của điều kiện môi trường, nên lớp phủ mặt cầu thường xuyên bị hư hỏng. Chẳng hạn như cầu Thăng Long, sau khoảng gần 30 năm khai thác, cầu đã có vài lần sửa chữa lớn chủ yếu là để làm lại lớp thảm nhựa phủ bề mặt nhưng vẫn không đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật, bị bong, trượt, gây mất an toàn giao thông [1].

Một số nghiên cứu [2,3] đã chỉ ra rằng việc không đủ liên kết giữa lớp phủ và bản mặt cầu thép là nguyên nhân gây ra các vấn đề cho lớp bê tông nhựa như nứt trượt, đứt gãy, nứt do môi sớm và giảm tuổi thọ của lớp phủ. Do các tính chất cơ lý rất khác nhau của thép và bê tông nhựa và sự không tương thích giữa chúng mà bề mặt thép – bê tông nhựa là mặt phẳng yếu nhất của hệ kết cấu đa lớp này. Nghiên cứu [4] đã giới thiệu kết quả mô phỏng trạng thái chịu lực của lớp phủ bê tông nhựa trên mặt cầu thép bằng phương pháp phần tử hữu hạn, có xét đến sự làm việc đồng thời của bản mặt cầu thép và lớp phủ mặt cầu, cho thấy có một bước nhảy của biến dạng trượt tại vị trí của lớp dính bám tiếp giáp giữa mặt cầu và lớp phủ. Biến dạng trượt này là nguyên nhân gây ra trượt lớp phủ mặt trên mặt cầu. Ngoài ra, kết quả mô phỏng này còn cho thấy tại vị trí của đỉnh sườn tăng cường dọc, biến dạng của bản thép là không đáng kể, trong khi trên thực tế tại vị trí này thường quan sát thấy các vết nứt dọc của lớp phủ bằng bê tông nhựa. Như vậy, có thể thấy vết nứt của lớp phủ là do thiếu khả năng chịu cắt ở bề mặt tiếp giáp giữa thép và bê tông nhựa, và khi ứng suất cắt đủ lớn (sinh ra khi các phương tiện tải trọng lớn tăng tốc, giảm tốc hoặc quay đầu), lớp phủ bê tông nhựa sẽ bắt đầu trượt trên mặt cầu thép.

Bên cạnh đó, nghiên cứu [5] đã tiến hành mô hình hoá và phân tích ảnh hưởng của mức độ dính bám giữa lớp phủ bê tông nhựa và bản mặt thép đến ứng xử cục bộ của kết cấu mặt cầu thép trục hướng. Các mô phỏng cho thấy khi kết cấu có mức độ dính bám nhỏ (tương ứng với hiện tượng hư hỏng dính bám càng lớn) thì ứng suất và biến dạng tại đỉnh lớp phủ bê tông nhựa có giá trị lớn hơn khi kết cấu có mức độ dính bám cao hơn.

Từ đó có thể thấy rằng bên cạnh việc đảm bảo cường độ của lớp phủ, việc đảm bảo một cường độ dính bám đủ lớn giữa lớp phủ và bản mặt thép là cần thiết nhằm tăng cường liên kết giữa hai lớp, hình thành kết cấu tổ hợp cùng tham gia chịu lực của tải trọng xe và các điều kiện của môi trường nóng và ẩm. Điều này rất quan trọng để đảm bảo hiệu quả sử dụng lâu dài của lớp phủ bê tông nhựa [6].

Ứng xử chịu cắt của lớp dính bám giữa lớp phủ bê tông nhựa và bản thép đã được đánh giá trong một số nghiên cứu thực nghiệm thông qua các thí nghiệm cắt [7,8,9]. Các nghiên cứu này đã đưa ra một số kết luận định hướng về ảnh hưởng của loại vật liệu lớp phủ và lớp dính bám, của đặc điểm bề mặt bản thép đến khả năng chống cắt của bề mặt thép – bê tông nhựa. Nghiên cứu [8,9] cũng đã phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ bền cắt của lớp dính bám. Tuy nhiên các nghiên cứu thực nghiệm này mới chỉ tập trung vào đánh giá cường độ chịu cắt tại bề mặt dính bám giữa bê tông nhựa và mặt thép trên các mẫu thử gồm hai lớp.

Ứng xử của kết cấu bản mặt cầu thép trục hướng đa lớp cũng có thể được nghiên cứu thông qua các phần mềm tính toán mô phỏng. Nghiên cứu [10] đã phát triển mô hình tính toán ứng suất, biến dạng trong các lớp khác nhau của kết cấu mặt cầu thép trục hướng. Kết quả mô phỏng nhận được đều phù hợp với các đo đạc thực nghiệm. Dựa trên mô hình ứng xử của các vật liệu thành phần (cốt liệu, chất kết dính, thép), nghiên cứu [11] cũng đã tiến hành mô phỏng bản mặt cầu trục hướng chịu tác dụng của tải trọng xe chạy bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Tuy nhiên các tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn lại tốn rất nhiều thời gian

và cần có máy tính có hiệu suất lớn.

Trong bài báo này, nhằm đánh giá ảnh hưởng của cả hệ kết cấu nhiều lớp đến ứng suất cắt phát sinh trong lớp dính bám khi có xe chạy trên bản mặt cầu, tác giả sẽ tiến hành mô phỏng tính toán các dạng kết cấu bản mặt cầu đa lớp bằng phần mềm Viscoroute 2.0. Phần mềm Viscoroute 2.0 đã được sử dụng rộng rãi trong việc tính toán hệ nhiều lớp trên nền đàn hồi (kết cấu áo đường) [12,13]. Trong nghiên cứu này tác giả mở rộng để áp dụng cho mô hình bản mặt cầu. Các yếu tố như nhiệt độ, tần số tác dụng lực (tốc độ xe chạy), độ cứng kết cấu... cũng đã được đưa vào các tính toán nhằm phân tích ảnh hưởng của chúng đến giá trị ứng suất này.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

2.1. Phần mềm tính toán

Trong bài báo này, tác giả xây dựng các mô hình kết cấu bản mặt cầu thép trực hướng có lớp phủ bê tông nhựa sau đó sử dụng phần mềm tính toán để xác định ứng suất cắt tại vị trí lớp dính bám giữa lớp phủ và bản mặt cầu. Phần mềm được sử dụng là phần mềm Viscoroute 2.0 cho phép tính toán hệ kết cấu nhiều lớp trên nền bán không gian vô hạn dưới tác dụng của bánh xe chuyển động với áp lực và vận tốc cho trước. Các thông số về kết cấu, vật liệu, tải trọng sẽ được khai báo trong phần mềm và chương trình có thể xuất ra kết quả ứng suất, biến dạng theo các phương tại các vị trí bất kỳ mong muốn trong các lớp kết cấu. Các dạng kết cấu và thông số tính toán sẽ được giới thiệu trong các phần tiếp theo của bài báo này. Kết quả được quan tâm phân tích trong các bài toán là giá trị ứng suất cắt lớn nhất (τ_{max}) trong lớp dính bám khi xe chạy trên kết cấu bản mặt cầu.

2.2. Kết cấu

Hai dạng kết cấu bản mặt cầu thép được sử dụng trong tính toán với các thông số về chiều dày và vật liệu các lớp được thể hiện trên Hình 1:

- Kết cấu KC1 là kết cấu gồm bản mặt cầu thép trực hướng dày 14 mm dính bám trực tiếp với lớp phủ bê tông nhựa dày 70 mm, chiều dày lớp dính bám là 1 mm. Kết cấu KC1 là dạng kết cấu của mặt cầu Thăng Long trước khi được sửa chữa.

- Kết cấu KC2 là kết cấu mặt cầu liên hợp siêu nhẹ gồm mặt cầu thép trực hướng liên hợp với bê tông siêu tính năng UHPC dày 60 mm, bên trên có sử dụng lớp phủ bằng bê tông nhựa. Đây là giải pháp được sử dụng để sửa chữa cho mặt cầu Thăng Long bị hư hỏng. Các tính toán cho KC2 sẽ được thực hiện với chiều dày lớp phủ bằng bê tông nhựa thay đổi từ 25 mm đến 110 mm nhằm xem xét ảnh hưởng của thông số này đến khả năng dính bám giữa lớp phủ và bản mặt cầu.

KC1	KC2
Lớp phủ BTN (dày 70 mm)	Lớp phủ BTN (chiều dày thay đổi trong tính toán)
Lớp dính bám (dày 1 mm)	Lớp dính bám (dày 1 mm)
Bản thép (dày 14 mm)	Lớp UHPC (dày 60 mm)
Nền vô hạn (mô đun sẽ thay đổi phụ thuộc độ cứng của kết cấu bản mặt cầu)	Bản thép (dày 14 mm)
	Nền vô hạn (mô đun sẽ thay đổi phụ thuộc độ cứng của kết cấu bản mặt cầu)

Hình 1. Hai loại kết cấu bản mặt cầu sử dụng trong tính toán.

Cả hai dạng kết cấu tính toán đều được khai báo đặt trên một nền vô hạn có độ cứng giả định phụ thuộc vào độ cứng của kết cấu bản mặt cầu. Các giá trị mô đun nền được sử dụng trong các tính toán nằm trong khoảng từ 0,5 đến 500 MPa.

2.3. Tải trọng

Tải trọng được sử dụng trong các tính toán là tải trọng trục tiêu chuẩn 10T được áp dụng trong tính toán thiết kế áo đường mềm theo 22TCN 211-06. Tải trọng đơn phân bố trên diện tích hình tròn đường kính 33 cm với áp lực thẳng đứng $p = 0,6$ MPa, áp lực ngang 0,15 MPa. Giá trị áp lực ngang phụ thuộc vào điều kiện xe chạy trên đường (phanh hay không phanh, thời điểm phanh...), tính chất lớp, bề mặt xe chạy, mặt đường ẩm ướt hay không... Trong bài báo này, áp lực ngang được lựa chọn bằng 25% áp lực thẳng đứng (hay nói cách khác hệ số bám là 0,25). Giá trị này tương ứng với điều kiện xe phanh nhẹ trong điều kiện mặt đường thuận lợi (giá trị hệ số bám tối đa của mặt đường khoảng 1-1,3 trong điều kiện thuận lợi) hoặc xe bị trượt trong điều kiện mặt đường có độ nhám thấp và trời mưa.

Các mô hình kết cấu sẽ được tính toán dưới tác dụng của tải trọng hình sin với 3 tần số tác dụng khác nhau là 10 Hz, 5 Hz và 1 Hz (tương ứng với các vận tốc xe chạy là 80 km/h, 40 km/h và 8 km/h).

2.4. Thông số vật liệu

Bảng 1. Thông số vật liệu.

Vật liệu	Nhiệt độ (°C)	Tần số (Hz)	Mô đun (MPa)	Hệ số Poát-xông
Bê tông nhựa	30	10	7000	0,35
		5	6500	0,35
		1	5000	0,35
	60	10	1100	0,35
		5	1000	0,35
		1	830	0,35
Dính bám BTN - BTXM	30		112	0,40
	60		24	0,40
Dính bám BTN - Thép	30		103	0,40
	60		53	0,40
UHPC			50000	0,22
Thép			200000	0,30
Nền đất			0,5 đến 500	0,35

Trong phạm vi nghiên cứu này, các vật liệu được giả sử là đồng nhất, đẳng hướng và có ứng xử đàn hồi. Đối với vật liệu đàn hồi, thông số vật liệu khai báo gồm mô đun và hệ số Poát-xông của vật liệu từng lớp cũng như của đất nền. Các thông số vật liệu được lấy theo các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã có [9,14-16] trong đó có xét đến yếu tố nhiệt độ và tần số tác dụng của tải trọng. Các tính toán sẽ được thực hiện tại hai nhiệt độ là 30 °C và 60 °C, do đó các thông số của vật liệu bê tông nhựa sẽ được lấy tại hai giá trị nhiệt độ này (khi nói tính toán ở một nhiệt độ xác định lớp phủ bê tông nhựa được coi có cùng nhiệt độ này). Lớp phủ

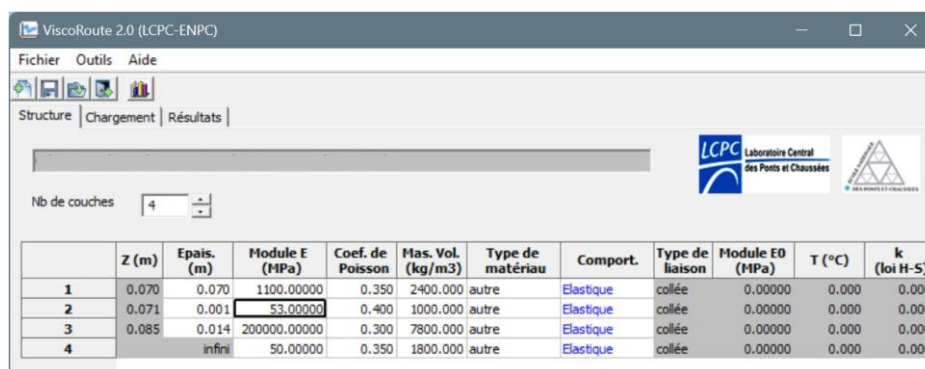
bê tông nhựa được giả định là dính bám hoàn toàn với lớp vật liệu bên dưới. Bảng 1 giới thiệu thông số vật liệu các lớp trong kết cấu để thực hiện các tính toán.

Như vậy các tính toán sẽ được thực hiện trên hai dạng kết cấu và với các giá trị nhiệt độ, tần số tác dụng tải trọng, mô đun nền khác nhau tạo thành một tổ hợp các bài toán nhằm xem xét ảnh hưởng của các thông số tính toán đến ứng suất cắt lớn nhất trong lớp dính bám. Bảng 2 tóm tắt các trường hợp tính toán đã được thực hiện.

Các thông số về vật liệu, kết cấu và tải trọng sẽ được khai báo trên phần mềm như thể hiện trong Hình 2 để thực hiện các tính toán.

Bảng 2. Tổng hợp các trường hợp tính toán đã được thực hiện.

Dạng kết cấu	Chiều dày lớp phủ (mm)	Nhiệt độ (°C)	Tần số (Hz)	Mô đun nền (MPa)
KC1	70	30 – 60	10 – 5 – 1	0,5 – 5 – 50 – 500
	25	30 – 60	10 – 5 – 1	50
	35	30 – 60	10 – 5 – 1	50
KC2	50	30 – 60	10 – 5 – 1	50
	70	30 – 60	10 – 5 – 1	0,5 – 5 – 50 – 500
	90	30 – 60	10	50
	110	30 – 60	10	50



Hình 2. Khai báo các thông số tính toán trên phần mềm Viscoroute 2.0.

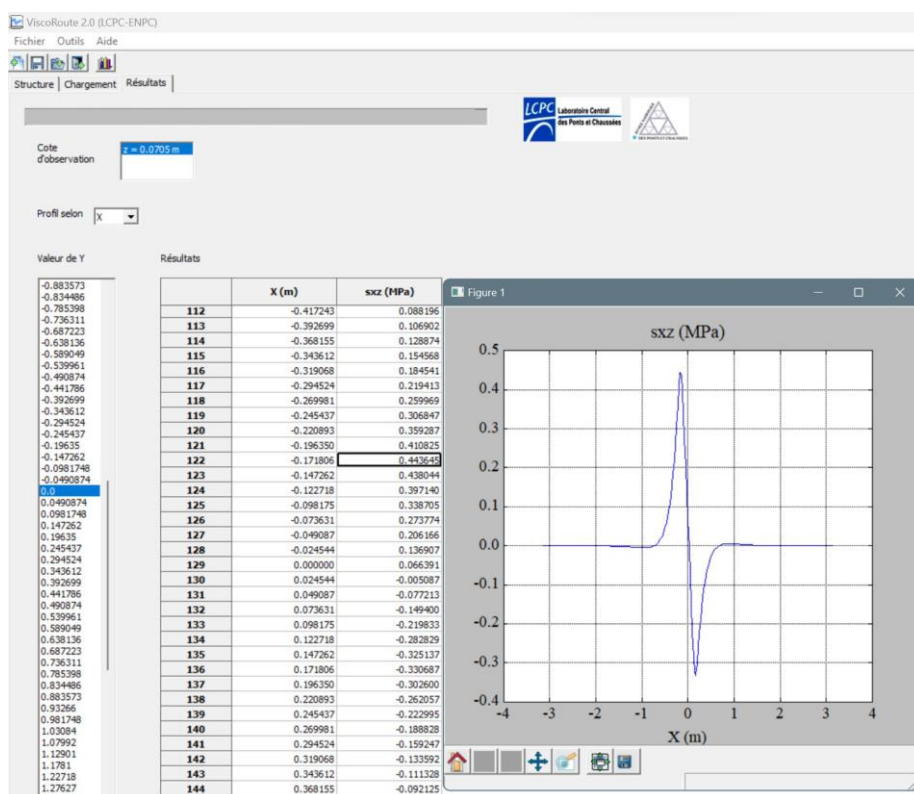
3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

3.1. Ứng suất cắt trong lớp dính bám giữa lớp phủ và bản mặt cầu trục hướng

Hình 3 thể hiện kết quả tính toán ứng suất cắt tại vị trí lớp dính bám phụ thuộc vào vị trí vết bánh xe đến điểm xem xét (trục x).

Một số giá trị ứng suất cắt τ_{max} tính toán tại vị trí lớp dính bám của hai dạng kết cấu KC1 và KC2 với cùng chiều dày lớp phủ bê tông nhựa 70 mm được giới thiệu trong Bảng 3. Có thể thấy rằng, với cùng các thông số tính toán về nhiệt độ, tần số tác dụng lực và mô đun nền thì ứng suất cắt τ_{max} trong kết cấu có bản mặt thép dính bám trực tiếp với lớp phủ (KC1) luôn lớn hơn ứng suất cắt τ_{max} trong kết cấu mặt cầu liên hợp siêu nhẹ (KC2). Nguyên nhân là do lớp UHPC có độ cứng rất cao, đồng thời lại làm gia tăng thêm chiều dày chịu lực của kết cấu. Từ đó dẫn đến bản mặt cầu liên hợp siêu nhẹ có độ cứng cao hơn nhiều, làm giảm ứng suất và

biến dạng trong lớp phủ bê tông nhựa cũng như cho các lớp còn lại. Khi xét tất cả các trường hợp tính toán (thay đổi nhiệt độ, tần số tác dụng lực và mô đun nền) thì giá trị ứng suất cắt τ_{\max} lớn nhất cho các tính toán trên KC1 là 0,644 MPa trong khi giá trị này cho KC2 chỉ là 0,240 MPa.



Hình 3. Kết quả tính toán giá trị ứng suất cắt tại vị trí lớp dính bám của kết cấu.

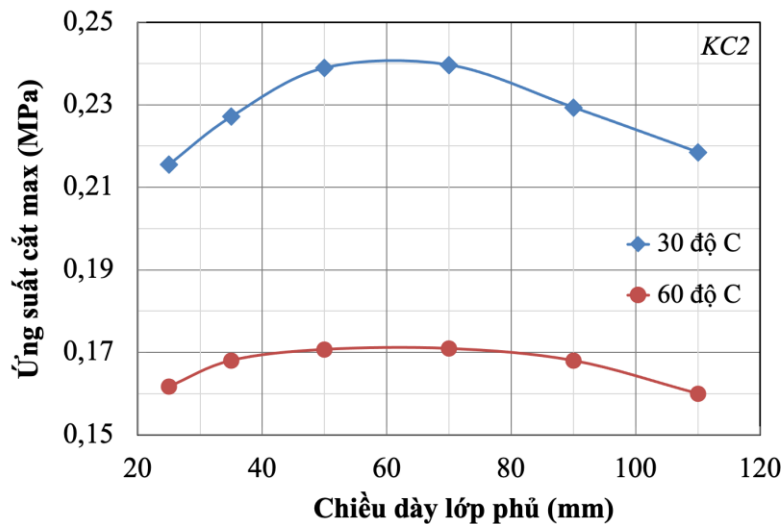
Bảng 3. Ứng suất cắt τ_{\max} tại vị trí lớp dính bám của KC1 và KC2 với lớp phủ BTN dày 70 mm.

	Ứng suất cắt τ_{\max} (MPa)	
	KC1	KC2
Nhiệt độ/Tần số/Mô đun nền 30°C/10Hz/50MPa	0,521	0,240
Nhiệt độ/Tần số/Mô đun nền 60°C/10Hz/50MPa	0,444	0,171
Giá trị ứng suất cắt τ_{\max} lớn nhất (cho tất cả các trường hợp tính toán)	0,644	0,240

3.2. Ảnh hưởng của chiều dày lớp phủ đến ứng suất cắt

Ảnh hưởng của chiều dày lớp phủ BTN đến ứng suất cắt τ_{\max} trong lớp dính bám tại hai giá trị nhiệt độ tính toán là 30 °C và 60 °C cho kết cấu KC2 được thể hiện trong Hình 4. Kết quả tính toán này cho thấy rằng không phải cứ tăng chiều dày lớp phủ là ứng suất cắt τ_{\max} tại vị trí lớp dính bám sẽ giảm. Điều này chỉ đúng khi chiều dày lớp phủ BTN đã đạt đến một giá trị cực trị nào đó (khoảng 70 mm cho các trường hợp tính toán trong Hình 4). Tại cả hai nhiệt độ tính toán khi chiều dày lớp phủ nhỏ hơn 50 mm, ứng suất cắt τ_{\max} trong lớp dính bám sẽ

tăng khi tăng chiều dày lớp phủ BTN. Kết quả này có thể giải thích bởi sự phân bố nội lực do tải trọng xe chạy gây ra trong các lớp của kết cấu. Khi tăng chiều dày lớp phủ BTN, độ cứng của lớp phủ BTN được tăng lên. Về tổng thể, khả năng chịu lực của kết cấu sẽ tăng lên tuy nhiên phần tải trọng lớp phủ phải gánh chịu so với lớp phía dưới cũng sẽ tăng hơn. Do đó, nếu phần tải trọng truyền sang lớp phủ BTN tăng nhanh hơn khả năng lớp này chịu được khi tăng chiều dày thì giá trị biến dạng kéo uốn dưới đáy lớp phủ cũng sẽ tăng lên. Từ kết quả này cho phép xác định một ngưỡng giá trị chiều dày của lớp phủ BTN hiệu quả sử dụng trong kết cấu. Nếu tăng chiều dày lớp phủ BTN (ví dụ nâng cấp cải tạo) trong khi tổng chiều dày vẫn nhỏ hơn ngưỡng này thì lớp phủ BTN sẽ không đạt hiệu quả tốt nhất trong khai thác và sử dụng. Ứng suất cắt τ_{max} trong lớp dính bám là lớn nhất với các kết cấu có chiều dày lớp phủ BTN nằm trong khoảng từ 50 mm đến 70 mm.



Hình 4. Ảnh hưởng của chiều dày lớp phủ BTN đến ứng suất cắt τ_{max} trong lớp dính bám của KC2 tại hai nhiệt độ tính toán 30 °C và 60 °C (với tần số 10 Hz, mô đun nền 50 MPa).

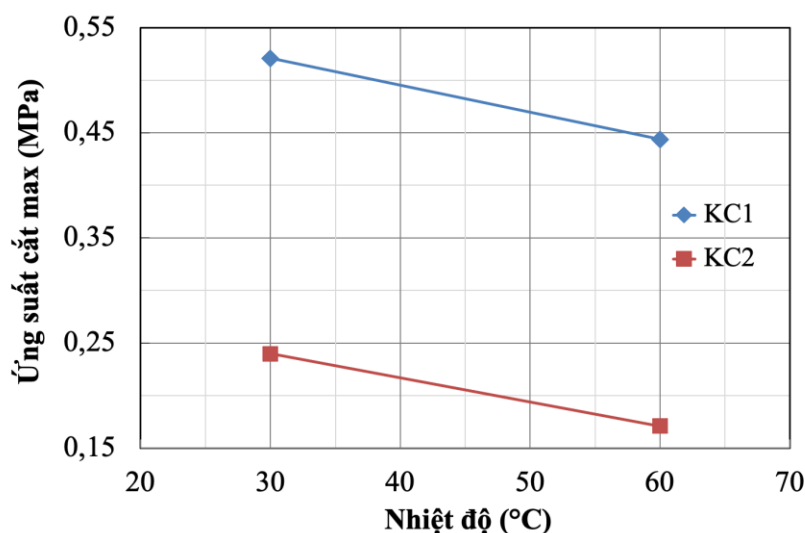
3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến ứng suất cắt

Nhiệt độ có ảnh hưởng lớn đến ứng suất cắt trong lớp dính bám. Khi nhiệt độ tăng từ 30 °C lên 60 °C, ứng suất cắt τ_{max} giảm với độ giảm tương đồng cho cả hai kết cấu KC1 và KC2 (Hình 5). Tuy nhiên, điều này không có nghĩa lớp dính bám sẽ làm việc tốt hơn ở 60 °C. Để đánh giá điều này cần so ứng suất cắt tính toán được với cường độ chống cắt của lớp dính bám ở các nhiệt độ khác nhau. Trong các bài toán này, ứng suất cắt tính toán giảm khoảng 1,2 lần cho KC1 và 1,4 lần cho KC2, tuy nhiên cường độ chống cắt của vật liệu dính bám có thể giảm 3 lần khi nhiệt độ tăng từ 30 °C lên 60 °C [17]. Chính vì vậy, tại 60 °C vật liệu dính bám làm việc bất lợi hơn.

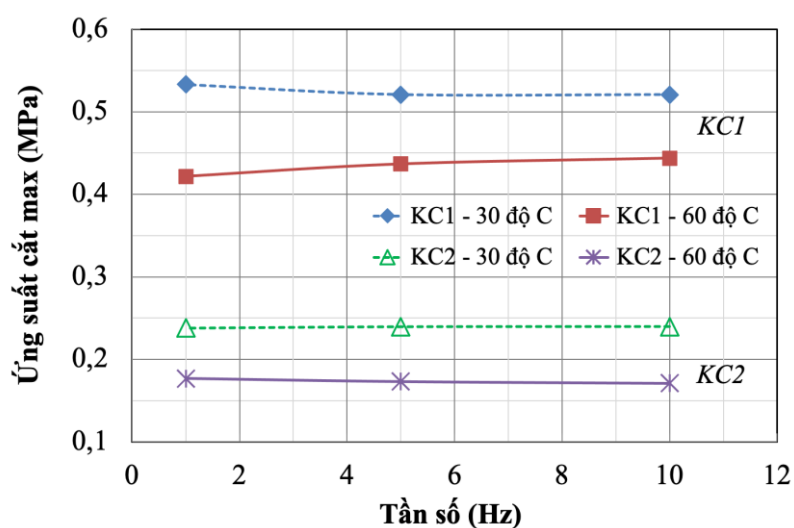
3.4. Ảnh hưởng của tần số tác dụng tải trọng đến ứng suất cắt

Tần số tác dụng lực không có ảnh hưởng rõ ràng đến ứng suất cắt τ_{max} trong lớp dính bám của kết cấu KC2 cho tất cả các trường hợp tính toán. Trong khi đó đối với kết cấu KC1, tần số lại có hai xu hướng ảnh hưởng khác nhau tại hai nhiệt độ tính toán. Tại nhiệt độ tính toán là 30 °C, khi tần số tác dụng lực tăng (tương ứng với vận tốc xe chạy tăng) thì ứng suất cắt τ_{max} có xu hướng giảm nhẹ (2,3%) trong khi tại nhiệt độ tính toán là 60 °C thì ứng suất cắt lại có xu hướng tăng nhẹ (5,2%) khi tăng tần số tác dụng lực. Tuy nhiên, với độ tăng hoặc giảm này khi tần số tác dụng lực tăng từ 1 Hz lên 10 Hz thì vẫn có thể coi là tần số tác dụng lực ít có

ảnh hưởng đến ứng suất cắt τ_{\max} phát sinh trong lớp dính bám của cả hai dạng kết cấu KC1 và KC2.



Hình 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến ứng suất cắt τ_{\max} trong lớp dính bám của KC1 và KC2 (với chiều dày lớp phủ 70 mm, tần số 10 Hz, mô đun nền 50 MPa).

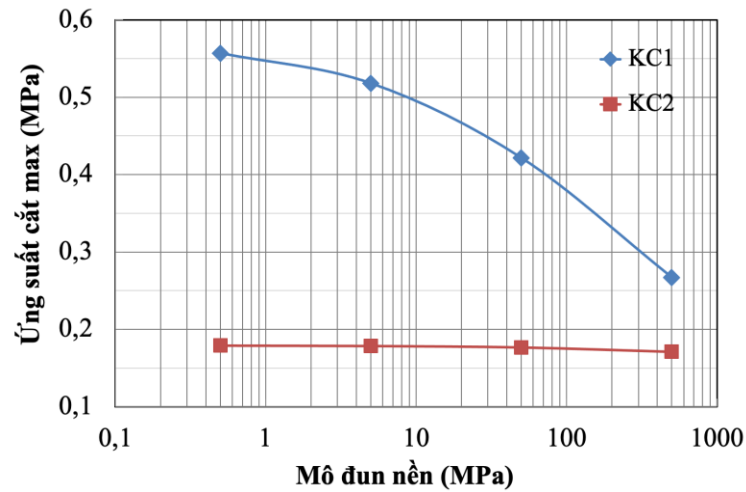


Hình 6. Ảnh hưởng của tần số tác dụng tải trọng đến ứng suất cắt τ_{\max} trong lớp dính bám của KC1 và KC2 tại hai nhiệt độ tính toán 30 °C và 60 °C (với chiều dày lớp phủ 70 mm, mô đun nền 50 MPa).

3.5. Ảnh hưởng của mô đun nền đến ứng suất cắt

Hình 7 thể hiện ảnh hưởng của mô đun nền đến ứng suất cắt τ_{\max} trong lớp dính bám. Có thể thấy rằng ứng suất cắt trong KC1 chịu ảnh hưởng rõ rệt của mô đun nền. Khi tăng mô đun nền từ 0,5 MPa lên 500 MPa thì ứng suất cắt τ_{\max} trong KC1 giảm từ 0,557 MPa xuống 0,267 MPa trong trường hợp tính toán với lớp phủ dày 70 mm, nhiệt độ 60 °C và tần số 1 Hz. Với cùng các thông số tính toán đó, ứng suất cắt τ_{\max} trong KC2 gần như không có sự thay đổi khi thay đổi giá trị mô đun nền. Điều này là bởi KC2 được cấu tạo bởi bản mặt thép liên hợp với bê tông siêu tính năng UHPC nên có độ cứng lớn hơn nhiều so với KC1 chỉ gồm bản mặt

thép.



Hình 7. Ảnh hưởng của mô đun nền đến ứng suất cắt τ_{max} trong lớp dính bám của KC1 và KC2 (với chiều dày lớp phủ 70 mm, tần số 1 Hz, nhiệt độ 60 °C).

4. KẾT LUẬN

Thông qua mô phỏng tính toán giá trị ứng suất cắt τ_{max} phát sinh tại vị trí lớp dính bám giữa bản mặt cầu thép và lớp phủ bê tông nhựa với các thông số đầu vào về nhiệt độ, tần số tải trọng tác dụng và dạng kết cấu khác nhau, bài báo đã rút ra một số kết luận chính như sau:

- Trong kết cấu mặt cầu liên hợp siêu nhẹ, do lớp UHPC có độ cứng rất cao làm tăng độ cứng tổng thể của cả hệ kết cấu nên ứng suất cắt τ_{max} phát sinh trong lớp dính bám có giá trị nhỏ hơn ứng suất cắt τ_{max} tính toán cho kết cấu mặt cầu có bản thép dính bám trực tiếp với lớp phủ bê tông nhựa. Giá trị ứng suất cắt τ_{max} lớn nhất cho tất cả các trường hợp tính toán trên KC1 là 0,644 MPa trong khi giá trị này cho KC2 chỉ là 0,240 MPa. Đồng thời, do có độ cứng cao hơn nên giá trị ứng suất này cũng không chịu ảnh hưởng của mô đun nền như kết cấu mặt cầu thép thông thường. Khi tăng giá trị mô đun nền từ 0,5 MPa lên 500 MPa, ứng suất cắt τ_{max} trong KC2 gần như không có sự thay đổi trong khi τ_{max} của KC1 giảm rõ rệt.

- Đối với kết cấu mặt cầu liên hợp siêu nhẹ, chiều dày lớp phủ bê tông nhựa có ảnh hưởng đến ứng suất cắt τ_{max} trong lớp dính bám. Khi thay đổi chiều dày lớp phủ bê tông nhựa trong khoảng từ 25 mm đến 110 mm, ứng suất cắt τ_{max} có các xu hướng tăng / giảm tùy thuộc vào giá trị chiều dày lớp phủ. Các kết quả tính toán đã cho thấy rằng có tồn tại một ngưỡng giá trị mà chiều dày lớp phủ bê tông nhựa phải lớn hơn ngưỡng này (khoảng 70 mm) thì việc tăng chiều dày lớp bê tông nhựa mới đem lại hiệu quả làm việc tốt hơn cho kết cấu (ứng suất cắt τ_{max} sẽ giảm khi tăng chiều dày lớp phủ). Khi chiều dày lớp phủ tăng nhưng vẫn nhỏ hơn ngưỡng 50 mm thì ứng suất cắt τ_{max} sẽ tăng. Giá trị ứng suất cắt τ_{max} là lớn nhất khi chiều dày lớp phủ bê tông nhựa nằm trong khoảng từ 50 đến 70 mm.

- Nhiệt độ có ảnh hưởng lớn đến ứng suất cắt τ_{max} trong lớp dính bám cho cả hai dạng kết cấu mặt cầu thép thông thường và kết cấu mặt cầu liên hợp siêu nhẹ. Khi tăng nhiệt độ từ 30 °C lên 60 °C thì ứng suất cắt τ_{max} sẽ giảm. Tuy nhiên cần xem xét đồng thời với việc cường độ chống cắt của lớp dính bám sẽ giảm khi tăng nhiệt độ để đánh giá khả năng làm việc của kết cấu.

- Tần số tác dụng lực trong khoảng từ 1 Hz đến 10 Hz không có ảnh hưởng đến ứng suất cắt τ_{\max} trong lớp dính bám cho cả hai dạng kết cấu mặt cầu thép thông thường và kết cấu mặt cầu liên hợp siêu nhẹ.

Có thể thấy rằng, mô hình tính toán trong bài báo có hạn chế là chỉ giải quyết bài toán cục bộ của kết cấu bản mặt cầu thép trực hướng. Trong đó, độ cứng nền chưa được xác định trực tiếp. Tuy nhiên, thuận lợi của việc sử dụng mô hình trong bài báo này là tốc độ tính toán nhanh và đơn giản. Việc mô phỏng toàn bộ kết cấu nhịp và bản mặt cầu trong không gian (ví dụ với các phần mềm phần tử hữu hạn) sẽ giúp việc mô phỏng sát thực tế hơn. Nhưng việc làm này sẽ rất khó khăn, tốn nhiều công sức, bộ nhớ, thời gian tính toán... cũng như khó thực hiện thành công khi biến đầu ra chỉ là yếu tố ứng suất cắt trong lớp rất mỏng (lớp phủ chỉ dày 1mm, là rất nhỏ so với kích thước cao, dài hàng chục, hàng trăm mét của kết cấu).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Báo cáo hội thảo Ứng dụng giải pháp kết cấu mặt cầu bản thép liên hợp nhẹ với các công nghệ hàn dính neo Plasma và bê tông siêu tính năng UHPC trong dự án sửa chữa mặt cầu đường bộ - cầu Thăng Long, Tổng cục Đường bộ Việt Nam, 2020.
- [2]. J.M. Bjornstad, C.J. Bognacki, J. Marsano, George Washington bridge asphalt wearing course and bond coat analysis, In: Proceedings of the airfield and pavement speciality conference, Bellevue, WA, USA, 2008.
- [3]. X. Chen, W. Huang, J. Wang, G. Cheng, Damage causes of mastic asphalt pavement on orthotropic steel deck plate, *J Traffic Transp Eng*, 4 (2004) 5-9.
- [4]. Nguyễn Ngọc Long, Ngô Văn Minh, Trần Thị Kim Đăng, Nguyễn Đắc Đức, Lê Đình Long, Các dạng hư hỏng điển hình của kết cấu áo đường mềm trên mặt cầu thép bản trực hướng, *Tạp chí Giao thông vận tải*, 2015.
- [5]. Trần Anh Tuấn, Nguyễn Đình Hải, Trương Quốc Tiến, Mô hình hóa hư hỏng dính bám trong kết cấu mặt cầu thép sử dụng lớp phủ bê tông nhựa, *Khoa học công nghệ*, 04 (2021).
- [6]. S.T. Freitas, H. Kolstein, F. Bijlaard, Parametric study on the interface layer of renovation solutions for orthotropic steel bridge decks, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27 (2012) 143–53.
- [7]. E. Bocci, F. Canestrari, Experimental evaluation of shear resistance of improved steel–asphalt interfaces, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2370 (2013) 145–50, <https://doi.org/10.3141/2370-18>
- [8]. Bo Yao, Fangchao Li, Xiao Wang, Gang Cheng, Evaluation of the shear characteristics of steel–asphalt interface by a direct shear test method, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 68, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.02.005>
- [9]. Trần Thị Cẩm Hà, Nguyễn Quang Tuấn, Trần Anh Tuấn, Hoàng Việt Hải, Ứng xử chịu cắt của lớp phủ bê tông nhựa và vật liệu dính bám Epoxy trên bản thép, *Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải*, 66 (2018) 12-18.
- [10].Huurman M., Medani T.O., Scarpas A., Kasbergen C., Development of a 3D-FEM for surfacings on steel deck bridges, In: International conference on computational & experimental engineering, Corfu, July 2003.
- [11].S. Pouget, C. Sauzéat, H. Di Benedetto, F. Olard, From the Behavior of Constituent Materials to the Calculation and Design of Orthotropic Bridge Structures, *Pavement and Material Design*, 1 (2010) 111-144.

- [12].A. Chabot, O. Chupin, L. Deloffre, D. Duhamel, ViscoRoute 2.0 A Tool for the Simulation of Moving Load Effects on Asphalt Pavement, *Road Materials and Pavement Design*, 11 (2010) 227-250, <https://doi.org/10.1080/14680629.2010.9690274>
- [13].A. Chabot, P. Tamagny, D. Duhamel, D. Poché, Visco-elastic modeling for asphalt pavements – software ViscoRoute, *Proceedings of the 10th International Conference on Asphalt Pavements*, Québec, 2 (2006) 5-14.
- [14].Phạm Ngọc Quang, Nghiên cứu ảnh hưởng của loại và tỷ lệ vật liệu tưới dính bám đến cường độ dính bám giữa lớp bê tông asphalt và lớp BTXM, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học GTVT, 2017.
- [15].Nguyễn Ngọc Lân, Phạm Thị Thanh Thủy, Thực nghiệm đánh giá dính bám giữa lớp bê tông asphalt với lớp bê tông xi măng, Tạp chí Giao thông vận tải, 2018.
- [16].Viet Hai Hoang, Quang Tuan Nguyen, Anh Tuan Tran, Thi Cam Ha Tran, Tu Anh Do, Mechanical behavior of the asphalt wearing surface on an orthotropic steel bridge deck under cyclic loading, *Case Studies in Construction Materials*, 16 (2022) e00836. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00836>
- [17].Nguyễn Ngọc Lân, Nghiên cứu ứng xử dính bám và đề xuất giới hạn cường độ dính bám giữa hai lớp bê tông asphalt trong kết cấu áo đường mềm ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ, 2016.