

Nghiên cứu thực nghiệm phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ đến một số tính chất cơ học của bê tông cốt lưới dệt sợi thủy tinh

Empirical investigation of temperature effects on the mechanical properties of glass textile reinforced concrete

Nguyễn Huy Cường, Vũ Văn Hiệp*, Mai Đình Lộc

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Tác giả liên hệ: vvhiiep@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/10/2023; Ngày chấp nhận đăng: 15/11/2023

Tóm tắt:

Bê tông cốt lưới dệt (BTCLD) là sự kết hợp giữa lưới sợi dệt và bê tông hạt mịn nhằm tạo ra một loại vật liệu xây dựng tiên tiến, có tính năng cao. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm nhằm xác định ảnh hưởng của nhiệt độ cao đến tính chất cơ học của BTCLD sợi thủy tinh, bao gồm ứng xử dính bám giữa lưới sợi dệt với bê tông hạt mịn, và cường độ chịu kéo của BTCLD. Thí nghiệm kéo tuột và kéo dọc trục được áp dụng với các mẫu BTCLD gia nhiệt đến các mức nhiệt độ khác nhau, lần lượt là 30°C, 80°C, 150°C và 200°C. Kết quả thí nghiệm cho thấy, lưới sợi thủy tinh dính bám tốt với bê tông hạt mịn ở nhiệt độ 30°C, có cường độ dính bám trung bình 23,2 N/mm, tương ứng với chiều dài neo là 120 mm. Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng lên 150°C và 200°C, cường độ dính bám giảm lần lượt 33,4% và 46,2%. Cường độ chịu kéo của BTCLD là 1470 MPa ở 30°C, và bị suy giảm 21,9% và 30,4% ở các mức nhiệt độ 150°C và 200°C.

Từ khóa: Nhiệt độ cao; Bê tông cốt lưới dệt; Dính bám; Cường độ chịu kéo; Lưới sợi thủy tinh.

Abstract:

Textile Reinforced Concrete (TRC) is an innovative composite material that combines fine-grained concrete with textile fibers, resulting in improved mechanical properties for building materials. This research focuses on the impact of elevated temperatures on the mechanical characteristics of Glass TRC. Specifically, it investigates the tensile strength and bonding between glass rovings and fine-grained concrete. The study includes pullout tests on bonding TRC specimens and uniaxial tensile tests on tensile specimens exposed to temperatures of 30°C, 80°C, 150°C, and 200°C. The experimental results reveal that at 30 °C, the fiberglass mesh exhibits strong adhesion to fine-grained concrete, with an average bonding strength of 23.2 N/mm and an anchor length of approximately 120 mm. However, as the temperature increased to 150 °C and 200 °C, the bonding strength decreased by 33.4% and 46.2%, respectively. The tensile strength of TRC was 1470 MPa at 30 °C, but it decreased by 21.9% and 30.4% at temperatures of 150°C and 200°C.

Keywords: Textile reinforced concrete; High temperature; Bonding; Tensile strength; Glass textile.

1. Giới thiệu

Trong 25 năm qua, vật liệu composite cốt sợi đã được ứng dụng phổ biến trong lĩnh vực xây

dựng, trong đó có vật liệu bê tông cốt lưới dệt (BTCLD). BTCLD gồm hai thành phần chính là bê tông hạt mịn tính năng cao kết hợp với cốt

dạng lưới, thường được chế tạo từ sợi phi kim loại như carbon hay thủy tinh kháng kiềm [1]. Loại bê tông này được sử dụng rộng rãi trong việc gia cường các kết cấu bê tông cũ, đặc biệt là ở các khu vực có điều kiện môi trường khắc nghiệt, nơi có ánh sáng Mặt trời tác động mạnh hoặc yêu cầu khả năng chống cháy cao [2]. BTCLD còn có một ưu điểm so với những công nghệ sửa chữa tăng cường phổ biến hiện nay như dán ngoài bằng polyme cốt sợi FRP là khả năng chịu cháy/chịu nhiệt cao hơn do có chất nền bê tông truyền nhiệt chậm. Bên cạnh đó, BTCLD rất thích hợp để tạo ra các cấu kiện đúc sẵn với kích thước mỏng và tính thẩm mỹ cao, trọng lượng nhẹ và khả năng bền vững trong môi trường. Trọng lượng của cấu kiện xây dựng bằng BTCLD có thể giảm đến 45% và chi phí tài nguyên có thể giảm đến 80% [1]. BTCLD được xem là một trong các vật liệu tiên tiến nhằm đáp ứng nhu cầu về sự bền vững của lĩnh vực xây dựng ngày nay.

Hiện nay, lưới sợi dệt được chia thành ba cấp độ, với lưới sợi được dệt từ các bó sợi, và bó sợi lại được bện từ các sợi cơ bản. Để cải thiện dính bám giữa các sợi cơ bản và giữa các bó sợi với bê tông hạt mịn, lưới sợi thường được phủ bằng epoxy hoặc styrene butadine, được sản xuất từ polymer nhiệt rắn [1]. Yêu cầu về chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho BTCLD rất thấp, chỉ trong khoảng vài mm. Điều này cho phép tạo ra các cấu trúc mỏng nhẹ, nhưng cũng làm giảm khả năng chịu nhiệt và chống cháy [2]. Do đó, tuy BTCLD được ứng dụng nhiều trong thực tế, nhưng vẫn còn lo ngại về ứng xử của loại vật liệu này khi chịu tác động của lửa và nhiệt độ cao. Có một số nghiên cứu được công bố về ứng xử chịu nhiệt của BTCLD, hầu hết các nghiên cứu không tập trung vào bản thân vật liệu và kết cấu bằng BTCLD, thường chỉ đánh giá đối với kết cấu bê tông cốt thép được tăng cường bằng BTCLD. BTCLD được sử dụng để gia cường kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), đáp ứng tiêu chuẩn kháng cháy F60 cho sợi carbon và F30 cho sợi thủy tinh theo tiêu chuẩn của Đức [3]. Các thử nghiệm đã chỉ ra rằng, BTCLD có khả

năng chịu nhiệt và kháng cháy trong khoảng thời gian đáng kể.

Dính bám giữa bê tông hạt mịn và lưới cốt dệt, cũng như khả năng chịu kéo dọc trục là những tính chất cơ học quan trọng của BTCLD. Giá trị cường độ dính bám được sử dụng để xác định chiều dài neo của lưới sợi dệt, cũng như khoảng cách và độ mở rộng vết nứt. Với bó sợi không có gờ, dính bám giữa lưới sợi và bê tông chủ yếu dựa vào sự dính bám hóa học và ma sát. Các sợi cơ bản bên ngoài được nhúng sâu (neo) vào trong hỗn hợp bê tông hạt mịn. Ngược lại, các sợi bên trong không tiếp xúc trực tiếp với bê tông, dẫn đến việc dễ bị trượt khi lực ma sát yếu. Để tăng cường khả năng dính bám, lưới sợi thường được phủ bằng polymer, thấm sâu vào các sợi cơ bản trong quá trình sản xuất. Lớp phủ này làm tăng ma sát giữa các sợi, phân bố lực kéo lên các sợi đồng đều hơn. Lớp phủ nhiệt rắn sẽ “cứng dần” khi tác động nhiệt vào liên kết ngang giữa các phần tử, ở mức nhiệt độ thường dao động từ nhiệt độ phòng đến khoảng 200°C. Do quá trình đông rắn của lớp phủ là không thể đảo ngược nên phương pháp phủ vật liệu “nhiệt rắn” tạo ra các bó sợi cứng và khó uốn/gấp.

Cường độ chịu kéo của bó sợi thường nhỏ hơn đáng kể so với khả năng chịu kéo của các sợi cơ bản trong đó. Nguyên nhân gây suy giảm cường độ của lưới sợi là do sự phân bố không đều khi chịu lực giữa các sợi cơ bản trong bó [4]. Một số sợi cơ bản có thể đã bị hư hỏng trong quá trình sản xuất, vận chuyển, hoặc khi chế tạo cấu kiện. Đồng thời, khi bê tông nứt, các sợi ở bề mặt bó sợi có thể bị phá hoại trước khi đạt đến cường độ chịu kéo. Do BTCLD có chiều dày tổng thể nhỏ và lớp bê tông bảo vệ khá mỏng, chỉ khoảng 5 đến 10 mm, nên khả năng chịu lửa và nhiệt độ của chúng bị hạn chế. Các nghiên cứu về khả năng chịu lửa của BTCLD sử dụng sợi thủy tinh cho thấy, ở khoảng 100°C, khả năng chịu kéo của cấu kiện đã bị giảm khoảng 20% [5].

Trong 10 năm gần đây, tại Việt Nam, nghiên cứu và áp dụng BTCLD đã bắt đầu được chú ý, với các dự án nghiên cứu tập trung vào việc tạo

bê tông hạt mịn, phát triển kết cấu sandwich, cấu kiện tấm tường rỗng. Các nghiên cứu về ứng xử của những cấu kiện BTCT được tăng cường bằng BTCLD, như dầm chịu uốn và chịu cắt [6], cột chịu nén đúng tâm [7], sàn chịu chọc thủng,... đã cho thấy tiềm năng lớn của BTCLD trong việc sửa chữa, gia cường cho kết cấu. Các tác giả đã thành công trong việc sử dụng BTCLD sợi thủy tinh để gia cố kết cấu sàn nhà công nghiệp vào năm 2018 [8]. Năm 2022, BTCLD sợi carbon đã được áp dụng để gia cường cho kết cấu dầm BTCT ở Quảng Ninh (Hình 1). Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ cao đến tính chất cơ học của BTCLD.



Hình 1. Tăng cường kết cấu dầm BTCT của công trình nhà dân dụng.

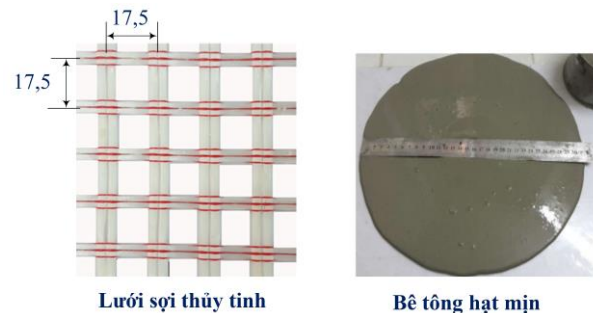
BTCLD là loại vật liệu phù hợp cho sự phát triển bền vững trong ngành xây dựng. Thế nhưng, vẫn còn nhiều thách thức phải đối mặt, bao gồm việc nghiên cứu tác động của nhiệt độ cao đến tính chất cơ học của BTCLD.

Để đảm bảo việc sử dụng BTCLD một cách an toàn và đáng tin cậy, cần tiến hành các nghiên cứu cụ thể về ảnh hưởng của nhiệt độ cao đối với một số tính chất quan trọng của BTCLD sợi thủy tinh. Bài báo này trình bày một số kết quả thực nghiệm xác định cường độ chịu kéo của BTCLD sợi thủy tinh, cường độ dính bám giữa lưới sợi và bê tông hạt mịn dưới tác động của nhiệt độ thay đổi từ 30°C, 80°C, 150°C đến 200°C.

2. Nghiên cứu thực nghiệm

2.1. Vật liệu

Trong nghiên cứu này, bê tông hạt mịn được kết hợp từ cát hạt mịn có đường kính tối đa là 0,63 mm, xi măng PC40, tro bay, nước và phụ gia siêu dẻo. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo uốn trung bình của bê tông hạt mịn sau 28 ngày lần lượt đạt 52,4 MPa và 6,7 MPa. Lưới cốt sợi thủy tinh loại SITgrid200KE có khả năng chịu kéo lên đến 1620 MPa và mô đun đàn hồi 107 GPa. Lưới sợi được phủ bằng lớp polymer styrene butadine với hàm lượng 15%. Cấu trúc lưới được dệt theo các bó sợi với hướng 0°/90°, kích thước mắt lưới là 17,5 × 17,5 mm và diện tích của mỗi bó sợi là 1,8 mm² (Hình 2).



Hình 2. Lưới sợi thủy tinh và bê tông hạt mịn.

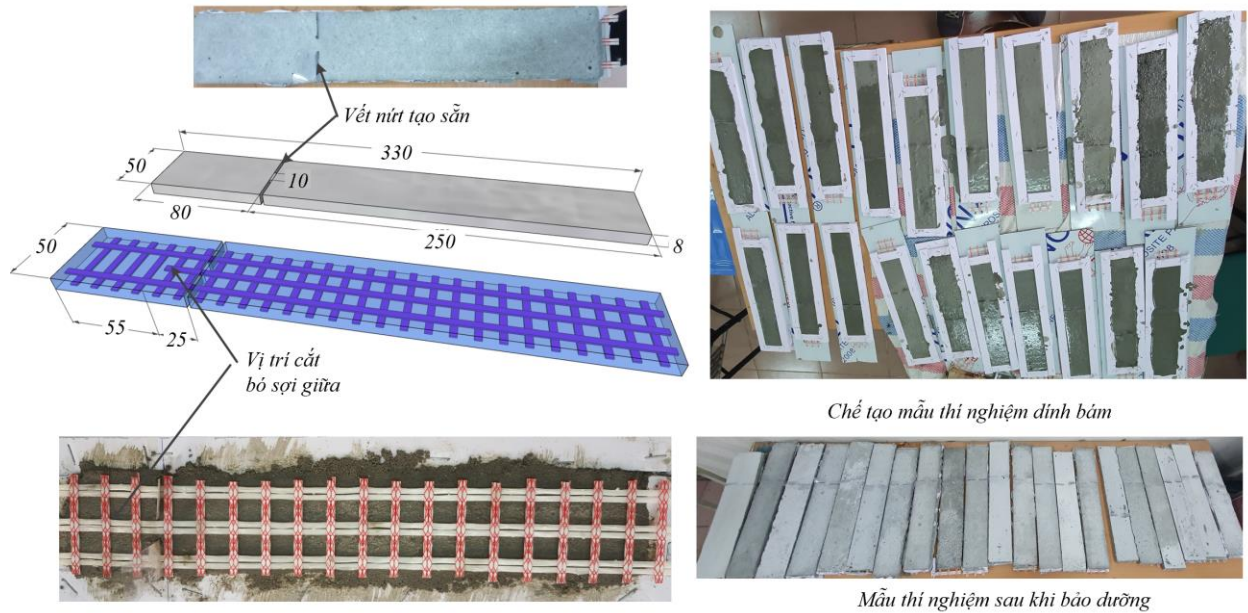
2.2. Thí nghiệm xác định ứng xử dính bám giữa lưới sợi thủy tinh và bê tông hạt mịn

Để đánh giá dính bám giữa lưới sợi dệt và bê tông hạt mịn, thí nghiệm kéo tuột (pull-out test) được thực hiện theo chỉ dẫn kỹ thuật của Đức Zulassung Z-31.10-182 [9]. Kích thước mẫu thí nghiệm là 50 × 300 × 8 mm (Hình 3), sử dụng một lớp lưới sợi carbon (bao gồm ba bó sợi). Chiều dài dính bám của bó sợi ở giữa được giới hạn bằng 25 mm, được tính từ vị trí tạo sẵn vết nứt. Vết nứt cắt qua hai bó sợi phía ngoài, nhằm xác định trước vị trí bê tông bị nứt khi kéo. Đoạn phía trên của mẫu thí nghiệm được dính với hai thép tấm bằng keo Sikadur 731, và lực kéo được truyền qua thép tấm và bu lông.

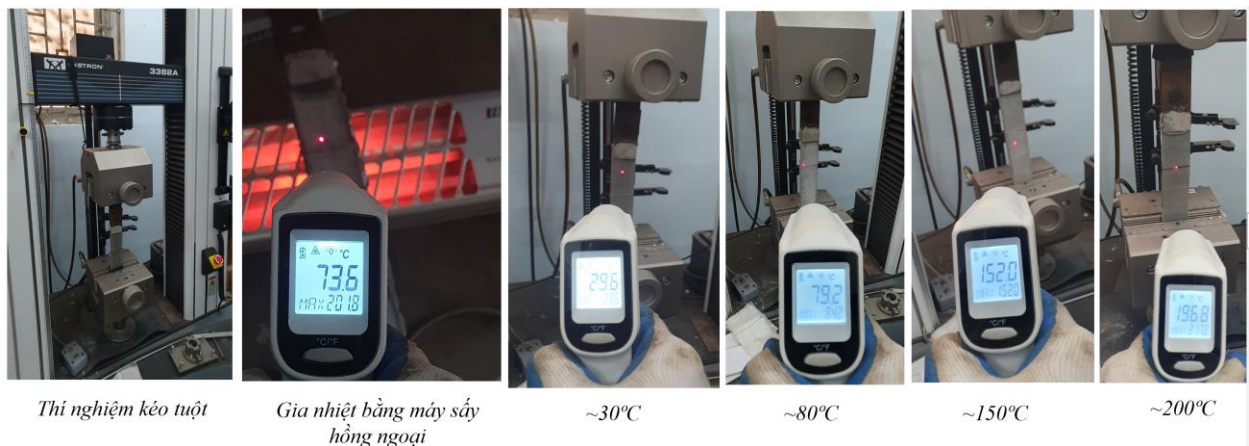
Một máy sấy hồng ngoại công suất 3000 W được sử dụng để gia nhiệt trực tiếp vào khu vực

khảo sát dính bám của mẫu thí nghiệm (Hình 4), với mức nhiệt thay đổi từ 30°C (tương đương nhiệt độ phòng), 80°C, 150°C và 200°C. Mẫu thí nghiệm được gia tải theo chuyển vị với tốc độ

0,1 mm/phút trên máy kéo Instron 100 kN cho đến khi có sự trượt đáng kể giữa bó sợi với bê tông hạt mịn.

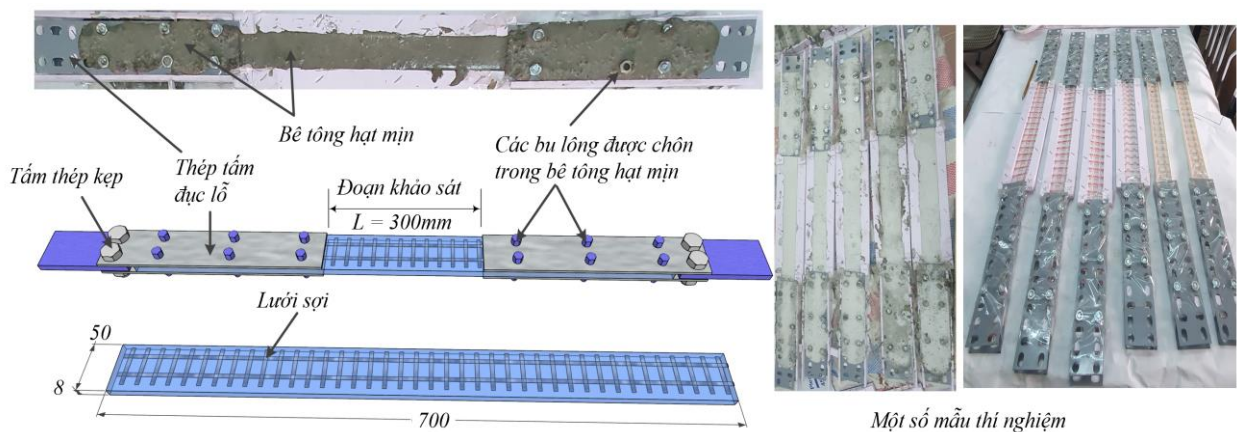


Hình 3. Thí nghiệm xác định ứng xử dính bám giữa lưới sợi với bê tông hạt mịn.



Hình 4. Gia nhiệt cho các mẫu thí nghiệm dính bám ở bốn cấp độ.

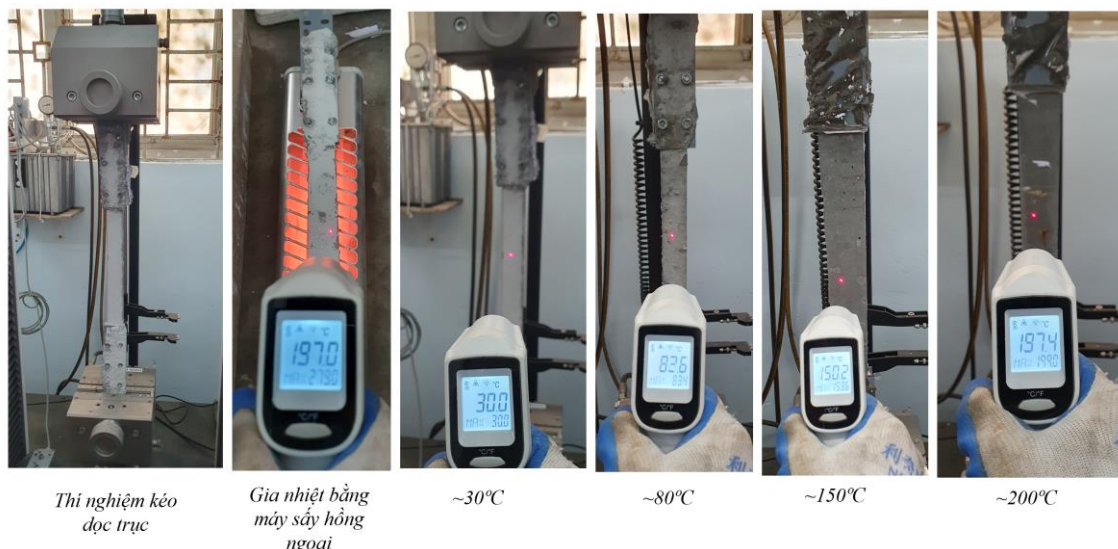
2.3 Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo của BTCLD



Hình 1. Thí nghiệm xác định ứng xử cường độ chịu kéo của BTCLD sợi thủy tinh.

Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo của BTCLD (lưới sợi trong bê tông hạt mịn) được tiến hành theo chỉ dẫn kỹ thuật RILEM 232-TDT [10], trên tấm BTCLD kích thước $50 \times 700 \times 8$ mm với hai bó sợi dọc (Hình 5). Hai đầu mẫu thí nghiệm (có chiều dài 200 mm, tính toán từ kết quả thí nghiệm dính bám) được

“chôn” cùng các tấm thép đục lỗ và các bu lông D4 để đảm bảo lưới sợi có đủ “chiều dài neo” trong bê tông. Việc sử dụng tấm thép lỗ và dây bu lông nhằm đảm bảo truyền được lực kéo từ máy thí nghiệm đến mẫu, thay việc sử dụng keo epoxy vốn dễ bị ảnh hưởng của nhiệt độ cao.



Hình 6. Gia nhiệt và thí nghiệm kéo dọc trực tấm BTCLD.

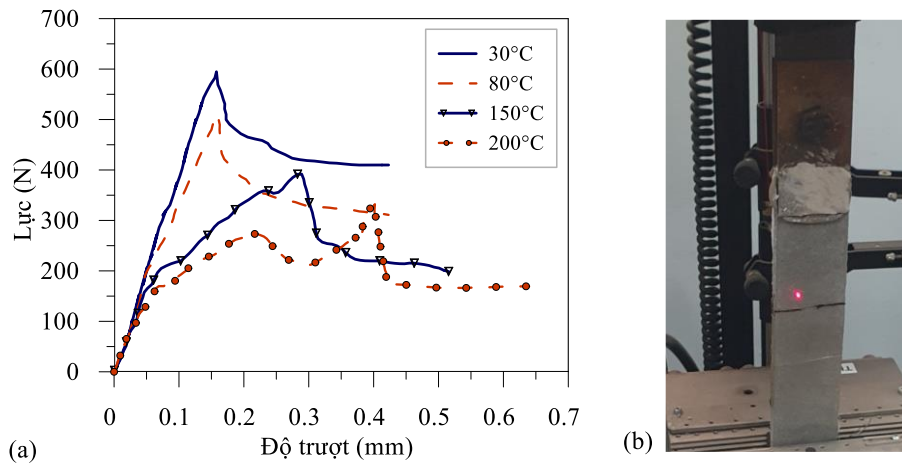
Một máy sấy hồng ngoại công suất 3000W được sử dụng để gia nhiệt vào khu vực khảo sát của mẫu thí nghiệm (Hình 6), với mức nhiệt thay đổi từ 30°C (trương đương nhiệt độ phòng), 80°C, 150°C và 200°C. Các mẫu thí nghiệm sau đó được kéo dọc trực trên máy Instron 100kN, bằng phương pháp khống chế chuyển vị với tốc độ 0,1 mm/phút.

3. Kết quả thí nghiệm

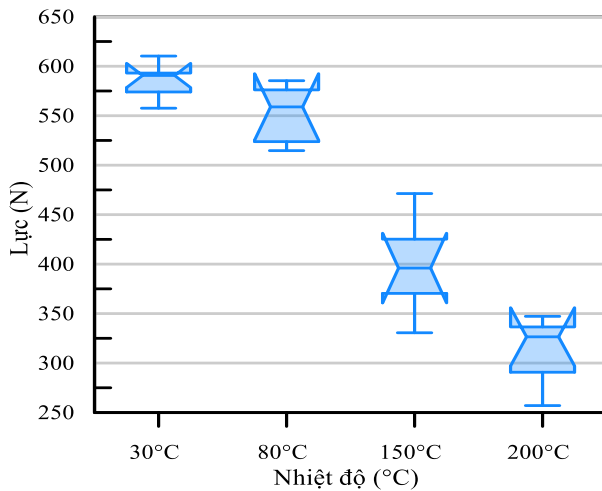
3.1. Thí nghiệm dính bám

Các mẫu dính bám được thí nghiệm kéo dọc trực cho đến khi bó sợi bị kéo tuột khỏi khối bê tông hạt mịn. Quan hệ giữa lực kéo và chuyển vị trượt của các mẫu điển hình ở nhiệt độ thường (30°C), và các mức nhiệt độ 80°C, 150°C và 200°C được biểu diễn trong Hình 7a. Như quan sát mẫu thí nghiệm ở nhiệt độ thường, giai đoạn đầu, lực tác dụng tăng gần như tuyến tính cùng với chuyển vị cho đến khi bê tông hạt mịn bị nứt ở vị trí đã dự kiến, với mức tải trọng gây nứt xấp xỉ 320 N. Lực tác dụng tiếp tục tăng cho đến khi đạt giá trị lớn

nhất, xấp xỉ 589 N. Sau khi lực kéo đạt giá trị cực hạn, lực tác dụng giảm xuống đột ngột và duy trì mức tải trọng do thành phần dính bám ma sát gây ra. Cùng với sự gia tăng của chuyển vị kéo trượt, số lượng sợi cơ bản giảm dần. Tuy nhiên, quá trình phá hoại không xảy ra đồng thời trên toàn bộ tiết diện, lại xảy ra đối với từng nhóm sợi cơ bản. Cụ thể, ứng xử kéo trượt của bó sợi được khống chế bởi lực dính bám lớn của các sợi bên ngoài và sự trượt của các sợi bên trong. Do đoạn chiều dài dính bám của bó sợi nằm trong bê tông hạt mịn có chiều dài 25 mm ngày càng được rút ngắn, diện tích tiếp xúc giữa bê tông và bề mặt bó sợi giảm, hiệu quả của lực ma sát giảm. Từ các kết quả của sáu mẫu thí nghiệm ở điều kiện bình thường (nhiệt độ phòng xấp xỉ 30°C), cường độ dính bám trung bình giữa lưới sợi thủy tinh với bê tông hạt mịn được xác định là 23,2 N/mm. Tương ứng với cường độ dính bám trung bình này, chiều dài neo của bó sợi có thể được xác định thông qua tính toán, xấp xỉ 84 mm.



Hình 2. (a) Quan hệ giữa lực kéo và độ trượt và (b) Cấu trúc vết nứt sau khi phá hoại.



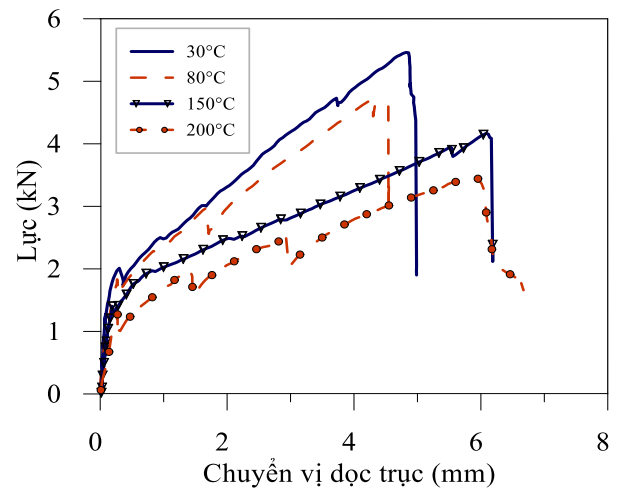
Hình 3. Lực kéo lớn nhất gây tuột sợi tương ứng với các mức nhiệt độ.

Ứng xử dính bám trên các nhóm mẫu còn lại có dạng tương tự, nhưng có sự thay đổi đáng kể về cường độ lực dính bám khi nhiệt độ tăng đến 80°C, 150°C và 200°C (Hình 8). Cụ thể, cường độ lực dính chỉ giảm khoảng 5,4% khi nhiệt độ tăng đến 80°C. Tải trọng gây nứt giảm đáng kể so với mẫu ở nhiệt độ thường. Nguyên nhân do cường độ của bê tông hạt mịn hầu như không thay đổi ở nhiệt độ dưới 50°C và bắt đầu giảm mạnh trong khoảng từ 50°C đến 100°C. Trong khoảng nhiệt độ này, nước lỗ rỗng bay hơi mạnh. Như quan sát ở Hình 7a, khi lực dính bám đạt giá trị lớn nhất đối với mẫu thí nghiệm ở nhiệt độ 150°C và 200°C, chuyển vị tăng đáng kể so với ở nhiệt độ thường. Việc chuyển vị tăng nhanh được “kích hoạt” từ khi bê tông hạt mịn bị nứt.

Khi nhiệt độ tăng đến 150°C và 200°C, lực dính bám giảm lần lượt 33,4% và 46,2%. Trong

ngiên cứu này, lưới sợi thủy tinh sử dụng lớp phủ styrene butadine để tăng dính bám giữa các sợi trong bó cũng như giữa bó sợi và bê tông. Loại lớp phủ này có khả năng chịu nhiệt tương đối kém, có thể xảy ra hiện tượng thủy tinh hoá và mất dần khối lượng ở nhiệt độ 115°C, và xảy ra hiện tượng bốc hơi tại nhiệt độ 550°C. Cần lưu ý rằng, kết quả thí nghiệm cường độ dính bám khá phân tán ở mức nhiệt độ cao (150°C và 200°C). Điều này có thể được giải thích do lưới sợi thủy tinh ban đầu có hàm lượng lớp phủ lớn. Lớp phủ này bị ảnh hưởng đáng kể bởi nhiệt độ cao, làm suy thoái khả năng dính bám trong của các sợi cơ bản.

3.2. Thí nghiệm kéo dọc trục

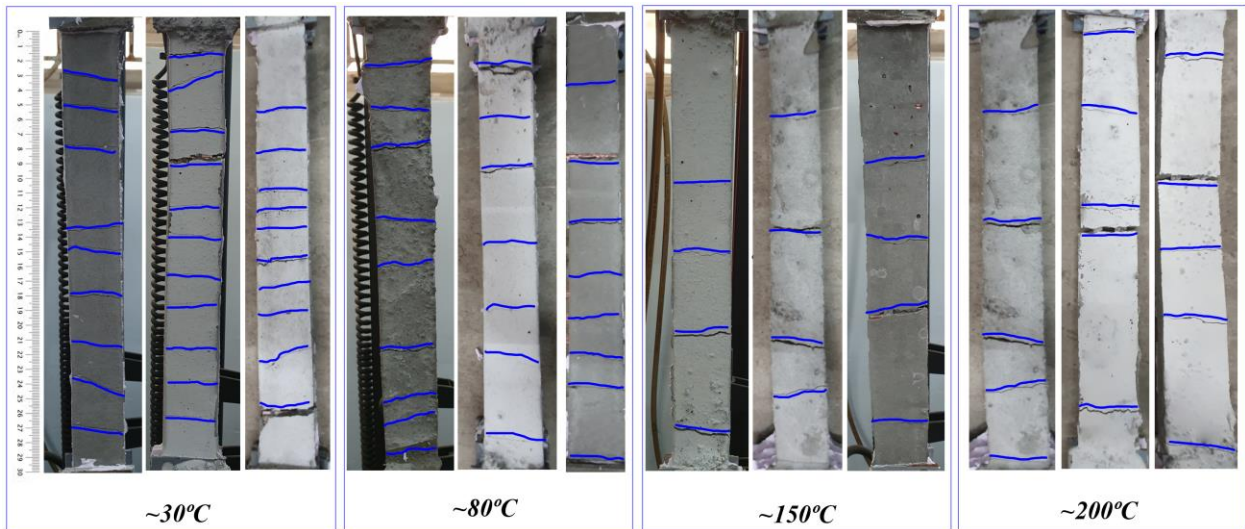


Hình 9. Quan hệ lực – chuyển vị dọc trục của mẫu thí nghiệm kéo điển hình.

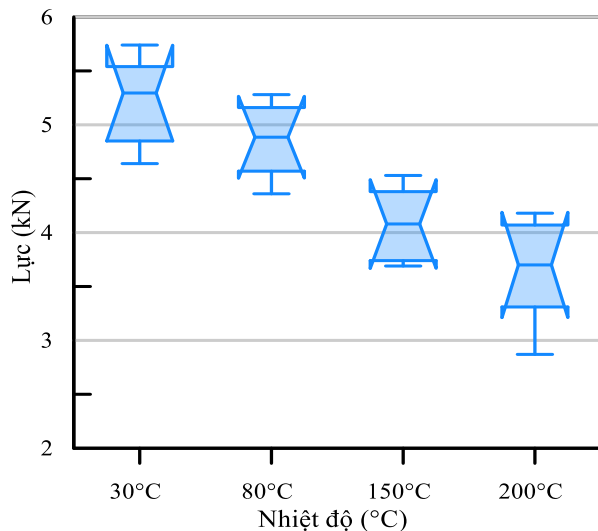
Hình 9 trình bày đường cong giữa lực và chuyển vị dọc trục của các mẫu thí nghiệm điển hình. Nhìn chung, ứng xử chịu kéo của các mẫu thí nghiệm ở các mức nhiệt độ khác nhau đều có

thể được chia thành ba giai đoạn. Ở mức nhiệt độ 30°C, trong giai đoạn đầu, lực và chuyển vị gần như tuyến tính cho đến khi bê tông bị nứt, ở mức tải trọng xấp xỉ 2,05 kN. Lúc này, lực kéo tại vị trí vết nứt chủ yếu do cốt lưới dệt chịu. Ở giai đoạn tiếp theo, khi lực kéo gia tăng, các vết nứt liên tục hình thành. Nhờ vào lực dính bám tốt giữa sợi và bê tông, lực kéo được truyền đi cho đến khi ứng suất trong bê tông đạt tới cường độ chịu kéo, gây ra vết nứt mới. Trong giai đoạn vết nứt đã ổn định, hầu như không xuất hiện thêm. Lực kéo tăng nhanh khi ứng

suất trong sợi đạt đến cường độ chịu kéo, được đặc trưng bởi hiệu ứng cứng hóa do chịu lực kéo. Khi sợi đạt đến cường độ chịu kéo xấp xỉ 1470 MPa, cấu kiện bị phá hủy do sợi bị đứt. Cường độ kéo này nhỏ hơn cường độ kéo của bó sợi trần, điều này phù hợp với các nghiên cứu trên thế giới [4]. Ở điều kiện nhiệt độ thông thường (30°C), vết nứt có cấu trúc dày, với khoảng cách giữa chúng từ 15 đến 25 mm (Hình 10). Điều này khẳng định sự dính bám tốt giữa lưới sợi và bê tông hạt mịn.



Hình 4. Cấu trúc vết nứt của các mẫu thí nghiệm kéo dọc trục.



Hình 5. Lực kéo lớn nhất gây đứt lưới sợi tương ứng với các mức nhiệt độ.

Ứng xử chịu kéo của tấm BTCLD khi chịu tác động nhiệt độ 80°C khá tương đồng với mẫu ở nhiệt độ 30°C, trong đó, lực gây nứt và lực phá hoại giảm lần lượt 10,9% và 7,8%. Số lượng vết nứt giảm nhẹ, tương ứng với khoảng cách vết

nứt tăng từ 25 đến 40 mm, khi nhiệt độ tác động vào mẫu thí nghiệm đạt đến 80°C.

Khi tăng nhiệt độ lên đến 150°C và 200°C, lực kéo lớn nhất giảm lần lượt 21,9% và 30,4% so với khả năng chịu kéo ở mức nhiệt 30°C. Bên cạnh đó, số lượng vết nứt tại khu vực khảo sát giảm mạnh, tương ứng với khoảng cách vết nứt trung bình là 65 mm. Điều này phù hợp với kết quả thí nghiệm dính bám được nêu ở trên, bởi lực dính cũng suy giảm đáng kể ở hai mức nhiệt độ này. Như vậy, các kết cấu chịu lực bằng BTCLD cần được được bảo vệ chịu lửa/ chịu nhiệt độ cao theo các giải pháp phù hợp.

4. Kết luận

Bài báo trình bày một số kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo của BTCLD sợi thủy tinh và cường độ dính bám giữa lưới sợi với bê tông hạt mịn chịu tác động nhiệt độ thay đổi từ

30°C, 80°C, 150°C và 200°C. Các kết quả nghiên cứu đã thực hiện được kết luận như sau:

Dính bám giữa lưới sợi thủy tinh có lớp phủ SBR với bê tông hạt mịn ở điều kiện thường (30°C) là rất tốt, với cường độ dính bám trung bình là 23,2 N/mm (suất dính bám). Tương ứng với cường độ dính bám trung bình này, chiều dài neo của bó sợi có thể được xác định thông qua tính toán, xấp xỉ 120 mm. Ứng xử dính bám trên các nhóm mẫu còn lại có dạng tương tự, tuy nhiên, có sự biến đổi đáng kể về khả năng dính bám khi nhiệt độ tăng lên 150°C và 200°C. Cụ thể, lực dính bám giảm khoảng 5,4% khi nhiệt độ đạt 80°C. Nhiệt độ ở mức 150°C và 200°C, lực bám dính giảm lần lượt là 33,4% và 46,2%.

Cường độ chịu kéo của lưới sợi trong bê tông hạt mịn ở điều kiện thường được xác định bằng 1470 MPa, với khoảng cách vết nứt từ 15 đến 25 mm ở mẫu BTCLD. Ứng xử chịu kéo của tấm BTCLD khi chịu tác động nhiệt độ cao khá tương đồng với mẫu ở nhiệt độ 30°C. Cụ thể, lực gây nứt và lực phá hoại của mẫu ở 80°C giảm lần lượt 10,9% và 7,8% so với mẫu ở 30°C. Số lượng vết nứt giảm nhẹ, tương ứng với khoảng cách vết nứt tăng từ 25 đến 40 mm, khi nhiệt độ tác động vào mẫu thí nghiệm đạt đến 80°C. Nếu tăng nhiệt độ lên đến 150°C và 200°C, lực kéo lớn nhất giảm lần lượt 21,9% và 30,4% so với khả năng chịu kéo ở mức nhiệt 30°C. Qua đó, số lượng vết nứt tại khu vực khảo sát giảm mạnh, tương ứng với khoảng cách vết nứt trung bình là 65 mm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2023-XD-002.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. C. Triantafillou, *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*, Sawston, UK: Woodhead Publishing, 2016.
- [2] F. Schladitz, M. Curbach, M. Tietze and M. Lieboldt, “Carbon and Concrete – The Future of Construction,” presented at IABSE

Conference: Bridges and Structures Sustainability - Seeking Intelligent Solutions, Guangzhou, China, May 8-11, 2016.

- [3] D. Ehlig, F. Jesse, M. Curbach, “High temperature tests on textile reinforced concrete (TRC) strain specimens,” in *Proc. of the Int. RILEM Conf. on Mater. Sci. (MatSci)*, 2010, pp.141-151.
- [4] J. Hegger, N. Will, O. Bruckermann and S. Voss, “Load-bearing behaviour and simulation of textile reinforced concrete,” *Mater. and Struct.*, vol. 39, no. 8, pp 765-776, Oct. 2006, doi: 10.1617/s11527-005-9039-y.
- [5] I. Colombo, M. Colombo, A. Magri, G. Zani, and M. di Prisco, “Textile reinforced mortar at high temperatures,” *Appl. Mech. and Mater.*, vol. 82, pp 202–207, Jul. 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.82.202.
- [6] C. H. Nguyen, Q. D. Ngo, “Flexural and shear behavior of reinforced concrete beams strengthened with carbon textile reinforced concrete,” *Arch. of Civil Eng.*, vol. 66, no. 3, pp 407-426, 2020, doi: 10.24425/ace.2020.134405.
- [7] D. Q. Ngo, H. C. Nguyen, D. L. Mai, V. H. Vu, “Experimental and numerical evaluation of concentrically loaded RC columns strengthening by textile reinforced concrete jacketing,” *Civil Eng. J.*, vol. 6, no.8 , pp.1428-1442, Aug. 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091558.
- [8] V. V. Hiệp, N. Đ. Quang, N. H. Cường, “Giải pháp sửa chữa, tăng cường sàn panel lắp ghép bằng bê tông cốt lưới dệt,” *TC XD*, số 8, 2018, tr. 101-104.
- [9] *Gegenstand: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton)*, Zulassung Z-31.10-182, TU Dresden Aktiengesellschaft, 2015.
- [10] RILEM Technical Committee, “Recommendation of RILEM TC 232-TDT: test methods and design of textile reinforced concrete,” *Mater. and Struct.*, vol. 49, pp 4923–4927, 2016.