



## Ảnh hưởng của tốc độ gia tải và nhiệt độ đến cường độ ép chẻ của bê tông nhựa

## Effect of loading rate and temperature on the indirect tensile strength of asphalt concrete

Nguyễn Công Thức<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Quang Tuấn<sup>2</sup>, Lê Văn Phúc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khoa Công trình, Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

<sup>2</sup>Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải

*Từ khóa:*

Bê tông nhựa  
Cường độ ép chẻ  
Khả năng kháng nứt  
Tốc độ gia tải  
Nhiệt độ

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của tốc độ gia tải và nhiệt độ đến cường độ ép chẻ (ITS) của bê tông nhựa chặt có cỡ hạt lớn nhất danh định 16 mm (BTNC16). Các mẫu bê tông nhựa (BTN) được thử nghiệm ở ba mức nhiệt độ (10°C, 20°C, 30°C) và ba tốc độ gia tải (0,5 mm/phút, 5 mm/phút, 50 mm/phút). Kết quả thí nghiệm cho thấy ITS tăng từ 481 kPa lên 1.804 kPa khi tốc độ gia tải tăng từ 0,5 mm/phút lên 50 mm/phút tại 10°C, với xu hướng tương tự ở 20°C và 30°C. Ngược lại, khi nhiệt độ tăng từ 10°C lên 30°C, ITS giảm đáng kể ở mọi tốc độ gia tải. Ở 50 mm/phút, ITS giảm từ 1.804 kPa (10°C) xuống 481 kPa (30°C), cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ. Nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của vận tốc và nhiệt độ môi trường có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng kháng nứt của mặt đường BTN trong điều kiện thực tế.

*Keywords:*

Asphalt concrete  
Indirect tensile strength  
Cracking resistance  
Asphalt content  
Loading rate  
Temperature

**ABSTRACT**

This study evaluates the effects of loading rate and temperature on the Indirect Tensile Strength (ITS) of dense-graded asphalt concrete with a nominal maximum aggregate size of 16 mm (BTNC 16). Asphalt concrete specimens were tested at three temperatures (10°C, 20°C, 30°C) and three loading rates (0.5 mm/min, 5 mm/min, 50 mm/min). The test results show that ITS increased from 481 kPa to 1,804 kPa as the loading rate increased from 0.5 mm/min to 50 mm/min at 10°C, with a similar trend observed at 20°C and 30°C. Conversely, when the temperature increased from 10°C to 30°C, ITS significantly decreased at all loading rates. At 50 mm/min, ITS dropped from 1,804 kPa (10°C) to 481 kPa (30°C), highlighting the significant influence of temperature. This study highlights the importance of traffic velocity and ambient temperature, which have a significant influence on the cracking resistance of asphalt pavements under field conditions.

\* Nguyễn Công Thức. Khoa Công trình, Phân hiệu tại Thành Phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải.

Email: [thucnc\\_ph@utc.edu.vn](mailto:thucnc_ph@utc.edu.vn)

[https://www.doi.org/10.55228/10.55228/JTST.14\(2\).57-66](https://www.doi.org/10.55228/10.55228/JTST.14(2).57-66)

Ngày nhận bài: 10/02/2025; Ngày nhận bài sửa: 03/3/2025; Ngày chấp nhận đăng: 10/3/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/3/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

## 1. Giới thiệu

Bê tông nhựa (BTN) là một vật liệu quan trọng trong cơ sở hạ tầng giao thông, chịu tác động của tải trọng phức tạp và điều kiện môi trường trong suốt vòng đời sử dụng. Trong số các cơ chế hư hỏng, nứt gãy là yếu tố ảnh hưởng lớn đến tính toàn vẹn cấu trúc và độ bền của BTN. Ngoài ra, đây là vật liệu có tính đàn hồi nhớt và nhạy cảm với nhiệt độ. Các đặc tính cơ học của vật liệu này đều phụ thuộc rất lớn vào tốc độ gia tải (trên thực tế là tốc độ xe chạy) và nhiệt độ môi trường [1], [2]. Trong nhiều trường hợp, ảnh hưởng của các yếu tố nhiệt độ và tốc độ gia tải có sự liên hệ mật thiết với nhau thông qua nguyên tắc tương quan thời gian nhiệt độ [3], [4]. Việc hiểu rõ các yếu tố tác động đến quá trình nứt gãy, chẳng hạn như tốc độ gia tải và nhiệt độ, là điều cần thiết để nâng cao hiệu suất của BTN và kéo dài tuổi thọ mặt đường.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, tốc độ gia tải và nhiệt độ đóng vai trò quan trọng trong sự hình thành, phát triển vết nứt. Yin và cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ gia tải và gia nhiệt đến khả năng kháng nứt của BTN thông qua các thí nghiệm kéo gián tiếp (IDT) với hệ số Nflex và thí nghiệm uốn bán vòng J-integral (SCB-Jc), cho thấy tăng tốc độ gia tải thường dẫn đến giá trị SCB-Jc cao hơn. Lu và cộng sự [6] đã đánh giá đặc tính phá hủy dưới các tốc độ gia tải khác nhau bằng phương pháp SCB và xác định tốc độ 1 mm/phút là phù hợp nhất để đánh giá các đặc tính phá hủy. Im [7] đã nghiên cứu tốc độ gia tải có tác động không đáng kể đến năng lượng phá hủy ở -10°C do BTN thể hiện đặc tính đàn hồi tuyến tính, nhưng ảnh hưởng đáng kể đến năng lượng phá hủy trong khoảng nhiệt độ từ 0°C đến 30°C. Những kết quả này phù hợp với các nghiên cứu [8], [9] và [10], trong đó, báo cáo rằng năng lượng phá hủy giảm khi nhiệt độ dưới 0°C và tốc độ gia tải tăng. Tuy nhiên, sự

tương tác giữa nhiệt độ, tốc độ gia tải và loại nhựa đường chưa được nghiên cứu đầy đủ, đặc biệt trong khoảng nhiệt độ trung gian, nơi cả hai yếu tố đàn hồi nhớt và phá hủy đều nhạy cảm với các điều kiện này [11], [12], [13], [14], [15].

Trong nghiên cứu này, thí nghiệm được tiến hành trên BTNC16 sử dụng nhựa 60/70 ở ba mức nhiệt độ 10°C, 20°C và 30°C, kết hợp với ba tốc độ gia tải 0,5 mm/phút, 5 mm/phút và 50 mm/phút. Để đánh giá cường độ ép chẻ của BTN, phương pháp Indirect Tensile Strength (ITS) được sử dụng. Đây là một trong những phương pháp phổ biến để xác định khả năng kháng nứt của BTN dưới tác động của tải trọng kéo. Phương pháp ITS đơn giản, dễ thực hiện, phản ánh chính xác khả năng kháng nứt của BTN và nhạy cảm với các yếu tố nhiệt độ, tốc độ gia tải [16], [17].

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là kiểm tra ảnh hưởng của tốc độ gia tải và nhiệt độ đến cường độ ép chẻ của BTN thông qua phương pháp ITS. Những phát hiện thu được góp phần làm sáng tỏ cơ chế hình thành vết nứt, cung cấp cơ sở khoa học để cải thiện thiết kế, thi công và bảo trì, cũng như nâng cao tuổi thọ và độ bền của mặt đường BTN.

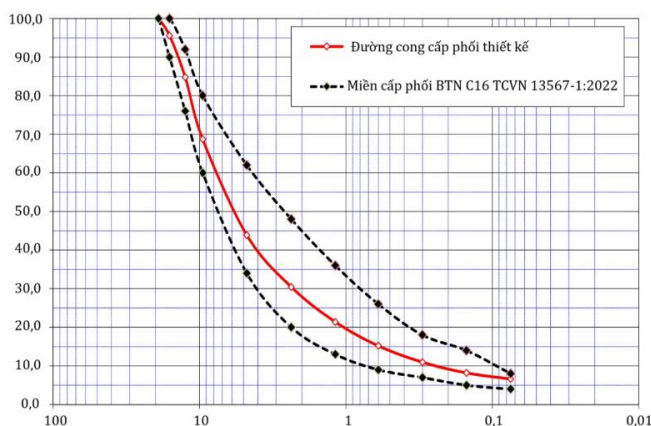
## 2. Thiết kế thành phần hỗn hợp BTNC16

Sự suy giảm chất lượng của mặt đường BTN là một thách thức lớn trong cơ sở hạ tầng giao thông. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, hỗn hợp BTN có cỡ hạt lớn nhất vượt quá 12,5 mm có khả năng kháng nứt tốt hơn, đặc biệt dưới tác động của tải trọng giao thông nặng [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Dựa trên những phát hiện này, nghiên cứu này đánh giá hỗn hợp BTN có cỡ hạt lớn nhất là 16 mm. Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm, cốt liệu được khai thác từ mỏ đá Antraco (tỉnh An Giang); nhựa đường cung cấp bởi Kho nhựa đường

Petrolimex (Nhà Bè); bột khoáng lấy từ Công ty Khoáng sản Bình Dung (Đồng Nai). Tất cả các vật liệu này đều đáp ứng Tiêu chuẩn TCVN 13567-1:2022 [18]. Các chỉ tiêu cơ lý của từng loại vật liệu được trình bày tại Bảng 2 đến Bảng 5, đường cong cấp phối của hỗn hợp BTNC16 được thể hiện tại Hình 1.

Phương pháp thiết kế hỗn hợp Marshall được sử dụng rộng rãi để đánh giá hỗn hợp BTN tại Việt Nam. Trong nghiên cứu này, các

thí nghiệm Marshall được thực hiện theo Tiêu chuẩn TCVN 8860-1:2011 [19] nhằm xác định hàm lượng nhựa tối ưu, dựa trên các tiêu chí lựa chọn chính bao gồm độ ổn định lớn nhất, khối lượng thể tích lớn nhất, độ rỗng dư 4%. Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng nhựa tối ưu của hỗn hợp sử dụng nhựa 60/70 là 4,5%. Các chỉ tiêu cơ học của hỗn hợp BTN tương ứng với hàm lượng nhựa tối ưu được tóm tắt trong Bảng 1.



Hình 1. Đường cong cấp phối của hỗn hợp BTNC16.

Bảng 1. Kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp BTNC16 theo Marshall.

Các chỉ tiêu kỹ thuật	BTNC 16	
	Kết quả	Yêu cầu
Độ ổn định (kN)	11,03	≥ 8,0
Độ dẻo (mm)	3,80	1,5 - 4
Độ rỗng lấp đầy (%)	69,3	65 - 75
Độ rỗng dư (%)	4,6	4 - 6
Độ rỗng cốt liệu (%)	14,9	≥ 14,5
Tỷ trọng khối	2,498	-
Tỷ lệ $P_{0,075}/P_{ae}$	1,55	0,8 - 1,6
Độ ổn định còn lại sau 24 giờ (%)	87,65	≥ 80

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm chỉ tiêu cơ lý cho cốt liệu.

Vật liệu	Tỷ trọng		HL vật liệu < 0,075 mm (%)	HL hạt thoi dẹt (%)	HL sét cục và mềm yếu (%)	Độ mài mòn LA (%)	Độ hút nước, (hay độ ẩm bột khoáng) (%)
	Khối	Biểu kiến					
10x19	2,841	2,857	0,90	9,70	0,52	11,36	0,19
10x16	2,805	2,826	1,10	8,65	0,46	12,16	0,26

Vật liệu	Tỷ trọng		HL vật liệu < 0,075 mm (%)	HL hạt thoi dẹt (%)	HL sét cục và mềm yếu (%)	Độ mài mòn LA (%)	Độ hút nước, (hay độ ẩm bột khoáng) (%)
	Khối	Biểu kiến					
5x10	2,799	2,820	0,70	10,40	0,56	13,42	0,27
Cát nghiền	2,794	2,843	2,6	-	-	-	0,84
Bột khoáng	2,697	2,697					0,31
Nhựa 60/70	1,933						

**Bảng 3.** Một số chỉ tiêu cơ lý cho cát xay (đá 0 x 5 mm).

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	TCVN 13567-1 :2022
Mô đun độ lớn		TCVN 13567-1 :2022	3,49	≥ 2
Tỷ trọng khô của cốt liệu	g	AASHTO T84	2,794	≥ 2,5
Độ hút nước của cốt liệu	%	AASHTO T84	0,62	≤ 2
Hệ số đương lượng cát (SE)	%	AASHTO T176	68,2	≥ 60
Hàm lượng hạt < 0,075mm	%	AASHTO T11	2,60	≤ 3
Độ góc cạnh của cát	%	TCVN 11807 - 2017	48,9	≥ 45

**Bảng 4.** Một số chỉ tiêu cơ lý cho bột khoáng.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	TCVN 13567-1 :2022
Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	TCVN 8735: 2012	2,704	≥ 2,5
Độ ẩm của bột khoáng	%	TCVN 12884-2: 2020	0,60	≤ 1
Hệ số thích nước		TCVN 12884-2: 2020	0,67	≤ 1

**Bảng 5.** Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của nhựa đường 60/70.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	TCVN 13567-1 :2022
Độ kim lún - 100g ở 25°C, 5 giây	1/10mm	TCVN 7495:2005	62,0	Min. 60 Max. 70
Chỉ số độ kim lún PI		TCVN 7495:2005	-0,94	-1,5 ÷ 1
Nhiệt độ hóa mềm (dụng cụ vòng bi)	°C	TCVN 7495:2005	49,2	Min. 46
Độ nhớt động lực học ở 60°	Pa.s	TCVN 8818-5:2011	230	Min. 180
Độ kéo dài ở 25°C - 5cm/phút	cm	TCVN 7496:2005	>100	Min. 100
Hàm lượng Paraphin	%	TCVN 7503:2005	1,42	Max. 2,2
Điểm chớp cháy (cốc mở Cleveland)	°C	TCVN 7498:2005	330	Min. 232
Độ hòa tan trong Trichloethylene	%	TCVN 7500:2005	99,42	Min. 99
Khối lượng riêng ở 25°C	g/cm <sup>3</sup>	TCVN 7501:2005	1,035	1,0-1,05

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	TCVN 13567-1 :2022
Tổn thất khối lượng	%	TCVN11711	0,03	Max.0,8
Tỷ lệ độ kim lún còn lại so với độ kim lún ban đầu ở 25oC	% original	TCVN 7495:2005	74,20	Min. 54
Độ kéo dài ở 25oC - 5cm/phút	cm	TCVN 7496:2005	> 50	Min. 50
Độ dính bám với đá	cấp	TCVN 7504:2005	3	Min. cấp 3

### 3. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của BTNC16

Thí nghiệm cường độ ép chẻ - ITS được thực hiện theo Tiêu chuẩn ASTM D6931 [20], nhằm đánh giá khả năng kháng nứt của BTNC16 dưới tác động của tải trọng kéo gián tiếp. Phương pháp này mô phỏng trạng thái ứng suất thực tế trong mặt đường, cụ thể, lực nén được áp dụng theo phương ngang của mẫu hình trụ để tạo ra ứng suất kéo theo phương dọc. Từ đó, xác định khả năng chịu kéo của BTN. Thí nghiệm được thực hiện trên thiết bị Marshall tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Đường bộ III (Hình 2). Thực hiện trộn, ủ và đầm mẫu bằng đầm xoay theo Tiêu chuẩn AASHTO T312 [21] với đường kính (150±2) mm, chiều cao (62±1) mm, độ rỗng dư (7±0,5) %. Tiến hành thí nghiệm theo trình tự đã được quy định tại Tiêu chuẩn ASTM D6931 [20]. Trong quá trình thí nghiệm, thực hiện thay đổi các thông số về nhiệt độ ở ba mức 10°C, 20°C và 30°C, với ba tốc độ gia tải là 0,5mm/phút, 5 mm/phút và 50mm/phút. Với số lần lặp là 3 mẫu/tổ mẫu, tổng số mẫu thí nghiệm là 27 mẫu (Hình 3). Triển khai tính toán cường độ ép chẻ theo công thức (1):

$$S_t = \frac{2000P}{\pi tD} \quad (1)$$

Trong đó:

$S_t$  là cường độ ép chẻ (kPa);

$P$  là lực nén phá hoại mẫu (N);

$t$  là chiều cao của mẫu trước khi thí nghiệm (mm);

$D$  là đường kính của mẫu (mm).

Giá trị ITS sử dụng trong phân tích kết quả là giá trị trung bình của 3 mẫu trong tổ mẫu.



Hình 2. Thiết bị thí nghiệm.



Hình 3. Mẫu thí nghiệm.

### 4. Kết quả và phân tích cơ bản

Phân tích giá trị cường độ ép chẻ của BTNC16 theo công thức (1) cho kết quả được

thể hiện trong Hình 4. Các giá trị cường độ ép chẻ (ITS) được xác định ở ba mức nhiệt độ (10°C, 20°C, 30°C) và ba tốc độ gia tải (0,5 mm/phút, 5 mm/phút, 50 mm/phút).

Hình 4 cho thấy sự biến thiên của ITS theo các điều kiện thí nghiệm. Có thể nhận thấy rằng, cường độ ép chẻ có xu hướng tăng khi tốc độ gia tải tăng, nhưng giảm khi nhiệt độ tăng. Xu hướng này có thể được giải thích dựa trên đặc tính cơ học của BTN. Khi tốc độ gia tải cao, thời gian biến dạng dẻo giảm, ứng suất cục bộ tăng, dẫn đến cường độ ITS cao. Ngược lại, khi nhiệt độ tăng, nhựa đường trở nên mềm hơn, giảm khả năng liên kết giữa các hạt cốt liệu, khiến ITS giảm. Kết quả này góp phần sáng tỏ ảnh hưởng của các yếu tố tác động đến ITS, đồng thời, cung cấp cơ sở khoa học cho công tác thiết kế và đánh giá kết cấu mặt đường trong điều kiện thực tế.

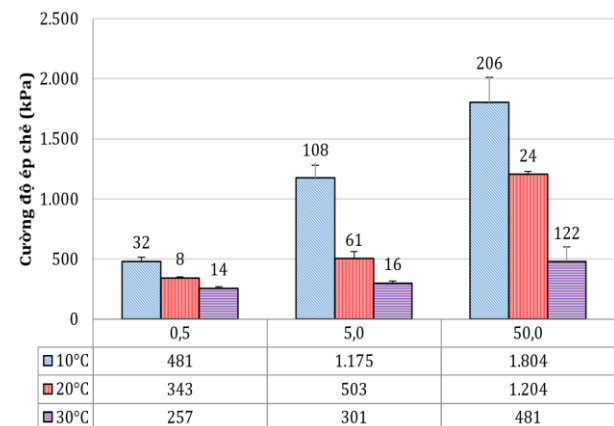
Ngoài sự thay đổi của ITS, độ phân tán của kết quả thí nghiệm trong Bảng 6 cho thấy khác biệt rõ rệt khi đánh giá qua hệ số biến thiên (COV%). COV dao động từ 2,00% đến 25,41%, phản ánh mức độ ổn định khác nhau giữa các điều kiện thí nghiệm. Giá trị thấp nhất (2,00% tại 20°C, 50 mm/phút) thể hiện tính ổn định cao nhất của dữ liệu, trong khi, giá trị cao nhất (25,41% tại 30°C, 50 mm/phút) cho thấy sự không đồng nhất của BTN trong điều kiện này. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đó, cụ thể, tốc độ gia tải và nhiệt độ được xác định là các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự ổn định của dữ liệu thí nghiệm BTN [1], [4], [7].

Về tốc độ gia tải, dữ liệu cho thấy COV tăng khi tốc độ gia tải tăng, đặc biệt rõ rệt ở 10°C và 30°C. Ở tốc độ thấp (0,5 mm/phút), COV dao động từ 3,04% đến 6,71%, phản ánh mức độ ổn định cao. Khi tăng 5 mm/phút, COV tăng mạnh ở 20°C (12,15%), mức độ

biến động lớn hơn. Ở 50 mm/phút, COV tiếp tục tăng, đạt giá trị cao nhất tại 30°C (25,41%), có thể nhận thấy sự không ổn định khi BTN mềm hóa dưới tải trọng cao. Xu hướng này phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây về ảnh hưởng của tốc độ gia tải đến độ phân tán dữ liệu trong các thử nghiệm cơ học của BTN [4], [7].

Tại 20°C, COV thấp nhất, cho thấy tính ổn định của dữ liệu tốt nhất trong phạm vi nghiên cứu. Ngược lại, ở mức 30°C, phân tán cao nhất, đặc biệt ở tốc độ tải cao, phản ánh ảnh hưởng của sự mềm hóa BTN, làm cho khả năng chịu tải trở nên không đồng nhất [10]. Ở 10°C, COV có xu hướng tăng theo tốc độ gia tải, do đặc tính giòn của BTN làm cho kết quả dao động mạnh hơn khi tải trọng tăng nhanh. Nghiên cứu [1] và [10] chỉ ra rằng ở nhiệt độ thấp, BTN có xu hướng giòn hơn, dẫn đến sự dao động lớn hơn trong các phép thử.

Nhìn chung, tốc độ gia tải cao và nhiệt độ thấp hoặc cao, dẫn đến gia tăng mức độ phân tán của dữ liệu, trong khi nhiệt độ trung bình (20°C) giúp ổn định kết quả tốt nhất. Điều này cần được xem xét khi đánh giá khả năng kháng nứt của BTN trong thực tế.



Hình 4. Giá trị cường độ ép chẻ của BTNC16 ở các nhiệt độ và tốc độ khác nhau.

**Bảng 6.** Độ phân tán của cường độ ITS theo tốc độ gia tải và nhiệt độ.

Nhiệt độ (°C)	Tốc độ gia tải (mm/phút)	Cường độ ITS (kPa)	Độ lệch chuẩn	COV (%)
10	0,5	481	32	6,71
10	5	1175	108	9,17
10	50	1804	206	11,44
20	0,5	343	8	3,04
20	5	503	61	12,15
20	50	1204	24	2,00
30	0,5	257	14	5,27
30	5	301	16	5,32
30	50	481	122	25,41

#### 4.1. Ảnh hưởng của tốc độ gia tải đến đến cường độ ép chẻ của BTNC16

Hình 4 cho thấy cường độ ép chẻ có xu hướng tăng khi tốc độ gia tải tăng, bất kể nhiệt độ thí nghiệm. Cụ thể, tại 10°C, ITS tăng nhanh từ 481 kPa (0,5 mm/phút) lên 1.175 kPa (5 mm/phút) và đạt giá trị cao nhất 1.804 kPa tại 50 mm/phút. Ở 20°C, ITS tăng từ 343 kPa lên 503 kPa, đạt 1.204 kPa ở tốc độ gia tải cao nhất. Và với 30°C, ITS thấp hơn đáng kể, dao động từ 257 kPa đến 481 kPa, cho thấy BTN có xu hướng suy giảm khả năng chịu tải khi nhiệt độ tăng. Xu hướng này phù hợp với nghiên cứu của Yin và cộng sự [5], trong đó, chỉ ra rằng tốc độ gia tải cao có thể dẫn đến sự gia tăng giá trị SCB-Jc, phản ánh khả năng chống nứt tốt hơn trong điều kiện tải trọng nhanh. Điều này cũng được xác nhận bởi Im và cộng sự [8], khi nhóm nghiên cứu này nhận thấy tốc độ gia tải cao, năng lượng phá hủy của BTN có thể tăng trong phạm vi nhiệt độ trung gian.

Có thể giải thích cho hiện tượng này, khi tốc độ gia tải tăng, vật liệu có ít thời gian hơn để xảy ra biến dạng dẻo, khiến hỗn hợp biểu hiện đặc tính cứng hơn và có khả năng chịu tải tốt trước khi bị phá hủy [11]. Fakhri và

Kharrazi [11] nhấn mạnh rằng, tốc độ gia tải có tác động đáng kể đến năng lượng phá hủy của hỗn hợp BTN, đặc biệt là ở nhiệt độ trung gian và cao.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng trong một số trường hợp, tốc độ gia tải quá cao có thể làm thay đổi cơ chế phá hủy, dẫn đến nứt gãy giòn thay vì nứt dẻo. Wagnoner và cộng sự [9] đã sử dụng phương pháp thử nghiệm kéo nén hình đĩa (Disk-shaped Compact Tension Test) và nhận thấy rằng tốc độ gia tải lớn có thể thay đổi đặc tính phá hủy của BTN từ trạng thái dẻo sang trạng thái giòn, nhất là ở nhiệt độ thấp. Như vậy, sự gia tăng ITS theo tốc độ gia tải trong nghiên cứu này là phù hợp với các kết quả nghiên cứu được công bố trước đây. Mức gia tăng này có thể chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố như loại cốt liệu, đặc tính nhựa đường, và điều kiện bảo dưỡng mẫu [13].

#### 4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến đến cường độ ép chẻ của BTNC16

Từ Hình 4, có thể thấy rằng ITS giảm khi nhiệt độ tăng, bất kể tốc độ gia tải. Cụ thể, với tốc độ 0,5 mm/phút, ITS giảm từ 481 kPa (10°C) xuống 343 kPa (20°C) và 257 kPa (30°C). Tại tốc độ 5 mm/phút, ITS giảm từ

1.175 kPa (10°C) xuống 503 kPa (20°C) và 301 kPa (30°C). Và tốc độ 50 mm/phút, ITS đạt giá trị cao nhất tại 10°C (1.804 kPa) và giảm mạnh tương ứng 1.204 kPa (20°C) và 481 kPa (30°C).

Điều này phù hợp với nghiên cứu của Marasteanu và cộng sự [10], cho thấy nhiệt độ thấp làm tăng độ cứng của hỗn hợp BTN, giúp cải thiện cường độ ép ché, nhưng gia tăng nguy cơ nứt gãy giòn. Ở nhiệt độ cao hơn, BTN có xu hướng trở nên mềm hơn do ảnh hưởng của độ nhớt nhựa đường, giảm khả năng chịu tải [14]. Im [7] chứng minh rằng, ở nhiệt độ thấp, BTN thể hiện đặc tính đàn hồi tuyến tính, trong khi ở nhiệt độ cao, vật liệu có xu hướng biến dạng dẻo nhiều hơn, làm giảm năng lượng phá hủy tổng thể. Lung và cộng sự [12] đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến cường độ cắt trực tiếp của BTN và chỉ ra rằng nhiệt độ cao làm giảm đáng kể khả năng chống cắt của hỗn hợp, đồng nghĩa với sự giảm cường độ nén ché như quan sát trong nghiên cứu này. Ngoài ra, Motamedi và cộng sự [14] sử dụng phương pháp thử nghiệm uốn dầm hình đĩa (Edge Notched Disc Bend - ENDB) và nhận thấy, ở nhiệt độ cao, cường độ phá hủy giảm rõ rệt do sự suy giảm độ cứng của hỗn hợp BTN. Nhìn chung, sự suy giảm ITS khi nhiệt độ tăng là một xu hướng phổ biến trong nghiên cứu về BTN và được xác nhận bởi nhiều nghiên cứu trước đây. Kết quả này nhấn mạnh sự cần thiết của việc tối ưu hóa thành phần hỗn hợp BTN để đảm bảo độ bền cơ học trong điều kiện thời tiết nóng [15].

## 5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, dựa trên kết quả thực nghiệm trong phòng, có thể thấy rằng tốc độ gia tải và nhiệt độ ảnh hưởng đáng kể đến cường độ ép ché của BTNC16. Đồng thời, từ kết quả thí nghiệm và phân tích, có thể rút ra các kết luận quan trọng:

Tốc độ gia tải ảnh hưởng đáng kể đến ITS. Khi tốc độ gia tải tăng, ITS tăng đáng kể, phản ánh đặc tính cứng hơn của BTN do vật liệu có ít thời gian hơn để biến dạng dẻo.

Nhiệt độ có tác động tiêu cực đến ITS. Khi nhiệt độ tăng, cường độ ITS giảm rõ rệt do hỗn hợp BTN trở nên mềm hơn và dễ biến dạng trước khi xảy ra phá hủy.

Sự kết hợp giữa tốc độ gia tải và nhiệt độ quyết định tính chất cơ học của BTN. Ở nhiệt độ thấp (10°C) và tốc độ gia tải cao (50 mm/phút), ITS đạt giá trị cao nhất (1.804 kPa), cho thấy BTN có đặc tính giòn hơn. Ngược lại, ở nhiệt độ cao (30°C) và tốc độ gia tải thấp (0,5 mm/phút), ITS thấp nhất (257 kPa), phản ánh sự mất ổn định của hỗn hợp khi chịu tác động của nhiệt độ.

Thông qua kết quả nghiên cứu có thể thấy, ITS tăng nhanh khi tốc độ gia tải tăng ở nhiệt độ thấp và có xu hướng tăng chậm ở nhiệt độ cao. Đồng thời, khi nhiệt độ gia tăng, ITS giảm mạnh ở tốc độ gia tải nhanh và có xu hướng giảm dần ở tốc độ gia tải chậm. Điều này thể hiện rõ tính chất đàn hồi nhớt của BTN dưới tác dụng của nhiệt độ và tần số. Nghiên cứu được thực hiện nhằm nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn tốc độ gia tải và nhiệt độ phù hợp khi thử nghiệm để đánh giá chính xác đặc tính cơ học của BTN trong điều kiện thực tế.

## Đóng góp của các tác giả trong bài báo

**Nguyễn Công Thức:** Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích dữ liệu chính thức, Thí nghiệm, Tiếp nhận tài trợ, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết – bản thảo gốc. **Nguyễn Quang Tuấn:** Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Thí nghiệm, Phản hồi ý kiến phản biện, Tiếp nhận hỗ trợ, rà soát và chỉnh sửa bản thảo. **Lê Văn Phúc:** Phương pháp, Tiếp nhận hỗ trợ, rà soát và chỉnh sửa bản thảo.

## Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

## Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2025-PHII\_CT-007.

---

Nguyen Cong Thuc\*. *Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications*

Nguyen Quang Tuan. *Faculty of Civil Engineering, University of Transport and Communications*

Le Van Phuc. *Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications.*

\*Corresponding author: thucnc\_ph@utc.edu.vn

---

## Tài liệu tham khảo

- [1] D. Perraton et al., "3Dim experimental investigation of linear viscoelastic properties of bituminous mixtures," *Mater. Struct.*, vol. 49, pp. 4813-4829, 2016, doi: [10.1617/s11527-016-0827-3](https://doi.org/10.1617/s11527-016-0827-3).
- [2] Q. T. Nguyen, H. Di Benedetto, and C. Sauzéat, "Linear and nonlinear viscoelastic behaviour of bituminous mixtures," *Mater. Struct.*, vol. 48, pp. 2339-2351, 2015, doi: [10.1617/s11527-014-0316-5](https://doi.org/10.1617/s11527-014-0316-5).
- [3] M. L. Nguyen, C. Sauzéat, H. Di Benedetto, and N. Tapsoba, "Validation of the time-temperature superposition principle for crack propagation in bituminous mixtures," *Mater. Struct.*, vol. 46, pp. 1075-1087, 2013, doi: [10.1617/s11527-012-9954-7](https://doi.org/10.1617/s11527-012-9954-7).
- [4] Q. T. Nguyen, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, and N. Tapsoba, "Time temperature superposition principle validation for bituminous mixes in the linear and nonlinear domains," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 25, no. 9, pp. 1181-1188, 2013, doi: [10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000658](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000658).
- [5] F. Yin, R. West, Z. Xie, A. Taylor, and G. Julian "Effects of loading rate and mix reheating on indirect tensile Nflex factor and semi-circular bend J-integral test results to assess the cracking resistance of asphalt mixtures," Auburn Univ., AL, USA, NCAT Report 17-09, 2017. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/technical-reports/rep17-09.pdf>
- [6] D. X. Lu, H. H. Bui, and M. Saleh, "Effects of specimen size and loading conditions on the fracture behaviour of asphalt concretes in the SCB test," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 242, 2021, Art. no. 107452, doi: [10.1016/j.engfracmech.2020.107452](https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107452).
- [7] S. Im, "Characterization of viscoelastic and fracture properties of asphaltic materials in multiple length scales," Ph.D. dissertation, Univ. of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA, 2012. [Online]. Available: <https://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3504199/>
- [8] S. Im, Y.-R. Kim, and H. Ban, "Rate- and temperature-dependent fracture characteristics of asphaltic paving mixtures," *J. Test. Eval.*, vol. 41, no. 2, 2013, Art. no. 20120174, doi: [10.1520/JTE20120174](https://doi.org/10.1520/JTE20120174).
- [9] M. P. Wagoner, W. G. Buttlar, and G. H. Paulino, "Disk-shaped compact tension test for asphalt concrete fracture," *Exp. Mech.*, vol. 45, pp. 270-277, 2005, doi: [10.1007/BF02427951](https://doi.org/10.1007/BF02427951).
- [10] M. Marasteanu et al., "Investigation of low temperature cracking in asphalt pavements," Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA, Rep. no. MN/RC 2007-43, 2007. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefndmkaj/https://www.lrrb.org/pdf/200743.pdf>
- [11] M. Fakhri and E. H. Kharrazi, "The effect of loading rate on fracture energy of asphalt mixture at intermediate temperatures and under different loading modes," *Fracture and Structural Integrity*, vol. 12, no. 43, pp. 113-132, 2018, doi: [10.3221/IGF-ESIS.43.09](https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.43.09).
- [12] C. K. Lung et al., "Effect of temperatures and loading rates on direct shear strength of asphaltic concrete using layer-parallel direct shear test," in *2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 712, 2020, Art. no. 012047, doi: [10.1088/1757-899X/712/1/012047](https://doi.org/10.1088/1757-899X/712/1/012047).

- [13] H. Yang et al., "Study on fracture characteristics of panel asphalt concrete under different loading rates," 2024, doi: [10.21203/rs.3.rs-4539941/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4539941/v1).
- [14] H. Motamedi, H. Fazaeli, M.R.M. Aliha, and H. R. Amiri "Evaluation of temperature and loading rate effect on fracture toughness of fiber reinforced asphalt mixture using edge notched disc bend (ENDB) specimen," *Constr. Build. Mater.*, vol. 234, 2020, Art. no. 117365, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2019.117365](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117365).
- [15] K. W. Kim, S. J. Kweon, Y. S. Doh, and T. S. Park, "Fracture toughness of polymer-modified asphalt concrete at low temperatures," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 2, pp. 406–413, 2011, doi: [10.1139/102-101](https://doi.org/10.1139/102-101).
- [16] D. W. Christensen and R. F. Bonaquist, "Evaluation of indirect tensile test (IDT) procedures for low temperature performance of hot mix asphalt," Transportation Research Board, WA, USA, NCHRP Rep. 530, 2005. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: [https://www.trb.org/publications/nchrp/nchrp\\_rpt\\_530.pdf](https://www.trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_530.pdf)
- [17] F. Zhou et al., "Experimental design for field validation of laboratory tests to assess cracking resistance of asphalt mixtures," Transportation Research Board, WA, USA, Rep. NCHRP Project 9-57, 2016. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: [https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/Engineering\\_ETGs/Mix\\_201604/04%20Newcomb%209-57%20Presentation.pdf](https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/Engineering_ETGs/Mix_201604/04%20Newcomb%209-57%20Presentation.pdf)
- [18] *Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng – Thi công và nghiệm thu – Phần 1: Bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường thông thường*, TCVN 13567-1:2022, 2022.
- [19] *Bê tông nhựa – Phương pháp thử*, TCVN 8860-1:2011, 2011.
- [20] *Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures*, ASTM D6931-12, 2017.
- [21] *Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Asphalt Mixture Specimens by Means of the Superpave Gyrotory Compactor*, AASHTO T 312, 2019.