



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0004205

(51) **C04B 26/26**
2023.01

(13) **Y**

(21) 2-2024-00136

(22) 06/03/2024

(45) 25/07/2025 448

(43) 27/05/2024 434

(73) Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải (VN)

Số 54 phố Triều Khúc, phường Thanh Xuân Nam, quận Thanh Xuân, thành phố Hà Nội

(72) Hoàng Thị Hương Giang (VN); Nguyễn Hoàng Long (VN); Lý Hải Bằng (VN).

(54) **BÊ TÔNG NHỰA SỬ DỤNG PHỤ GIA NANO GRAPHEN OXIT DÙNG CHO
LỚP MẶT ĐƯỜNG**

(21) 2-2024-00136

(57) Sáng chế đề cập đến bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit bao gồm các thành phần nguyên liệu sau: cốt liệu lớn có cỡ hạt 5-19mm chiếm 45-55% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu; cốt liệu nhỏ có cỡ hạt 0,14-5mm chiếm 35-45% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu; bột khoáng chiếm 4-6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu; chất kết dính là nhựa đường 60/70 chiếm 4,6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu; phụ gia nano graphen oxit chiếm 1-2% trọng lượng của nhựa đường 60/70; trong đó phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với chất kết dính ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút. Bê tông nhựa theo sáng chế có các chỉ tiêu cơ lý bao gồm độ ổn định Marshall, độ ổn định còn lại, khả năng kháng hằn lún vết bánh xe, môđun đàn hồi tĩnh, cường độ chịu kéo khi ép chẻ lớn hơn so với bê tông nhựa thông thường không sử dụng phụ gia.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực vật liệu xây dựng dùng cho kết cấu áo đường mềm. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến bê tông nhựa sử dụng graphen oxit dùng cho lớp mặt đường.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Nói chung, bê tông nhựa là một loại vật liệu phổ biến và quan trọng trong đường bộ, thường được sử dụng ở các lớp mặt của mặt đường mềm cấp cao, đường đô thị, đường sân bay, và lớp phủ mặt cầu bởi các ưu điểm như giá thành không cao, bằng phẳng, êm thuận, thi công xong có thể thông xe luôn, và ít gây tiếng ồn. Tuy nhiên, chất lượng của bê tông nhựa phụ thuộc nhiều vào chất kết dính (nhựa đường). Ở Việt Nam, việc nhập khẩu nhựa đường phụ thuộc phần lớn vào các thị trường nước ngoài, khó kiểm soát chất lượng nhựa. Nhựa đường 60/70 (nhựa đường có độ kim lún 60/70) tuy đã và đang được sử dụng nhiều trong nước nhưng vẫn bộc lộ nhiều điểm hạn chế về tính chất cơ lý. Cụ thể, trong quá trình khai thác, dưới tác dụng của tải trọng xe chạy và điều kiện thời tiết, mặt đường bê tông nhựa sử dụng nhựa đường 60/70 thường xuất hiện các hư hỏng như chảy nhựa, lún vệt bánh xe, nứt mỏi, và bong tróc vật liệu. Đây là những hạn chế trong khai thác của mặt đường bê tông nhựa sử dụng nhựa đường thông thường ở Việt Nam nói riêng và trên thế giới nói chung trong điều kiện nhiệt độ môi trường cao, lưu lượng giao thông lớn và tải trọng trục xe nặng. Do vậy, việc nghiên cứu cải thiện chất lượng mặt đường bê tông nhựa đã và đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu trong suốt nhiều năm qua.

Để nâng cao chất lượng bê tông nhựa, hiện nay trên thế giới thường đi theo các hướng như sử dụng phụ gia cải thiện nhựa đường; điều chỉnh cấp phối phù hợp với mục đích sử dụng và sử dụng vật liệu chất lượng cao; cải thiện thành phần hỗn hợp bê tông nhựa bằng vật liệu gia cường. Trong đó, việc sử dụng phụ gia cải thiện nhựa đường để nâng cao chất lượng bê tông nhựa đang là hướng nghiên cứu được quan tâm và ngày càng phát triển. Ở Việt Nam, nhiều công trình nghiên cứu đã đưa các phụ gia khác nhau vào nhựa đường nhằm cải thiện tính chất cơ lý của chất kết dính, có thể kể đến một số loại phụ gia như vôi

hydrat, Zycotherm, Toughfix Hyper, keo epoxy, lưu huỳnh từ nhà máy lọc dầu Dung Quất, phế thải nhựa, v.v.

Ngày nay, với trình độ khoa học kỹ thuật ngày càng phát triển, việc sử dụng công nghệ và vật liệu nano ngày càng phổ biến trong cải thiện nhựa đường. Nhiều công trình nghiên cứu được thực hiện để đưa vật liệu nano vào nhựa đường nhằm mục đích cải thiện các đặc tính của nó theo hướng tốt hơn, từ đó nâng cao chất lượng và tăng hiệu quả sử dụng của bê tông nhựa trong các ứng dụng xây dựng. Một trong những vật liệu nano được đưa vào nghiên cứu gần đây thuộc họ các bon là graphene oxide và bước đầu đạt được những kết quả khả quan. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung ở một số nước châu Á đặc biệt là Trung Quốc, nơi có khí hậu ôn đới gió mùa, khác biệt với khí hậu nhiệt đới với lượng mưa dồi dào và độ ẩm cao như Việt Nam.

Việc nắm bắt kịp thời các nghiên cứu mới của thế giới cũng như nghiên cứu áp dụng vào thực tiễn sản xuất của Việt Nam luôn là các nhiệm vụ quan trọng của các nhà khoa học trong nước. Cho đến nay, Việt Nam chưa có nghiên cứu hay đề xuất nào về việc sử dụng phụ gia nano graphene oxit để cải thiện các tính chất cơ lý của nhựa đường cũng như cải thiện các tính chất cơ lý của bê tông nhựa. Do đó, việc tiến hành nghiên cứu và đề xuất chế tạo bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphene oxit nhằm cải thiện các tính chất cơ lý của nó so với bê tông nhựa thông thường không sử dụng phụ gia và phù hợp với điều kiện khí hậu, thời tiết trong nước là hết sức cần thiết.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế đề xuất bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphene oxit dùng cho lớp mặt đường, trong đó bê tông nhựa này có các chỉ tiêu cơ lý bao gồm độ ổn định Marshall, độ ổn định còn lại, khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe, môđun đàn hồi tĩnh, cường độ chịu kéo khi ép chế lớn hơn so với bê tông nhựa sử dụng nhựa đường 60/70 đã biết nêu trên.

Mục đích khác của sáng chế đề xuất bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphene oxit dùng cho lớp mặt đường thích hợp sử dụng trong điều kiện khí hậu và thời tiết của Việt Nam khắc phục được những hạn chế của bê tông nhựa sử dụng nhựa đường 60/70 thông thường đã biết nêu trên.

Để đạt được các mục đích trên, bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit dùng cho lớp mặt đường theo một phương án thực hiện của sáng chế bao gồm các thành phần nguyên liệu sau:

cốt liệu gồm: cốt liệu lớn có cỡ hạt 5-19 mm chiếm 45-55% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, và cốt liệu nhỏ có cỡ hạt 0,14-5 mm chiếm 35-45% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

bột khoáng chiếm 4-6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

chất kết dính là nhựa đường 60/70 chiếm 4,35 – 4,8% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

phụ gia nano graphen oxit chiếm 1- 2% trọng lượng của nhựa đường 60/70;

trong đó phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với chất kết dính ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút.

Tốt hơn là, nhựa đường 60/70 chiếm 4,6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu và phụ gia nano graphen oxit chiếm 2% trọng lượng của nhựa đường 60/70.

Theo một phương án thực hiện, cốt liệu lớn được lựa chọn sử dụng là đá dăm, sỏi dăm, xi thép hoặc hỗn hợp của chúng.

Tốt hơn là, cốt liệu lớn là đá dăm.

Một cách tùy ý, cốt liệu nhỏ được lựa chọn sử dụng là cát tự nhiên, cát nghiền, cát xay hoặc hỗn hợp của chúng.

Tốt hơn là, cốt liệu nhỏ là cát xay.

Một cách tùy ý, bột khoáng bao gồm sản phẩm được nghiền từ đá cac-bô-nát có cường độ nén của đá gốc lớn hơn 40 MPa, từ xỉ lò cao hoặc là xỉ măng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: là đồ thị khoảng giá trị độ ổn định Marshall của các mẫu bê tông nhựa sử dụng nhựa đường 60/70 thông thường (BTN-60/70) và các mẫu bê tông nhựa sử dụng nhựa đường 60/70 được trộn trước với graphen oxit (BTN-GO) theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2%;

Hình 2: là đồ thị khoảng giá trị độ dẻo Marshall của các mẫu BTN_60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2%;

Hình 3A-3D: là các biểu đồ quan hệ chiều sâu LVBX và số lần chạy của các mẫu BTN_60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2%;

Hình 4: là biểu đồ thể hiện mô đun đàn hồi tĩnh ở các nhiệt độ khác nhau của các mẫu BTN_60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2% với độ tin cậy 95%;

Hình 5: là biểu đồ thể hiện kết quả thử nghiệm cường độ kéo khi ép chế của các mẫu BTN_60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2%;

Hình 6: là biểu đồ thể hiện kết quả thí nghiệm chỉ số kháng nứt CT_{Index} của các mẫu BTN_60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2% với độ tin cậy 95%.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, các ưu điểm, hiệu quả và bản chất của sáng chế có thể được hiểu rõ hơn thông qua việc mô tả chi tiết các phương án ưu tiên thực hiện của sáng chế. Tuy nhiên, cần hiểu rằng các phương án này chỉ được mô tả như là các ví dụ nhằm tạo thuận lợi cho việc làm rõ bản chất và các ưu điểm của sáng chế mà không nhằm giới hạn phạm vi của sáng chế ở các phương án đó.

Theo một phương án thực hiện, sáng chế đề xuất bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit dùng cho lớp mặt đường bao gồm các thành phần nguyên liệu như sau:

Cốt liệu:

Cốt liệu được sử dụng trong bê tông nhựa theo sáng chế bao gồm cốt liệu lớn có cỡ hạt 5-19mm chiếm 45-55% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, và cốt liệu nhỏ có cỡ hạt 0,14-5 mm chiếm 35-45% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu. Cốt liệu lớn có thể là một trong số đá dăm, sỏi dăm, xỉ thép hoặc hỗn hợp của chúng. Cốt liệu nhỏ có thể là cát tự nhiên, cát nghiền (cát xay) hoặc hỗn hợp cát tự nhiên và cát nghiền. Tuy nhiên, sáng chế không chỉ giới hạn ở đó, có thể sử dụng dạng cốt liệu bất kỳ khác thích hợp để sử dụng cho bê tông nhựa.

Nói chung, cốt liệu lớn tạo nên bộ khung chịu lực chính của bê tông nhựa, làm cho bê tông nhựa có khả năng chịu tác dụng của ngoại lực và tạo độ nhám bề mặt. Cốt liệu lớn góp

phần là gia tăng bề mặt lan truyền tải trọng xuống lớp dưới, nhờ đó làm giảm áp lực tác dụng xuống lớp, làm giảm độ võng mặt nền, làm gia tăng sức chịu tải của kết cấu áo đường. Ảnh hưởng của cốt liệu lớn đến tính chất và khả năng chịu lực của hỗn hợp bê tông nhựa là rất lớn. Yêu cầu đối với cốt liệu lớn cho hỗn hợp bê tông nhựa là phải có cấp phối hợp lý, đảm bảo độ đặc chắc, đảm bảo cường độ, khả năng chịu hao mòn và hình dạng góc cạnh. Ngoài ra, những yêu cầu khác đối với cốt liệu lớn bao gồm bề mặt xù xì, không bị bẩn, và có tính ghét nước. Theo một phương án thực hiện, cốt liệu lớn phải 100% là cốt liệu nghiền có hình dạng bề mặt tốt và giới hạn nghiêm ngặt về độ hao mòn Los Angeles, hàm lượng hạt mềm yếu phong hóa không được vượt quá 3%, hàm lượng hạt thoi dẹt đối với cỡ hạt $\geq 9,5\text{mm}$ không được quá 12,5%, đối với cỡ hạt $< 9,5\text{mm}$ không được quá 18%.

Theo nguyên lý cấp phối, các hạt cốt liệu nhỏ sẽ chèn lấp vào khoảng trống và kê hở giữa các hạt cốt liệu lớn, làm tăng độ đặc cho hỗn hợp cốt liệu. Kết quả thực nghiệm cho thấy hàm lượng cốt liệu nhỏ từ 35-45% sẽ tạo ra hỗn hợp cấp phối đặc chắc nhất. Nếu hàm lượng cốt liệu nhỏ nằm ngoài khoảng trên, sẽ gây ra hiện tượng thừa hoặc thiếu các cỡ hạt dẫn đến không đảm bảo độ chặt của cấp phối.

Bột khoáng:

Bột khoáng sử dụng trong bê tông nhựa theo sáng chế chiếm 4-6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu. Bột khoáng có vai trò cùng với nhựa đường lấp đầy các lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu lớn, tạo ra lớp dính bám trên bề mặt cốt liệu. Bột khoáng là loại vật liệu có tỷ diện cao ($250-300\text{ m}^2/\text{kg}$), có ái lực mạnh với nhựa, biến nhựa vốn có ở trạng thái khối, giọt thành trạng thái màng mỏng, bao bọc dễ dàng với các hạt khoáng vật. Bột khoáng có vai trò như một chất phụ gia làm cho nhựa tăng thêm độ nhót, tăng thêm khả năng dính bám và tăng tính ổn định nhiệt. Bột khoáng cùng với nhựa tạo ra một chất liên kết mới có tính chất hơn hẳn các tính chất riêng của nhựa đường.

Theo một phương án thực hiện, bột khoáng sử dụng trong bê tông nhựa theo sáng chế bao gồm sản phẩm được nghiền từ đá các-bô-nát có cường độ nén của đá gốc lớn hơn 40 MPa, từ xỉ lò cao hoặc là xi măng hoặc hỗn hợp bất kỳ của chúng. Trong đó, yêu cầu đá các-bô-nát dùng sản xuất bột khoáng phải sạch, không lẫn các tạp chất hữu cơ, hàm lượng chung bụi bùn sét không quá 5 %. Bột khoáng phải khô, tơi, không được vón cục.

Chất kết dính:

Chất kết dính sử dụng trong hỗn hợp bê tông nhựa theo sáng chế là nhựa đường 60/70 (nhựa đường có độ kim lún 60/70) chiếm 4,35 – 4,8% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu. Các chỉ tiêu cơ bản của nhựa đường 60/70 được tiến hành tại phòng thí nghiệm công trình giao thông LAS-XD72 thuộc Trường Đại học Công nghệ GTVT và được trình bày chi tiết ở Bảng 1.

Bảng 1. Các tiêu chuẩn kỹ thuật của nhựa đường 60/70.

TT	Chỉ tiêu TN	Đơn vị	Tiêu chuẩn TN	Kết quả	Yêu cầu KT
1	Độ kim lún ở 25°C	dmm	TCVN 7495:2005	63,4	60 ÷ 70
2	Chỉ số độ kim lún		Thông tư 27/2014/TT-BGTVT	-0,312	-1,5 ÷ 1,0
3	Điểm hóa mềm	°C	TCVN 7497:2005	49,6	Min 46
4	Độ nhớt động lực ở 60 °C	Pa.s	TCVN 8818-5:2011	215,44	Min 180
5	Độ kéo dài ở 25°C	cm	TCVN 7496:2005	140	Min 100
6	Điểm chớp cháy	°C	TCVN 7498:2005	305	Min 232
7	Độ hòa tan trong Tricloetylen	%	TCVN 7500:2005	99,95	Min 99
8	Khối lượng riêng	g/cm ³	TCVN 7501:2005	1,032	1,00 ÷ 1,05
9	Lượng tổn thất sau khi gia nhiệt 5 giờ ở 163 °C	%	ASTM D 1754	0,250	Max 0,8
10	Độ dính bám với đá	Cấp	TCVN 7504:2005	Cấp 3	Min cấp 3

Phụ gia:

Phụ gia sử dụng trong hỗn hợp bê tông nhựa theo sáng chế là phụ gia nano graphen oxit. Phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với chất kết dính nhựa đường 60/70 tại nhà máy hoặc trộn trực tiếp tại trạm trộn nhằm cải thiện một số tính chất cơ lý của chất kết dính theo hướng có lợi như làm giảm độ kim lún, tăng điểm hóa mềm, v.v. từ đó nâng cao một số chỉ tiêu cơ lý và đặc tính làm việc ở nhiệt độ cao của bê tông nhựa. Theo một phương án thực hiện của sáng chế, phụ gia nano graphen oxit được sử dụng là graphen oxit thương mại được cung cấp bởi Công ty TNHH Tandem Graphene, Tô Châu, Trung Quốc, có dạng bột, màu đen, được bảo quản trong hộp kín theo tiêu chuẩn của nhà sản xuất. Các đặc tính của graphen oxit được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Các đặc tính của graphen oxit được sử dụng trong sáng chế.

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Độ sạch	%	> 95
2	Số lớp	lớp	5 ÷ 10
3	Chiều dày lớp	nm	3,4 ÷ 8
4	Đường kính bên trung bình của lớp	μm	10 ÷ 50
5	Tỷ diện bề mặt	m ² /g	100 ÷ 300
6	Khối lượng riêng	g/cm ³	1,035

Theo kết quả nghiên cứu của tác giả như thể hiện ở Bảng 3, nhựa đường 60/70 được trộn với phụ gia nano graphen oxit (viết tắt là N_GO) với các hàm lượng 1%, 1,5% và 2% trọng lượng của nhựa đường 60/70 có hiệu suất được cải thiện so với nhựa đường 60/70, trong đó tỷ lệ 2% graphen oxit cho hiệu quả cải thiện nhựa đường tối ưu nhất.

Bảng 3. Các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của nhựa đường 60/70 và N_GO 1%, 1,5% và 2%.

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Loại chất kết dính				Tiêu chuẩn thí nghiệm
			Nhựa đường 60/70	N_GO 1%	N_GO 1,5%	N_GO 2%	
1	Kim lún ở 25°C	dmm	63,4	56,0	54,6	53,1	TCVN 7495:2005
2	Điểm hóa mềm	°C	49,6	52,8	53,2	53,6	TCVN 7497:2005
3	Độ kéo dài ở 25°C	cm	140	121	115	108	TCVN 7496:2005
4	Độ nhớt ở 135°C (nhớt kế Brookfield)	Pa.s	0,351	0,453	0,461	0,473	TCVN 11196:2017
5	Nhiệt độ bắt lửa	°C	310	295	291	287	TCVN 7498:2005
6	Độ dính bám với đá	cấp	3	3	4	4	TCVN 7504:2005
7	Khối lượng riêng	g/cm ³	1,032	1,032	1,032	1,032	TCVN 7501:2005
8	Tổn thất sau khi gia nhiệt 5h ở 163 °C	%	0,250	0,241	0,235	0,231	ASTM D 1754

Tốt hơn là, bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit dùng cho lớp mặt đường theo phương án ưu tiên của sáng chế bao gồm các thành phần nguyên liệu sau:

cốt liệu gồm: cốt liệu lớn là đá dăm có cỡ hạt 5-19 mm chiếm 45-55% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, và cốt liệu nhỏ là cát xay có cỡ hạt 0,14-5 mm chiếm 35-45% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

bột khoáng chiếm 4-6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

chất kết dính là nhựa đường 60/70 chiếm 4,6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

phụ gia nano graphen oxit chiếm 1-2% trọng lượng của nhựa đường 60/70;

trong đó phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với chất kết dính ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút.

Bê tông nhựa theo phương án này có thành phần cốt liệu là đá dăm, cát xay và chất kết dính là nhựa đường 60/70 với hàm lượng về cơ bản giống với BTN_60/70 thông thường sử dụng phổ biến hiện nay và chỉ khác ở việc sử dụng phụ gia nano graphen oxit với hàm lượng 1-2%, trong đó phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với chất kết dính ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút. Theo các kết quả thực nghiệm, bê tông nhựa theo phương án này có các chỉ tiêu cơ lý bao gồm độ ổn định Marshall, độ ổn định còn lại, khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe, mô đun đàn hồi tĩnh, cường độ chịu kéo khi ép chế lớn hơn so với BTN_60/70 thông thường.

Tiếp theo, phương pháp chế tạo bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit dùng cho lớp mặt đường với các thành phần nêu trên tại trạm trộn sẽ được mô tả.

Nhìn chung, việc sản xuất bê tông nhựa chặt sử dụng phụ gia nano graphen oxit theo sáng chế tại trạm trộn cũng gần giống như việc sản xuất bê tông nhựa thông thường, chỉ khác ở bước sản xuất chất kết dính N_GO. Chất kết dính N_GO có thể được sản xuất tại nhà máy rồi vận chuyển đến trạm trộn để sản xuất bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit. Trường hợp, N_GO sản xuất tại trạm trộn, cần bố trí thêm thiết bị trộn N_GO và không gây cản trở đối với việc sản xuất bê tông nhựa thông thường.

Theo kết quả nghiên cứu của tác giả, phụ gia graphen oxit cần được trộn với nhựa đường 60/70 theo hàm lượng 1-2% trọng lượng của nhựa đường 60/70 ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút để tạo ra N_GO với chất lượng tốt nhất. Để đáp ứng yêu cầu này, thiết bị trộn N_GO cần được trang bị cánh khuấy bằng kim loại

có thiết kế dạng dao cắt đặt lệch nhau để tạo luồng khuấy xuống đáy thùng trộn, giúp sự phân tán các hạt graphen oxit trong nhựa đường 60/70 được đồng đều và liên tục. Thiết bị trộn cần gắn mô tơ có công suất được tính toán sao cho cánh khuấy đạt được vận tốc trên 2000 vòng/phút. Ngoài ra, thiết bị trộn cần bố trí cửa riêng biệt để cấp graphen oxit vào, có thiết bị gia nhiệt và cảm biến nhiệt độ để duy trì nhiệt độ N_GO ổn định theo thiết kế trong suốt thời gian khuấy trộn. Các cửa cấp vật liệu cần phải có nắp đậy kín nhằm tránh thất thoát graphen oxit và nhiệt độ trong quá trình khuấy trộn.

Cụ thể, phương pháp chế tạo bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit dùng cho lớp mặt đường theo sáng chế bao gồm các bước sau:

+ Bước 1: Trộn khô các thành phần nguyên liệu bao gồm:

cốt liệu lớn có cỡ hạt 5-19mm chiếm 45-55% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, trong đó cốt liệu lớn là đá dăm, sỏi dăm, xi thép hoặc hỗn hợp của chúng;

cốt liệu nhỏ có cỡ hạt 0,14-5 mm chiếm 35-45% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, trong đó cốt liệu nhỏ là cát tự nhiên hoặc cát nghiền hoặc hỗn hợp của chúng;

bột khoáng chiếm 4-6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, trong đó bột khoáng bao gồm sản phẩm được nghiền từ đá các-bô-nát có cường độ nén của đá gốc lớn hơn 40 MPa, từ xi lò cao hoặc là xi măng hoặc hỗn hợp của chúng.

+ Bước 2: trộn phụ gia nano graphen oxit với nhựa đường 60/70 ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút để tạo ra N_GO, trong đó hàm lượng graphen oxit chiếm 1-2% trọng lượng nhựa đường 60/70.

+ Bước 3: cho N_GO thu được ở bước 2 với hỗn hợp khô thu được ở bước 1 và trộn trong thời gian 2 phút thu được bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit theo sáng chế thành phẩm.

Theo sáng chế, ở bước 1, thuật ngữ “trộn khô” có nghĩa là không bổ sung thêm nước từ bên ngoài vào trong quá trình trộn. Ở bước 3, thuật ngữ “hỗn hợp khô” có nghĩa là hỗn hợp mà không có sự bổ sung thêm nước từ bên ngoài vào trong quá trình trộn. Trong đó, ở bước 2, khối lượng N_GO có thể được tính toán để một lần khuấy trộn có thể dùng cho nhiều mẻ sản xuất bê tông nhựa sử dụng phụ gia graphen oxit trong một ca thi công.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sau đây, bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit theo sáng chế tiếp tục được giải thích thông qua các ví dụ thực hiện cụ thể.

Chuẩn bị các cấp phối bê tông nhựa sử dụng phụ gia graphen oxit bao gồm các nguyên liệu như sau:

Cốt liệu lớn là đá dăm có cỡ hạt 5-19mm chiếm 50% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

Bột khoáng là sản phẩm được nghiền từ đá các-bô-nát có cường độ nén của đá gốc là 105 MPa chiếm 5% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

Nhựa đường 60/70 chiếm 4,6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

Phụ gia nano graphen oxit lần lượt chiếm 0, 1, 1,5% và 2% trọng lượng của nhựa đường 60/70, trong đó phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với nhựa đường 60/70 ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút.

Còn lại là cốt liệu nhỏ là cát xay có cỡ hạt 0,14-5 mm.

Trong đó, đá dăm và cát xay được lấy tại mỏ đá Sunway (thuộc đá Bazan), huyện Quốc Oai, Hà Nội. Bột khoáng được lấy từ mỏ đá Kiện Khê - Hà Nam. Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu và bột khoáng được trình bày trong Bảng 4 cho thấy cốt liệu và bột khoáng sử dụng trong nghiên cứu đáp ứng các yêu cầu theo Quyết định 858/QĐ-BGTVT.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu.

Cốt liệu	Tỷ trọng		Cường độ nén của đá gốc	Hàm lượng hạt thổi dẹt (%)	Hàm lượng chung bụi, bùn, sét (%)	Độ mài mòn LA (%)	Độ hút nước (%)
	Khối	Biểu kiến					
Đá dăm-D _{max} 19	2,914	2,952	134,7	9,3	0,15	9,5	0,442
Đá dăm -D _{max} 12,5	2,902	2,938	134,7	10,5	0,32	9,7	0,64
Cát nghiền-D _{max} 4,75	2,853	2,915	134,7	-	0,41	-	0,75
Bột khoáng	2,733	2,733	105,9	-	-	-	-

Trong đó, cấp phối bê tông nhựa với hàm lượng graphen oxit là 0% chính là cấp phối để chế tạo mẫu BTN_60/70 thông thường đã biết để làm mẫu đối chứng.

Ví dụ 1. Chế tạo mẫu và thử nghiệm đánh giá độ đặc thể tích, độ ổn định, độ dẻo Marshall và độ ổn định còn lại

Trong ví dụ này, các tác giả sáng chế tiến hành chế tạo các mẫu Marshall của bê tông nhựa theo các cấp phối nêu trên tương ứng với hàm lượng của phụ gia graphen oxit là 0%, 1%, 1,5% và 2%, trong đó mẫu bê tông nhựa không sử dụng phụ gia graphen oxit (hàm lượng 0%) được sử dụng làm mẫu đối chứng (gọi tắt là BTN_60/70) và các mẫu bê tông nhựa sử dụng nhựa đường 60/70 được trộn trước với graphen oxit (gọi tắt là BTN_GO). Số lượng các mẫu Marshall được thể hiện trong Bảng 5 dưới đây. Các mẫu này được chế tạo trong phòng thí nghiệm LAS-XD72 thuộc Trường Đại học Công nghệ GTVT.

Thí nghiệm nén Marshall được thực hiện trên thiết bị Marshall tự động Daiwa cho phép tự động thu thập lực nén và biến dạng trong quá trình thí nghiệm. Từ đó xây dựng đồ thị lực nén-biến dạng, làm cơ sở xác định độ ổn định và độ dẻo Marshall theo TCVN 8860-1:2011 (hoặc theo ASTM D6927).

Độ ổn định còn lại (RS) là chỉ tiêu đánh giá ảnh hưởng của nước đối với độ ổn định Marshall của BTN, được xác định theo TCVN 8860-12:2011.

Để xác định được RS, các mẫu Marshall được chia thành hai nhóm và đặt trong bể ổn nhiệt ở 60°C trong 40 phút và 24 giờ. Sau đó, các mẫu được nén trên thiết bị Marshall.

Bảng 5. Số lượng mẫu thí nghiệm Marshall của BTN_GO.

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Loại BTN				Tổng số mẫu
		BTN 60/70	BTN_GO 1%	BTN_GO 1,5%	BTN_GO 2%	
1	Các chỉ tiêu thể tích	6	6	6	6	24
2	Độ ổn định và độ dẻo Marshall					
3	Độ ổn định còn lại	3	3	3	3	12

a) Kết quả thí nghiệm xác định các đặc tính thể tích của BTN_60/70 và BTN_GO được tổng hợp trong Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả thí nghiệm các đặc tính thể tích BTN_60/70 và BTN_GO.

Loại BTN	Giá trị trung bình các đặc trưng thể tích		
	Độ rỗng dư V_a (%)	Độ rỗng cốt liệu VMA (%)	Độ rỗng lấp đầy nhựa VFA (%)
BTN_60/70	4,56	14,32	68,43
BTN_GO_1%	4,54	15,04	69,81
BTN_GO_1,5%	4,53	15,83	71,38
BTN_GO_2%	4,50	16,01	71,89
Giới hạn cho phép theo QĐ 858	4,0 ÷ 6,0	≥ 13,5	65 ÷ 75

Kết quả thí nghiệm cho thấy, các giá trị đặc tính thể tích của BTN_60/70 và BTN_GO với hàm lượng chất kết dính 4,6% đều nằm trong giới hạn cho phép theo quy định của quyết định số 858/QĐ-BGTVT. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm đã chứng minh rằng hàm lượng graphen oxit ảnh hưởng đến các đặc tính thể tích của bê tông nhựa. Các giá trị độ rỗng dư giảm dần, trong khi độ rỗng cốt liệu và độ rỗng lấp đầy nhựa đều tăng dần khi hàm lượng graphen oxit tăng. Điều này cho thấy việc sử dụng graphen oxit trong bê tông nhựa góp phần nâng cao độ bền và tăng cường độ cho mặt đường.

b) Kết quả thí nghiệm độ ổn định và độ dẻo Marshall của các loại bê tông nhựa tương ứng với các hàm lượng graphen oxit 0%, 1%, 1,5% và 2% nêu trên được thể hiện trên Hình 1 và Hình 2.

Hình 1 đồ thị khoảng giá trị độ ổn định Marshall của các mẫu BTN-60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2%. Như thể hiện trên Hình 1, độ ổn định Marshall của các loại BTN đều $\geq 8,0$ kN. BTN_GO có độ ổn định Marshall đều tăng so với BTN_60/70, tỷ lệ graphen oxit càng cao thì mức tăng càng nhiều. BTN_GO_2% cho độ ổn định cao nhất, tăng 18,22% so với BTN_60/70. Nguyên nhân là do graphen oxit tăng cường độ cứng của chất kết dính, dẫn đến tăng độ ổn định cho BTN_GO. Tỷ lệ graphen oxit càng tăng thì độ cứng chất kết dính càng lớn nên độ ổn định càng cao.

Hình 2 là đồ thị khoảng giá trị độ dẻo Marshall của các mẫu BTN_60/70 và BTN-GO theo các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2%. Như thể hiện trên Hình 2, độ dẻo của các mẫu đều nằm trong khoảng yêu cầu theo quy định của Quyết định 858/QĐ-BGTVT

(1,5÷4 mm). Ngoài ra, độ dẻo Marshall của BTN_GO_1%, BTN_GO_1,5% và BTN_GO_2% giảm từ 10,32%, 19,35% và 28,06% so với BTN_60/70.

c) Kết quả thí nghiệm độ ổn định còn lại của các loại bê tông nhựa tương ứng với các hàm lượng graphen oxit 0%, 1%, 1,5% và 2%.

Kết quả thí nghiệm và đánh giá độ chụm độ ổn định Marshall sau khi ngâm nước 40 phút và sau khi ngâm nước 24h ở 60°C và độ ổn định còn lại được của BTN_60/70 và BTN_GO được tổng hợp chi tiết ở Bảng 7.

Bảng 7. Độ ổn định còn lại của BTN_60/70 và BTN_GO.

STT	Loại BTN	Độ ổn định ngâm nước 40 phút (MS), kN	Độ ổn định ngâm nước 24h (MS _a), kN	Độ ổn định còn lại (RS),%
1	BTN_60/70	11,25	9,82	87,29
2	BTN_GO_1%	12,12	11,01	90,84
3	BTN_GO_1,5%	12,76	11,69	91,61
4	BTN_GO_2%	13,30	12,28	92,33

Thử nghiệm ngâm nước sau 24h cho thấy độ ổn định giảm so với độ ổn định trong điều kiện ngâm nước 40 phút ở tất cả các tỷ lệ graphen oxit. Việc sử dụng graphen oxit cải thiện đáng kể độ ổn định còn lại của BTN_GO. Các mẫu BTN_GO có độ ổn định còn lại cao hơn so với BTN_60/70, tỷ lệ graphen oxit tăng thì độ ổn định còn lại càng lớn. Mẫu BTN_GO_2% có độ ổn định còn lại lớn nhất với RS = 92,33%. Điều này cho thấy khả năng chống ẩm của BTN đã được tăng cường sau khi bổ sung graphen oxit. Nguyên nhân là do các nhóm hydroxyl, epoxy và cacboxyl trên bề mặt các lớp graphen oxit làm cho nó rất ưa nước. Các phân tử nước bị hấp phụ có xu hướng hiện diện trong các khoảng trống giữa các lớp, một mạng lưới hydro hình thành giữa các phân tử nước và các nhóm oxy trên graphen oxit, từ đó tăng cường độ ổn định nước của BTN_GO.

Như vậy, với hàm lượng chất kết dính 4,6%, các mẫu BTN_60/70, BTN_GO_1%, BTN_GO_1,5% và BTN_GO_2% đều thỏa mãn các yếu tố về đặc tính thể tích và đặc tính cơ học theo quyết định 858/QĐ-BGTVT.

Ví dụ 2. Chế tạo mẫu và thử nghiệm đánh giá khả năng kháng lún vệt bánh xe (LVBX)

Chế tạo 4 tổ hợp mẫu bê tông nhựa (mỗi tổ hợp gồm 2 mẫu) tương ứng với 4 cấp phối theo tỷ lệ phụ gia graphen oxit 0%, 1%, 1,5% và 2% nêu trên, trong đó tổ hợp gồm 2 mẫu bê tông nhựa có hàm lượng phụ gia nano graphen oxit = 0% là tổ hợp mẫu đối chứng. Các mẫu được chế tạo có dạng tấm hình chữ nhật và được chế tạo bằng cách sử dụng thiết bị đầm lăn (Roller Compaction, do công ty Daiwakenko, Nhật Bản sản xuất) có kích thước quy định như sau: (Chiều dài) x (Chiều rộng) x (Chiều dày) = (320 mm) x (260 mm) x (50 mm), với độ rỗng dư $V_a = 7 \pm 1\%$. Sử dụng bánh xe thép; Tần số tác dụng tải ($25 \pm 2,5$) chu kỳ/1 phút (tương đương (50 ± 5) lần/1 phút).

Tiến hành thí nghiệm độ sâu LVBX theo Phương pháp A quy định tại QĐ 1617/QĐ-BGTVT ngày 29/4/2014 và tiêu chuẩn AASHTO T324. Thử nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm LAS XD72 - Trường Đại học Công nghệ GTVT. Thử nghiệm sử dụng thiết bị Hamburg Wheel Tracker, do hãng Infratest - Mỹ sản xuất. Mẫu thí nghiệm được đặt trong môi trường nước ở nhiệt độ 50°C, chạy 15.000 lượt.

Kết quả thí nghiệm chiều sâu LVBX của các mẫu bê tông nhựa sử dụng hàm lượng phụ gia graphen oxit khác nhau nêu trên được thể hiện chi tiết ở Bảng 8 và các Hình 3A-Hình 3D. Do tiêu chuẩn thí nghiệm xác định chiều sâu LVBX chưa đề cập đến độ chụm nên khó đánh giá mức độ phân tán của các kết quả thí nghiệm. Với 2 mẫu/tổ, trong Bảng 8 sử dụng giá trị giới hạn $d_{2s} = 30\%$ cho mẫu đúc để đánh giá độ chụm của kết quả thí nghiệm.

Bảng 8. Kết quả thí nghiệm LVBX của BTN_{60/70} và BTN_{GO}.

TT	Chỉ tiêu	Mẫu	BTN _{60/70}	BTN _{GO} 1%	BTN _{GO} 1,5%	BTN _{GO} 2%
1	Chiều sâu lún vết bánh xe, mm	Trái	5,60	5,20	4,20	4,00
		Phải	6,07	4,90	3,85	3,47
		TB	5,84	5,05	4,03	3,74
2	Khoảng chênh lệch R max-min	mm	0,47	0,30	0,35	0,53
3	Khoảng chấp nhận cho phép, d_{2s}	%	30	30	30	30
4	Giá trị độ lệch cho phép: TB*(3)	mm	1,75	1,52	1,21	1,12
5	Đánh giá: So sánh (2) và (4)	-	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt

Như thể hiện trên Bảng 8 và các Hình 3A-Hình 3D, sau 15.000 lượt chạy trong môi trường nước ở nhiệt độ 50°C, chiều sâu LVBX của tất cả 6 loại bê tông nhựa đều nhỏ hơn 12,5 mm và đáp ứng theo quy định tại Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT. Ngoài ra, biến dạng vĩnh viễn của bê tông nhựa về cơ bản giảm đáng kể khi hàm lượng graphen oxit tăng. Việc sử dụng 1%, 1,5% và 2% graphen oxit theo khối lượng nhựa đường 60/70 có hiệu quả trong việc làm giảm LVBX, giá trị này giảm lần lượt là 13,53%, 30,99% và 35,96% so với bê tông nhựa 60/70 không sử dụng graphen oxit. Điều này chứng tỏ tác động làm cứng của graphen oxit lên chất kết dính đã được cải thiện, làm tăng hiệu suất kháng lún ở nhiệt độ cao của bê tông nhựa sử dụng graphen oxit.

Ví dụ 3. Chế tạo mẫu và xác định mô đun đàn hồi tĩnh

Chế tạo 4 tổ hợp mẫu bê tông nhựa (mỗi tổ hợp 6 mẫu) tương ứng với 4 cấp phối có hàm lượng graphen oxit là 0%, 1%, 1,5% và 2% nêu trên, trong đó tổ hợp mẫu bê tông nhựa có hàm lượng graphen oxit 0% (BTN_60/70) là mẫu đối chứng. Các mẫu bê tông nhựa thí nghiệm được chế bị dạng hình trụ có đường kính và chiều cao bằng 100mm.

Thí nghiệm sử dụng thiết bị đầm xoay (Gyratory Testing machines) do hãng Daiwa Kenko, Nhật Bản sản xuất. Quá trình nén mẫu sử dụng thiết bị UTM do hãng Cooper, Vương quốc Anh sản xuất. Thiết bị có buồng bảo ôn để đảm bảo duy trì nhiệt độ trong suốt quá trình thí nghiệm. Trước khi thí nghiệm, mẫu được đặt trong buồng bảo ôn có nhiệt độ bằng nhiệt độ thí nghiệm tối thiểu 2 giờ. Sau đó tiến hành nén mẫu theo từng mức nhiệt độ bao gồm 15°C, 30°C và 60°C.

Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh của BTN_60/70 và BTN_GO ở 3 nhiệt độ thử nghiệm được kiểm tra độ chụm, vận dụng tiêu chuẩn đánh giá độ chụm cho thử nghiệm độ ổn định Marshall ASTM D6927-05 và ASTM C670-10 (do tiêu chuẩn TCCS 38:2022/TCĐBVN không quy định độ chụm).

Sử dụng phần mềm Minitab 19 để thiết kế thực nghiệm DOE theo GFF, phân tích phương sai ANOVA với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$, phân tích hậu định theo phương pháp Tukey. Phân tích thống kê với 2 biến số đầu vào là loại BTN: có 4 loại bao gồm BTN_60/70, BTN_GO_1%, BTN_GO_1,5% và BTN_GO_2%; nhiệt độ thí nghiệm gồm 3 nhiệt độ là 15°C, 30°C và 60°C; 6 mẫu/tổ. Hàm phân tích đầu ra là mô đun đàn hồi tĩnh.

Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh ở 15°C, 30°C và 60°C của 4 tổ hợp mẫu trên được thể hiện ở Hình 4.

Hình 4 cho thấy việc sử dụng chất kết dính N_GO trong bê tông nhựa đã làm tăng đáng kể mô đun đàn hồi ở cả ba nhiệt độ thử nghiệm. Tuy nhiên, ảnh hưởng của graphen oxit đến mô đun đàn hồi tĩnh ở 15°C là lớn nhất, tiếp theo là 30°C và cuối cùng là 60°C. BTN_GO_2% thể hiện hiệu suất cải thiện cao nhất ở cả ba nhiệt độ so với các tỷ lệ graphen oxit khác. Cụ thể, giá trị mô đun đàn hồi của BTN_GO_2% tăng 34,12%, 33,80%, và 29,13% tương ứng ở các nhiệt độ 15°C, 30°C, và 60°C so với BTN_60/70.

Ví dụ 4. Chế tạo mẫu và thí nghiệm cường độ kéo khi ép chẻ

Chế tạo 4 tổ hợp mẫu bê tông nhựa (mỗi tổ hợp 6 mẫu) tương ứng với 4 cấp phối với hàm lượng G) là 0%, 1%, 1,5% và 2% trên trên, trong đó mẫu bê tông nhựa có hàm lượng graphen oxit 0% (BTN_60/70) là mẫu đối chứng. Các mẫu bê tông nhựa thí nghiệm là mẫu hình trụ tròn đường kính d và chiều cao h.

Các mẫu sau khi được chế tạo và bảo quản sẽ được ngâm trong nước ở 15°C trong 2 giờ trước khi làm thí nghiệm. Thí nghiệm được tiến hành trên máy nén Marshall. Lực nén tác dụng lên mẫu với tốc độ 50,8 mm/phút theo phương đường sinh cho đến khi mẫu bị phá hoại. Giá trị độ lớn của lực (P) tại thời điểm mẫu bị phá hoại được sử dụng để tính toán cường độ kéo khi ép chẻ. Tải trọng lớn nhất gây phá hủy từng mẫu thử đều được ghi lại. Thời gian thực hiện thí nghiệm từ khi lấy mẫu ra khỏi bể nước ổn nhiệt đến khi nén xong mẫu không quá 2 phút. Thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm LAS-XD72 thuộc Trường Đại học Công nghệ GTVT.

Cường độ kéo khi ép chẻ của BTN được xác định theo công thức sau:

$$R_{ke} = \frac{2P}{\pi \cdot H \cdot D}$$

Trong đó:

R_{ke} – Cường độ kéo khi ép chẻ, MPa;

P – Tải trọng phá hủy mẫu hình trụ, N;

H – Chiều cao mẫu hình trụ, mm;

D – Đường kính mẫu hình trụ, mm;

$$\Pi = 3,1416 .$$

Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi ép chế thể hiện trên Hình 5.

Hình 5 cho thấy, graphen oxit cải thiện cường độ kéo khi ép chế ở 15°C. So sánh với BTN_60/70, các giá trị R_{ke} của BTN_GO_1%, BTN_GO_1,5% và BTN_GO_2% tăng lần lượt 13,55%, 19,84% và 18,57%. Hiệu quả này có thể là do sự phân tán đồng đều của graphen oxit trong nhựa đường, làm tăng sự liên kết giữa các hạt cốt liệu và chất kết dính N_GO. BTN_GO_1,5% cho hiệu suất cải thiện cường độ kéo khi ép chế tốt nhất so với các tỷ lệ graphen oxit khác.

Ví dụ 5. Chế tạo mẫu và thử nghiệm đánh giá khả năng kháng nứt

Chế tạo 4 tổ hợp mẫu bê tông nhựa, mỗi tổ hợp 3 mẫu, tương ứng với 4 cấp phối với hàm lượng graphen oxit là 0%, 1%, 1,5% và 2% nêu trên, trong đó mẫu bê tông nhựa có hàm lượng graphen oxit 0% (BTN_60/70) là mẫu đối chứng. Các mẫu thí nghiệm có dạng hình trụ được chế tạo bằng thiết bị đầm xoay Gyratory Compactor 4140 (của hãng Troxler - Mỹ) có đường kính 150 ± 2 mm và chiều cao 62 ± 1 mm, mẫu được đầm sao cho độ rỗng dư $V_a = 7 \pm 0,5\%$.

Thí nghiệm IDEAL-CT_{Index} được thực hiện theo hướng dẫn của tiêu chuẩn ASTM D8225-19 trên máy Marshall-SDA tại phòng thí nghiệm vật liệu thuộc Trường Đại học GTVT.

Thiết bị thử nghiệm IDEAL-CT_{Index} bao gồm thiết bị gia tải dọc trục, thiết bị cảm biến lực, dải gia tải, thiết bị đo biến dạng và hệ thống thu thập dữ liệu. Mẫu được đặt chính giữa trong bộ gia tải dọc trục. Đặt tải trọng lên mẫu với tốc độ 50 ± 2 mm/phút trong suốt thời gian thử nghiệm cho đến khi lực nén giảm xuống dưới 0,1 kN thì dừng lại.

Kết quả thí nghiệm chỉ số kháng nứt CT_{Index} của các mẫu BTN_60/70 và BTN_GO với các hàm lượng graphen oxit là 1%, 1,5% và 2% được thể hiện trên Hình 6.

Như thể hiện trên Hình 6, chỉ số CT_{index} của BTN_60/70 và BTN_GO đều lớn hơn giá trị tối thiểu ($CT_{index} \geq 80$) của Bang Oklahoma đưa ra. Ngoài ra, việc bổ sung graphen oxit không cải thiện khả năng kháng nứt của BTN mà có xu hướng giảm nhẹ chỉ số CT_{Index}.

So sánh với BTN_60/70, các giá trị CT_{index} của BTN_GO_1%, BTN_GO_1,5% và BTN_GO_2% giảm lần lượt 5,87%, 7,59% và 8,61%. Điều này có thể được giải thích, việc bổ sung graphen oxit làm tăng cường độ cứng cho BTN, ở nhiệt độ thấp BTN_GO trở nên cứng giòn nên khả năng kháng nứt giảm nhẹ so với BTN_60/70.

Yêu cầu bảo hộ

1. Bê tông nhựa sử dụng phụ gia nano graphen oxit dùng cho lớp mặt đường bao gồm các thành phần nguyên liệu sau:

cốt liệu gồm: cốt liệu lớn có cỡ hạt 5-19 mm chiếm 45-55% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu, và cốt liệu nhỏ có cỡ hạt 0,14-5 mm chiếm 35-45% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

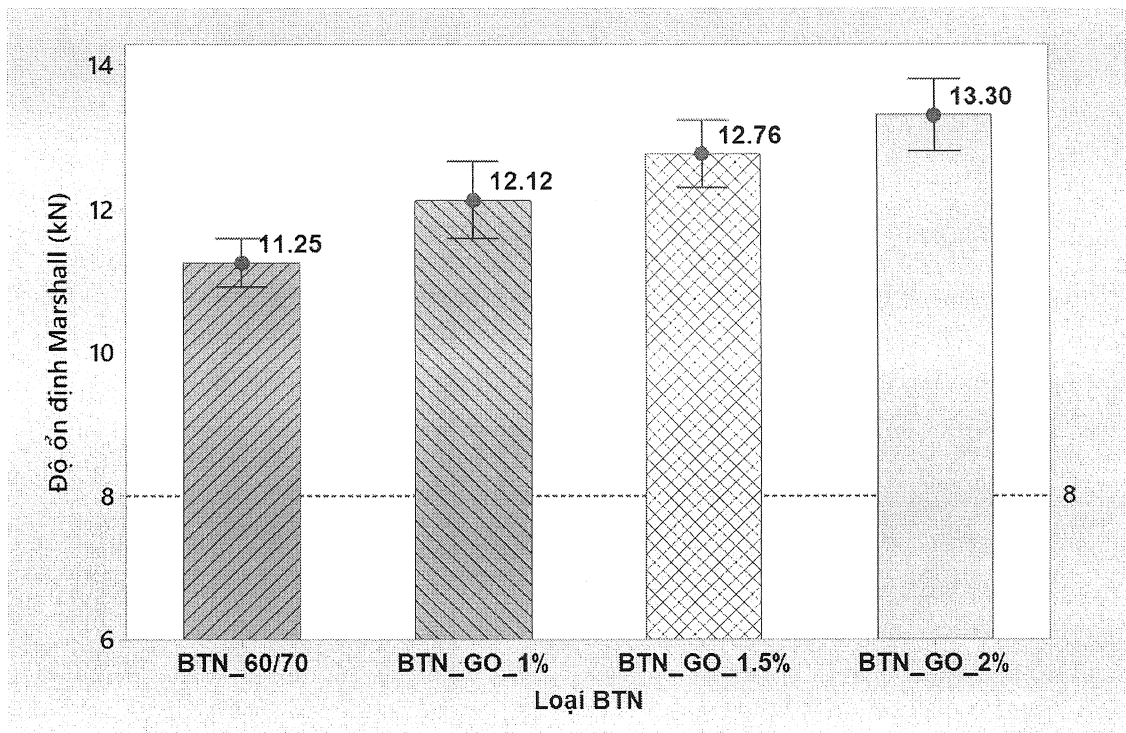
bột khoáng chiếm 4-6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

chất kết dính là nhựa đường 60/70 chiếm 4,6% trọng lượng hỗn hợp nguyên liệu;

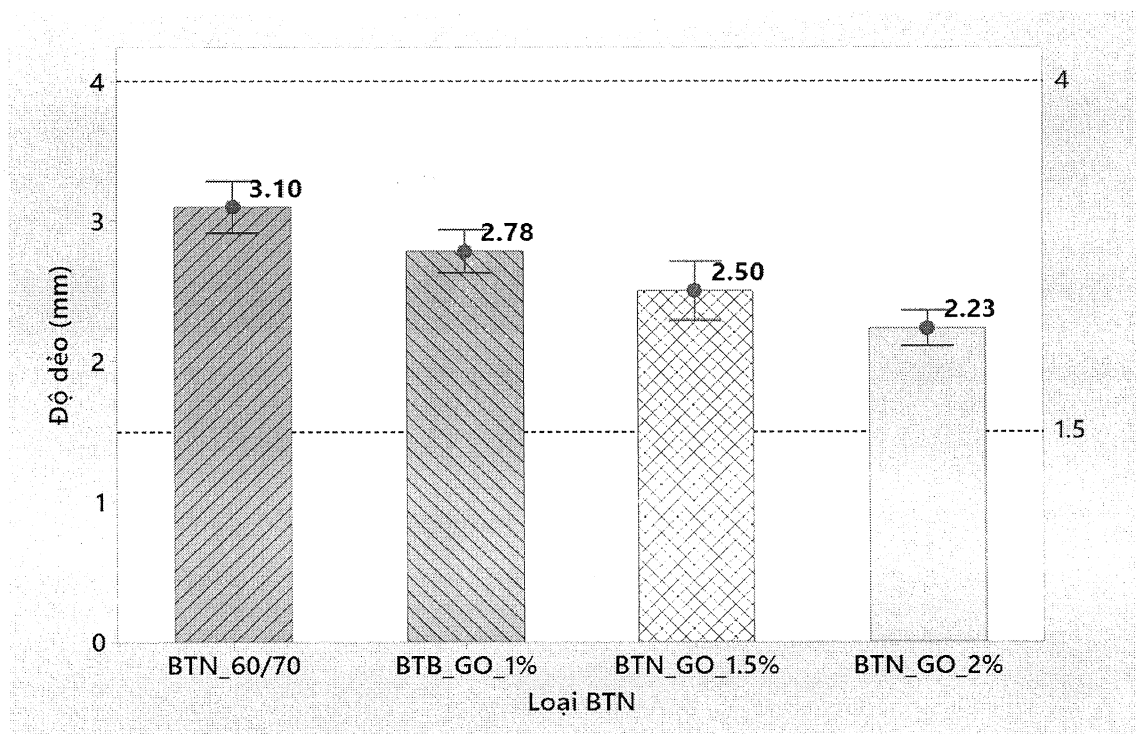
phụ gia nano graphen oxit chiếm 2% trọng lượng của nhựa đường 60/70;

trong đó phụ gia nano graphen oxit được trộn trước với chất kết dính ở nhiệt độ 150°C trong thời gian 20 phút với vận tốc 2000 vòng/phút.

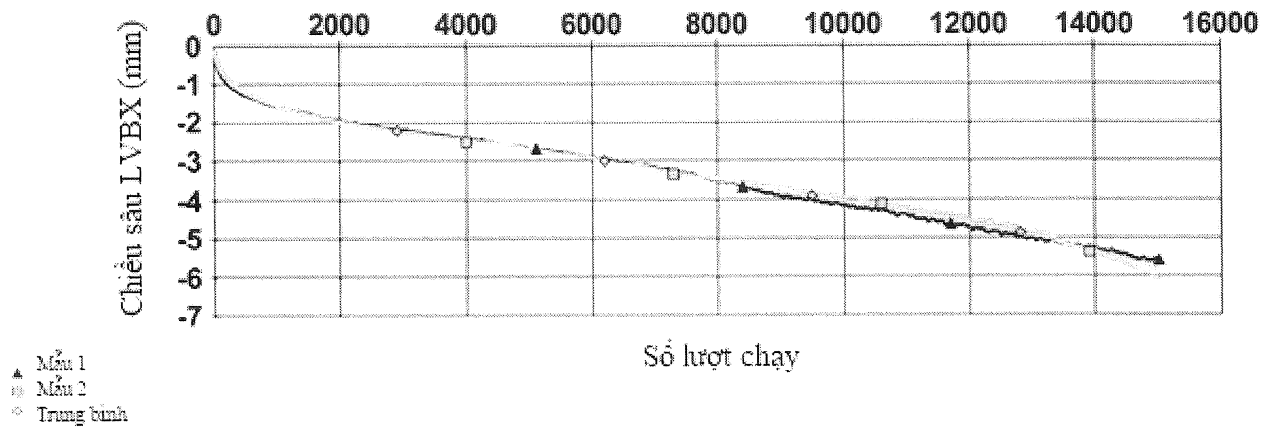
2. Bê tông nhựa theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó cốt liệu lớn là đá dăm, sỏi dăm, xỉ thép hoặc hỗn hợp của chúng.
3. Bê tông nhựa theo điểm 3, trong đó cốt liệu lớn là đá dăm.
4. Bê tông nhựa theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó cốt liệu nhỏ là cát tự nhiên, cát nghiền, cát xay hoặc hỗn hợp của chúng.
5. Bê tông nhựa theo điểm 4, trong đó cốt liệu nhỏ là cát xay.
6. Bê tông nhựa theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, bột khoáng bao gồm sản phẩm được nghiền từ đá các-bô-nát có cường độ nén của đá gốc lớn hơn 40 MPa, từ xỉ lò cao hoặc là xi măng.



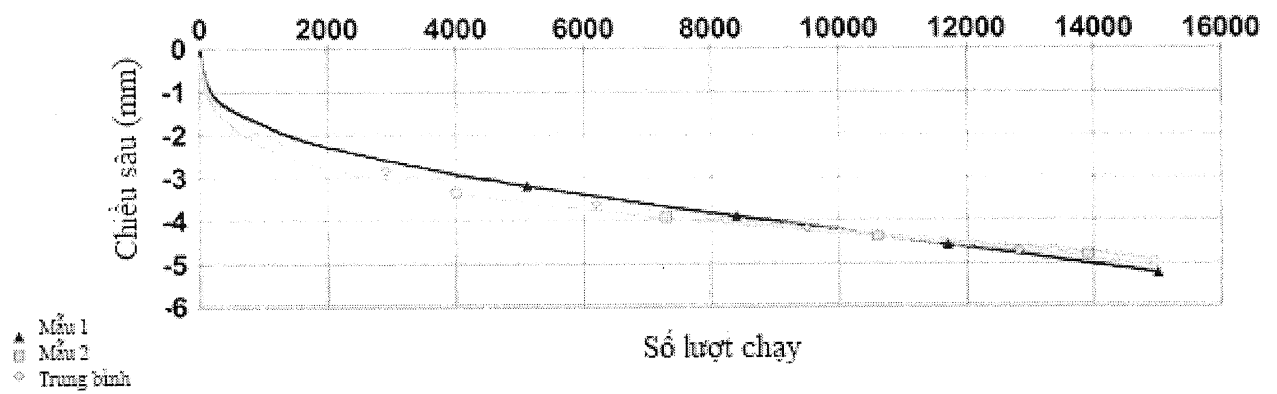
Hình 1



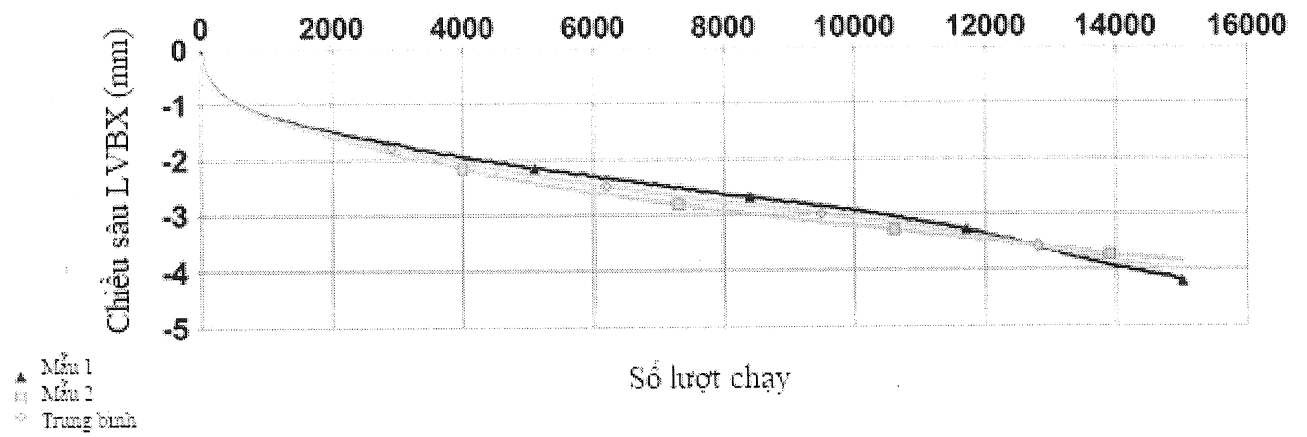
Hình 2



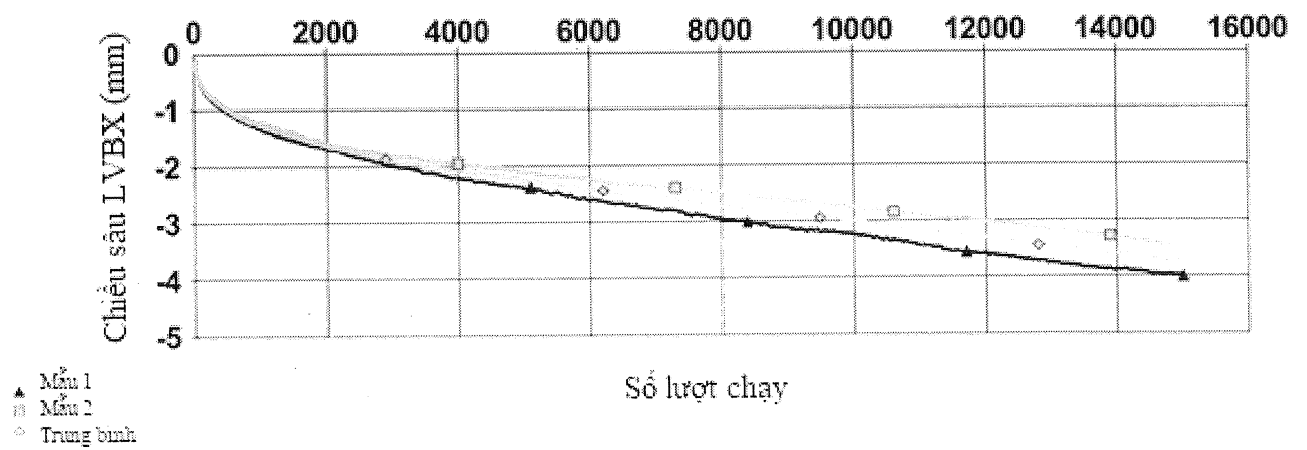
Hình 3A



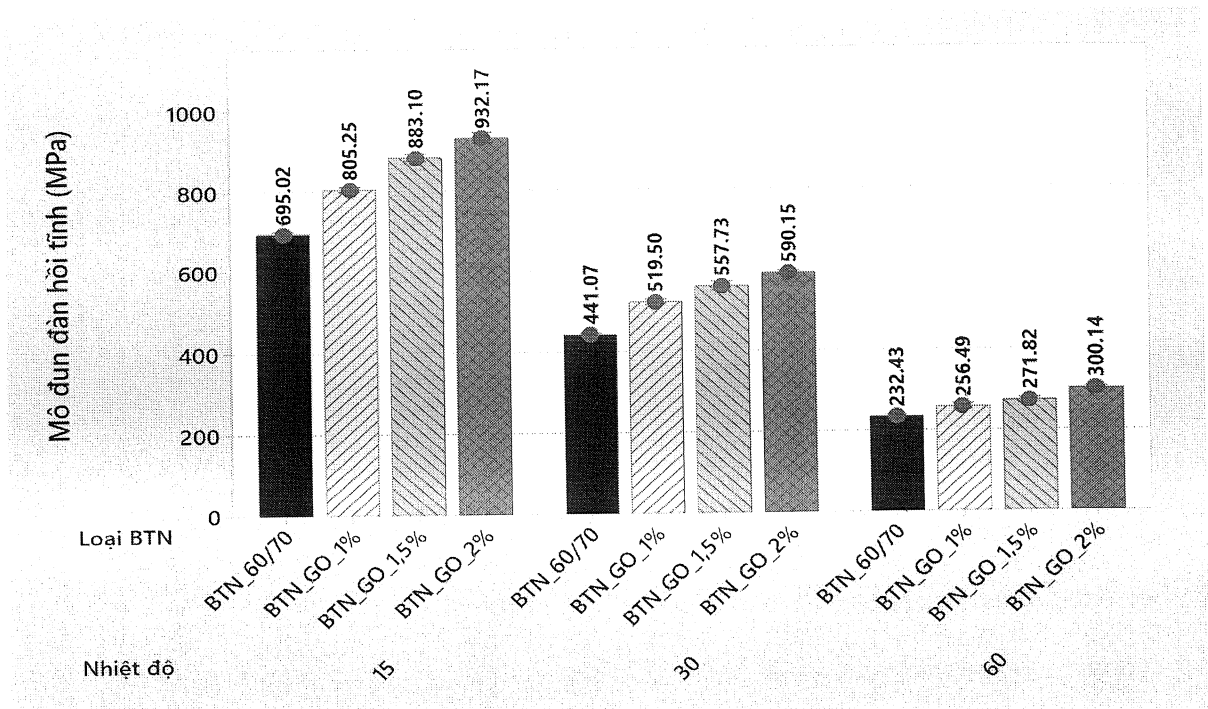
Hình 3B



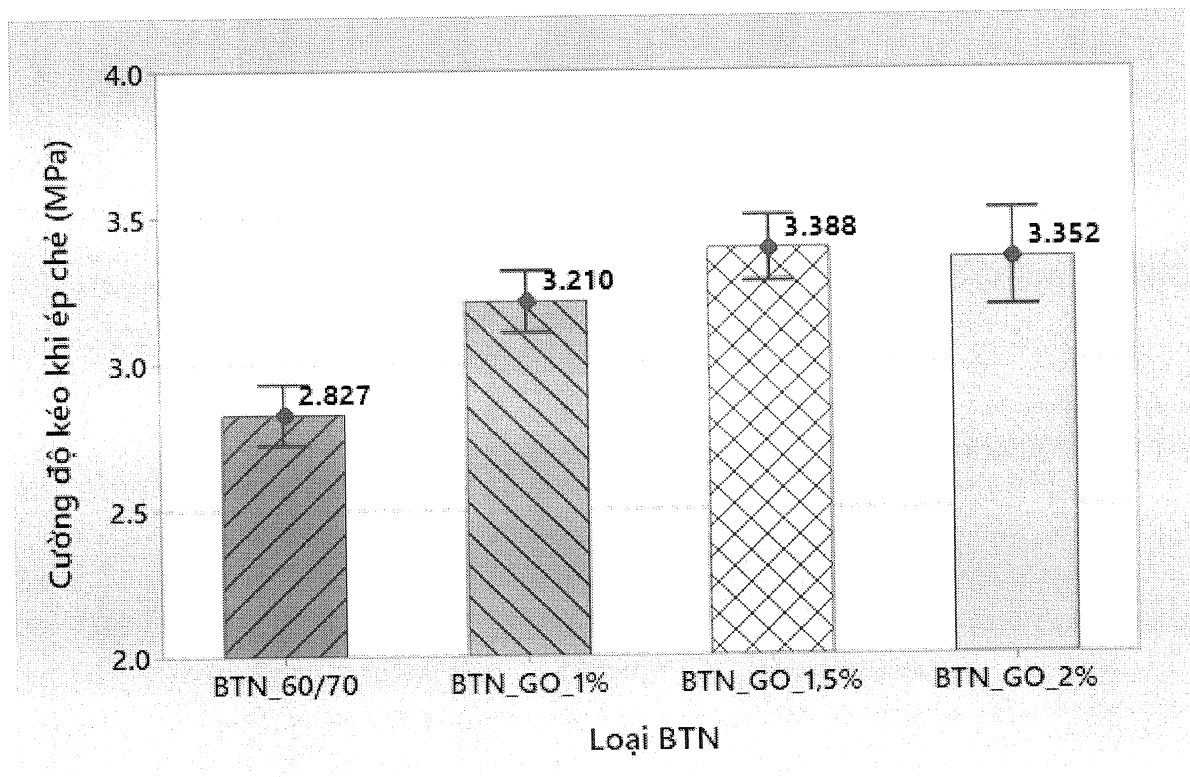
Hình 3C



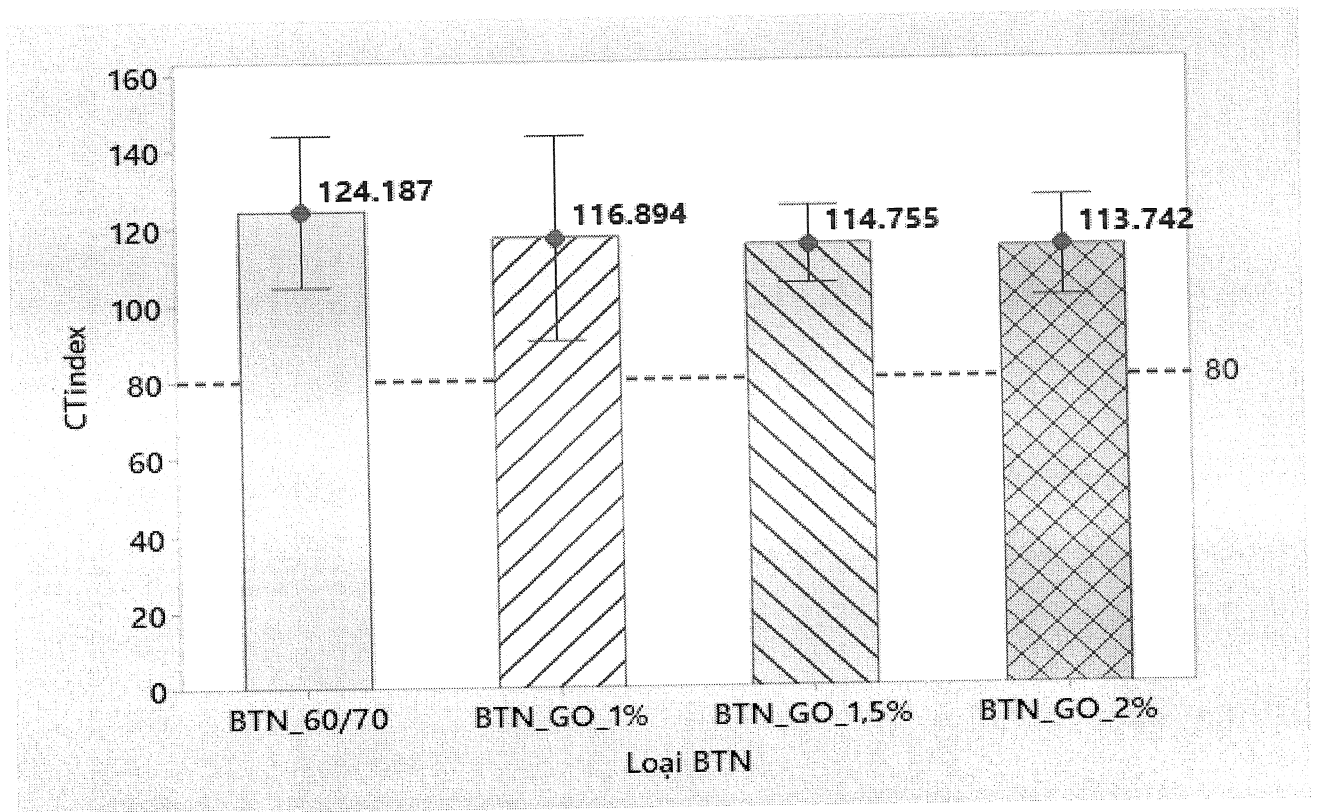
Hình 3D



Hình 4



Hình 5

**Hình 6**