



RESEARCH ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BITUMEN BLENDS WITH PETROLEUM-BASED REJUVENATOR USING DYNAMIC SHEAR RHEOMETER

Truong Van Quyet^{1*}, Nguyen Ngoc Lan¹, Dao Van Dong^{1,2}, Pham Duy Huu¹,
Luong Xuan Chieu¹

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²Hoa Binh University, No 8 Bui Xuan Phai, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 03/04/2023

Revised: 05/06/2023

Accepted: 14/06/2023

Published online: 15/06/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.5.8>

* *Corresponding author*

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: +84978452140

Abstract. With economic, technical and environmental benefits, the use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) has become more and more popular in recent years. In order to restore the rheological and other properties of aged bitumen recovered from RAP (RAP bitumen), rejuvenator is commonly used during the asphalt mixtures production containing high RAP content. This paper presents a laboratory study on the effect of petroleum-based rejuvenator (HS1 rejuvenator) on the rheological properties of bitumen blends. The bitumens evaluated include virgin bitumen (60/70 penetration grade), RAP bitumen and blends bitumen (including virgin bitumen, RAP bitumen with a recycled binder ratio of 0.3 and rejuvenator). The HS1 rejuvenator is used with different contents of 0%, 4%, 12% and 20% by weight of RAP bitumen. The in-laboratory tests used to simulate the aging conditions including short-term aging, long-term aging and unaged. The rheological properties of bitumen were determined through a Dynamic Shear Rheometer (DSR) test according to AASHTO T315. The results show that, when increasing the rejuvenator content, the dynamic shear modulus G^* decreases and the phase angle increases at the different aging conditions. HS1 rejuvenator is effective in reducing the hardness of bitumen blend and still has the ability to soften bitumen under long-term aging condition. Bitumen blend using about 12% HS1 rejuvenator can achieve PG grade at high temperatures equivalent to virgin bitumen.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement (RAP), bitumen blends, rheological properties, dynamic shear modulus, phase angle, HS1 rejuvenator.

© 2023 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TÍNH LƯU BIẾN CỦA BITUM HỖN HỢP SỬ DỤNG PHỤ GIA TÁI SINH GỐC DẦU MỎ BẰNG THIẾT BỊ CẮT ĐỘNG LƯU BIẾN

Trương Văn Quyết^{1*}, Nguyễn Ngọc Lâm¹, Đào Văn Đông^{1,2}, Phạm Duy Hữu¹,
Lương Xuân Chiêu¹

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Hoà Bình, Số 8 Bùi Xuân Phái, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 03/04/2023

Ngày nhận bài sửa: 05/06/2023

Ngày chấp nhận đăng: 14/06/2023

Ngày xuất bản Online: 15/06/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.5.8>

* Tác giả liên hệ

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: +84978452140

Tóm tắt. Với những lợi ích về kinh tế, kỹ thuật và môi trường, việc sử dụng vật liệu mặt đường asphalt cũ (Reclaimed Asphalt Pavement-RAP) đang ngày càng trở nên phổ biến trên thế giới trong những năm gần đây. Để khôi phục đặc tính lưu biến và các tính chất khác của bitum cũ thu hồi từ vật liệu RAP (bitum RAP), phụ gia tái sinh thường được sử dụng trong quá trình sản xuất hỗn hợp asphalt có hàm lượng RAP cao. Bài báo trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ (HS1 rejuvenator) đến một số đặc tính lưu biến của bitum. Các loại bitum được đánh giá bao gồm bitum mới 60/70, bitum RAP và bitum hỗn hợp (bao gồm bitum mới, bitum RAP với tỷ lệ tái chế (Recycled Binder Ratio - RBR) là 0,3 và phụ gia tái sinh). Phụ gia tái sinh HS1 được sử dụng với các hàm lượng khác nhau 0%, 4%, 12% và 20% theo khối lượng bitum RAP. Các thí nghiệm trong phòng được sử dụng để mô phỏng sự hoá già của bitum bao gồm hoá già ngắn hạn (short-term aging), hoá già dài hạn (long-term aging) và điều kiện chưa hoá già (unaged). Đặc tính lưu biến của bitum được xác định thông qua thí nghiệm cắt động lưu biến (Dynamic Shear Rheometer-DSR) theo tiêu chuẩn AASHTO T315. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi tăng hàm lượng phụ gia tái sinh, giá trị mô đun cắt động G^* giảm và góc trễ pha tăng ở các điều kiện hoá già khác nhau. Phụ gia tái sinh HS1 có hiệu quả trong việc giảm độ cứng của bitum hỗn hợp và vẫn có khả năng làm mềm bitum khi trải qua quá trình hoá già dài hạn. Bitum hỗn hợp sử dụng khoảng 12% phụ gia tái sinh HS1 có thể đạt được giá trị cấp PG ở nhiệt độ cao tương đương với bitum mới 60/70.

Từ khóa: Vật liệu mặt đường asphalt cũ (RAP), bitum hỗn hợp, đặc tính lưu biến, mô đun cắt động, góc trễ pha, phụ gia tái sinh HS1.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc sử dụng vật liệu mặt đường asphalt cũ (RAP) để sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt tái chế có thể làm giảm chi phí sản xuất, duy trì các nguồn tài nguyên thiên nhiên đang cạn kiệt, tiết kiệm không gian chôn lấp và bảo vệ môi trường. Đối với hỗn hợp asphalt có hàm lượng RAP cao ($> 25\%$), thách thức đặt ra là hàm lượng RAP cao sẽ tạo ra hỗn hợp asphalt trở nên cứng, khó đầm nén và độ bền thấp (dễ bị nứt), dẫn đến hư hỏng ngoài hiện trường xảy ra sớm [1]. Vì vậy, sử dụng phụ gia tái sinh là một giải pháp để giảm độ cứng của hỗn hợp bê tông asphalt có hàm lượng RAP cao. Nhiều nghiên cứu gần đây tập trung vào việc nghiên cứu sử dụng các loại phụ gia tái sinh để cải thiện các tính năng của bê tông asphalt tái chế [2-5].

Theo báo cáo của NCAT (2014) [6], một số loại phụ gia tái sinh thường được sử dụng được phân loại theo các gốc bao gồm dầu parafinic, aromatic extracts - chiết xuất thơm từ dầu mỏ, tall oils - dầu gỗ thông, dầu naphthenic, triglycerides and fatty acids - các axit béo từ dầu thực vật. Các nghiên cứu chỉ ra rằng phụ gia tái sinh có ảnh hưởng đáng kể đến các tính chất của bitum cũ thu hồi từ RAP và bitum hỗn hợp tái chế [7-11]. Yin và các cộng sự [8] chỉ ra rằng việc thêm phụ gia tái sinh làm giảm giá trị mô đun cắt động G^* và tăng góc trễ pha δ của bitum hỗn hợp. Bitum hỗn hợp có phụ gia tái sinh cho thấy các tính năng được cải thiện hơn (G^* thấp hơn và δ cao hơn) so với bitum hỗn hợp không có phụ gia tái sinh. Yu và các cộng sự [9] chỉ ra rằng việc bổ sung phụ gia tái sinh vào bitum cũ làm giảm giá trị G^* và tăng giá trị δ ở các mức độ khác nhau, tùy thuộc vào nguồn gốc của bitum cũ và loại phụ gia tái sinh. Các tác giả chỉ ra rằng phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ có tác động thấp hơn trong việc giảm giá trị G^* và tăng giá trị δ so với phụ gia tái sinh gốc dầu thực vật khi cả hai đều được sử dụng với hàm lượng như nhau. Arámbula-Mercado và các cộng sự [12] chỉ ra rằng việc bổ sung phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ với hàm lượng cao mang lại sự phục hồi các đặc tính lưu biến của bitum hỗn hợp (giá trị G^* thấp hơn và δ cao hơn). Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, trong số các loại phụ gia tái sinh, phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ có hiệu quả cả khi bitum được hoá già dài hạn.

Trong nghiên cứu này, phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ có tên thương mại là HS1-rejuvenator được sử dụng để nghiên cứu. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tái sinh HS1 với các hàm lượng khác nhau đến một số đặc tính lưu biến của bitum hỗn hợp sử dụng thiết bị cắt động lưu biến DSR. Các loại bitum khác nhau được đánh giá bao gồm bitum mới 60/70, bitum RAP và bitum hỗn hợp (bao gồm bitum mới 60/70, bitum cũ thu hồi từ RAP và phụ gia tái sinh). Để đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tái sinh HS1 đến các đặc tính lưu biến của bitum, các giá trị mô đun cắt động G^* , góc trễ pha δ , thống số $G^*/\sin\delta$ và $G^*\sin\delta$ ở các nhiệt độ thí nghiệm khác nhau được xác định. Tất cả các thông số này được thí nghiệm tương ứng với tần số 10 rad/giây (1,592Hz) theo tiêu chuẩn AASHTO M320.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Chất kết dính bitum mới là loại bitum 60/70 của Công ty Nhựa đường Petrolimex. Vật liệu RAP sử dụng cho nghiên cứu là loại 12,5 (RAP 12,5) được lấy tại trạm trộn Tân Càng, Đồng Nai. Phụ gia tái sinh được sử dụng trong nghiên cứu là phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ (HS1-rejuvenator) đã được thương mại hoá với hàm lượng từ 0, 4, 12 và 20% theo khối lượng bitum cũ thu hồi từ RAP (bitum RAP) (Hình 1). Các chỉ tiêu kỹ thuật của bitum RAP và bitum mới 60/70 được thể hiện ở Bảng 1. Bảng 2 đưa ra kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia tái sinh HS1. Trong nghiên cứu này, tỷ lệ bitum RAP được tái chế là 0,3

Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, Tập 74, Số 5 (06/2023), 655-670
(recycled binder ratio, RBR = 0,3), tương ứng với hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP.
Ký hiệu các mẫu bitum được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 1. Một số chỉ tiêu của bitum mới 60/70 và bitum RAP [13].

Chỉ tiêu	Bitum 60/70	Bitum RAP	Tiêu chuẩn thí nghiệm
Độ kim lún ở 25 °C, 0,1 mm	64,2	25,4	ASTM D 5
Nhiệt độ hoá mềm, °C	49,6	64,6	ASTM D 36
G*/sinδ ở 64 °C, kPa	1,8	-	AASHTO T315
G*/sinδ ở 82 °C, kPa	-	1,1	

Bảng 2. Các chỉ tiêu kỹ thuật của phụ gia tái sinh HS1.

Chỉ tiêu, đơn vị	Giá trị
Độ nhớt ở 60°C (cSt)	67
Màu sắc	Nâu đen
Điểm chớp cháy, °C	256
pH	7-9
Khối lượng riêng (g/cm ³)	1,08

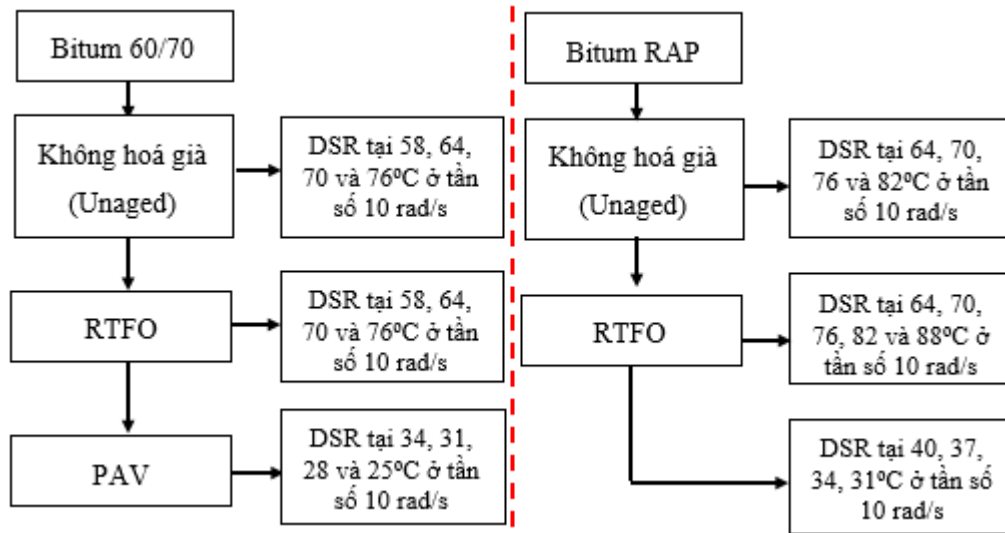


Hình 1. Phụ gia tái sinh HS1.

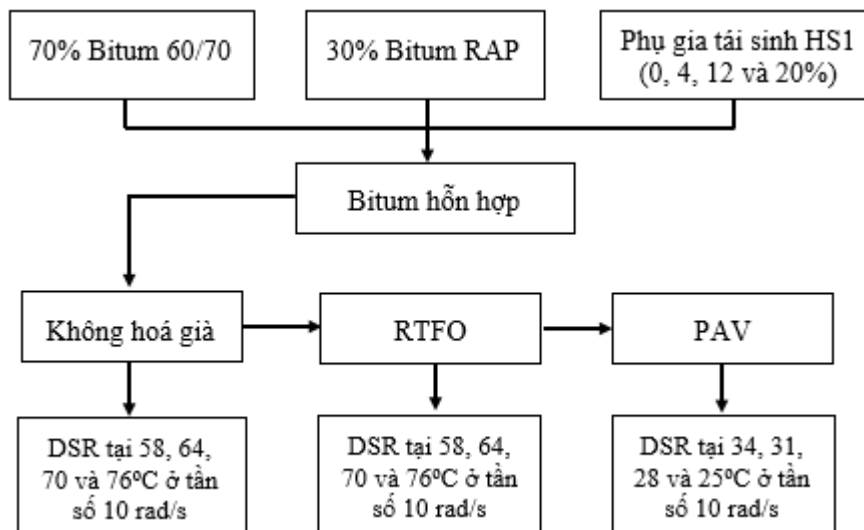
2.2. Kế hoạch và tiến hành thí nghiệm

Hình 2 thể hiện kế hoạch nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tái sinh HS1 đến đặc tính lưu biến của bitum hỗn hợp và bitum đối chứng. Đầu tiên, vật liệu RAP được hoà tan trong dung dịch Trycloetylen (TCE), sau đó chiết để thu được hỗn hợp dung dịch bao gồm bitum RAP và TCE theo tiêu chuẩn AASHTO T164 [14]. Sau đó, phương pháp Abson được sử dụng để thu hồi bitum RAP theo theo tiêu chuẩn AASHTO R59 [15] (Hình 3). Sau khi bitum cũ được thu hồi từ vật liệu RAP, tiến hành trộn bitum mới với bitum RAP và phụ gia tái sinh để tạo thành bitum hỗn hợp. Phụ gia tái sinh sẽ được trộn với bitum mới 60/70 trong vòng 1 phút. Sau đó bitum RAP sẽ được thêm vào hỗn hợp gồm bitum mới và phụ gia tái sinh

Transport and Communications Science Journal, Vol 74, Issue 5 (06/2023), 655-670
 và tiếp tục trộn trong vòng 1 phút. Hỗn hợp bitum được trộn cơ học sử dụng đĩa thủy tinh và trong quá trình trộn, nhiệt độ của hỗn hợp bitum luôn duy trì trong khoảng nhiệt độ 155-160°C.



(a) Kế hoạch thí nghiệm trên mẫu bitum đối chứng: bitum 60/70 và bitum RAP



(b) Kế hoạch thí nghiệm trên mẫu bitum hỗn hợp

Hình 2. Kế hoạch nghiên cứu.

Bảng 3. Ký hiệu mẫu thí nghiệm.

TT	Ký hiệu	Mô tả
1	V	Bitum mới 60/70
2	R	Bitum RAP
3	B	70% bitum mới + 30% bitum RAP + không có phụ gia tái sinh
4	HS1-4	70% bitum mới + 30% bitum RAP + 4% phụ gia tái sinh HS1
5	HS1-12	70% bitum mới + 30% bitum RAP + 12% phụ gia tái sinh HS1
6	HS1-20	70% bitum mới + 30% bitum RAP + 20% phụ gia tái sinh HS1



(a) (b)
Hình 3. Quá trình chiết (a) và thu hồi (b) bitum trong RAP.

Mỗi loại bitum đều trải qua quá trình mô phỏng sự hoá già bao gồm hoá già ngắn hạn (short-term aging) và hoá già dài hạn (long-term aging). Trạng thái chưa hoá già (unaged) là ngay sau khi hỗn hợp bitum được trộn xong. Phương pháp màng mỏng trong lò quay (Rolling Thin Film Oven - RTFO) được sử dụng để mô phỏng điều kiện hoá già ngắn hạn bitum theo tiêu chuẩn AASHTO T240 [16] (Hình 4). Trong thí nghiệm này, các mẫu bitum được rót vào bình thủy tinh và cho tiếp xúc với luồng không khí và duy trì nhiệt độ 163°C trong 85 phút. Sau khi hoá già ngắn hạn RTFO, các mẫu bitum được hoá già dài hạn (Pressure Aging Vessel-PAV) theo tiêu chuẩn AASHTO R28 [17]. Các mẫu bitum được đặt dưới áp suất 2,1 MPa và duy trì nhiệt độ 100°C trong vòng 20 giờ (Hình 5).

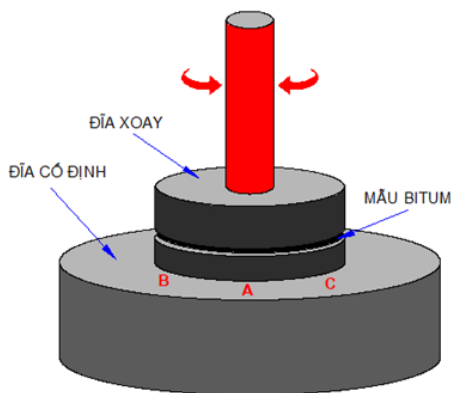


Hình 4. Hoá già ngắn hạn RTFO.

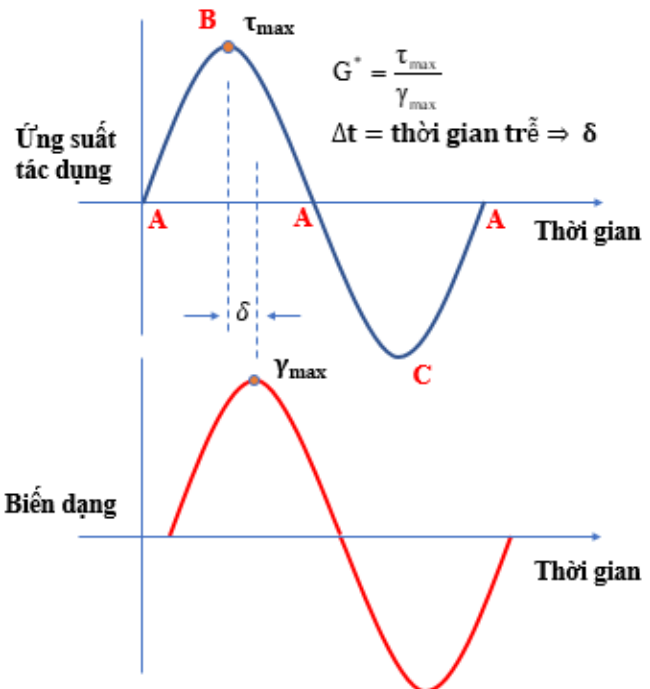
Trong nghiên cứu này, đặc tính lưu biến của bitum được xác định thông qua thí nghiệm cắt động lưu biến (Dynamic Shear Rheometer-DSR) theo tiêu chuẩn AASHTO T315 [18] (hoặc TCVN 11808-2017 [19]) (Hình 6 và Hình 8a). Trong quá trình thí nghiệm, một đĩa sẽ xoay đều hoà với tần số 10 rad/s và đĩa còn lại gắn cố định (Hình 6). Thí nghiệm DSR đưa ra hai tham số quan trọng là mô đun cắt động G^* (kPa) và góc trễ pha δ (radian/độ). Giá trị mô đun cắt động là một chỉ tiêu đặc trưng cho độ cứng và khả năng chống biến dạng do tải trọng của bitum. Giá trị mô đun cắt động và góc trễ pha phản ánh khả năng chống biến dạng cắt trượt của bitum trong phạm vi làm việc đàn nhớt tuyến tính. Mô đun cắt động G^* là tỷ số giữa giá trị tuyệt đối của biên độ ứng suất cắt τ và giá trị tuyệt đối của biên độ biến dạng cắt γ . Góc trễ pha δ là góc lệch tính bằng radian (độ) giữa ứng suất hình sin tác dụng lên mẫu và biến dạng hình sin phát sinh trong chế độ thử nghiệm không chế ứng suất (Hình 7)



Hình 5. Hoá già dài hạn PAV.

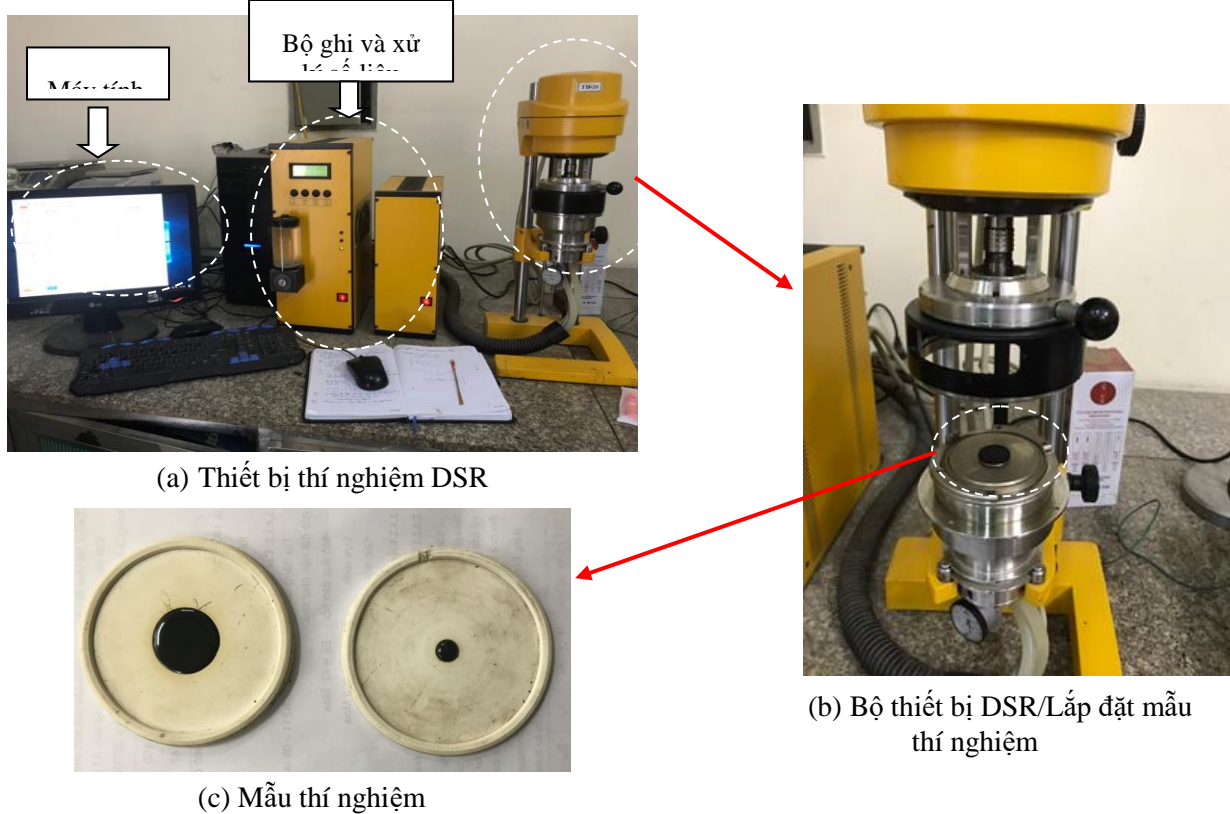


Hình 6. Mô tả thí nghiệm cắt động lưu biến.



Hình 7. Sự trễ pha giữa ứng suất và biến dạng.

Thí nghiệm được tiến hành ở một dải nhiệt độ khác nhau để xác định cấp của bitum theo tiêu chuẩn AASHTO M320 [20]. Khi thí nghiệm, mẫu thử nghiệm được đặt giữa hai tấm đĩa bằng kim loại nằm song song đồng tâm (Hình 8b). Mẫu thí nghiệm có hai dạng bao gồm mẫu đường kính 25mm với chiều dày 1mm và mẫu đường kính 8mm với chiều dày 2mm (Hình 8c). Đối với điều kiện chưa hoá già (unaged) và hoá già ngắn hạn RTFO, mẫu bitum có đường kính 25mm với chiều dày 1mm được sử dụng, trong khi đối với điều kiện hoá già dài hạn PAV, sử dụng mẫu có đường kính 8mm với chiều dày 2mm. Trong thí nghiệm DSR, với mỗi loại bitum và ở các điều kiện hoá già khác nhau, 2 mẫu thí nghiệm sẽ được chuẩn bị để tiến hành thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm từ 2 mẫu phải đảm bảo giới hạn chấp nhận về độ chụm theo tiêu chuẩn AASHTO T315.



Hình 8. Thí nghiệm cắt động lưu biến.

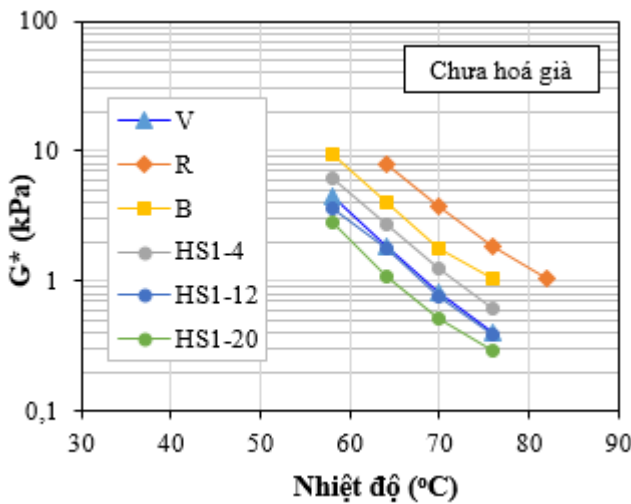
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của phụ gia tái sinh HS1 đến một số thông số đàn nhớt của bitum

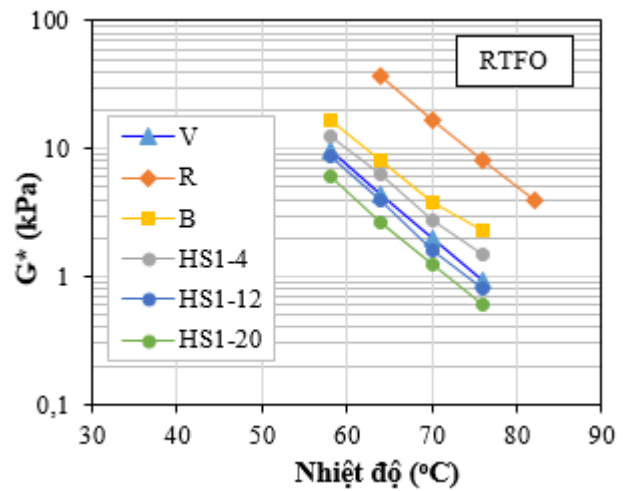
Để đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tái sinh HS1 đến một số thông số đàn nhớt của bitum, các giá trị mô đun cắt động G^* , góc trễ pha δ , $G^*/\sin\delta$ và $G^*\sin\delta$ ở các nhiệt độ thí nghiệm khác nhau được xác định. Hình 9a và Hình 9b thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia tái sinh HS1 đến mô đun cắt động G^* khi thí nghiệm ở các nhiệt độ khác nhau (58°C , 64°C , 70°C và 76°C). Hình 9a chỉ ra rằng, ở nhiệt độ 64°C , đối với bitum hỗn hợp giá trị G^* giảm từ 4,0 kPa xuống 1,1 kPa khi hàm lượng phụ gia tái sinh tăng từ 0% đến 20%, tương ứng. Tại các nhiệt độ thí nghiệm khác, giá trị G^* đều có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng phụ gia sử dụng. Như vậy, ở điều kiện chưa già hóa, phụ gia tái sinh HS1 thể hiện vai trò lớn trong việc làm giảm độ cứng của bitum hỗn hợp. Đối với bitum hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh với hàm lượng 12%, giá trị G^* đạt được gần tương tự như bitum 60/70. Khi tăng nhiệt độ thí nghiệm, giá trị G^* cũng có xu hướng giảm. Ở hàm lượng phụ gia 12%, giá trị G^* giảm từ 3,6 kPa xuống 0,4 kPa khi nhiệt độ tăng từ 58°C lên 76°C . Khi bitum trải qua quá trình hoá già ngắn hạn RTFO, kết quả cũng cho thấy có sự giảm giá trị G^* của các loại bitum hỗn hợp khi gia tăng hàm lượng phụ gia tái sinh sử dụng và khi nhiệt độ thí nghiệm tăng. Tuy nhiên, giá trị G^* đều có xu hướng gia tăng khi bitum trải qua quá trình hoá già ngắn hạn. Ở nhiệt độ 64°C và hàm lượng phụ gia tái sinh 12%, giá trị G^* của bitum hỗn hợp tăng từ 1,8 kPa ở điều kiện chưa hoá già lên 4,0 kPa ở điều kiện hoá già ngắn hạn (Hình 9a, Hình 9b). Hình 9c thể hiện kết quả mô đun cắt động G^* của các loại bitum hỗn hợp khi thí nghiệm ở nhiệt độ trung bình (34°C , 31°C , 28°C và 25°C) sau khi hoá già dài hạn PAV. Kết quả cũng cho thấy, khi hàm

lượng phụ gia tái sinh sử dụng tăng, giá trị G^* sẽ giảm xuống. Giá trị G^* của bitum hỗn hợp sử dụng 12% phụ gia tái sinh HS1 là tương tự như với bitum 60/70.

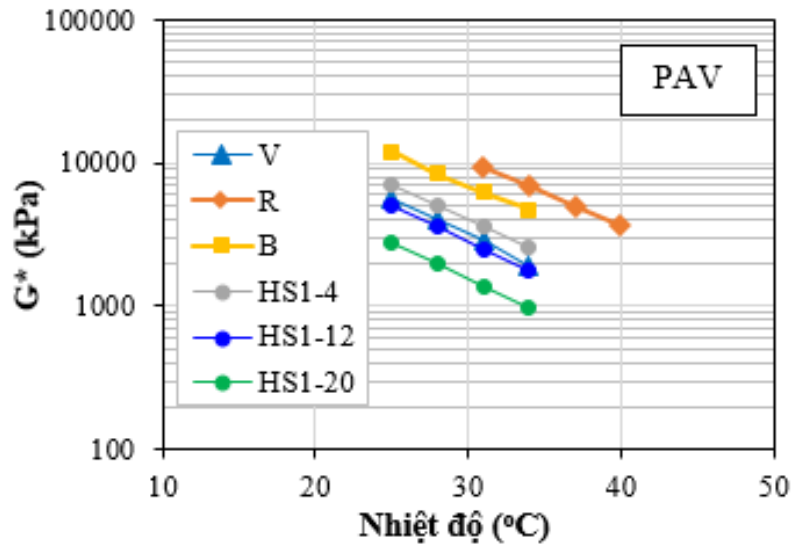
Giá trị góc trễ pha thể hiện đặc trưng biến dạng của vật liệu. Khi góc trễ pha càng lớn, vật liệu trở nên càng mềm. Do bitum là vật liệu đàn nhớt nên giá trị góc trễ pha nằm trong khoảng từ 0 đến 90 độ. Nếu giá trị góc pha là 90 độ thì vật liệu hoàn toàn nhớt và ở 0 độ sẽ thể hiện tính đàn hồi hoàn toàn. Từ Hình 10, kết quả chỉ ra rằng sử dụng phụ gia tái sinh đều có khả năng làm tăng giá trị góc trễ pha. Kết quả cũng cho thấy rằng, khi nhiệt độ tăng hoặc tăng hàm lượng phụ gia tái sinh, giá trị góc trễ pha có xu hướng tăng. Sau khi hoá già ngắn hạn và hoá già dài hạn, giá trị góc trễ pha giảm so với lúc chưa già hóa.



(a) điều kiện chưa hoá già

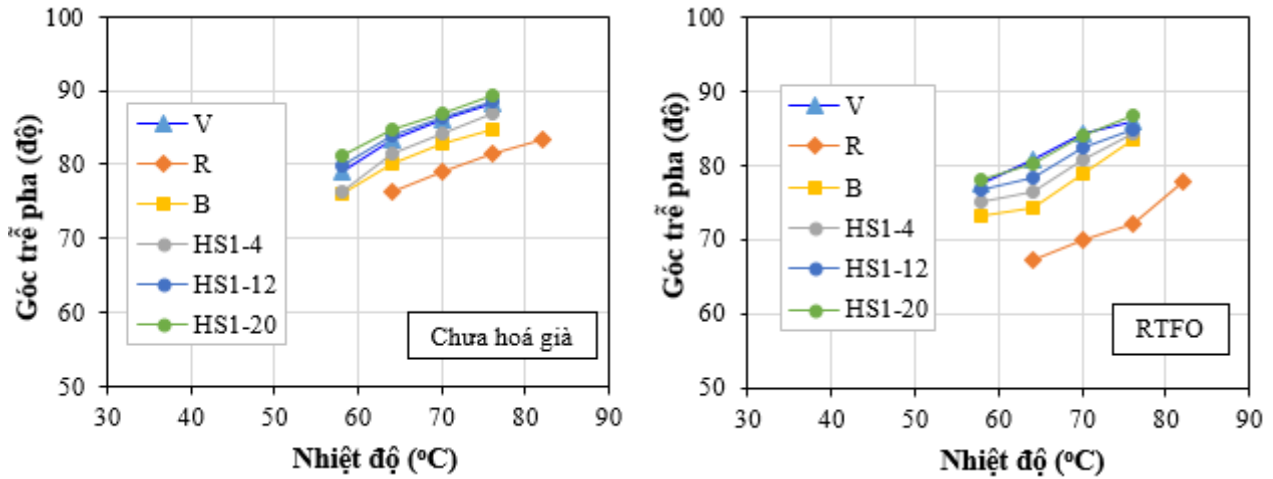


(b) hoá già ngắn hạn RTFO



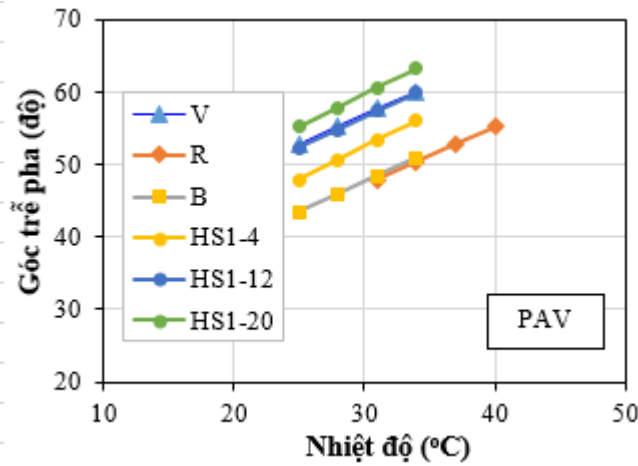
(c) hoá già dài hạn PAV

Hình 9. So sánh giá trị G^* của các loại bitum.



(a) điều kiện chưa hoá già

(b) hoá già ngắn hạn RTFO



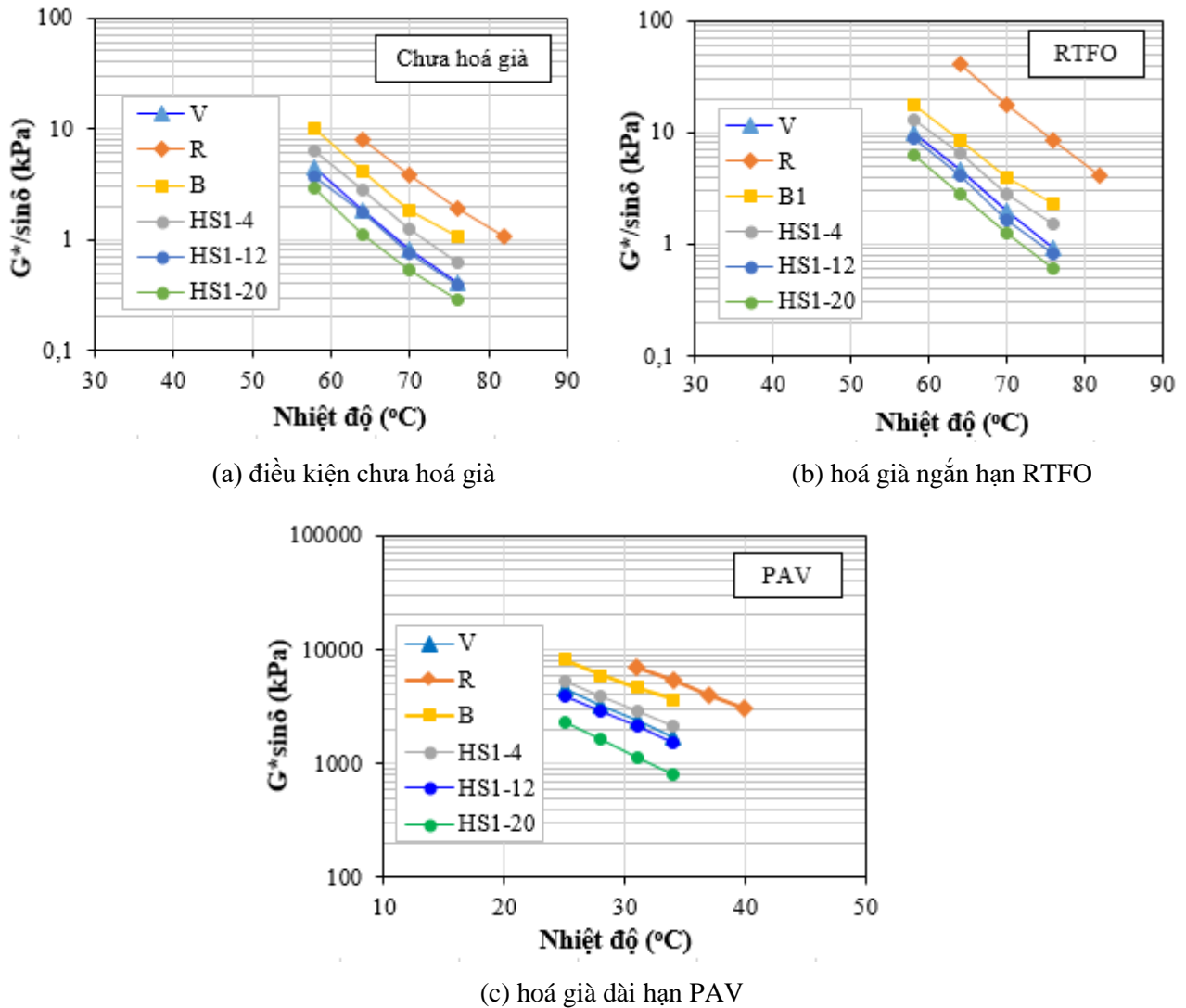
(c) hoá già dài hạn PAV

Hình 10. So sánh giá trị góc trễ pha δ của các loại bitum.

Ý nghĩa của sự thay đổi góc pha liên quan đến giá trị $\sin\delta$, cùng với giá trị mô đun cắt động G^* được sử dụng để xác định cấp PG của bitum (thông số $G^*/\sin\delta$). Hình 11 chỉ ra rằng, khi tăng hàm lượng phụ gia tái sinh sử dụng, giá trị $G^*/\sin\delta$ giảm dần ở điều kiện chưa hoá già và hoá già ngắn hạn, giá trị $G^*/\sin\delta$ cũng giảm dần ở điều kiện hoá già dài hạn. Theo tiêu chuẩn AASHTO M320, ở điều kiện chưa hoá già, giá trị $G^*/\sin\delta$ tối thiểu là 1,0 kPa và ở điều kiện hoá già ngắn hạn RTFO giá trị $G^*/\sin\delta$ tối thiểu là 2,2 kPa. Trong tiêu chuẩn thiết kế thành phần bê tông asphalt theo phương pháp SuperPave (AASHTO M323), bitum được phân loại theo cấp PG. Dựa trên giá trị $G^*/\sin\delta$, cấp PG ở nhiệt độ cao của các loại bitum hỗn hợp và bitum đối chứng được xác định và thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Cấp PG ở nhiệt độ cao của các loại bitum.

Loại bitum	V	R	B	HS1-4	HS1-12	HS1-20
Cấp PG	PG64-xx	PG82-xx	PG76-xx	PG70-xx	PG64-xx	PG64-xx



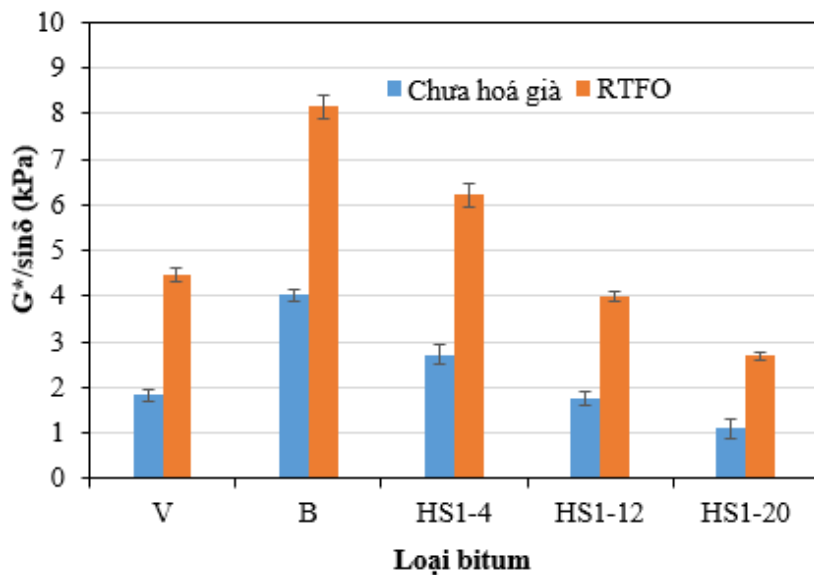
Hình 11. So sánh giá trị $G^*/\sin\delta$ và $G^*\sin\delta$ của các loại bitum.

3.2. Ảnh hưởng của phụ gia tái sinh HS1 đến thông số hàn lún và thông số nứt mỏi của bê tông asphalt tái chế

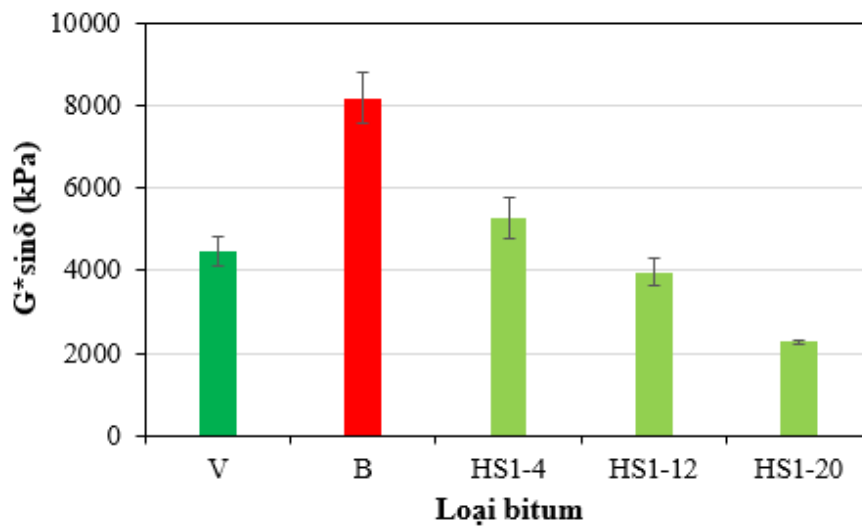
Hàn lún vệt bánh xe là mối quan tâm chính trong thời gian khai thác ban đầu, trong khi nứt do mỏi trở thành mối quan tâm chính ở thời gian khai thác sau của mặt đường. Các thông số từ thí nghiệm cắt động lưu biến (DSR) của bitum có mối liên hệ với tính năng kháng hàn lún và kháng nứt mỏi của bê tông asphalt [21]. Thông số $G^*/\sin\delta$ và $G^*\sin\delta$ được sử dụng để dự đoán khả năng kháng hàn lún vệt bánh xe và kháng nứt do mỏi của bê tông asphalt, tương ứng. Trong nghiên cứu này, bitum 60/70 sử dụng tương ứng với loại bitum có cấp PG64-xx ($PGH = 68,6^\circ\text{C}$). Giá trị nhiệt độ cao 64°C được lựa chọn để phân tích thông số hàn lún và nhiệt độ trung bình là 25°C được lựa chọn để phân tích thông số nứt mỏi. Các giá trị $G^*/\sin\delta$ của các loại bitum hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh HS1 với các hàm lượng khác nhau khi thí nghiệm ở nhiệt độ 64°C được thể hiện ở Hình 12. Sự thay đổi giá trị $G^*/\sin\delta$ ở nhiệt độ 64°C thể hiện hiệu quả của việc bổ sung phụ gia tái sinh trong hỗn hợp bitum tái chế vì làm mềm chất kết dính bitum cũ. Kết quả thí nghiệm từ Hình 12 cũng chỉ ra rằng sự thay đổi độ cứng tỷ

lệ thuận với cả bitum chưa hoá già và bitum được hoá già ngắn hạn RTFO. Liên quan đến khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe, giới hạn hàm lượng phụ gia tái sinh HS1 đến khoảng 12% đạt được giá trị $G^*/\sin\delta$ tương đương như với bitum 60/70. Với bitum hỗn hợp sử dụng 20% phụ gia tái sinh HS1, giá trị $G^*/\sin\delta$ đạt được là 1,1 kPa vẫn đảm bảo yêu cầu theo tiêu chuẩn AASHTO M320, nhưng thấp hơn so với bitum đối chứng 60/70.

Theo tiêu chuẩn AASHTO M320 về phân loại bitum theo cấp PG, giá trị $G^*/\sin\delta$ không được vượt quá 5000 kPa. Hình 13 chỉ ra rằng, giá trị $G^*/\sin\delta$ của bitum hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh với hàm lượng 12% và 20% đều thấp hơn ngưỡng giới hạn trong khi ở hàm lượng 4%, giá trị này là cao hơn (5267 kPa). Giá trị $G^*/\sin\delta$ của bitum hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh với hàm lượng 12% và 20% đạt được lần lượt là 3966 kPa và 2277 kPa, thấp hơn so với mẫu bitum đối chứng 60/70 (4471 kPa). Như vậy, khi tăng hàm lượng phụ gia sử dụng, khả năng kháng nứt mỏi sẽ gia tăng. Phụ gia tái sinh HS1 sử dụng 12% sẽ đảm bảo được khả năng kháng nứt mỏi ở nhiệt độ 25°C.



Hình 12. Giá trị $G^*/\sin\delta$ của các loại bitum ở nhiệt độ 64°C.



Hình 13. Giá trị $G^*/\sin\delta$ của các loại bitum ở nhiệt độ 25°C.

3.3. Xác định giới hạn hàm lượng phụ gia tái sinh HS1

Tối ưu hóa hàm lượng phụ gia tái sinh cần được quan tâm vì hàm lượng phụ gia tái sinh cao hơn có thể làm giảm khả năng kháng hần lún vệt bánh xe, trong khi hàm lượng thấp hơn có thể làm cho hỗn hợp asphalt trở nên cứng và dễ bị nứt ở nhiệt độ thấp. Trong nghiên cứu này, giới hạn hàm lượng của phụ gia tái sinh HS1 sẽ được xác định để đảm bảo khả năng kháng hần lún (khôi phục giá trị PGH). Theo tiêu chuẩn ASTM D7643-22 [22], giá trị cấp đúng PG ở nhiệt độ cao (High temperature PG – PGH) được xác định bằng cách nội suy từ các giá trị $G^*/\sin\delta$ theo công thức (1) và (2). Kết quả cấp đúng PG (True PG) của các loại bitum được thể hiện ở Hình 14.

Đối với điều kiện chưa hoá già:

$$PGH = T_1 \times \frac{\log_{10}(1,0) - \log_{10}(G_1^*/\sin\delta_1)}{\log_{10}(G_2^*/\sin\delta_2) - \log_{10}(G_1^*/\sin\delta_1)} \times (T_2 - T_1) \quad (1)$$

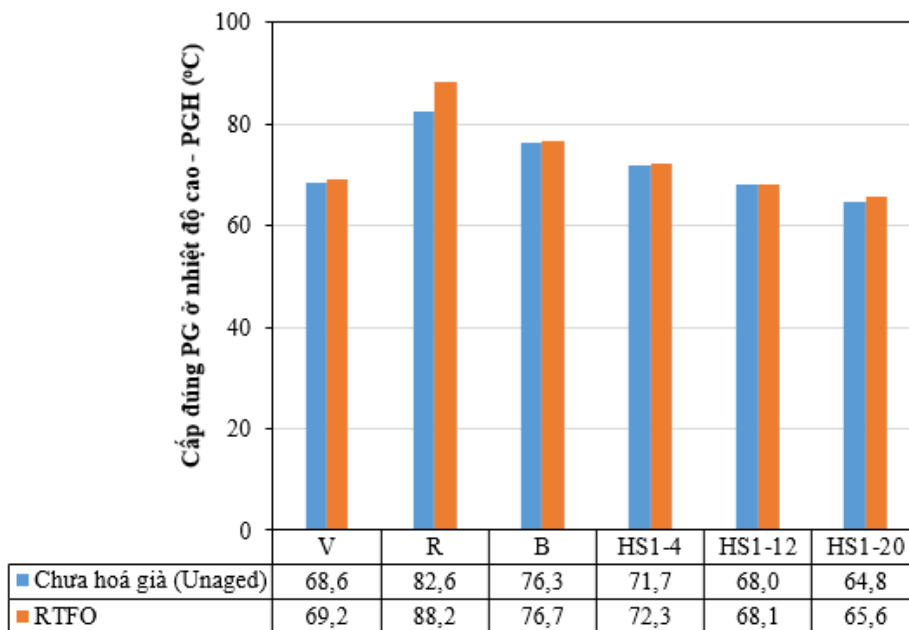
Đối với điều kiện hoá già ngắn hạn:

$$PGH = T_1 \times \frac{\log_{10}(2,2) - \log_{10}(G_1^*/\sin\delta_1)}{\log_{10}(G_2^*/\sin\delta_2) - \log_{10}(G_1^*/\sin\delta_1)} \times (T_2 - T_1) \quad (2)$$

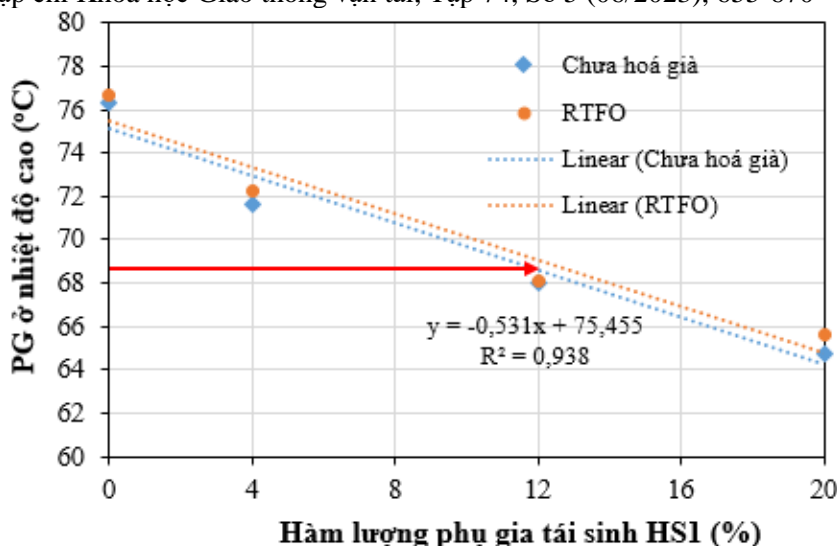
Trong đó: T_1, T_2 là nhiệt độ thí nghiệm ứng với $G_1^*/\sin\delta_1 > 1,0$ kPa và $G_2^*/\sin\delta_2 < 1,0$ kPa

T_1, T_2 là nhiệt độ thí nghiệm ứng với $G_1^*/\sin\delta_1 > 2,2$ kPa và $G_2^*/\sin\delta_2 < 2,2$ kPa

Hàm lượng phụ gia tái sinh cần thiết được xác định để khôi phục giá trị PGH ở nhiệt độ cao của bitum hỗn hợp tương tự như bitum mới 60/70 (PGH = 68,6). Từ Hình 15 có thể thấy rằng, bitum hỗn hợp sử dụng khoảng 12% phụ gia tái sinh HS1 có thể đạt được giá trị PGH tương đương với bitum mới 60/70.



Hình 14. Cấp đúng PG ở nhiệt độ cao của các loại bitum.



Hình 15. Biểu đồ xác định hàm lượng phụ gia tái sinh HS1.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên các kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong phòng, có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Phụ gia tái sinh HS1 có hiệu quả trong việc giảm độ cứng và tăng góc trễ pha của bitum hỗn hợp. Khi nhiệt độ tăng hoặc tăng hàm lượng phụ gia tái sinh sử dụng, giá trị mô đun cắt động G^* có xu hướng giảm và góc trễ pha có xu hướng tăng. Ở cùng nhiệt độ thí nghiệm, sau khi bitum bị hoá già ngắn hạn, giá trị mô đun cắt động G^* tăng lên và góc trễ pha giảm so với lúc chưa già hóa.

- Hàm lượng phụ gia tái sinh HS1 ảnh hưởng đến giá trị $G^*/\sin\delta$ của bitum hỗn hợp ở cả điều kiện chưa hoá già và hoá già ngắn hạn RTFO. Kết quả thực nghiệm cho thấy giá trị $G^*/\sin\delta$ giảm khi tăng hàm lượng phụ gia tái sinh với cả bitum chưa hoá già và bitum được hoá già ngắn hạn RTFO. Sự thay đổi độ cứng tỷ lệ thuận với cả bitum chưa hoá già và bitum được hoá già ngắn hạn RTFO ở các hàm lượng phụ gia tái sinh khác nhau.

- Về ảnh hưởng của phụ gia tái sinh đến cấp bitum, sử dụng phụ gia tái sinh HS1 có hiệu quả làm giảm cấp PG ở nhiệt độ cao của hỗn hợp bitum tái chế. Bitum hỗn hợp sử dụng 12% phụ gia tái sinh HS1 có thể đạt được giá trị cấp PG ở nhiệt độ cao ($PGH = 68,0^\circ\text{C}$) tương đương với bitum mới 60/70 ($PGH = 68,6^\circ\text{C}$).

LỜI CẢM ƠN

Trương Văn Quyết được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2022.TS099

Tác giả xin chân thành cảm ơn các thí nghiệm viên Phòng thí nghiệm LAS-XD 1256, Trung tâm Khoa học Công nghệ GTVT, Trường Đại học Giao thông vận tải đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] W. Mogawer, T. Bennert, J.S. Daniel, R. Bonaquist, A. Austerman, A. Booshehrian,

- Transport and Communications Science Journal, Vol 74, Issue 5 (06/2023), 655-670
 Performance characteristics of plant produced high RAP mixtures, Road Materials and Pavement Design, 13 (2012) 183-208. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.657070>
- [2]. F. Kaseer, F. Yin et al., Stiffness Characterization of Asphalt Mixtures with High Recycled Material Content and Recycling Agents, Journal of the Transportation Research Board, 2633 (2017) 58–68. <http://dx.doi.org/10.3141/2633-08>
- [3] F. Kaseer, A. Epps Martin, E. Arámbula-Mercado, Use of recycling agents in asphalt mixtures with high recycled materials contents in the United States: A literature review, Construction and Building Materials, 211 (2019) 974–987. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.286>
- [4] NCHRP Research report 927, Evaluating the Effects of Recycling Agents on Asphalt Mixtures with High RAS and RAP Binder Ratios, National Cooperative Highway Research Program, USA, 2020.
- [5] J. Yan, Z. Zhang, H. Zhu, F. Li, Q. Liu, Experimental study of Hot recycled asphalt mixtures with high percentages of Reclaimed Asphalt Pavement and different recycling agents, Journal of Testing and Evaluation, 42 (2014) 1183-1190. <https://doi.org/10.1520/JTE20130251>
- [6], NCAT report, Researchers Explore Multiple Uses of Rejuvenators. Asphalt Technology News, National Center for Asphalt Technology, 26 2014. <http://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/info-pubs/newsletters/>. (As of July 2018)
- [7]. P. Karki, F. Zhou, Effect of Rejuvenators on Rheological , Chemical , and Aging Properties of Asphalt Binders Containing Recycled Binders, Journal of the Transportation Research Board, 2574 (2016) 74–82. <https://doi.org/10.3141/2574-08>
- [8] F. Yin, F. Kaseer, E. Arámbula-Mercado, A. Epps Martin, Characterising the long-term rejuvenating effectiveness of recycling agents on asphalt blends and mixtures with high RAP and RAS contents, Road Materials and Pavement Design, 18 (2017) 273–292 <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1389074>.
- [9] X. Yu, M. Zaumanis, S. Dos Santos, L. D. Poulikakos, Rheological, microscopic, and chemical characterization of the rejuvenating effect on asphalt binders, Fuel, 135 (2014) 162–171 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.038>.
- [10]. P. H. Osmari, F. T. S. Aragão, L. F. M. Leite, R. A. Simão, L. M. G. da Motta, Y. R. Kim, Chemical, Microstructural, and Rheological Characterizations of Binders to Evaluate Aging and Rejuvenation, Journal of the Transportation Research Board, 2632 (2017) 14–24. <https://doi.org/10.3141/2632-02>.
- [11] H. Haghshenas, H. Nabizadeh, Y.-R. Kim, K. Santosh, Research on High-RAP Asphalt Mixtures with Rejuvenators and WMA Additives, SPR-P1(15) M016, University of Nebraska--Lincoln, 2016.
- [12]. E. Arámbula-Mercado, F. Kaseer, A. Epps Martin, F. Yin, L. Garcia Cucalon, Evaluation of recycling agent dosage selection and incorporation methods for asphalt mixtures with high RAP and RAS contents, Construction and Building Materials, 158 (2018) 432–442.
- [13]. Trương Văn Quyết, Nguyễn Ngọc Lân, Đào Văn Đông, Phạm Minh Trang, Ảnh hưởng của phụ gia tái sinh đến độ kim lún và nhiệt độ hoá mềm của bitum hỗn hợp, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 74 (2023) 175-185. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.7>
- [14] AASHTO T164, Standard Method of Test for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Hot Mix Asphalt (HMA), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018.
- [15] AASHTO R59, Recovery of Asphalt from solution by Abson method, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011.
- [16] AASHTO T240, Standard Method of Test for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt Binder (Rolling Thin-Film Oven Test), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018.
- [17] AASHTO R28, Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018

- [18] AASHTO T315, Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020
- [19] TCVN 11808, Nhựa đường - Xác định các đặc tính lưu biến bằng lưu biến kế, Tiêu chuẩn Việt Nam, 2017.
- [20] AASHTO M320, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020.
- [21] Y. Zhang, D. Swiertz, H.U. Bahia, Use of Blended Binder Tests to Estimate Performance of Mixtures with High Reclaimed Asphalt Pavement/Recycled Asphalt Shingles Content, Journal of the Transportation Research Board, 2075 (2021) 1–13.
- [22] ASTM D7643, Standard Practice for Determining the Continuous Grading Temperatures and Continuous Grades for PG Graded Asphalt Binders, ASTM International - Standards, 2022.