

PGS. TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG (*Chủ biên*)
TS. NGUYỄN NGỌC LONG - ThS. PHẠM DUY ANH

BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

(*Tái bản*)

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2010

MỞ ĐẦU

Trong điều kiện công nghệ, vật liệu xây dựng và điều kiện môi trường ở Việt Nam hiện nay, nhiều công trình hoặc bộ phận kết cấu đã phát sinh vết nứt ngay trong giai đoạn thi công hoặc chỉ sau một thời gian sử dụng ngắn. Như vậy có một nhu cầu rất quan trọng là phòng tránh và xử lý các dạng vết nứt phát sinh trong quá trình thi công và khai thác các công trình bê tông cốt thép. Có rất nhiều nguyên nhân gây ra vết nứt đối với các cấu kiện bê tông như do cường độ chịu kéo kém của bê tông, co ngót, từ biến hoặc tại các vị trí đặc biệt trong kết cấu chịu ứng suất rất phức tạp làm cho vật liệu bê tông thông thường không đủ khả năng chịu lực, ví dụ như bản mặt cầu bằng bê tông cốt thép, ụ neo cáp của cầu dây văng; các mối nối quan trọng giữa các đốt hầm trong các cầu ứng dụng công nghệ đúc hẫng hoặc lắp hẫng...

Để giải quyết vấn đề này, người ta đã sử dụng rất nhiều biện pháp như căng kéo cốt thép dự ứng lực, dùng các chất phụ gia chống co ngót, hay bố trí các loại cốt thép đặc biệt tại các vị trí cần thiết..., tuy nhiên các giải pháp này không phải trường hợp nào cũng có thể phát huy được tác dụng của nó. Bên cạnh đó các nhà khoa học còn tìm các giải pháp để tăng cường khả năng chịu lực của bê tông thông qua việc thay đổi một số tính chất của vật liệu này như cho thêm vào bê tông một số cốt liệu muội silic, các loại sợi...

Trong các giải pháp trên, giải pháp tăng cường bê tông bằng các vật liệu dạng sợi là một ý tưởng được các nhà nghiên cứu quan tâm trên thế giới. Riêng đối với ngành xây dựng dân dụng nói chung hay ngành xây dựng cầu đường nói riêng ở Việt Nam thì đây là một vấn đề khá mới mẻ.

Sợi được dùng để gia cường bê tông có rất nhiều loại như sợi thép, sợi cacbon, sợi thủy tinh, sợi chất dẻo, sợi thực vật... trong đó sợi thép là một chọn lựa khá hợp lý vì giá thành rẻ hơn so với sợi cacbon, sợi thủy tinh và khả năng chịu lực lớn hơn so với sợi chất dẻo, sợi thực vật.

Bên cạnh đó, bê tông và thép là hai loại vật liệu đã được ứng dụng rất rộng rãi, khả năng làm việc chung với nhau của chúng rất hợp lý và đã được nghiên cứu khá đầy đủ. Sợi thép có thể thay thế phần nào các thanh cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép và đem lại một số tính chất ưu việt. Cuốn sách này chỉ giới thiệu về bê tông cốt sợi thép là dạng bê tông cốt sợi có triển vọng áp dụng rộng rãi nhất.

Chương 1

CẤU TẠO CHUNG CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI

Việc dùng sợi để tăng cường khả năng chịu lực cho bê tông xi măng là một ý tưởng được đề ra từ rất lâu. Bê tông cốt sợi đã được bắt đầu nghiên cứu từ đầu những năm 1960. Ngày nay các dạng kết cấu như: dầm, bản, vỏ bằng bê tông xi măng hoặc bê tông cốt thép có gia cường bằng sợi thép nhỏ, sợi polyme, sợi thủy tinh bền kiềm, sợi cacbon, sợi gỗ, sợi thực vật đã được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi trên thế giới cũng như bước đầu được quan tâm ở nước ta.

1.1. CÁC ỨNG DỤNG CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Mặc dù có nhiều ưu điểm nhưng trong một số trường hợp, bê tông cốt sợi thép không thể thay thế hoàn toàn bê tông cốt thép thường, ví dụ như trong trường hợp chịu ứng suất kéo lớn. Bê tông cốt sợi thép cũng không thể thay thế được bê tông cốt thép dự ứng lực nhưng lại có thể kết hợp để tạo thành kết cấu bê tông cốt thép dự ứng lực pha sợi thép với những tính năng chịu lực đặc biệt.

Việc sử dụng cốt thép sợi sẽ làm cải thiện đáng kể các đặc tính chịu lực của bê tông. Trong những trường hợp có yêu cầu riêng về độ ổn định, về hạn chế sử dụng cốt thép hoặc những công trình cần phải gia cường (ví dụ bê tông phun làm vỏ hầm, vỏ tàu thủy), bê tông cốt sợi thép có thể là một giải pháp hợp lý.

Những ưu điểm khác của bê tông cốt sợi thép:

- + Giảm biến dạng do từ biến và biến dạng do co ngót.
- + Tăng khả năng chống cắt.
- + Cải thiện vấn đề nứt.

Ngoài ra, bê tông cốt sợi thép sẽ là sự chọn lựa rất hợp lý khi ứng dụng cho các cấu kiện chịu lực tập trung lớn.

Cộng hoà Liên bang Đức là nước có rất nhiều dự án đã và đang sử dụng bê tông cốt sợi thép từ năm 1989 (đã sản xuất và sử dụng 1.000 - 1.200 tấn bê tông cốt sợi thép). Cho đến nay, Đức là nước sản xuất và sử dụng phần lớn loại vật liệu này. Với số lượng lớn và các công trình nghiên cứu về các dự án xây dựng, các nước thuộc Scandinavia như Na Uy, Thụy Điển đã là những nước đi tiên phong trong việc sử dụng loại vật liệu này, đồng thời giữ vai trò quan trọng trong lĩnh vực này.

Bê tông cốt sợi thép cũng đã được sử dụng ở các nước Tây Âu từ cuối những năm 70. Tuy nhiên, cho đến nay Mỹ và Nhật Bản mới là những nước đi tiên phong trong việc sử dụng rộng rãi loại bê tông này.

1.1.1. Tổng quan về sử dụng bê tông cốt sợi thép trong ngành công trình

1.1.1.1. Kết cấu và cấu kiện đúc sẵn

Bê tông cốt sợi thép là một giải pháp hợp lý đối với nhiều dạng kết cấu.

Có thể ứng dụng cả hai loại vật liệu:

- + Gia cường bê tông bằng sợi thép;
- + Gia cường bê tông kết hợp sợi thép và cốt thép thanh.

Cho dù là dùng loại vật liệu nào thì kết quả đạt được đều rất khả quan. Và việc ứng dụng cốt sợi thép để gia cường bê tông đã đưa giải pháp cho nhiều trường hợp.

- + Có tải trọng gây uốn diện tích không lớn;
- + Những chỗ không thể phân bố co ngót hoặc bố trí cốt thép.

Bê tông cốt sợi thép đã được ứng dụng để sản xuất nhiều dạng cấu kiện như :

- + Cấu kiện thanh đúc sẵn.
- + Ống đúc sẵn.
- + Vỏ garage.
- + Tường bê tông đúc sẵn.

Sử dụng bê tông cốt sợi thép cho các cấu kiện trên dẫn đến việc giảm đáng kể cốt thép, đồng thời đáp ứng đủ các yêu cầu về gia cường cấu kiện khi chịu các ứng suất lớn nhất.

Các cấu kiện được đúc trong xưởng, tránh được sự ảnh hưởng của thời tiết, cùng với sự giám sát chặt chẽ quá trình sản xuất nên tạo được khả năng sử dụng lý tưởng của bê tông cốt sợi thép.

Những ưu điểm của bê tông cốt sợi thép đặc biệt phù hợp với việc sản xuất các tấm mỏng, các cấu kiện nhỏ và vừa.

Ứng dụng bê tông cốt sợi thép đã làm giảm kích thước cấu kiện dẫn đến giảm khối lượng các cấu kiện trên.

Bê tông cốt sợi thép có cường độ sớm lớn nên rất phù hợp với quá trình sản xuất hàng loạt.

Bê tông cốt sợi thép có khả năng chống cắt lớn nên có thể giảm hoặc thậm chí loại bỏ cốt xiên trong các cấu kiện không chịu lực lớn.

Gia cường cốt sợi thép trong bê tông đã làm tăng độ bền của bê tông cốt sợi thép.

Giảm co ngót và giảm nứt đáng kể nên bảo vệ cốt thép tốt hơn khi chịu tác động của điều kiện môi trường.

Giảm các thanh thép ở các vùng chịu trọng tải tập trung dẫn đến tiết kiệm thời gian và tiền bạc cho các kết cấu cốt thép phức tạp.

1.1.1.2. Kết cấu mặt đường và tấm sàn công nghiệp

Khi sử dụng bê tông cốt sợi thép cho loại kết cấu này, cốt thép thanh thông thường chỉ cần thiết khi khoảng cách giữa các dầm quá lớn hay tấm sàn chịu ứng suất lớn.

Khi sử dụng bê tông cốt sợi thép do không phải đặt các lưới cốt thép nên có thể giảm thiểu chiều dày lớp bê tông bảo vệ, dẫn đến chiều dày tấm bản có thể giảm đi đáng kể so với kết cấu bê tông cốt thép thường. Sử dụng bê tông cốt sợi thép thì độ dày trung bình của tấm sàn từ 15 - 25 cm. Với diện tích sử dụng lớn, chịu được cả tác động của tải trọng rất lớn vì thế đã được ứng dụng rộng rãi để làm các tấm sàn cho các bãi chứa hàng, bãi chứa container hạng nặng có sử dụng các loại xe vận chuyển và cần cẩu hạng nặng.

Để giảm hiện tượng nứt trong các tấm sàn gây ra bởi sự thay đổi thời tiết chẳng hạn thì phải dùng một lượng tương đối lớn cốt thép, nhưng nếu sử dụng bê tông cốt sợi thép thì các vấn đề này đã được giải quyết ổn thoả.

Với những đặc tính cơ học đặc biệt: độ nhám, khả năng chống va chạm và khả năng chống ăn mòn bề mặt, bê tông cốt sợi thép đưa ra một giải pháp thực tế hơn so với bê tông cốt thép.

Khả năng chống va chạm, chống ăn mòn bề mặt đang được khai thác trong việc thi công, xây dựng sàn bê tông. Mặc dù chịu tác động của nhiệt độ, biến dạng do co ngót và tải trọng của các phương tiện vận tải lớn, những sàn bê tông có sử dụng bê tông cốt sợi thép trong một số công trình đã không xuất hiện bất cứ hiện tượng nứt nào sau khoảng gần một năm sử dụng.

Bê tông cốt sợi thép cũng có nhiều ưu điểm để bảo vệ cạnh của các tấm sàn khi có tải trọng tập trung, tấm sàn làm bằng bê tông có thể nứt trong trường hợp này.

1.1.1.3. Móng chịu tác dụng của tải trọng động

Trong hầu hết các vật liệu xây dựng thì khả năng chịu tải trọng động nhỏ hơn khả năng chịu tĩnh tải. Với khả năng chống va chạm và đặc tính biến dạng cao, bê tông cốt sợi thép có nhiều ưu điểm khi sử dụng để thi công các móng chịu tác động của tải trọng động.

1.1.1.4. Đường ống bằng bê tông cốt sợi thép

- Từ những năm 70, những đường ống có đường kính 1000 - 1500 mm sản xuất hàng loạt tại Hungary. Gia cường sợi thép có thể giảm các vết nứt sinh ra do ảnh hưởng của nhiệt độ và co ngót.

- Các ưu điểm của bê tông cốt sợi thép được khai thác, sử dụng là:

- + Cường độ sớm cao;
- + Cải thiện khả năng chịu uốn;
- + Không cần sử dụng cốt thép;
- + Giảm lỗi chế tạo.

- Khả năng chống phá hoại bề mặt và độ bền kéo của bê tông cốt sợi thép đã được dùng để sửa chữa và bảo dưỡng kết cấu.

1.1.1.5. Ổn định mái dốc

Như chúng ta đã biết, khi sử dụng tường chắn xây dựng bằng đá trong một thời gian lâu dài, dưới tác động của môi trường và điều kiện tự nhiên sẽ dẫn đến hiện tượng phong hóa.

Vấn đề đặt ra ở đây là tường chắn phải luôn ổn định và bền vững trong các trường hợp chịu tác động của môi trường và như vậy đòi hỏi phải sử dụng một loại vật liệu có khả năng chịu lực hợp lí và đồng thời phải có độ bền cao.

Chính vì lí do đó, bê tông cốt sợi thép đã và đang được dùng cho ổn định mái dốc và nó được chứng minh là một giải pháp khả thi cả về kỹ thuật lẫn kinh tế.

Khi ứng dụng bê tông cốt sợi thép cho loại kết cấu này, người ta thấy rằng bê tông cốt sợi thép thực sự thuận lợi cho mọi địa hình thi công.

Ngoài ra, bê tông cốt sợi thép còn làm cho tăng độ dính bám, liên kết giữa bê tông và đá.

- Khả năng chống va chạm và chống phá huỷ bề mặt cao làm cho bê tông cốt sợi thép đặc biệt phù hợp để bảo vệ đá khỏi sự ảnh hưởng của nước mưa, lũ đồng thời tăng tính liên khối và giảm sự phong hoá của đá.

1.1.2. Dùng bê tông cốt sợi thép trong việc sửa chữa và gia cố công trình

Mọi công trình đều chịu các tác động của điều kiện môi trường và các tác nhân bên ngoài như :

- Tác động cơ học tự nhiên
- Tuổi thọ công trình
- Điều kiện môi trường
- Điều kiện sử dụng thay đổi dẫn đến thay đổi về tải trọng công trình. Do đó, các công trình có thể bị phá hoại và hư hỏng.

Những tác động này cần phải được tính toán và dự đoán nhằm có biện pháp tăng cường và sửa chữa hợp lí.

Bê tông cốt sợi thép đặc biệt phù hợp cho công việc duy tu và sửa chữa các công trình. Có thể ứng dụng dưới hai dạng:

- Bê tông phun.
- Bê tông thông thường.

Bê tông phun sử dụng cốt sợi có ưu điểm về chất lượng, tiết kiệm nguyên liệu, đảm bảo tốc độ phục hồi cao, dễ dàng an toàn trong thi công.

Đồng thời bê tông cốt sợi thép cũng có thể dùng kết hợp với bê tông cốt thép thông thường để duy tu, sửa chữa trong trường hợp cần thiết.

Bên cạnh đó, do sử dụng cốt sợi thép nên loại vật liệu này vừa mang tính chất của bê tông cốt thép thông thường, tức là vật liệu có cốt, đồng thời lại có những tính chất rất đặc biệt và dễ dàng sử dụng trong quá trình duy tu và sửa chữa và giúp cho công việc này được thi công đơn giản hơn.

Với lí do đó, việc ứng dụng bê tông cốt sợi thép trong duy tu và sửa chữa sẽ giúp cho chất lượng công trình đảm bảo, giá thành công trình hạ (do biện pháp thi công đơn giản hơn rất nhiều).



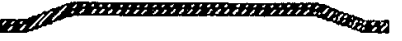
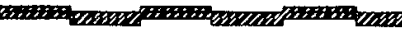





1.2. CÁC LOẠI SỢI

1.2.1. Sợi thép

Sợi thép được sản xuất từ thép cacbon hay thép không gỉ, cường độ chịu kéo trong khoảng 345 - 1380 MPa. môđun đàn hồi khoảng 200 GPa, tiết diện sợi thép có thể là tròn, vuông, chiều dài sợi thép thường nhỏ hơn 75mm. Tỷ số chiều dài sợi trên đường kính sợi từ 30 - 100 thường hay sử dụng để gia cường cho bê tông xi măng.

Sợi thép nhỏ hạn chế được tính giòn và đã gia tăng tính dẻo dai của bê tông xi măng đã được sử dụng để sản xuất các tấm sàn phẳng cho sân bãi và các lớp mặt trong đường hầm.

Một số loại sợi thép được sử dụng trên thế giới

Hình dạng sợi	Công nghệ chế tạo	Công ty sản xuất	Tên sợi
	Cán hay dập bằng máy	Trefil ARBED	Wirex Eurosteel
	Cắt hoặc bào từ phôi thép	Australien Wire	Fibresteel
	Cán hay dập bằng máy	Bekaert	Dramix
	Cán hay dập bằng máy	National-standard	Duoform
	Cán hay nghiền bằng máy	Harex Stahlfasertechnik	Harex
	Cán hay dập bằng máy	Stax	
	Cắt và xoắn bằng máy	National-standard	Melt-extracted
	Cán hay dập bằng máy	Thibo	
	Cắt hoặc bào từ phôi thép	US - Steel	Steel sheet fibres

Đầu tiên các nhà khoa học chỉ dùng những sợi thép nhỏ và thẳng để tăng khả năng chịu uốn và chống nứt cho bê tông.

Shah và Rangan đã nghiên cứu bê tông sợi thép nhỏ với đường kính 0,25 - 075 mm, để chế tạo cấp phối hỗn hợp bê tông dẻo. Lượng sợi sử dụng và tỷ lệ chiều dài trên đường kính sợi của sợi thép thẳng là yếu tố chính để thí nghiệm kiểm tra các tính chất của bê tông cốt sợi thép. Khối lượng sợi thép dùng trong khoảng từ 90 - 120 kg/m³ bê tông. Với mật độ sợi cao, khó khăn chính gặp phải là sợi sẽ cuộn lại thành cục trong quá trình trộn, nhất là khi dùng sợi dài.

Việc sử dụng sợi thép làm cho độ dẻo của hỗn hợp bê tông giảm. Khuynh hướng này ảnh hưởng đến chất lượng của bê tông, đặc biệt, với một số lượng cao. Để khắc phục hiện tượng này Ramakrishnan và các cộng sự của ông đã dùng các loại phụ gia dẻo giảm nước cho với một lượng nhỏ để điều chỉnh tính dẻo của hỗn hợp bê tông.

1.2.2. Sợi thủy tinh

Sợi thủy tinh được sử dụng chủ yếu để sản xuất các tấm bê tông phẳng cốt sợi. Những loại sợi thủy tinh E sử dụng trong bê tông đều bị phân hủy trong môi trường kiềm của xi măng poóc-lăng. Chính vì vậy, một loại sợi thủy tinh bền kiềm được sản xuất để thay thế có sợi thủy tinh E trong bê tông cốt sợi thủy tinh.

1.2.3. Sợi tổng hợp polyme

Sợi tổng hợp polyme được sản xuất từ các sản phẩm của công nghệ dầu mỏ và công nghệ dệt. Những loại sợi polyme đã sử dụng với vật liệu nền xi măng gồm: acrylic, aramid, nylon, polyester, polyethylen và polypropylen.

Chúng có cường độ chịu kéo cao, nhưng hầu hết các sợi này có môđun đàn hồi thấp. Đường kính của sợi rất nhỏ nên tỉ số chiều dài trên đường kính sợi là cao, như vậy, chúng rất có ích đối với sự gia cường bê tông.

Những thuận lợi của các loại sợi polyme là khả năng bền trong môi trường kiềm của xi măng. Tuy nhiên, bất lợi là môđun đàn hồi thấp, tính bám dính với vật liệu nền kém, nhạy cảm với bức xạ mặt trời và bị oxy hóa.

Hạn chế cơ bản của các loại sợi này là giá thành cao hơn so với một số sợi khác.

Các tác giả Balaguru, Bohra, Khajuria đã nghiên cứu độ bền sau 10 năm của các tấm xi măng gia cường bằng các sợi polypropylen, nylon, polyester. Mẫu thử được chế tạo với sợi có độ dài 19 mm, hàm lượng xi măng 307 kg/m³ và tỉ số N/X 0,57, bảo dưỡng sau 28 ngày và sau đó thử độ bền theo các chu kỳ 0; 4; 8; 16; 32; 52 tuần lễ, điều kiện mẫu thử ngâm trong nước vôi bão hòa ở nhiệt độ 50°C. Cường độ chịu uốn tối đa của bê tông cốt sợi tổng hợp theo các chu kỳ thử độ bền, được giới thiệu trong bảng 1.1.

Bảng 1.1

Chu kỳ thử (tuần lễ)	Cường độ chịu uốn tối đa (psi)		
	Nylon	Polypropylen	Polyester
0	313	262	450
4	309	274	282
8	438	381	356
16	350	431	378
32	406	400	456
52	543	444	481

Như vậy sau khi thí nghiệm cường độ của bê tông với các loại cốt sợi khác nhau đều tăng.

1.2.4. Sợi cacbon

Sợi cacbon có giá thành cao hơn sợi polyme nên việc sử dụng chúng để gia cường cho vật liệu nền xi măng bị hạn chế. Sợi cacbon có môđun đàn hồi cao như sợi thép, chúng rất nhẹ, tỉ trọng khoảng 1,9 và đặc biệt là bền vững trong hầu hết các môi trường hóa học. Sợi cacbon được sản xuất thành bó sợi, có trên 12.000 sợi nhỏ riêng biệt. Sợi cacbon có cường độ và môđun đàn hồi cao hơn so với các loại sợi polyme.

Một số công trình tại Nhật đã dùng các tấm bê tông sợi cacbon làm vật liệu bao che cho các tòa nhà cao tầng.

Tuy nhiên, sợi cacbon nhào trộn thường khó khăn, chúng có khuynh hướng cuộn tròn và phân tán không đồng nhất, đặc biệt khi hàm lượng theo thể tích sợi lớn hơn 3%. Cường độ chịu uốn của bê tông cốt sợi cacbon được giới thiệu trong bảng 1.2.

Bảng 1.2

Sợi cacbon (% thể tích sợi)	Tải trọng ở giới hạn đàn hồi (N)	Tải trọng tối đa (N)	Độ dẻo dai (N/mm)	Cường độ chịu uốn ở giới hạn đàn hồi (Mpa)	Cường độ chịu uốn tối đa (MPa)
0	79	79	3	4.6	4.6
1	197	272	102	11.4	15.7
3	285	365	229	16.5	21.1
5	296	525	686	17.1	30.3

1.2.5. Sợi bazan

Theo Tiến sĩ Djcgiric và Makhôva, sợi bazan và các vật liệu từ sợi bazan có tính cách ẩm, cách nhiệt, tính kết cấu cao. Sợi bazan hơn hẳn sợi thủy tinh và các loại sợi khác về độ bền nhiệt. Giới hạn nhiệt sử dụng của sợi bazan từ 269^oC - 900^oC, trong khi đó sợi thủy tinh là 60^oC - 450^oC. Độ hút ẩm của sợi bazan nhỏ hơn 1 %, còn của sợi thủy tinh tới 10 - 20 %. Về tính bền thủy phân sợi bazan được xếp vào nhóm đầu, còn về tính bền axit, bazơ và hơi nước, sợi bazan hơn hẳn sợi thủy tinh và các sợi khác.

Do những tính chất cơ lý cao, sợi bazan dùng để sản xuất các loại bê tông sẽ đem lại hiệu quả cao.

1.2.6. Sợi xenlulô

Sợi thực vật được chú ý sử dụng là sợi xenlulô. Qua nghiên cứu sử dụng dạng sợi xenlulô đã gặp phải khó khăn là sự thay đổi độ ẩm trong sợi xenlulô. Trong những năm 1970, ở Na Uy và Phần Lan, những nhà sản xuất đã thành công trong việc sử dụng sợi xenlulô cùng với một lượng nhỏ sợi polypropylen.

P. Soroushian và S. Marikunte đã tiến hành nghiên cứu xi măng - xenlulô (sử dụng 2% khối lượng bột kraft). Thí nghiệm cường độ chịu uốn được thực hiện tại các chu kỳ nhiệt ẩm khác nhau. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra rằng, các chu kỳ ẩm nhiệt được lặp đi lặp lại có ảnh hưởng không đáng kể đến cường độ chịu uốn của xi măng - bột giấy kraft, nhưng lại làm giảm tính dẻo và làm vật liệu trở nên giòn hơn.

Chương 2

TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Việc bổ sung sợi thép vào trong bê tông có thể thay đổi tính chất của bê tông đáng kể vì chúng ảnh hưởng đến tính chất của bê tông cả ở trạng thái tươi lẫn trạng thái rắn. Đóng góp chính của các sợi thép là sự cải thiện tính chất của bê tông đông cứng. Tuy nhiên, sự cải thiện đạt được khi sử dụng cốt sợi thép đã kéo theo một số công việc bổ sung khi xử lý nó. Phạm vi cải thiện bởi việc thêm cốt sợi làm thay đổi tính chất của bê tông bị phụ thuộc kiểu sợi, đặc trưng hình học của sợi, hàm lượng sợi trong bê tông và sự định hướng sợi trong bê tông cũng như bởi sự liên kết giữa nền bê tông và cốt sợi.

2.1. TƯƠNG TÁC GIỮA SỢI VÀ VẬT LIỆU NỀN

2.1.1. Đặt vấn đề

Sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền là vấn đề cơ bản tạo ra chất lượng của bê tông cốt sợi. Hiểu biết về sự tương tác này sẽ đánh giá được chất lượng của vật liệu nền, vai trò của sợi và dự đoán khả năng cơ học của bê tông cốt sợi. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền:

- Điều kiện, trạng thái của vật liệu nền: khi chưa nứt hay đã nứt.
- Hỗn hợp: thành phần vật liệu nền.
- Hình dạng, loại sợi, đặc điểm bề mặt, độ cứng và tính chất của sợi.
- Hướng sợi: đẳng hướng hay bố trí ngẫu nhiên.
- Tỷ lệ thể tích sợi sử dụng.
- Tính bền của sợi khi làm việc lâu dài trong bê tông cốt sợi.

Hiệu quả của sợi là nâng cao tính chất cơ học trong vật liệu nền xi măng trong hai quá trình:

- Quá trình truyền tải trọng từ vật liệu nền sang sợi.
- Sự ảnh hưởng bắc cầu của sợi qua vết nứt xuất hiện khi tăng tải trọng của vật liệu nền.

- Cơ chế truyền ứng suất sẽ cho phép dự đoán đường cong ứng suất - biến dạng của bê tông cốt sợi và dạng phá hủy dẻo hay phá hủy giòn và cũng là đặt nền tảng cho sự phát triển vật liệu bê tông cốt sợi. Việc cải biến các khả năng cơ học của bê tông cốt sợi đều thông qua sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền.

2.1.2. Sự tương tác giữa sợi - vật liệu nền

Bê tông đặc là hỗn hợp không đồng nhất của:

- Xi măng
- Nước
- Cốt liệu thô
- Cốt liệu mịn
- Cốt thép

Phản ứng thủy hoá giữa xi măng và nước dẫn đến sự co ngót rõ rệt của hồ xi măng đông cứng. Hàm lượng cốt liệu thô hợp lí mang tính hai mặt vừa tiết kiệm được khối lượng hồ xi măng, vừa là một thành phần chống lại sự co ngót do thủy hoá.

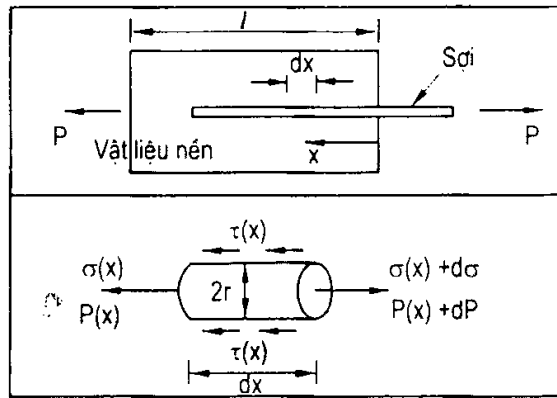
Hsu, Slate, Sturman & Winter trong bài viết "Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress- Strain Curve" [Journal of the ACI tháng 2/1963 trang 209] đã chỉ ra rằng có những vết nứt vi mô tại bề mặt của các phân tử cốt liệu thô kích thước lớn. Các vết nứt này tồn tại ở trạng thái không tải.

Khi bê tông bị kéo dưới các tải trọng khác nhau, bao gồm cả quá trình mỏi, các vết nứt vi mô sẽ lan rộng theo bề mặt của cốt liệu và một phần ở khối bê tông xung quanh cốt liệu.

Vì khối bê tông chứa hồ xi măng và các cốt liệu nhỏ hơn nên trong đó các sợi thép được trộn và sắp xếp thẳng hàng một cách ngẫu nhiên dù chúng có thể bị thay đổi bởi vị trí tương đối của cốt liệu thô.

Khối bê tông trở thành hỗn hợp được tăng cường bởi sợi thép. Các sợi thép tăng cường giới hạn chịu kéo có thể gây ra nứt ban đầu trong hỗn hợp tuy nhiên mức độ tăng cường còn phụ thuộc số lượng và sự hiệu quả của sợi thép tại vùng có thể xuất hiện đỉnh vết nứt.

Mô phỏng sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền dựa trên hình dạng của lực kéo tuột đơn giản (hình 2.1).



Hình 2.1: Mô hình sự kéo tuột sợi tại bề mặt liên kết sợi vật liệu nền của bê tông cốt sợi

Các quá trình liên quan đến sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền chủ yếu xảy ra trong vùng tương đối nhỏ xung quanh sợi và vật liệu nền.

Vật liệu nền là giòn nên ảnh hưởng sự truyền ứng suất sẽ được nghiên cứu cho cả hai trường hợp: trước khi nứt và sau khi nứt, vì thế các quá trình cũng hoàn toàn khác nhau tương ứng với hai trường hợp.

Trước khi xảy ra bất cứ vết nứt nào, sự truyền ứng suất đàn hồi là một cơ chế quan trọng đầu tiên, sự chuyển vị theo phương dọc giữa sợi và vật liệu nền tại mặt phân cách được thể hiện rõ rệt. Sự truyền ứng suất trượt đàn hồi là cơ chế chính, được dùng để dự đoán giá trị: ứng suất tại vết nứt đầu tiên. Sự phân bố ứng suất trượt đàn hồi dọc theo mặt phân cách giữa sợi và vật liệu nền là không đồng nhất.

2.1.2.1. Tương tác giữa sợi - vật liệu nền chưa nứt

Dạng tương tác này xảy ra trong hầu hết bê tông cốt sợi suốt giai đoạn tác dụng tải trọng ban đầu. Trong một số trường hợp, chẳng hạn các dạng tấm mỏng, bê tông cốt sợi vẫn chưa nứt suốt quá trình đưa vào sử dụng, còn trong hầu hết các trường hợp vật liệu nền sẽ nứt trong quá trình sử dụng.

Sự tương tác sợi - vật liệu nền chưa nứt có giới hạn trong ứng dụng thực tế. Một hệ sợi - vật liệu nền đơn giản có chứa một sợi đơn được biểu diễn ở hình 2.2.

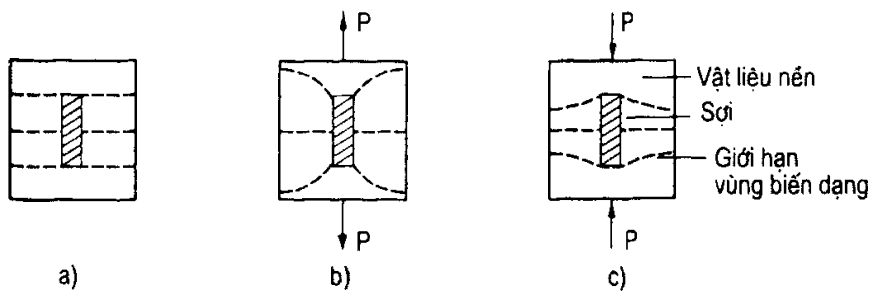
Trong giai đoạn không có tải trọng, ứng suất trong cả sợi và vật liệu nền được giả thiết bằng không. Đặt tải gây kéo hay nén lên bê tông cốt sợi dẫn đến tăng ứng suất và mất liên kết.

Trong vật liệu nền xi măng, sự hydrat hóa của xi măng sẽ gây ra tăng ứng suất trong sợi - vật liệu nền. Khi vật liệu nền chịu tải trọng, một phần tải trọng được truyền qua sợi. Bởi vì sợi và vật liệu nền có độ cứng khác nhau nên ứng suất trượt phát triển dọc theo bề mặt sợi. Nếu sợi có độ cứng lớn

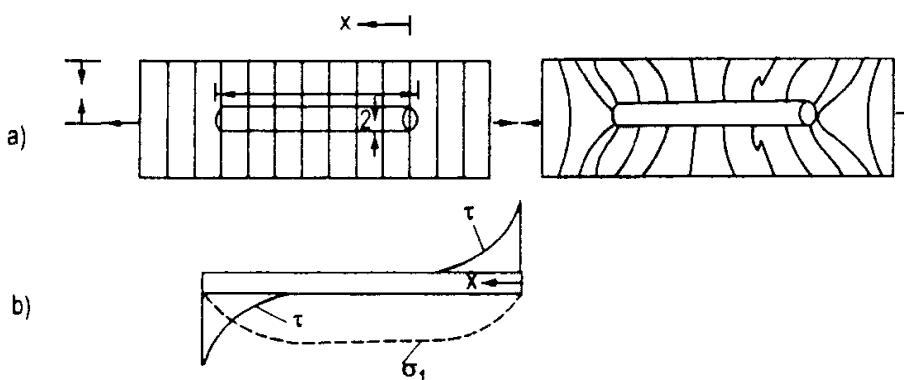
hơn độ cứng của vật liệu nền thì sự mất liên kết trên bề mặt sợi và xung quanh sợi sẽ nhỏ như trên hình 2.2a, 2.2b, 2.2c. Trường hợp này chỉ xảy ra với thép và sợi khoáng vật. Nếu mô đun của sợi nhỏ hơn mô đun của vật liệu nền, sự mất liên kết xung quanh sợi sẽ cao hơn, điều này xảy ra đối với sợi polyme và sợi thiên nhiên.

Sự truyền ứng suất đàn hồi hiện diện trong bê tông cốt sợi chưa nứt cũng như có trong vật liệu nền và sợi trong giai đoạn đàn hồi. Hiệu ứng, ứng suất - biến dạng đối với vật liệu nền có thể đưa ra khả năng phi đàn hồi và phi tuyến tính trước khi vật liệu phá hỏng. Phương trình toán học đã phát triển cho cả ứng suất trượt tại mặt phân cách τ và ứng suất dọc σ_f theo chiều dài sợi. Dựa vào một số giả thuyết để đơn giản hóa vấn đề là:

1. Vật liệu nền và sợi cả hai đều ở giai đoạn đàn hồi
2. Mặt phân cách giữa vật liệu nền và sợi là mỏng
3. Bề mặt phân cách được xem như là liên kết hoàn hảo
4. Sợi được sắp xếp có quy luật
5. Biến dạng kéo của vật liệu nền ϵ_m tại vùng bám dính chứa sợi là tương đương biến dạng kéo của bê tông cốt sợi



Hình 2.2: Mặt phân cách của vật liệu nền - sợi khi vật liệu nền chưa nứt:
a) Chưa chất tải; b) Vật liệu nền chịu kéo; c) Vật liệu nền chịu nén



Hình 2.3: Mô tả sợi trong vật liệu nền - biến dạng và ứng suất xung quanh sợi:
a) Dạng hình học biến dạng của vật liệu nền xung quanh sợi trước và sau khi tải tác dụng; b) Phân bố ứng suất trượt đàn hồi tại mặt phân cách và phân bố ứng suất kéo.

Sự phân bố ứng suất trượt τ tại khoảng cách x tính từ đầu sợi được diễn tả:

$$\tau(x) = E_f \varepsilon_m \left[\frac{G_m}{2E_f \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{\sin \beta_1 \left(\frac{1}{2} - x\right)}{\cos \beta_1 \frac{1}{2}}$$

$$\beta_1 = \left[\frac{2G_m}{2E_f r^2 \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó:

E_m, E_f : Mô đun đàn hồi của vật liệu nền, sợi.

G_m : Mô đun đàn hồi trượt của vật liệu nền tại mặt phân cách.

l : Chiều dài sợi.

R : Bán kính của vật liệu nền xung quanh sợi.

r : Bán kính của sợi.

ε_m : Biến dạng kéo của vật liệu nền.

Tỉ số giữa R/r tùy thuộc vào tỉ lệ thể tích sợi và sự sắp xếp sợi (hình 2.4).

Phân bố sợi 1 và 2 phương: $\ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\pi}{V_f}\right)$ (1)

Phân bố sợi 3 phương: $\ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{2\pi}{\sqrt{3}V_f}\right)$ (2)

Ứng suất dọc trục trong sợi $\sigma_f(x)$ được tính theo công thức:

$$\sigma_f(x) = E_f \varepsilon_m \left[\frac{1 - \cos \beta_1 \left(\frac{1}{2} - x\right)}{\cos\left(\beta_1 \frac{1}{2}\right)} \right] \quad (3)$$

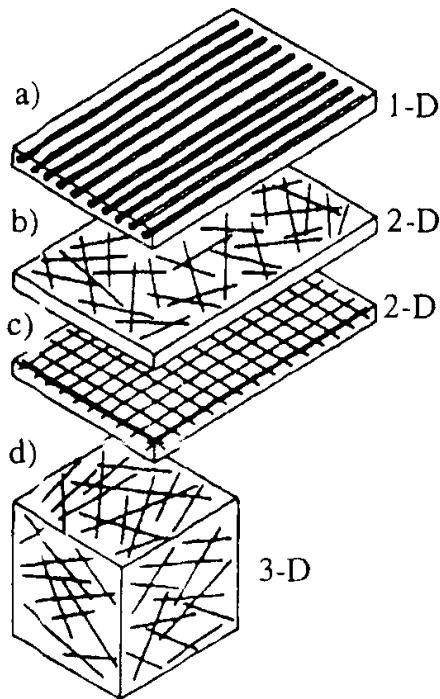
Phân bố ứng suất dọc trục $\sigma_f(x)$ và ứng suất trượt $\tau(x)$ đều là phi tuyến dọc theo chiều dài sợi.

Việc thiết lập phương trình (1), (2), (3) đều dựa vào các giả thuyết nêu ở trên. Các phương trình này cho phép ta tính được ứng suất trong sợi và sự đóng góp của sợi trong bê tông cốt sợi.

Trong trường hợp có nhiều sợi, người ta sắp xếp chúng theo một dạng được dự đoán trước mà giữa chúng không có sự tương tác (hình 2.4).

Tại giai đoạn đủ tải trọng xảy ra sự mất liên kết dọc theo mặt phân cách, nên quá trình truyền ứng suất sẽ trở thành quá trình trượt ma sát (τ_{fu}). Trong trường hợp này sẽ có chuyển vị tương đối giữa sợi và vật liệu nền, và có ứng suất trượt ma sát.

Những thông số như ứng suất và biến dạng của bê tông cốt sợi có liên quan đến quá trình truyền ứng suất này.



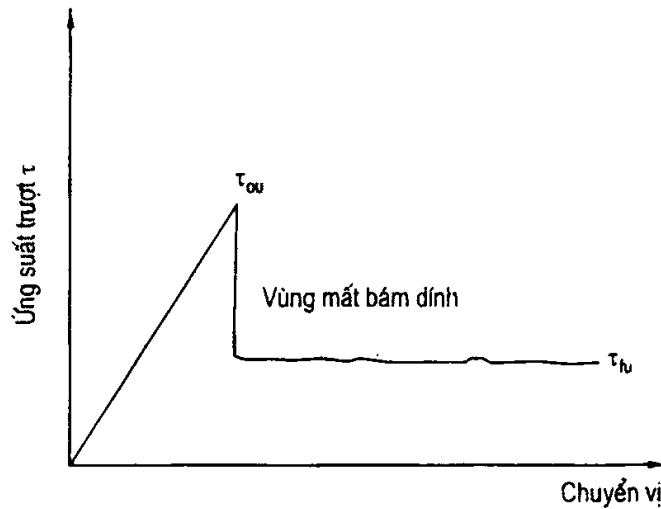
a) Sợi dài phân bố liên tục 1 phương,
b), c) Sợi phân bố theo 2 phương,
d) Sợi phân bố theo 3 phương

Hình 2.4: Sự phân bố của sợi trong bê tông.

Ứng suất trượt bám dính (τ_{au}) được đề cập đến, nếu vượt quá giới hạn thì bắt đầu xảy ra mất tính bám dính giữa sợi và vật liệu nền, khi đó ứng suất trượt ma sát cực đại τ_{fu} xuất hiện trong vùng bị mất liên kết. Giá trị τ_{fu} và τ_{au} là không bằng nhau, giá trị τ_{fu} rất nhạy với ứng suất và biến dạng.

Giả thiết rằng lực kéo tuột là hằng số thì đường cong tải trọng - chuyển vị là lý tưởng. Tuy nhiên, trong thực tế τ_{fu} giảm khi gia tải (hình 2.5).

Chuyển đổi từ sự truyền ứng suất đàn hồi trước khi mất liên kết sang sự truyền ứng suất ma sát sau khi mất liên kết là một quá trình diễn ra chậm và hai quá trình trên cùng có ảnh hưởng lẫn nhau. Sự mất liên kết có thể xảy ra trước khi có vết nứt đầu tiên của vật liệu nền và vì vậy ảnh hưởng kết hợp của hai quá trình này tác động đến hình dạng của đường cong ứng suất - biến dạng trước khi vật liệu nền nứt.



Hình 2.5: Sơ đồ biểu diễn ứng suất trượt - chuyển vị.
Sự chuyển đổi của ứng suất đàn hồi sang ứng suất trượt ma sát.

Một loạt hiện tượng tiếp diễn đều phụ thuộc vào ứng suất trượt bám dính và ứng suất kéo của vật liệu nền: nếu ứng suất kéo lớn thì việc mất liên kết có thể xảy ra trước khi vật liệu nền nứt, nếu ứng suất kéo nhỏ thì quá trình nứt vật liệu nền sẽ xảy ra trước khi mất liên kết.

Như vậy, mọi vấn đề truyền ứng suất đều bị ảnh hưởng của các hiện tượng: truyền ứng suất trượt đàn hồi, ứng suất trượt ma sát, sự mất liên kết và ứng suất biến dạng bình thường.

2.1.2.2. Tương tác giữa sợi - vật liệu nền đã nứt

Tác dụng chủ yếu của sợi trong bê tông cốt sợi sau khi vật liệu nền nứt là sợi sẽ bắc cầu qua vết nứt và vì vậy ngăn ngừa được sự phá hủy.

Sự bắc cầu của sợi xuyên qua vết nứt để truyền tải trọng thông thường được đánh giá bởi thí nghiệm về kéo tuột nhằm mục đích:

1. Làm nền tảng cho dự đoán tính chất của bê tông cốt sợi trong vùng đã nứt.
2. Phân tích cơ chế bám dính và xác định sự liên quan của cơ chế truyền ứng suất trượt ma sát và đàn hồi.

Khi bê tông cốt sợi có chứa sợi chịu kéo (hình 2.6; 2.7), ở trạng thái vật liệu nền nứt. Ngay sau khi vật liệu nền nứt, sợi bắc cầu qua vết nứt, truyền tải trọng qua vết nứt. Giai đoạn tăng tải này được gọi là giai đoạn phát triển vết nứt.

Ứng suất trượt đàn hồi được xác định bằng công thức:

$$\tau(x) = \frac{P\beta_2}{2\pi r} [\sin \beta_2 x - \cot g(\beta_2 l) \cos(\beta_2 x)]$$

$$\beta_2 = \left[\frac{2G_m}{b_i r E_f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó:

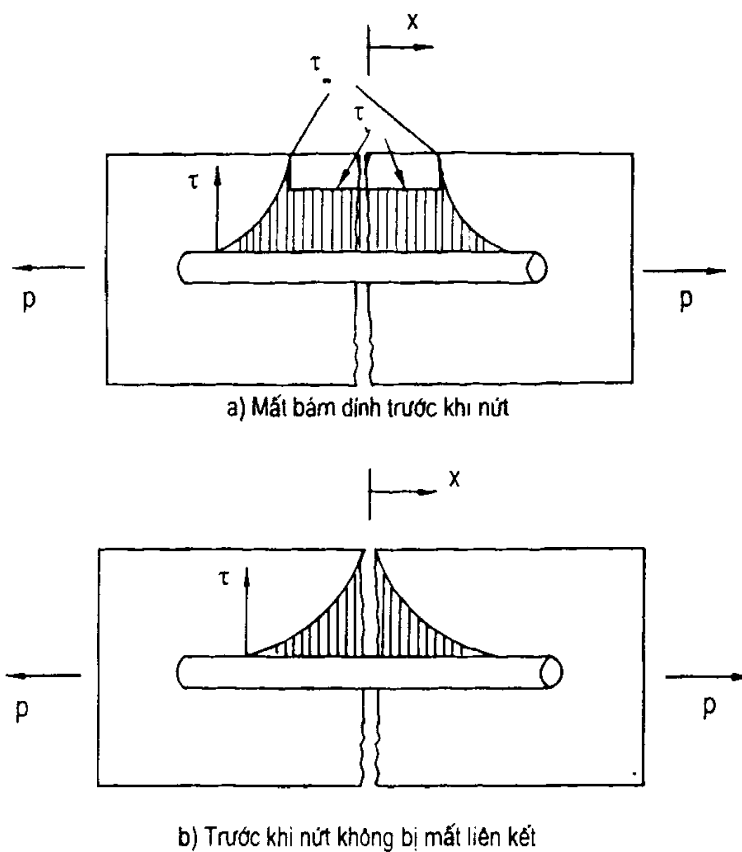
r : Bán kính của sợi.

b_i : Bề rộng của vùng ảnh hưởng.

E_f : Mô đun đàn hồi của sợi.

G_m : Mô đun trượt của vật liệu nền ở mặt phân cách.

l : Chiều dài sợi nằm trong vật liệu nền.



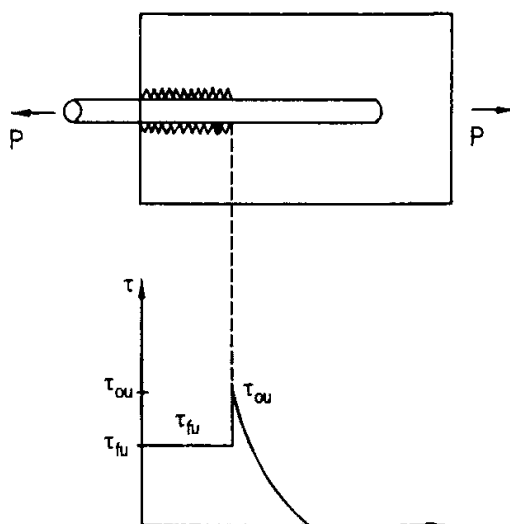
Hình 2.6: Phân bố ứng suất trượt tại mặt phân cách dọc theo giao điểm của vết nứt với sợi ngay sau khi nứt.

Ứng suất trượt đàn hồi lớn nhất:

$$\tau(\max) = \tau(x = 0) = \frac{P\beta_2}{2\pi r} \cot g(\beta_2 l)$$

Ứng suất trượt đàn hồi trung bình:

$$\bar{\tau} = \frac{P}{2\pi r l}$$



Hình 2.7: Hình dạng sợi bị mất bám dính một phần và ứng suất trượt tại mặt phân cách.

2.1.3. Quá trình phát triển vết nứt

Trong bê tông cốt sợi vai trò chính của sợi được thể hiện trong vùng có vết nứt, trong đó sợi là cầu nối qua vết nứt của vật liệu nền. Sợi có hai chức năng trong vùng có vết nứt:

- Làm tăng cường độ của bê tông cốt sợi qua vật liệu nền bằng cách truyền ứng suất và tải trọng qua vết nứt đến sợi.
- Sợi làm tăng độ dẻo dai của bê tông cốt sợi bằng việc hấp thụ năng lượng mà sinh ra trong quá trình mất liên kết và kéo tuột của sợi.

Việc xuất hiện vết nứt đầu tiên trong bê tông cốt sợi có ảnh hưởng lớn đến cường độ và độ dẻo dai. Nếu muốn ngăn chặn sự phá hoại trong giai đoạn này thì khả năng chịu tải của sợi $\sigma_{fu} V_f$ (trong trường hợp sợi liên tục và đẳng hướng) phải cao hơn tải trọng tác dụng lên bê tông cốt sợi tại vết nứt đầu tiên:

$$\sigma_{fu} V_f > E_m \varepsilon_{mu} V_m + E_f \varepsilon_{mu} V_f \quad (2.1)$$

Trong đó:

- V_m : Thể tích của vật liệu nền
- V_f : Thể tích của sợi sử dụng
- E_m : Môđun đàn hồi của vật liệu nền
- E_f : Môđun đàn hồi của sợi
- σ_{fu} : Cường độ kéo tới hạn của sợi
- ε_{mu} : Biến dạng cực đại của vật liệu nền