

ỐNG COMPOZIT GIA CƯỜNG BẰNG SỢI THỦY TINH - FRP

KS. Lê Cao Chiến

*TT. Vật liệu hữu cơ và Hóa phẩm xây dựng, Viện VLXD
(Lược dịch từ Chemical Engineering tháng 05/2006)*

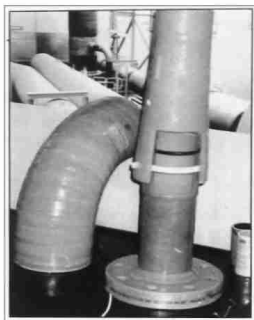
Nhận bài ngày 23/6/2014, chấp nhận đăng ngày 10/7/2014

Trước năm 1950, vật liệu ống thường là thép, gang, thép không gỉ, bê tông/vữa và những vật liệu thông thường khác (bao gồm cả gỗ). Vấn đề ăn mòn và hao mòn vật liệu là vấn đề lớn cơ bản với rất nhiều loại vật liệu. Giải pháp sử dụng thép không gỉ là không hiệu quả về mặt kinh tế trong nhiều trường hợp. Năm 1950 ống Compozit gia cường bằng sợi thủy tinh (Fibre-reinforced plastic - FRP) lần đầu tiên được sản xuất bằng phương pháp đúc ly tâm, nhằm chế tạo các ống chịu ăn mòn trong lĩnh vực dầu mỏ. Từ đó, nhiều công ty đã chú ý đến những lợi thế của sản phẩm ống FRP. Với sự phát triển của hệ nhựa Epoxy cùng với polyester, phenolic và ester vinyl đã trở thành động lực chính để mở rộng một cách đáng kể các ứng dụng của loại ống này. Giai đoạn từ năm 1950 đến giữa những năm 1960 chứng kiến sự mở rộng nhanh chóng nhất của công nghệ sản xuất ống FRP và sự phát triển của tiêu chuẩn công nghiệp cho chứng nhận sản phẩm ống FRP cho những ứng dụng khác nhau.

Ống Compozit - FRP đã được sử dụng thay thế cho ống thông thường vì nhiều lý do. Trước hết, ống Compozit - FRP có khả năng chịu ăn mòn tốt so với những ống thép và gang thông thường do tính chất trơ của vật liệu chế tạo. Không phải ngẫu nhiên khi thiết kế ống FRP đáp ứng yêu cầu 25-50 năm. Vật liệu FRP có khả năng chống ăn mòn từ nhiều loại chất lỏng khác nhau, và có thể tạo ra tính năng này cả bề mặt bên trong và bên ngoài ống. Trong thực tế, với sự hỗ trợ của lớp lót trong hoặc lớp vật liệu ngăn chặn phù hợp và sử dụng hợp lý nhựa nền, ống có thể đồng thời chịu ăn mòn môi trường cả bên trong và bên ngoài ống tại những vị trí khác nhau.

Ưu thế rất lớn của loại ống này là khối lượng nhẹ. Ống Compozit - FRP thông thường bằng 25% trọng lượng của thép, và bằng 10% trọng lượng của ống bê tông. Do đó, chi phí để vận chuyển, lắp đặt ở xa nơi sản xuất và vận chuyển đường dài sẽ thấp hơn đáng kể.

Khả năng chịu mài và tỷ lệ cường độ trên trọng lượng của ống FRP là một tính chất quan trọng liên quan đến chi phí thay thế và khả năng thiết kế của hệ thống đường ống trọng lượng nhẹ, tính năng cao. Ống Compozit FRP sở hữu khả năng "giảm xóc" tự nhiên, do đặc tính chống



rung của nhựa nền sử dụng. Khả năng chịu mài cao hơn rất nhiều so với bất kỳ vật liệu ống kim loại nào.

Ống FRP bình thường không dẫn điện và do đó tính chất điện tốt hơn nhiều so với vật liệu ống thép. Tuy nhiên, nếu tính dẫn điện là một tính năng mong muốn, thì các sợi dẫn gia cường hoặc hạt dẫn được bổ sung vào kết cấu ống.

Ống FRP có thể dễ dàng được chế tạo với những kích thước và hình dạng phức tạp khác nhau, bởi vì vật liệu Compozit có khả năng đáp ứng được một số quá trình sản xuất và gia công bằng máy. Nhiều hình dạng không thể chế tạo và kinh tế đối với vật liệu kim loại.

Cuối cùng, chi phí bảo trì thấp là một tính năng cao khác của hệ thống ống FRP, bởi vì chúng không bị ăn mòn như hệ thống ống kim loại. Chúng dễ dàng làm sạch và duy trì một bề mặt trơn bóng trong suốt quá trình hoạt động.

Mặc dù với những lợi thế như trên, nhà thiết kế cũng phải xem xét một số vấn đề khi đưa ra quyết định có nên sử dụng ống Compozit không.

- Chi phí ban đầu có thể cao hơn so với ống làm bằng vật liệu truyền thống. Tuy nhiên chi phí vận chuyển, lắp

đặt, và bảo trì bảo dưỡng có thể ít hơn đáng kể so với ống thép không gỉ. Mặt khác chi phí vòng đời dài hạn cũng nên được xem xét khi tính toán thiết kế.

- Thiết kế và yêu cầu kỹ thuật cho ống FRP dựa trên hiệu suất ống. Nói cách khác người mua phải xác định được điều kiện hoạt động thực sự và nhu cầu về đường ống để người sản xuất có thể sản xuất sản phẩm phù hợp đối với yêu cầu của họ.

- Mặc dù quy trình lắp đặt đường ống FRP tương tự như ống truyền thống, tuy nhiên các nhà sản xuất ống Compozit có thể yêu cầu khách hàng tuân thủ một số quy trình kỹ thuật nhất định trong khi lắp đặt để đảm bảo hiệu suất dài hạn như cam kết của loại vật liệu này. Để đạt được độ bền tuyệt vời của vật liệu composit, quy trình lắp đặt phải được giám sát chặt chẽ.

- Các khớp nối cho ống FRP cần các khớp nối khỏe, việc thi công mỗi nối đòi hỏi phải được đào tạo. Kỹ năng là cần thiết, tuy nhiên không cao như đối với ống thép không gỉ.

Phân loại

Ống FRP thông thường được chia thành hai loại là loại ống không chịu áp (chạy bằng trọng lực), và ống chịu áp.

Ống FRP không chịu áp là ống FRP dùng để vận chuyển chất lỏng dưới tác dụng của trọng lực, chứ không phải bằng sự chênh lệch áp đáng kể nào. Độ chênh áp suất có thể được yêu cầu để vận chuyển chất lỏng, nhưng áp lực tương đối thấp. Do đó việc thiết kế các đường ống không chịu áp chủ yếu là cần nhắc về độ cứng ống. Với ống lắp đặt trên mặt đất, độ cứng ống theo hướng vòng và hướng trục nhằm giảm thiểu độ võng uốn theo chiều dài của ống. Với ống lắp đặt dưới đất, độ cứng ống cung cấp khả năng chống gẫy oằn do tải đất. Ống FRP không chịu áp thường chia thành các cấp độ cứng cho khách hàng lựa chọn, tùy thuộc vào sự ổn định của nền đất và các yếu tố khác. Đường kính ống loại này từ 200mm đến 3500mm, hoặc trong một số trường hợp, còn có kích thước lớn hơn.

Ống chịu áp là loại ống FRP được thiết kế để vận chuyển chất lỏng và chất khí ở áp suất cao hơn so với ống không chịu áp. Cấp chịu áp khá rộng do có nhiều quá trình đòi hỏi mức chịu áp lên tới vài ngàn psi. Ống Compozit có thể chịu áp cao tới 2000 - 5000psi (13,8 + 34,5MPa). Đường kính ống thông thường nằm trong khoảng từ 25mm đến 400mm. Ống chịu áp càng cao thì đường kính ống càng nhỏ.

Cả ống chịu áp và ống không chịu áp đều có thể tìm thấy nhiều loại trên thị trường. Các nhà sản xuất ống FRP điều chỉnh thiết kế ống của họ bằng cách lựa chọn nhựa nền, lớp lót (đối với các môi trường ăn mòn khác nhau)

và thiết kế các lớp sợi gia cường để đạt được yêu cầu về độ cứng và khả năng chịu áp lực.

Kết cấu vật liệu

Ống composit FRP được sản xuất bằng cách sử dụng sợi thủy tinh gia cường, nhựa nhiệt rắn, vải lót và các phụ gia khác.

Sợi gia cường: Vật liệu gia cường thường gồm sợi thủy tinh loại E, thủy tinh borosilicat kiềm thấp. Sợi thủy tinh loại E có độ cứng kéo khoảng 10.5×10^6 psi, độ bền kéo khoảng $250-350 \times 10^3$ psi, và độ giãn dài khi đứt là 2,5 - 3,5%. Các loại sợi khác tương tự như ECR-, C-, AR-, và sợi thủy tinh loại S nhằm đáp ứng các yêu cầu chống ăn mòn và các yêu cầu đặc biệt khác. Sợi thủy tinh loại E là loại sợi chiếm ưu thế trên thị trường.

Dạng sợi gia cường khác nhau đáng kể, tùy thuộc vào quá trình sản xuất ống và yêu cầu tải trọng thiết kế.

Sử dụng vật liệu FRP trong một số ngành

Ngành/ lĩnh vực	Một số áp dụng
Ngành nước (36%)	<ul style="list-style-type: none"> • Dẫn nước sinh hoạt • Cống thoát nước thải • Dẫn nước biển làm mát và dẫn khử muối • Nước nóng, hệ thống gia nhiệt hoặc nhà máy địa nhiệt • Vỏ bao cho các giếng nước
Hóa chất & các ngành công nghiệp khác (42%)	<ul style="list-style-type: none"> • Hệ thống ống xử lý • Thùng hoặc tank xử lý • Buồng lọc, hấp thụ khí, ống khói và ống dẫn • Đường dẫn và ống trong hệ thống chứa cháy
Công nghiệp dầu khí (13%)	<ul style="list-style-type: none"> • Hệ thống chữa cháy • Nước làm mát • Đường dẫn và đường bơm • Hệ thống nạp và phân phối CO₂ • Hệ thống ống và thùng chứa
Công nghiệp năng lượng (9%)	<ul style="list-style-type: none"> • Phụ kiện chung • Hệ thống khử lưu huỳnh hóa • Hệ thống xử lý và làm mát bằng nước • Hệ thống buồng lọc cho
Ống dẫn (4%)	<ul style="list-style-type: none"> • Đường kính từ 25 - 600mm: 67% • Đường kính từ 600 - 1000mm: 22% • Trên 1000mm: 11%

Các dạng sợi chủ yếu bao gồm: sợi đơn hướng, sợi nhỏ, vải gia cường (dạng vải mat, vải dệt và dạng bện). Hàm lượng sợi thực tế (phần trăm thể tích hoặc phần trăm khối lượng) trong ống phụ thuộc vào thiết kế sử dụng cuối cùng. Hướng sợi, trình tự các lớp và số lượng các lớp gia cường xác định độ cứng, cường độ và các tính chất cơ học thực tế.

Nhựa nền: Cường độ và độ cứng của nhựa sử dụng để chế tạo ống thấp hơn so với sợi gia cường. Tuy nhiên, nhựa đóng một vai trò quan trọng trong kết cấu của ống. Nó có tác dụng như loại keo gắn kết các sợi với nhau trong cấu trúc ống nhiều lớp đã đóng rắn. Nhựa nền cung cấp khả năng chống ăn mòn đối với chất lỏng hoặc khí vận chuyển bên trong lòng ống. Tính chất hóa học của nhựa, khả năng chịu nhiệt và tính chất vật lý khác đóng vai trò quan trọng trong thiết kế đường ống.

Nhựa nhiệt rắn sử dụng phổ biến trong lĩnh vực ống FRP cụ thể là các loại nhựa polyester, vinyl ester và nhựa epoxy. Các loại nhựa khác nhau đáp ứng các môi trường ăn mòn khác nhau. Polyester thường được sử dụng để chế tạo những sản phẩm ống có đường kính lớn. Vinyl ester cung cấp khả năng chống ăn mòn cao hơn và thường được sử dụng cho đường ống xử lý chất lỏng ăn mòn mạnh như axit mạnh và các chất tẩy trắng. Nhựa epoxy là loại nhựa điển hình cho các đường kính ống dưới 750mm và áp lực cao từ 3000 - 5000psi.

Các thành phần khác: Trong nhiều trường hợp, thiết kế và sản xuất ống FRP được bổ sung một số thành phần. Những thành phần này bao gồm chất xúc tác và chất đóng rắn nhằm hỗ trợ cho nhựa nhiệt rắn, là cần thiết để thực hiện các phản ứng hóa học và đóng rắn giữa các lớp kết cấu. Chất độn có thể được sử dụng để gia tăng chiều dày thành ống, tính kinh tế hoặc tính năng ống.

Vai trò chính của chất độn là tăng độ cứng ống. Trong một số hệ thống ống, đặc biệt là ống không chịu áp, yêu cầu về độ cứng uốn là quan trọng nhất. Đối với đường ống chôn ngầm, độ cứng uốn đo bằng EI, trong đó E là môđun uốn của ống FRP và I là mômen quán tính của mặt cắt ngang của ống. Độ cứng của các lớp E có thể tăng lên bằng các cách khác như thay đổi hướng sợi hoặc tăng hàm lượng sợi. Mômen quán tính I tỷ lệ thuận với lập phương chiều dày thành ống. Do đó bất kỳ sự gia tăng chiều dày thành ống đều cải thiện độ cứng ống một cách đáng kể. Kết quả là một số loại sản phẩm ống composit không chịu áp được sản xuất bằng cách bổ sung thêm cát trong quá trình sản xuất. Điều này làm gia tăng chiều dày thành ống một cách đáng kể và do đó I tăng làm cho độ cứng uốn EI tăng theo. Độ cứng tăng lên bằng loại vật liệu rẻ tiền làm gia tăng giá trị hàng hóa cho ống.

Thiết kế ống

Nhiệt độ thiết kế của ống FRP phụ thuộc vào ứng dụng cụ thể và chất lỏng vận chuyển. Hệ thống ống ngầm được thiết kế cho các môi trường nhiệt độ tương đối ổn định. Hệ thống ống nổi trên mặt đất có thể bị gió, mưa, tuyết, tia UV và các điều kiện khác tác động vào mà đòi hỏi khoảng nhiệt độ làm việc rộng hơn theo thời gian. Trong cả hai trường hợp, nhiệt độ làm việc phía ngoài của ống có xu hướng cố định bằng các điều kiện thời tiết, khí hậu mà các đường ống được lắp đặt. Nhiệt độ hoạt động thông thường của ống từ 0-130°F (-18 đến 38°C).

Nhiệt độ làm việc bên trong lòng ống phụ thuộc vào nhiệt độ chất lỏng truyền tải. Nhiệt độ giới hạn điển hình là 300°F (149°C). Việc lựa chọn các loại nhựa, lớp lót và vật liệu ngăn cách thường phụ thuộc vào cả nhiệt độ và tính chất ăn mòn của chất lỏng được vận chuyển.

Thiết kế ống cũng bị ảnh hưởng mạnh bởi phạm vi áp lực nội của lĩnh vực sử dụng. Trong hầu hết các hệ thống đường ống sẽ tiếp xúc với áp lực nội trong quá trình hoạt động của chúng, ngoài ra áp lực tải âm, đặc biệt là đối với trường hợp đường ống chôn ngầm, cũng là một hệ số thiết kế phải quan tâm. Hệ thống đường ống FRP không chịu áp đặt ngầm được thiết kế chủ yếu đối với cấp độ cứng, để phù hợp với điều kiện đất, độ sâu chôn và áp lực ép từ bên ngoài. Tuy nhiên, trong khi các ống không chịu áp phù hợp với các cấp độ cứng khác nhau, chúng cũng được thiết kế để làm việc tốt với ngay cả trong phạm vi áp lực nội khi vận hành gây ra. Nó có thể vận hành tốt với áp lực nội 150psi (~1MPa) trong điều kiện dài hạn.

Đối với ống chịu áp, nó được thiết kế để đáp ứng khả năng chịu áp dài hạn, để hoạt động liên tục trong lĩnh vực áp dụng. Do đó, đường ống chịu áp FRP được thiết kế chủ yếu chịu áp chứ không phải cấp độ cứng.

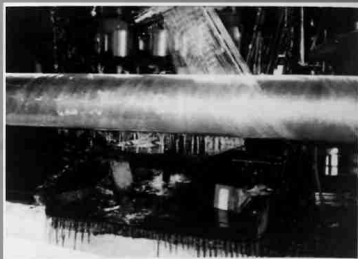
Áp lực bên ngoài tác động vào ống FRP là áp lực tác động vào ống trong các điều kiện chôn ngầm, chịu uốn hoặc áp lực liên kết (ống trên mặt đất), áp lực truyền tải (đường ống ngầm). Có nhiều áp lực ảnh hưởng liên đến hiệu suất làm việc dài hạn của ống FRP, do đó tính toán độ võng và áp lực là rất quan trọng để đảm bảo tính toàn vẹn về cấu trúc trong suốt thời gian hoạt động của ống. Có rất nhiều hướng dẫn thiết kế và các tiêu chuẩn liên quan, trên thực tế cần kiểm soát các thiết kế của ống bằng các yêu cầu tính toán và xác minh theo tiêu chuẩn.

Khả năng chịu lửa có thể trở thành một tiêu chuẩn thiết kế cho một số ứng dụng cụ thể. Chẳng hạn các khu vực xây dựng có các giới hạn độ cháy, khói, nhớt cháy và tính độc hại được quan tâm. Các nhà sản xuất ống có thể lựa chọn loại nhựa chống cháy hoặc thậm chí sử dụng bề mặt bên ngoài có khả năng than hóa để ngăn cháy.

Công nghệ sản xuất ống FRP

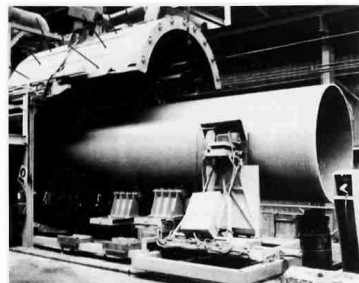
Ống Compozit được sản xuất trên thế giới chủ yếu trên hai loại công nghệ: đúc ly tâm và quấn sợi.

Công nghệ đúc ly tâm: được thực hiện bằng cách như sau: vật liệu gia cường khô được đặt vào khuôn thép trước thành các lớp gia cường theo thiết kế phù hợp với yêu cầu tính năng sử dụng. Sau đó ống thép được quay với tốc độ cao, vật liệu nền là nhựa lỏng được phun vào đến khi bão hòa với vật liệu khô dưới tác dụng của lực ly tâm. Với việc bổ sung nhiệt độ và thời gian quay của vỏ khuôn làm cho bề mặt ống cả bên trong và bên ngoài được trơn nhẵn. Nhựa tạo thành một lớp bảo vệ cho các cấu trúc đa lớp bên trong vật liệu.



* Quá trình quấn sợi theo phương pháp xoắn ốc đối ứng hoặc liên quan đến việc quấn góc xoắn ốc cho đến khi bề mặt được bao phủ hoàn toàn và chính xác số lớp được thiết kế bằng sợi được thấm ướt với nhựa lỏng. Tùy thuộc vào thiết kế ống, góc quấn thông thường "tối ưu" khoảng 55° (so với trục gá) tới 75°. Quá trình này cung cấp độ cứng và cường độ cao nhất (E) bởi vì các sợi dài liên tục và hàm lượng sợi từ 60 - 80% có thể dễ dàng đạt được.

* Một công nghệ cải tiến khác là phương pháp quấn sợi liên tục, được phát triển để cho phép sản xuất ống độ dài "liên tục", bằng cách sử dụng một trục gá nội là một thanh thép mềm dẻo di dời ống đến vị trí phía trước của nó sau khi đường ống đã đóng rắn. Quá trình quấn xoắn ốc hoàn toàn là không thể thực hiện được trong quá trình này, quá trình quấn được thực hiện với góc quấn 90°. Sợi thủy tinh dạng ngắn được xen kẽ giữa các lớp vòng. Cát độn và vải sợi ngắn cũng có thể được sử dụng; Tuy nhiên, các lớp vòng và các sợi nhỏ là thành phần chính. Hàm lượng sợi trong quá trình này dao động khoảng từ 45 - 70%.



Sợi thủy tinh dạng vải dệt và dạng tấm sợi ngắn thường được sử dụng trong công nghệ này. Hàm lượng sợi sử dụng thông thường từ 20 - 35% khối lượng. Để đạt được độ cứng cao hơn có thể sử dụng hàm lượng sợi cao hơn bằng cách sử dụng loại vải dệt có độ chặt cao hơn hoặc sử dụng tốc độ cao hơn để tăng độ nén chặt.

Một công nghệ cải tiến của Hobas sử dụng để chế tạo những đường ống có đường kính lớn hơn 20 inch nhằm đạt được độ cứng của ống là việc sử dụng cát vào trong cấu trúc của ống so với phương pháp đúc ly tâm thông thường. Hàm lượng sợi sử dụng là khoảng 20% khối lượng, nhựa khoảng 35% khối lượng và cát là 45% khối lượng. Việc sử dụng hàm lượng cát cao sẽ làm tăng độ cứng của ống nhưng không làm tăng độ cứng đàn hồi của ống.

Công nghệ quấn sợi: Sợi thủy tinh dài được ngâm tẩm với nhựa trước hoặc được bão hòa trong một bồn nhựa trước khi được quấn với một trục gá quay hình thành nên cấu trúc của ống. Nhựa là lớp bảo vệ trong kết cấu nhiều lớp. Hiện nay, trên thế giới có hai loại công nghệ cải tiến quá trình này: