

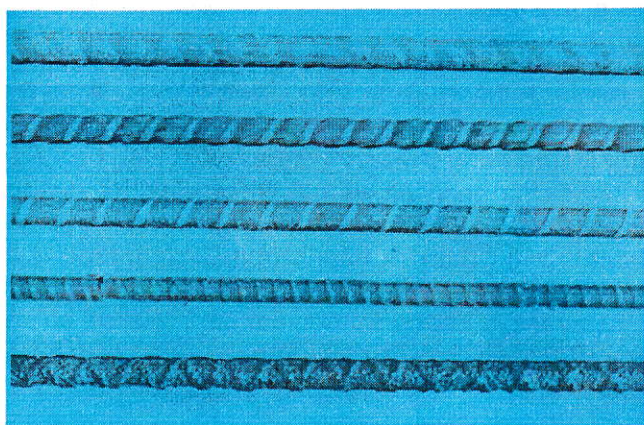
NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN SỨC KHÁNG UỐN CỦA DẦM BÊ TÔNG SỬ DỤNG THANH POLYMER THAY THẾ CỐT THÉP CHỊU LỰC

ThS. ĐẶNG QUANG HUY, ThS. TRẦN MẠNH HÙNG
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Vật liệu polymer cốt sợi đã được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến trên thế giới. Gần đây, một số tác giả trong nước đã có các công trình nghiên cứu sử dụng loại vật liệu này trong sửa chữa và gia cường các kết cấu chịu uốn, chủ yếu là các dầm cầu bê tông cốt thép bị xuống cấp. Tuy nhiên, ứng dụng của vật liệu polymer cốt sợi còn có thể được sử dụng trong kết cấu bê tông với vai trò tương tự như cốt thép chịu lực nhưng có ưu điểm là bền vững hơn trong môi trường muối, axit và nhiều chất ăn mòn khác. Hướng nghiên cứu này hiện còn rất mới mẻ ở Việt Nam. Do đó, việc nghiên cứu nguyên lý thiết kế sử dụng thanh polymer cốt sợi (FRP) trong kết cấu bê tông để thay thế cốt thép chịu lực có ý nghĩa thực tiễn và phạm vi áp dụng rộng rãi trong hầu hết các công trình xây dựng, đặc biệt là các công trình ngầm và công trình ven biển hoặc trong vùng cốt thép có nguy cơ bị ăn mòn cao.

1. So sánh đặc trưng vật liệu cốt thép và thanh FRP

Cốt thanh chịu lực FRP có đặc tính nổi bật là cường độ chịu kéo tốt và trọng lượng nhẹ hơn nhiều lần so với cốt thép thông thường. Do đó thanh FRP có thể sử dụng để thay thế cốt thép chịu lực trong một số cấu kiện bê tông tùy điều kiện sử dụng. Các đặc tính vật liệu khác ảnh hưởng đến khả năng ứng dụng của thanh FRP gồm có mô đun đàn hồi, hệ số giãn nở nhiệt, giới hạn biến dạng kéo đứt. Tùy thuộc vào nguồn gốc của sợi polymer tổng hợp, tính chất của các loại thanh FRP tạo thành cũng khác nhau. Các loại thanh polymer FRP sử dụng trên thế giới hiện phổ biến 3 loại có nguồn gốc khác nhau là: vật liệu polymer nguồn gốc aramid - AFRP, vật liệu polymer nguồn gốc cacbon - CFRP và vật liệu polymer nguồn gốc thủy tinh - GFRP (hình H.1).



H.1. Một số sản phẩm thanh FRP [1]

Một số đặc trưng vật liệu cơ bản của các loại thanh FRP được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính vật liệu thanh FRP [1]

Vật liệu	Cốt thép	Thanh GFRP	Thanh CFRP	Thanh AFRP
Cường độ chảy, MPa	400			
Cường độ chịu kéo, MPa		483÷1600	600÷3690	1720÷2540
Biến dạng chảy	0,002			
Biến dạng kéo đứt		0,014	0,014	0,014
Mô đun đàn hồi, GPa	200	35÷51	120÷580	41÷125
Trọng lượng riêng, G/cm ³	7,90	1,25÷2,10	1,50÷1,60	1,25÷1,40

2. Các mô hình phá hoại của cấu kiện bê tông cốt thanh FRP

Tương tự như kết cấu bê tông cốt thép, sức kháng uốn của kết cấu bê tông cốt thanh FRP

được tính toán theo nguyên lý cân bằng biến dạng của mặt cắt, trong đó trạng thái phá hoại cân bằng là khi cốt thanh chịu kéo và bê tông chịu nén bị phá hoại đồng thời. Tỷ lệ cốt thanh FRP chịu lực bố trí trên mặt cắt được xác định theo công thức:

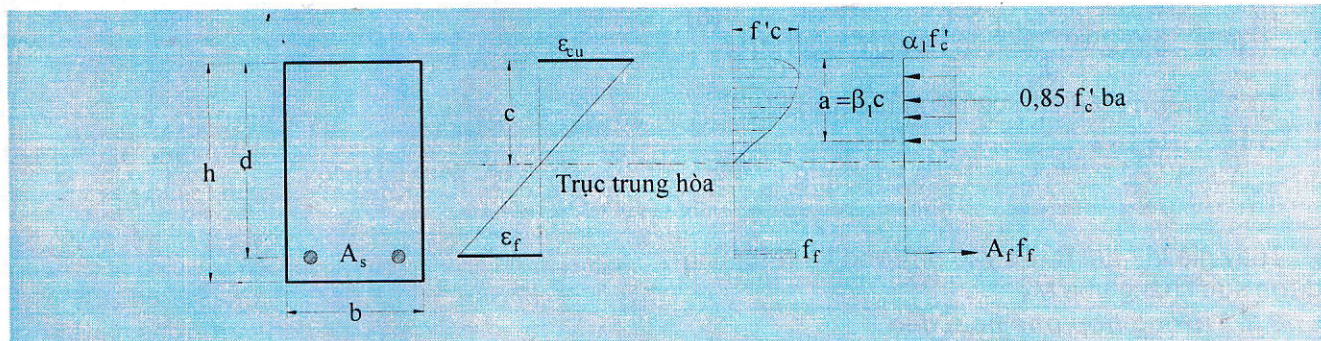
$$\rho_f = \frac{A_f}{bd} \quad (1)$$

Ở trạng thái phá hoại cân bằng (hình H.2), hàm lượng cốt thanh FRP được ký hiệu là ρ_{fb} và được xác định theo nguyên lý cân bằng biến dạng theo công thức dưới đây [1]:

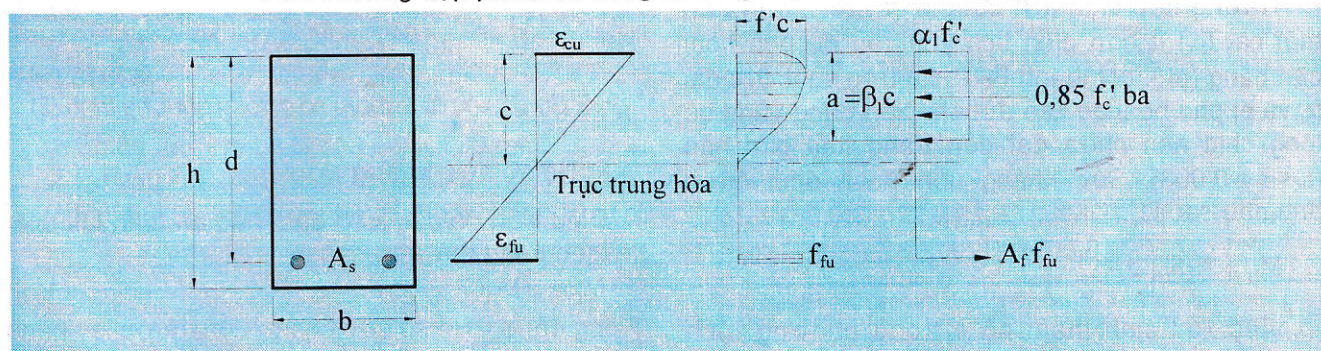
$$\rho_{fb} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_{fu}} \frac{E_f \varepsilon_{cu}}{E_f \varepsilon_{cu} + f_{fu}} \quad \text{hoặc} \quad (2a)$$

$$\rho_{fb} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_{fu}} \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{fu}} \quad (2b)$$

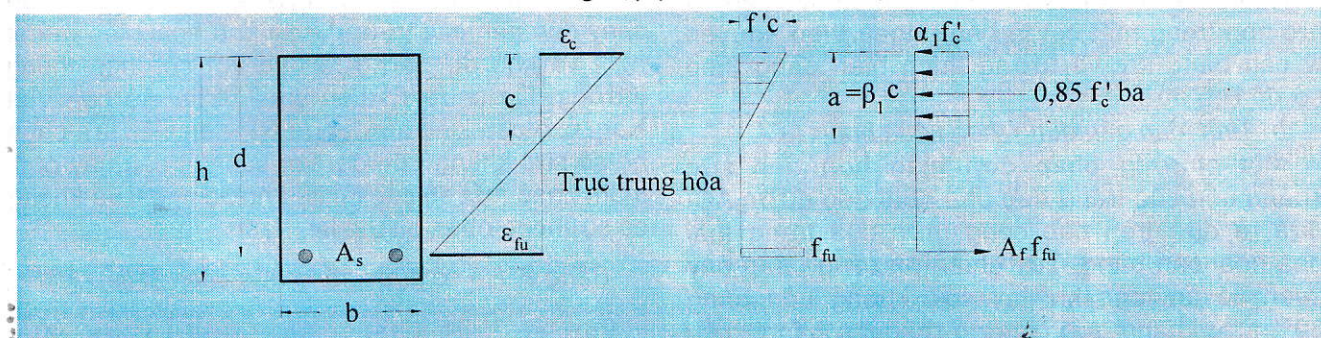
Dựa vào hàm lượng cốt thanh FRP chịu lực (ρ_f), có thể phân biệt 2 trường hợp phá hoại khác của kết cấu là: phá hoại vùng bê tông chịu nén (hình H.3), $\rho_f > \rho_{fb}$; và phá hoại cốt thanh FRP chịu kéo (hình H.4), $\rho_f < \rho_{fb}$. Các hình vẽ dưới đây thể hiện các trạng thái phá hoại tương ứng.



H.2. Trường hợp phá hoại vùng bê tông chịu nén - Phá hoại giòn



H.3. Trường hợp phá hoại cân bằng



H.4. Trường hợp phá hoại cốt thanh FRP chịu kéo - Phá hoại dẻo

3. Sức kháng uốn của cấu kiện

3.1. Trường hợp phá hoại giòn

Trường hợp diện tích cốt thanh FRP bố trí trên mặt cắt (ρ_f) vượt quá diện tích yêu cầu để phá hoại cân bằng (ρ_{fb}), kết cấu sẽ bị phá hoại

giòn. Khi đó vùng bê tông chịu nén đạt biến dạng nén cực đại 0,003 còn cốt thanh FRP có biến dạng kéo nhỏ hơn biến dạng kéo cực đại ($\varepsilon_f < \varepsilon_{fu}$). Dựa vào các phương trình cân bằng lực và biến dạng của mặt cắt, sức kháng uốn danh định được tính như sau [1]:

$$M_n = A_f f_f \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3)$$

$$a = \frac{A_f f_f}{0,85 f_c b} \quad (4)$$

$$f_f = E_f \epsilon_{cu} \frac{\beta_1 d - a}{a} \quad (5)$$

Hệ số β_1 được quy định trong Tiêu chuẩn ngành giao thông vận tải của Việt Nam 22TCN 272-05 [2] và tính theo công thức:

$$\beta_1 = \begin{cases} 0,85 & \text{khi } f'_c \leq 28 \text{ MPa} \\ 0,85 - 0,005 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65 & \text{khi } f'_c > 28 \text{ MPa} \end{cases} \quad (6)$$

Từ 2 phương trình (4) và (5) ta tìm được f_f

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(E_f \epsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{\rho_f} E_f \epsilon_{cu} - 0,5 E_f \epsilon_{cu}} \right) \leq f_{fu} \quad (7)$$

Thay giá trị f_f tìm được vào phương trình (3) tính được sức kháng uốn M_n .

3.2. Trường hợp phá hoại dẻo

a. *Tính toán theo nguyên lý cân bằng biến dạng*

Trường hợp diện tích cốt thanh FRP bố trí trên mặt cắt (ρ_f) ít hơn diện tích yêu cầu để phá hoại cân bằng (ρ_{fb}), cốt thanh FRP đạt ứng suất cực đại f_{fu} và bị phá hoại do kéo đứt khi biến dạng vùng bê tông chịu nén chưa đạt đến trạng thái giới hạn ($\epsilon_c < \epsilon_{cu} = 0,003$). Sức kháng uốn danh định được tính như sau [1]:

$$M_n = A_f f_{fu} \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (8)$$

Việc xác định tham số c trong phương trình (3) được thực hiện bằng phương pháp lập và thử dần các giá trị của c cho đến khi lực kéo và lực nén trong mặt cắt là bằng nhau theo nguyên lý cân bằng lực và tương thích biến dạng theo sơ đồ H.5 dưới đây.

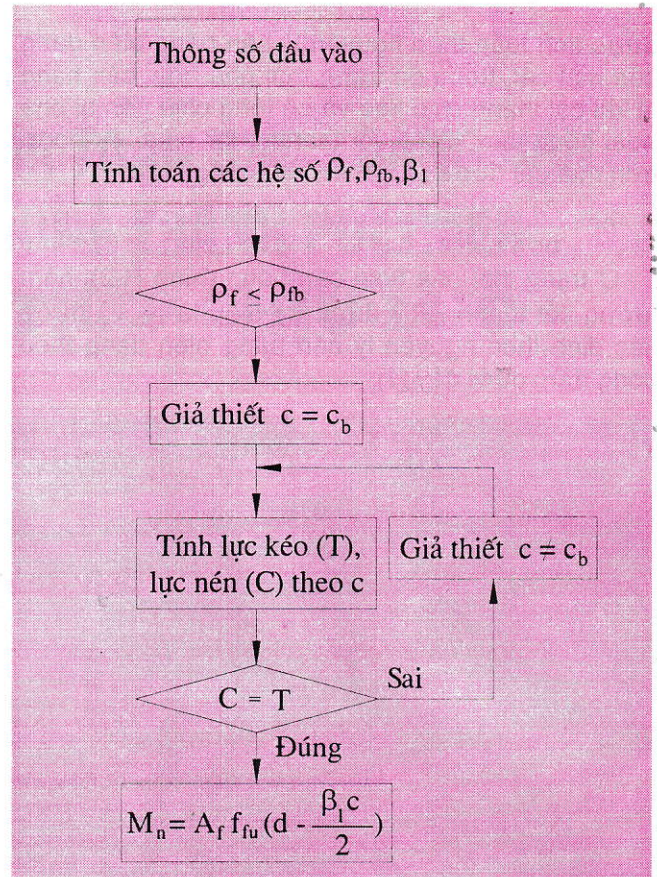
b. *Tính toán gần đúng theo tiêu chuẩn ACI*

Một phương pháp đơn giản hơn tính sức kháng uốn của trạng thái phá hoại dẻo được ACI đưa ra dựa trên các công thức của trạng thái phá hoại cân bằng. Tuy nhiên phương pháp này thiên về an toàn khi lấy sức kháng uốn bằng 80% sức kháng uốn ở trạng thái cân bằng, biểu diễn bằng công thức sau [1]:

$$M_n = 0,8 A_f f_{fu} \left(d - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right) \quad (9)$$

Trong đó:

$$c_b = \left(\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{fu}} \right) d \quad (10)$$



H.5. Sơ đồ xác định tham số c trong phương trình (3)

4. Hệ số sức kháng uốn

Điều kiện để cấu kiện đảm bảo an toàn khi thiết kế theo trạng thái giới hạn là:

$$M_r \geq \phi M_n \quad (11)$$

Trong đó: ϕ - Hệ số sức kháng uốn, được lấy bằng 0,9 đối với kết cấu bê tông cốt thép chịu uốn.

Biến dạng của vật liệu FRP không có giai đoạn chảy dẻo nên các trường hợp phá hoại diễn ra đột ngột và khó dự báo trước so với cốt thép thông thường. Do chưa có tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam cho cấu kiện sử dụng FRP nên việc lựa chọn hệ số sức kháng uốn đối với các kết cấu này phải tham khảo một số các tài liệu nước ngoài và không có sự thống nhất, cụ thể là:

Bảng 2. Hệ số sức kháng uốn của vật liệu FRP

Vật liệu	JSCE [3]	CAS [4]	CHBDC [4]
AFRP	1/1,3	0,75	0,6
CFRP	1/1,3	0,75	0,75
GFRP	1/1,3	0,75	0,5

Hiệp hội các kỹ sư Nhật Bản JSCE kiến nghị lấy $\phi = 1/1.3$ (0,77) cho cấu kiện bê tông cốt sợi [3]. Tiêu chuẩn thiết kế của Canada CSA S806-02 và

Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC)
[4] kiến nghị lấy hệ số sức kháng uốn ϕ từ 0,5÷0,75 tùy theo loại vật liệu theo Bảng 2.

Nghiên cứu đầy đủ hơn theo [1] cho phép xác định hệ số ϕ như sau:

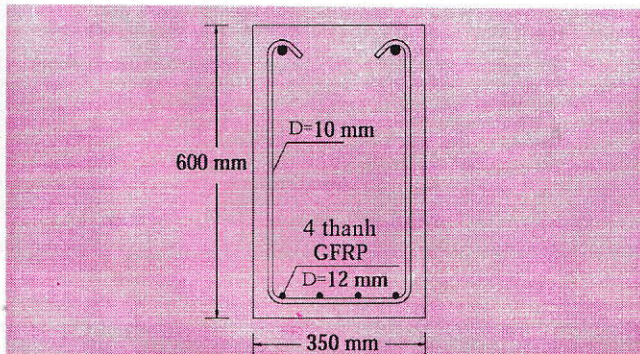
$$\phi = \begin{cases} 0,5 & \text{khi } \rho_f \leq \rho_{fb} \\ \frac{\rho_f}{2\rho_{fb}} & \text{khi } \rho_{fb} < \rho_f < 1,4\rho_{fb} \\ 0,7 & \text{khi } \rho_f \geq 1,4\rho_{fb} \end{cases} \quad (12)$$

Như vậy có thể thấy hệ số sức kháng khi dùng thanh FRP là khá thấp so với sử dụng cốt thép, phản ánh mức độ tin cậy thấp hơn khi sử dụng thanh FRP so với cốt thép.

5. Ví dụ áp dụng thiết kế dầm bê tông cốt thanh FRP chịu lực

Các thông số thiết kế: Tính toán sức kháng uốn của dầm bê tông cường độ chịu nén 40 MPa cốt thanh FRP chịu lực với các thông số thiết kế như sau:

- ❖ Đường kính thanh FRP, $d_b=12$ mm;
- ❖ Diện tích 1 thanh FRP, $A_b=120$ mm²;
- ❖ Cường độ chịu kéo giới hạn thanh FRP, $f_{tu}=630$ MPa;
- ❖ Biến dạng cực hạn của thanh FRP, $\epsilon_{fu}=0.01575$;
- ❖ Mô đun đàn hồi của thanh FRP, $E_f=40000$ MPa;
- ❖ Chiều dày lớp bê tông bảo vệ, 30 mm;
- ❖ Đường kính cốt thép đai 10 mm;
- ❖ Mặt cắt ngang dầm như hình vẽ H.6.



H.6. Mặt cắt ngang dầm

Các bước tính toán như sau:

Bước 1. Xác định trạng thái phá hoại của kết cấu:

Chiều cao từ trọng tâm cốt thanh FRP đến thớ ngoài cùng chịu nén:

$$d=600 - 30 - 10 - 12/2=554 \text{ mm}$$

Tỷ số cốt thanh FRP tính toán:

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd} = \frac{4 \times 120}{554 \times 350} = 0,0025$$

Tỷ số cốt thanh FRP ở trạng thái phá hoại cân bằng theo công thức 2a hoặc 2b với:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{40 - 28}{7} \right) = 0,76$$

$$\rho_{fb} = 0,85 \beta_1 \frac{f_c}{f_{tu}} \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{fu}}$$

$$\rho_{fb} = 0,85 \times 0,76 \frac{40}{630} \frac{0,003}{0,003 + 0,01575} = 0,0066$$

Như vậy $\rho_f < \rho_{fb}$ cấu kiện bị phá hoại dẻo.

Bước 2. Xác định hệ số sức kháng uốn

Từ điều kiện về trạng thái phá hoại dẻo, theo công thức (12) xác định được $\phi=0,5$.

Bước 3. Sức kháng uốn của tiết diện:

a. *Tính theo nguyên lý cân bằng biến dạng*

- Tính tham số c:

Thử với $c=c_b$. Áp dụng công thức (10):

$$c_b = \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,01575} \right) 554 = 88,64 \text{ (mm)}$$

$$\text{Lực nén } C = 0,85 f_c \beta_1 c b = 868,18 \text{ kN}$$

$$\text{Lực kéo } T = A_f f_{tu} = 302,40 \text{ kN}$$

Kiểm tra điều kiện $C=T$: không thỏa mãn.

Chọn lại $c=33$ mm

$$\text{Lực nén } C = 0,85 f_c \beta_1 c b = 304,10 \text{ kN}$$

$$\text{Lực kéo } T = A_f f_{tu} = 302,40 \text{ kN}$$

Kiểm tra điều kiện $C=T$, đạt yêu cầu.

- Tính sức kháng uốn theo công thức (8):

$$M_n = 4 \times 120 \times 630 \left(554 - \frac{0,76 \times 33,00}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_n = 163,72 \text{ (kNm)}$$

$$M_r = 0,5 \times 163,72 = 81,86 \text{ (kNm)}$$

b. *Tính theo tiêu chuẩn ACI*

Áp dụng công thức (9), (11):

$$M_n = 0,8 \times 4 \times 120 \times 630 \left(554 - \frac{0,76 \times 88,64}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_n = 125,83 \text{ (kNm)}$$

$$M_r = 0,5 \times 125,88 = 62,91 \text{ (kNm)}$$

Như vậy có thể thấy tính toán sức kháng uốn M_r theo nguyên lý cân bằng biến dạng cho giá trị cao hơn so với tính toán gần đúng thiên về an toàn theo tiêu chuẩn ACI. Cách tính này có thể tiết kiệm vật liệu hơn nên được khuyến khích sử dụng trong thực tế.

6. Kết luận và kiến nghị

Thanh FRP có các ưu điểm là trọng lượng nhẹ, cường độ chịu kéo cao và chống ăn mòn tốt hơn so với cốt thép. Tuy nhiên vật liệu FRP không có giai đoạn chảy dẻo nên khi thiết kế cần có hệ số an toàn cao. Hệ số sức kháng uốn cho cấu kiện bê tông cốt thép ϕ bằng 0,90 nhưng đối với kết cấu bê tông cốt thanh FRP ϕ chỉ nằm trong phạm vi từ 0,5÷0,77. Khi thiết kế cần căn cứ vào hàm lượng FRP bố trí trên mặt cắt để có sự lựa chọn hệ số ϕ cho phù hợp.

(Xem tiếp trang 31)

❖ Khi sử dụng SiCr (35 % Cr; 40 % Si) để làm chất hoàn nguyên thì tiêu hao khoảng 590÷680 kg/t sản phẩm (theo [3]).

❖ Khi sử dụng FeSi75 làm chất hoàn nguyên thì tiêu hao khoảng 500 kg/t sản phẩm (tính với điều kiện thí nghiệm tỉ lệ 85 %).

❖ Khi sử dụng Si làm chất hoàn nguyên thì tiêu hao khoảng 430 kg/t sản phẩm (tính với điều kiện thí nghiệm tỉ lệ 85 %).

Đây chỉ là những so sánh về khối lượng sử dụng chất hoàn nguyên; để tính toán được các chỉ tiêu tiêu hao kinh tế kỹ thuật cũng như so sánh được giá thành sản phẩm thì cần phải có những thí nghiệm hoặc sản xuất trong cùng một điều kiện.

5. Kết luận

Với chất hoàn nguyên là FeSi75 và quặng cromit có thành phần như Bảng 1 thì chỉ luyện được FeCr có hàm lượng Cr ≤ 55 %, hàm lượng C trong ferro trong khoảng 1÷2 %.

Với chất hoàn nguyên là Si kim loại và quặng crom như trong Bảng 1 thì luyện được FeCr có hàm lượng Cr ≥ 60 %, hàm lượng C trong ferro còn tương đối cao khoảng 1,5÷2,5 %.

Đây chỉ là những thí nghiệm đánh giá sơ bộ về hai chất hoàn nguyên này trong điều kiện còn chưa đáp ứng được cho công nghệ luyện FeCr thấp. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo tổng hợp kết quả khoa học công nghệ đề tài: "Nghiên cứu hoàn thiện quy trình công nghệ tuyển và sử dụng hợp lý quặng cromit và các khoáng sản đi kèm tổng mỏ cromit Cổ Định-Thanh Hóa". Mã số KC.02.17/06-10.

2. Lê Gia Mô, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, Nghiên cứu công nghệ sản xuất ferosilicocrom từ quặng cromit, Hà nội, 2006.

3. Ngô Trí Phúc, Nguyễn Sơn Lâm, Công nghệ sản xuất ferro, NXB KH&KT, 2006.

Người biên tập: Trần Văn Trạch

SUMMARY

Ferro is an important material of steel and cast iron. From the production of ordinary steel to alloy steel, special steel, special steel ferro are indispensable. In recent years, Vietnam has started producing ferro development. This paper attempts to evaluate the results of FeSi75 and Si metal for reconstituted reaction of chromite ores, and compare these results with results in the literature.

NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT...

(Tiếp theo trang 35)

Các nghiên cứu trong bài báo này đã cho thấy các điểm khác biệt cần lưu ý trong quá trình thiết kế dầm chịu uốn khi thay thế cốt thép bằng thanh FRP chịu lực, đem lại triển vọng sử dụng vật liệu thanh FRP trong điều kiện môi trường dễ bị ăn mòn cao ở Việt Nam. Tuy nhiên cần có các nghiên cứu tiếp theo về sức kháng cắt và độ võng của kết cấu để có thể đưa ra đánh giá đầy đủ về ưu thế của vật liệu thanh polymer FRP so với cốt thép. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ACI Committee 440. Design Concrete Reinforced with FRP Bars - ACI 440.1R-03 Report. ACI, 2003.

2. Bộ Giao thông Vận tải. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05. Nhà xuất bản GTVT, 2005.

3. Japan Society of Civil Engineers (JSCE). Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials. Concrete Engineering Series No. 23, 1997.

4. ISIS. Reinforcing Concrete Structures with Fibre Reinforced Polymers - Design Manual. ISIS, 2007.

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

FRP bars have the advantage of being light weight, high tensile strength and can be used as reinforcing bars in concrete structures in high corrosion environment such as Vietnam.

In design of FRP reinforcing bars for concrete structures, it is important to determine three failure models: compression failure, balanced failure, and tension failure. The moment resistance factor ϕ is only in the range of 0.5 to 0.77, lower than that of steel reinforced concrete structure and selected based on the ratio of FRP in the section.