

Chương 3

TÍNH TOÁN CẦU DẦM

3.1. NGUYÊN LÝ THIẾT KẾ

Trong mỗi tổ hợp tải trọng để tính toán kết cấu có nhiều tải trọng, hiệu ứng của các tải trọng trong tổ hợp sẽ là tổng hiệu ứng của các tải trọng:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i$$

Trong đó:

η_i - hệ số điều chỉnh tải trọng, hệ số có liên quan đến tính dư, tính dèo và tầm quan trọng trong khai thác;

γ_i - hệ số tải trọng, hệ số này phản ánh tính bất ổn định vốn có trong tính toán tải trọng;

Q_i - hiệu ứng của tải trọng, đó có thể là mômen uốn M_i , lực cắt V_i hay ứng suất f_i do tải trọng thứ i sinh ra...

Để tính toán ngoài hiệu ứng của tải trọng còn phải xét đến khả năng làm việc hay sức kháng của kết cấu.

$$R_r = \phi R_n$$

Trong đó:

R_r - sức kháng tính toán;

ϕ - hệ số sức kháng;

R_n - sức kháng danh định là sức kháng khi chưa xét đến hệ số.

Từ đó điều kiện để kết cấu làm việc được là hiệu ứng của tải trọng phải nhỏ hơn hoặc bằng sức kháng của kết cấu:

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (3-1)$$

Trong (3-1) về trái có hệ số của tải trọng còn về phải có hệ số của sức kháng nên tính kết cấu theo nguyên lý trên gọi là phương pháp tính theo hệ số tải trọng và hệ số

sức kháng, phương pháp này được áp dụng ở nước ta từ năm 1978.

Khi ở về trái của vật liệu được tính sức kháng ta có phương pháp tính theo tiêu chuẩn thiết kế.

Trước năm 1978, người ta tính tải trọng thực tế bằng thí nghiệm, sau đó tính sức kháng tổng cộng theo tiêu chuẩn thiết kế, được gọi là tính theo sức kháng.

Cả ba phương pháp đều được áp dụng trong Hoa Kỳ hiện tại. Tuy nhiên, pháp còn tiêu chuẩn sức kháng. Ở Việt Nam vẫn dùng để tính theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng.

3.2. CÁC TRƯỜNG HỢP

Khi thiết kế kết cấu bộ phận được tính theo sức kháng. Về tổng quát, có ba trường hợp:

3.2.1. TTGH CƯỜNG ĐỘ

TTGH cường độ định cục bộ và toàn cục.

3.2.2. TTGH SỬ DỤNG

TTGH sử dụng định dạng và độ bền.

3.2.3. TTGH MÔI TRƯỜNG

TTGH môi trường định với số chu kỳ tải trọng.

TTGH phá hoại định theo tiêu chuẩn vật liệu.

sức kháng, phương pháp tính này được dùng trong thiết kế cầu trên đường ô tô của nước ta từ năm 2005 cho đến nay.

Khi ở về trái còn hệ số tải trọng nhưng ở về phải thay bằng cường độ tính toán của vật liệu được xác định bằng thí nghiệm và phân tích mà không còn hệ số sức kháng ta có phương pháp tính toán theo hệ số tải trọng, đó là phương pháp tính trong tiêu chuẩn thiết kế 22TCN 18-79 hiện dùng để thiết kế cho cầu đường sắt ở nước ta.

Trước năm 1979 về trái của (3-1) được tính là tổng các ứng suất lớn nhất do các tải trọng thực tế tác dụng lên kết cấu cầu còn về phải là một ứng suất cho phép được xác định bằng thí nghiệm có xét đến hệ số an toàn chung và điều kiện thiết kế là ứng suất tổng cộng thực tế nhỏ hơn ứng suất cho phép, do đó phương pháp tính toán này được gọi là tính theo ứng suất cho phép.

Cả ba phương pháp tính toán trên hiện còn được dùng để thiết kế cầu, thí dụ ở Hoa Kỳ hiện tại tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt AREMA tính theo ứng suất cho phép còn tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ AASHTO tính theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng. Ở nước ta, tiêu chuẩn thiết kế 22TCN 18-79 tính theo hệ số tải trọng vẫn dùng để thiết kế cầu đường sắt còn thiết kế cầu đường bộ từ năm 2005 cho đến nay tính theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng.

3.2. CÁC TRẠNG THÁI GIỚI HẠN (TTGH)

Khi thiết kế cần phải xét đến các TTGH đó là trạng thái mà nếu vượt qua nó thì bộ phận được thiết kế không còn thỏa mãn các quy định đã dựa vào để thiết kế.

Về tổng quát có bốn TTGH.

3.2.1. TTGH cường độ

TTGH cường độ được xét đến để đảm bảo điều kiện cường độ (hay độ bền), ổn định cục bộ và ổn định tổng thể để cầu khai thác an toàn trong tuổi thọ thiết kế.

3.2.2. TTGH sử dụng

TTGH sử dụng được xét đến như một biện pháp nhằm hạn chế ứng suất, biến dạng và độ mở rộng vết nứt trong điều kiện sử dụng bình thường.

3.2.3. TTGH mỏi và phá hoại giòn (nứt, gãy)

TTGH mỏi xét đến nhằm hạn chế biên độ ứng suất do một xe tải thiết kế gây ra với số chu kỳ và biên độ ứng suất dự kiến.

TTGH phá hoại giòn xét đến như một yêu cầu về độ bền của vật liệu theo tiêu chuẩn vật liệu.

3.2.4. TTGH đặc biệt

TTGH đặc biệt xét đến nhằm đảm bảo sự tồn tại của cầu khi động đất, bão lũ hoặc bị va xô của tàu, xe cộ.

Trong bốn TTGH trên thì TTGH cường độ được sử dụng để tính toán nhiều nhất vì không một kết cấu nào không cần tính ở TTGH này. Một kết cấu chỉ cần tính theo các TTGH cần thiết, thí dụ dầm thép thì không cần tính độ mở rộng vết nứt hay dầm cầu nói chung không cần tính xô của tàu thuyền.

3.3. CÁC TỔ HỢP TẢI TRỌNG VÀ HỆ SỐ TẢI TRỌNG

Ở phần trên đã xét đến bốn TTGH, trong tính toán các kết cấu phải thỏa mãn (3-1) cho các tổ hợp tải trọng tương ứng, tùy theo tổ hợp tải trọng mà các TTGH ở trên còn được phân tích thành các TTGH chi tiết như sau:

- TTGH cường độ I: tính theo tổ hợp tải trọng cơ bản (tải trọng thường xuyên, hoạt tải) nhưng không xét đến tải trọng gió.

- TTGH cường độ II: tổ hợp để tính cho các xe đặc biệt hoặc đánh giá cầu để cấp phép cho các xe xin cấp phép, trong trường hợp này không xét đến tải trọng gió.

- TTGH cường độ III: tổ hợp trên cầu không có xe nhưng có gió với vận tốc lớn hơn 25m/s.

- TTGH cường độ IV: tổ hợp tải trọng liên quan đến tỷ lệ giữa hiệu ứng của tĩnh tải và hoạt tải trong kết cấu phần trên rất lớn. Với cầu thép không cần xét TTGH này.

- TTGH cường độ V: tổ hợp có hoạt tải là xe tiêu chuẩn và có gió với vận tốc 25m/s.

- TTGH sử dụng I: tổ hợp liên quan đến khai thác bình thường của cầu với vận tốc gió 25m/s. Tất cả các tải trọng đều lấy theo giá trị danh định.

- TTGH sử dụng II: tổ hợp để kiểm tra giới hạn chảy của kết cấu thép và trượt của mối nối bulông cường độ cao chịu ma sát tới hạn do hoạt tải.

- TTGH sử dụng III: tổ hợp tải trọng liên quan đến phân tích kéo dọc trên kết cấu bê tông cốt thép dự ứng lực và kiểm soát nứt của dầm bê tông thi công phân đoạn.

- TTGH sử dụng IV: tổ hợp tải trọng xét đến kéo trong cột bê tông cốt thép dự ứng lực để kiểm tra nứt.

- TTGH môi I: tổ hợp tải trọng gây mỏi và đứt gãy giòn với tuổi thọ chịu mỏi là vô hạn.

- TTGH môi II: tổ hợp tải trọng gây mỏi và đứt gãy giòn với tuổi thọ chịu mỏi là hữu hạn.

- TTGH đặc biệt I: tổ hợp tải trọng có xét động đất (EQ).

- TTGH đặc biệt II: tổ hợp tải trọng có lực va xô của tàu thuyền và xe cộ, lũ lụt.

Các tổ hợp

- Tải trọng

CR – hiệu t

EH – hiệu t

DC – tải tr

DW – tải tr

- Tải trọng

BR – lực h

CE – lực ly

CT – lực va

CV – lực va

EQ – tải tr

FR – lực m

IM – lực do

LL – hoạt t

LS – hoạt t

PL – tải tr

SE – lực do

TG – hiệu t

TU – hiệu t

WL – tải tr

WS – tải tr

Tổ hợp	DC
tải	DD
trọng	DW
Trạng	EH
thái	EV
giới	ES
Cường	γ_n
độ I	
Cường	γ_n
độ II	

Các tổ hợp tải trọng ứng với các TTGH cho trong Bảng 3-1 trong đó:

- Tải trọng thường xuyên có:

CR – hiệu ứng do từ biến.

EH – hiệu ứng do co ngót.

DC – tải trọng bản thân kết cấu và thiết bị phụ trợ.

DW – tải trọng lớp phủ và các tiện ích công cộng.

- Tải trọng nhất thời có:

BR – lực hãm xe.

CE – lực ly tâm.

CT – lực va xe.

CV – lực va tàu thủy.

EQ – tải trọng động đất.

FR – lực ma sát.

IM – lực do xung kích của xe.

LL – hoạt tải.

LS – hoạt tải chất thêm.

PL – tải trọng người đi.

SE – lực do lún.

TG – hiệu ứng do chênh lệch nhiệt độ (gradien nhiệt).

TU – hiệu ứng do biến đổi nhiệt độ đều.

WL – tải trọng gió lên hoạt tải.

WS – tải trọng gió lên kết cấu.

Bảng 3-1. Tổ hợp tải trọng và hệ số tải trọng

Tổ hợp tải trọng	DC	LL	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Cùng một lúc chỉ dùng một trong các tải trọng		
	DD	IM					CR					
	DW	BR					SH					
Trạng thái giới	EH	PL								EQ	CT	CV
	EV	LS										
	ES	EL										
Cường độ I	γ_n	1,75	1,00	-	-	1,00	0,5/1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Cường độ II	γ_n	-	1,00	1,40	-	1,00	0,5/1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-

Bảng 3-1 (tiếp theo)

Tổ hợp tải trọng	DC DD DW	LL IM BR	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Cùng một lúc chỉ dùng một trong các tải trọng		
Trạng thái giới hạn	EH EV ES	PL LS EL								EQ	CT	CV
Cường độ III	γ_n	1,35	1,00	0,4	1,00	1,00	0,5/1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Đặc biệt	γ_n	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	1,00	1,00
Sử dụng	γ_n	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,0/1,20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Mỗi chi có LL, IM & CE	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Các hệ số tải trọng phải chọn sao cho tổng hiệu ứng tính toán là cực hạn. Đối với mỗi tổ hợp tải trọng phải xét cả trị số cực hạn âm và trị số cực hạn dương.

Trong tổ hợp tải trọng nếu tác dụng của một tải trọng làm giảm giá trị tổng cộng thì phải lấy giá trị nhỏ nhất của tải trọng đó.

Hệ số tải trọng của tải trọng thường xuyên lấy theo Bảng 3-2.

Bảng 3-2. Hệ số tải trọng cho tải trọng thường xuyên

Loại tải trọng	Hệ số tải trọng	
	Lớn nhất	Nhỏ nhất
DC: cấu kiện và thiết bị phụ	1,25	0,90
DW: lớp phủ mặt cầu và các tiện ích	1,50	0,65

- Nếu không có thông tin riêng, hệ số tải trọng của chênh lệch nhiệt độ (γ_{TG}) có thể lấy như sau:

+ $\gamma_{TG} = 0$ trong TTGH cường độ và TTGH đặc biệt.

+ $\gamma_{TG} = 1,0$ ở TTGH sử dụng khi không xét hoạt tải.

+ $\gamma_{TG} = 0,5$ ở TTGH sử dụng khi có xét hoạt tải.

ếp theo)

Chỉ số chỉ định các loại	
CV	
1,00	

Đối với

ong cộng

nhất

90

65

(γ_{TG}) có

độ

- Hệ số tải trong khi bị lún (γ_{SE}) cần được xem xét cho từng trường hợp cụ thể, khi không có quy định riêng có thể lấy $\gamma_{SE} = 1,0$. Trong thiết kế phải áp dụng tổ hợp có lún và cả khi không lún.

- Hệ số tải trọng cho tải trọng thường xuyên (γ_P) do tích lũy biến dạng cho cầu liên hợp:

+ Hiệu ứng thứ cấp do dự ứng lực kéo sau ở TTGH cường độ và dự ứng lực tổng cộng ở TTGH sử dụng $\gamma_{PS} = 1,0$.

+ Hiệu ứng do từ biến $\gamma_{CR} = 1,0$.

+ Hiệu ứng do co ngót $\gamma_{SH} = 1,0$.

- Khi bản bê tông dự ứng lực được ghép với dầm thép thì các hiệu ứng dự ứng lực sau đây phải xét đến như tải trọng thi công (EL):

+ Ghép bản mặt cầu đúc sẵn căng trước trước khi bản liên hợp với dầm thép phải xét ma sát giữa phần bản bê tông và dầm thép.

+ Hiệu ứng do từ biến và co ngót trong bê tông.

+ Hiệu ứng Poisson (bê tông bị nén do dự ứng lực nên nở ngang).

Trong trường hợp này hệ số tải trọng lấy theo tải trọng thi công.

3.4. TẢI TRỌNG THƯỜNG XUYỀN DC VÀ DW

DC và DW là tính tải, để tính DC và DW cần biết khối lượng riêng của vật liệu. Khối lượng riêng của vật liệu lấy theo Bảng 3-3.

Bảng 3-3. Khối lượng riêng một số vật liệu

Vật liệu		Khối lượng riêng, ($\frac{kg}{m^3}$)
Hợp kim nhôm		2800
Lớp phủ bê tông asphalt		2250
Thép đúc		7200
Bê tông	Nhẹ	1775
	Cát nhẹ	1925
	Thường với $f_c' \leq 35MPa$	2320
	Thường với $35MPa \leq f_c' \leq 105MPa$	$2240 + 2,29 f_c'$
Thép		7850

3.5. HOẠT TẢI VÀ CÁC TẢI TRỌNG KHÁC

Hoạt tải HL93 là một tổ hợp của xe tải thiết kế hoặc xe hai trục thiết kế và tải trọng làn thiết kế.

3.5.1. Xe tải thiết kế

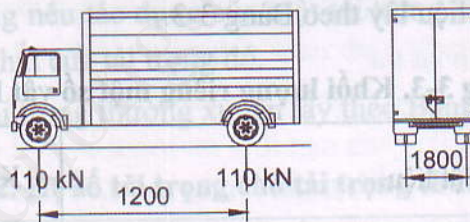
Xe tải thiết kế gồm có 3 trục có:

- Tải trọng trục trước 35kN;
- Trục giữa và trục sau, mỗi trục 145kN;
- Khoảng cách từ trục trước đến trục giữa 4,30m;
- Khoảng cách từ trục giữa đến trục sau 4,30m - 9m;
- Khoảng cách tim hai bánh xe theo chiều ngang 1,80m.



Hình 3.1. Xe tải thiết kế

3.5.2. Xe hai trục thiết kế



Hình 3.2. Xe hai trục thiết kế

Xe hai trục thiết kế gồm có:

- Tải trọng mỗi trục 110kN;
- Khoảng cách trục 1,20m;
- Khoảng cách tim hai bánh xe theo chiều ngang 1,80m.

3.5.3. Tải trọng làn

Tải trọng làn thiết kế là tải trọng phân bố đều với cường độ 9,3kN/m theo chiều dọc, theo chiều ngang tải trọng làn được giả thiết là phân bố đều trên chiều rộng 3m. Khi tính toán không xét lực xung kích cho tải trọng làn.

3.5.4. Diện

Diện tích

chữ nhật có

Áp lực lớn

tục, áp lực

đoạn thì phá

tăng theo tỷ

Khi thiết

bánh trước d

250mm.

3.5.5. Các

Hiệu ứng

- Hiệu ứng

- Hiệu ứng

ứng của tải t

- Với môi

các nhịp và

thiết kế có k

trọng làn, kh

Các trục b

ề rộng 3m c

Xe tải thi

bánh xe nào

+ Khi thi

+ Khi thi

- Chất tải

Nếu có y

hơn của:

+ Kết quả

+ Kết quả

3.5.6. Tải

Tải trọng

9m, khi tính

3.5.4. Diện tích tiếp xúc bánh xe

Diện tích tiếp xúc của bánh xe có một lớp hoặc hai lớp được giả thiết là một hình chữ nhật có chiều rộng 510mm và chiều dài 250mm.

Áp lực lớp giả thiết phân bố đều trên diện tích tiếp xúc. Nếu bề mặt tiếp xúc liên tục, áp lực lớp phân bố đều trên diện tích tiếp xúc quy định, nếu bề mặt tiếp xúc gián đoạn thì phân bố đều trên diện tích thực tế trong phạm vi vệt bánh xe với áp suất tăng theo tỷ số của diện tích quy định trên diện tích thực tế.

Khi thiết kế bản mặt cầu trục hướng và lớp phủ mặt cầu của bản trục hướng các bánh trước được giả định là một hình chữ nhật đơn, chiều rộng và chiều dài đều là 250mm.

3.5.5. Cách xếp hoạt tải để tính toán

Hiệu ứng lớn nhất phải lấy theo giá trị lớn hơn trong các trường hợp sau:

- Hiệu ứng của xe hai trục thiết kế tổ hợp với hiệu ứng của tải trọng làn.
- Hiệu ứng của một xe tải thiết kế có khoảng cách hai trục sau thay đổi với hiệu ứng của tải trọng làn.
- Với mômen âm giữa các điểm uốn ngược chiều khi chịu tải trọng rải đều trên các nhịp và chỉ đối với phản lực gối giữa thì lấy bằng 90% hiệu ứng của hai xe tải thiết kế có khoảng cách từ trục trước xe này đến trục sau xe kia 15m tổ hợp với tải trọng làn, khoảng cách giữa hai trục 145kN của mỗi xe lấy bằng 4,30m.

Các trục bánh xe không gây ra hiệu ứng lớn nhất phải bỏ qua. Cả tải trọng làn và bề rộng 3m của mỗi tải trọng làn cũng phải bố trí sao cho gây ra hiệu ứng lớn nhất.

Xe tải thiết kế và xe hai trục thiết kế phải bố trí trên chiều ngang cầu sao cho bánh xe nào cũng không gần hơn:

- + Khi thiết kế bản hẫng: 300mm tính từ mép đá vĩa hay lan can.
- + Khi thiết kế các bộ phận khác: 600mm tính từ mép làn xe thiết kế.
- Chất tải để đánh giá độ võng do hoạt tải:

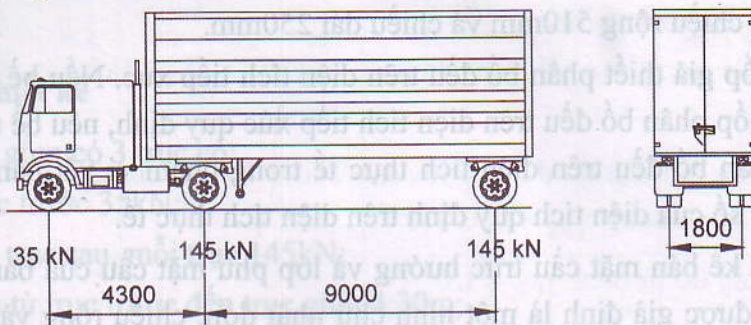
Nếu có yêu cầu đánh giá độ võng do hoạt tải thì độ võng cần lấy theo trị số lớn hơn của:

- + Kết quả tính cho một xe tải thiết kế.
- + Kết quả tính cho 25% của xe tải thiết kế cùng với tải trọng làn.

3.5.6. Tải trọng để tính mỗi

Tải trọng để tính mỗi là một xe tải thiết kế có khoảng cách giữa hai trục 145kN là 9m, khi tính mỗi phải áp dụng lực xung kích.

Đối với mặt cầu của bản trực hướng và lớp phủ mặt cầu của bản trực hướng khi thiết kế phải sử dụng mô hình xe tải thiết kế như trên Hình 3.3.



Hình 3.3. Xe tải thiết kế để tính mỏi

3.5.7. Tải trọng bộ hành

Khi bề rộng đường bộ hành lớn hơn 600mm phải lấy tải trọng người đi bộ là 3.10^{-3} MPa và phải tính đồng thời với hoạt tải xe.

Đối với cầu chỉ dành cho người đi bộ và/hoặc đi xe đạp tải trọng thiết kế là 4.10^{-3} MPa. Khi xe có thể đi vào lề bộ hành thì tải trọng trên lề bộ hành không xét đồng thời với tải trọng xe nhưng khi đó có thể xếp xe ra lề bộ hành.

3.5.8. Lực xung kích

Tác động của xe tải thiết kế hay xe hai trục thiết kế không kể lực ly tâm và lực hãm phải được tăng thêm một tỷ lệ phần trăm cho lực xung kích và được lấy bằng $(1+IM/100)$, IM cho trong Bảng 3-4.

Bảng 3-4. Tỷ lệ tăng tải trọng do xung kích

Cầu kiện	IM
Mỗi nối bản mặt cầu:	
Tất cả các TTGH	75%
Tất cả các cầu kiện khác:	
TTGH mỏi và đứt gãy	15%
Tất cả các TTGH khác	33%

3.5.9. Lực ly tâm CE

Lực ly tâm của hoạt tải lấy bằng tích số của các trọng lượng trục của xe tải hay xe hai trục với hệ số C.

Trong đó:

f - lấy b

v - tốc đ

g - gia t

R - bán k

Lực ly tâm
đường truyền

3.5.10. Lực hãm

Lực hãm x
+ 25% trọ
+ 5% của
tải trọng làn.

Lực hãm c
hãm xem nh
hiệu ứng lớn

3.5.11. Lực va

Nếu kết cấ
Lực va củ
dụng theo bả

3.5.12. Tải trọng

Ở đây chỉ
cầu nhịp lớn
Để tính tải

Trong đó:

v_B - tốc

vùng

S - hệ số

uống khi

$$C = f \left(\frac{v^2}{gR} \right) \quad (3-2)$$

Trong đó:

f - lấy bằng 1,0 cho mỗi, $\frac{4}{3}$ cho các tổ hợp tải trọng khác;

v - tốc độ thiết kế;

g - gia tốc trọng trường;

R - bán kính cong của làn xe.

Lực ly tâm tác dụng theo phương nằm ngang trên mặt đường 1,80m. Phải có một đường truyền hướng tâm tới kết cấu bên dưới.

3.5.10. Lực hãm BR

Lực hãm xe phải lấy giá trị lớn hơn của:

+ 25% trọng lượng các trục xe của xe tải hoặc xe hai trục.

+ 5% của xe tải thiết kế cộng với tải trọng làn hoặc 5% của xe hai trục cộng với tải trọng làn.

Lực hãm đặt trong tất cả các làn thiết kế và coi như xe đi cùng một chiều. Lực hãm xem như tác dụng nằm ngang trên mặt đường 1,80m theo chiều dọc để gây ra hiệu ứng lớn nhất.

3.5.11. Lực va của xe CT

Nếu kết cấu không được bảo vệ đúng quy định thì phải tính lực va.

Lực va của xe cộ và tàu hỏa vào kết cấu: là một lực tĩnh tương đương 1800kN tác dụng theo bất kỳ hướng nào trong mặt phẳng nằm ngang cách mặt đất 1,20m.

3.5.12. Tải trọng gió: WL và WS

Ở đây chỉ xét tác dụng gió nằm ngang tác dụng lên các cầu thông thường, với kết cấu nhịp lớn hay cầu dây văng, dây văng cần có những nghiên cứu riêng.

Để tính tải trọng gió trước hết cần tính tốc độ gió thiết kế (v):

$$v = v_B S \quad (3-3)$$

Trong đó:

v_B - tốc độ gió giật cơ bản trong 3 giây với chu kỳ xuất hiện 100 năm lấy theo vùng tính gió của Việt Nam (Bảng 3-5).

S - hệ số điều chỉnh theo vùng đất chịu gió và cao độ mặt cầu (Bảng 3-6).

đi bộ là

hiết kế là

không xét

im và lực

lấy bằng

tải hay xe

Bảng 3-5. Vận tốc gió v_B cho các vùng gió ở Việt Nam

Vùng tính gió theo TCVN 2737-1995	v_B (m/s)
I	38
II	45
III	53
IV	59

Bảng 3-6. Hệ số điều chỉnh S

Độ cao của mặt cầu trên mặt đất khu vực xung quanh hay trên mặt nước (m)	Khu vực lộ thiên hay mặt nước thoáng	Khu vực có rừng hay có nhà cửa với cây cối, nhà cao tối đa khoảng 10m	Khu vực có nhà cửa với đa số nhà cao trên 10m
10	1,09	1,00	0,81
20	1,14	1,06	0,89
30	1,17	1,10	0,94
40	1,20	1,13	0,98
50	1,21	1,16	1,01

3.5.13. Tải trọng gió tác dụng lên công trình**a) Tải trọng gió ngang**

Tải trọng gió ngang lấy theo phương nằm ngang và đặt ở trọng tâm của diện tích chịu gió

$$P_D = 0,0006v^2 A_t C_d \geq 1,8A_t \text{ (kN)} \quad (3-4)$$

Trong đó:

v - tốc độ gió thiết kế lấy theo (3-3);

A_t - diện tích chắn gió của kết cấu;

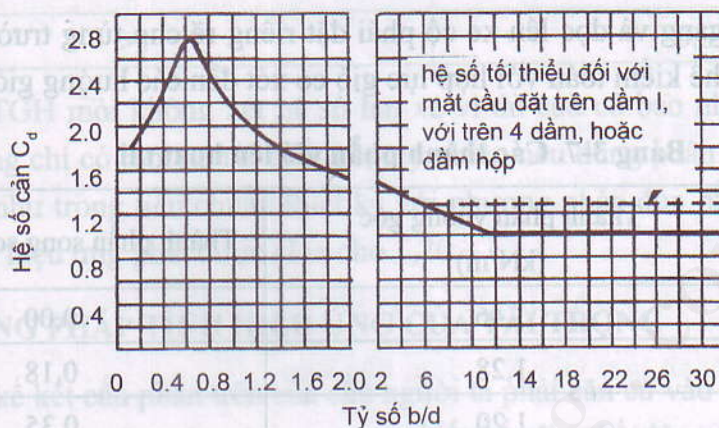
C_d - hệ số cản, lấy theo hình 3.4.

- Diện tích chắn gió A_t là diện tích kín chiếu lên mặt trước vuông góc với hướng gió với các điều kiện sau:

- Với kết cấu phần trên có lan can đặc, diện tích kết cấu phần trên bao gồm diện tích lan can kín hứng gió, không xét đến ảnh hưởng của lan can không hứng gió.

- Với kết cấu phần trên có lan can hở khi đó phải xét đến lan can hứng gió và không hứng gió từng loại riêng nếu có lớn hơn 2 lan can chỉ xét những lan can nào có ảnh hưởng lớn nhất về phương diện không che chắn.

- Với kết cấu nhịp kiểu giàn lực gió được tính cho từng bộ phận một cách riêng rẽ cả nơi hứng gió và nơi khuất gió.



Hình 3.4. Hệ số cản C_d dùng cho kết cấu phần trên có mặt hứng gió đặc

- Hệ số cản C_d lấy như sau:

+ Với kết cấu phần trên có mặt trước kín khi kết cấu quy đổi có các mép cạnh dốc đứng và không có góc vuốt ở đáy đáng kể về khí động lấy C_d theo Hình 3.4, trong đó:

- b - chiều rộng toàn bộ cầu giữa các bề mặt lan can.
- d - chiều cao kết cấu phần trên bao gồm cả lan can kín nếu có.

+ Khi kết cấu phần trên là giàn, lan can và kết cấu phần dưới lực gió đối với từng phần với C_d lấy theo tiêu chuẩn Việt Nam 2737-1995.

+ Với kết cấu phần trên khác phải xác định C_d trong hầm thí nghiệm gió.

b) Tải trọng gió dọc

Với kết cấu phần trên là giàn hay các dạng kết cấu khác có một bề mặt cản gió lớn hơn song song với tim dọc kết cấu thì phải xét tải trọng gió dọc, cách tính tương tự như tính gió ngang.

Với kết cấu phần trên có mặt trước kín tải trọng gió dọc lấy bằng 0,25 tải trọng gió ngang.

Tải trọng gió dọc và ngang phải đặt lên kết cấu cho từng trường hợp đặt tải riêng rẽ, nếu thấy thích hợp có thể tính toán bằng hợp lực của gió có xét ảnh hưởng của các hướng gió trung gian (không vuông góc).

3.5.14. Tải trọng gió lên xe cộ WL

Áp lực gió lên xe cộ thể hiện bằng các dải lực có thể di động và gián đoạn với cường độ 1,46kN/m tác dụng theo phương vuông góc ở cao hơn mặt đường 1,8m.

Khi gió tác dụng lên xe cộ không vuông góc với kết cấu, thành phần vuông góc và song song với hoạt tải tác dụng lên hoạt tải lấy theo Bảng 3.7, trong đó góc chéo là góc hợp bởi hai phương vuông góc.

Tác dụng gió ngang và dọc lên xe cộ phải đặt riêng rẽ cho từng trường hợp, nếu thấy thích hợp có thể kiểm toán với hợp lực gió có xét đến các hướng gió trung gian.

Bảng 3-7. Các thành phần gió lên hoạt tải

Góc chéo (độ)	Thành phần vuông góc (kN/m)	Thành phần song song (kN/m)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

3.5.15. Tải trọng gió thẳng đứng P_v

Tải trọng gió thẳng đứng tác dụng tại trọng tâm của diện tích chắn gió với cường độ:

$$P_v = 0,00045v^2 A_v \quad (3-5)$$

Trong đó:

v - tốc độ gió thiết kế, lấy theo công thức (3-3);

A_v - diện tích phẳng của mặt cầu.

Chỉ tính tải trọng gió này trong TTGH cường độ III và TTGH sử dụng IV, không liên quan đến gió tác dụng lên xe cộ và chỉ lấy hướng gió vuông góc với trục dọc cầu.

3.5.16. Hệ số làn xe m

Hệ số làn xe để xét đến xác suất có mặt đồng thời đầy đủ hoạt tải trên số làn xe chịu tải. Có thể lấy hệ số làn xe như trong Bảng 3-8.

Khi có xét tải trọng trên đường bộ hành, lề bộ hành có thể xác định như một làn xe đặt tải.

Bảng 3-8. Hệ số làn m

Số làn chất tải	Hệ số làn (m)
1	1,20
2	1,00
3	0,85
>3	0,65

Trong TTGH mỗi không xét hệ số làn xe vì dù cầu có bao nhiêu làn thì khi xét đến mỗi cũng chỉ có một xe tải thiết kế, tuy nhiên nếu dùng phân phối gần đúng của một làn xe như trong tiêu chuẩn thiết kế với phương pháp đòn bẩy và phương pháp hình học thì hiệu ứng phải được chia cho 1,20.

3.6. PHƯƠNG PHÁP TÍNH HIỆU ỨNG CỦA TẢI TRỌNG

Để thiết kế kết cấu phần trên của cầu người ta phải căn cứ vào các số liệu đầu vào như mặt cắt ngang sông, lưu lượng nước thiết kế, địa chất lòng sông, lưu lượng xe qua cầu, điều kiện thi công... và tiêu chuẩn kỹ thuật của tuyến để lựa chọn những phương án cầu, sau khi tính toán, so sánh phương án sẽ có một phương án để tiến hành thiết kế kỹ thuật.

Tính toán thiết kế là tính hiệu ứng của các tải trọng, chẳng hạn mômen uốn, lực cắt, lực dọc... do tải trọng sinh ra và tính sức kháng của kết cấu, chẳng hạn khả năng chịu uốn, chịu cắt, hay chịu lực dọc của kết cấu nhằm thỏa mãn điều kiện công thức (3-1).

Tính toán hiệu ứng của tải trọng có thể dùng mô hình không gian hoặc phẳng, dù tính theo mô hình nào cũng phải sử dụng các chương trình tính toán đã có sẵn đảm bảo tính toán nhanh chóng và tiết kiệm sức lao động của con người. Tiêu chuẩn thiết kế hiện hành cho phép sử dụng bất kỳ chương trình nào có sẵn để phân tích kết cấu và sử dụng kết quả để thiết kế.

Trong tiêu chuẩn thiết kế cầu trên đường ô tô cho phép dùng phương pháp pháp tính gần đúng, ở đó tải trọng tác dụng lên kết cấu nhịp được phân chia thành tải trọng tác dụng lên từng dầm thông qua hệ số phân bố ngang (g). Hệ số phân bố ngang cho dầm i (g_i) chính là phần tải trọng tác dụng lên kết cấu nhịp phân chia cho dầm i. Mỗi dầm trên kết cấu nhịp có một hệ số phân bố ngang, dầm có hệ số phân bố ngang lớn nhất là dầm bất lợi nhất sẽ được chọn để tính toán thiết kế.

Khi sử dụng hệ số phân bố ngang để tính toán có công thức để tính hiệu ứng Q_1 ở vế trái của công thức (3-1) dưới tác dụng của tải trọng thiết kế HL93 là:

$$Q_i = mg[\Sigma P_i y_i (1 + IM) + qw] \quad (3-6)$$

Trong đó:

- g - hệ số phân bố ngang;
- m - hệ số làn xe, trường hợp trong hệ số phân bố ngang (g) đã chứa hệ số này thì trong công thức (3-6) sẽ không còn hệ số làn xe m;
- $\Sigma P_i y_i$ - hiệu ứng của xe thiết kế do xe tải thiết kế hay xe hai trục thiết kế tùy theo hiệu ứng nào lớn hơn;
- qw - hiệu ứng của tải trọng làn;
- (1+IM) - hệ số xung kích của hoạt tải, chỉ áp dụng hệ số này cho xe tải thiết kế, xe hai trục thiết kế, không áp dụng cho tải trọng làn.

3.7. KHÁI NIỆM TÍNH TOÁN DẦM LIÊN HỢP

3.7.1. Các giai đoạn làm việc của dầm liên hợp

Dầm liên hợp làm việc theo hai giai đoạn:

- Giai đoạn I: Ở giai đoạn I dầm thép và hệ liên kết đã lao lắp vào vị trí, đã đổ hoặc lắp ghép bản mặt cầu nhưng bê tông bản hoặc bê tông lấp hồ neo chưa đông cứng, khi đó chỉ có dầm thép làm việc và đặc trưng hình học của dầm thép được ký hiệu là A_t (diện tích mặt cắt dầm thép), x_t (trục trung hòa của mặt cắt dầm thép), I_t (mômen quán tính của mặt cắt dầm thép đối với trục trung hòa x_t), y_t^{II} , y_t^{dI} (khoảng cách từ mép trên và dưới của dầm thép đến trục trung hòa x_t).

Giai đoạn I chỉ có tĩnh tải bao gồm tĩnh tải của dầm thép và hệ liên kết, tĩnh tải của bản bê tông, ký hiệu DC_1 là tĩnh tải danh định hay tĩnh tải chưa xét hệ số giai đoạn I.

- Giai đoạn II: Bê tông bản mặt cầu đã đông cứng tức là mặt cắt đã liên hợp, bê tông bản mặt cầu đã tham gia làm việc với dầm chủ, các đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp có A_{td} (diện tích tính đối), x_{td} (trục trung hòa của mặt cắt liên hợp), I_{td} (mômen quán tính của diện tích tính đối đối với trục x_{td}), y_t^{dII} , y_t^{tII} , y_b^{dII} , y_b^{tII} (khoảng cách từ mép dưới và trên của dầm thép, mép dưới và trên của bản bê tông đến trục x_{td}).

Tải trọng giai đoạn II gồm có tĩnh tải các phần thi công sau khi bản làm việc liên hợp như lớp chống thấm, lớp phủ mặt cầu, lan can... gọi là tĩnh tải giai đoạn II (DC_2 và DW) và hoạt tải cũng như tải trọng khác như co ngót, nhiệt độ...

Trong các
đoạn II, co
tải, nhiệt độ
với tải trọng
đến từ biến

3.7.2. Bề

Chiều rộng
rộng có hiệu
phần 4):

- Đối với
nghĩa là khi
bằng khoảng
- Đối với
cộng với toàn

3.7.3. M

Khi chịu
hợp này khi
đôi n là tỷ
bê tông (E_b)

Trong đó:

Trong c

W_c - k

f'_c - c

K_1 - h

Khi chịu

số mô đun c

(3-6)

Trong các tải trọng giai đoạn II có tải trọng tác dụng lâu dài như tĩnh tải giai đoạn II, co ngót... nhưng cũng có những tải trọng tác dụng ngắn hạn như hoạt tải, nhiệt độ ... Cần thiết phải phân tích thành tải trọng dài hạn và ngắn hạn vì với tải trọng dài hạn phải xét với từ biến còn tải trọng ngắn hạn không cần xét đến từ biến.

3.7.2. Bề rộng cánh bê tông tham gia làm việc với dầm chủ

Chiều rộng bản cánh bê tông tham gia làm việc với dầm chủ được gọi là bề rộng có hiệu lấy như sau (trừ các trường hợp đặc biệt như quy định ở điều 6.2.6 phần 4):

- Đối với dầm trong bằng nửa khoảng cách giữa tim các dầm về mỗi bên, có nghĩa là khi khoảng cách tim các dầm ở hai bên bằng nhau thì bề rộng có hiệu đúng bằng khoảng cách tim hai dầm.

- Đối với dầm biên bề rộng có hiệu sẽ bằng nửa khoảng cách đến tim dầm trong cộng với toàn bộ chiều rộng phần hẫng của bản mặt cầu.

3.7.3. Mặt cắt liên hợp ngắn hạn và dài hạn

Khi chịu tải trọng ngắn hạn không cần xét đến từ biến của bê tông, trong trường hợp này khi tính toán để đổi từ bê tông sang thép hoặc ngược lại dùng hệ số chuyển đổi n là tỷ số giữa mô đun đàn hồi của dầm thép (E_t) với mô đun đàn hồi của bản bê tông (E_b)

$$n = \frac{E_t}{E_b} \quad (3-7)$$

Trong đó:

$$E_t = 200000 \text{ MPa}$$
$$E_b = 0,0017K_1W_c^2f_c'^{0,33} \quad (3-8)$$

Trong công thức (3-8):

W_c - khối lượng riêng của bê tông lấy theo Bảng 3.3.

f_c' - cường độ chịu nén của bê tông.

K_1 - hệ số hiệu chỉnh nguồn cốt liệu; $K_1 = 1$ trừ khi xác định bằng thực nghiệm.

Khi chịu tải trọng dài hạn phải xét đến từ biến của bê tông, khi đó phải sử dụng tỷ số mô đun dài hạn $n' = 3n$.

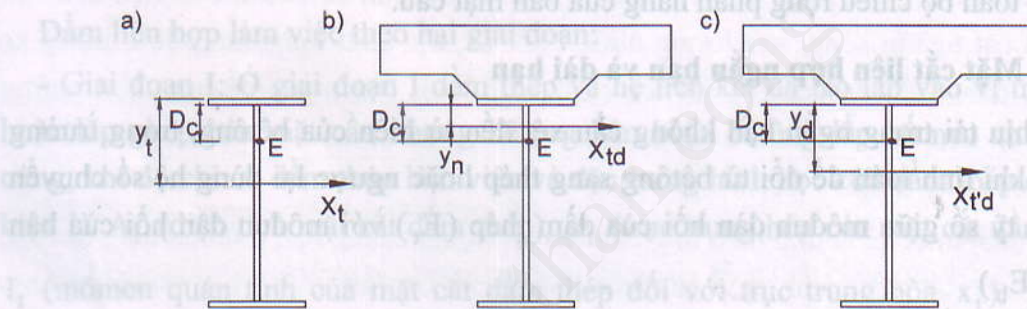
3.8. CHIỀU CAO CHỊU NÉN CỦA BỤNG DÀM

Dầm chịu uốn dù là mômen uốn dương hay mômen uốn âm, dù là vật liệu còn làm việc trong giai đoạn đàn hồi hay dẻo trên mỗi mặt cắt dầm cũng có vùng chịu kéo và vùng chịu nén, chiều cao của bụng dầm trong vùng chịu nén được gọi là chiều cao chịu nén của bụng dầm.

3.8.1. Vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi

Chiều cao chịu nén của bụng dầm trong giới hạn đàn hồi (D_c) là chiều cao bụng dầm mà trên đó tổng đại số của ứng suất trong mặt cắt thép, ứng suất trong mặt cắt liên hợp ngắn hạn và ứng suất trong mặt cắt liên hợp dài hạn do tĩnh tải và hoạt tải kể cả xung kích là ứng suất nén.

- Mặt cắt mômen dương. Giả sử điểm có ứng suất tổng cộng bằng không là điểm E khi đó chiều cao chịu nén của bản bụng D_c là chiều cao từ mép dưới cánh trên đến E (Hình 3-5):



Hình 3.5. Sơ đồ tính D_c của mặt cắt uốn dương

+ Ứng suất tại E do tĩnh tải giai đoạn I (Hình 3.5a):

$$f_E^I = -\frac{M^I}{I_t}(y_t - D_c)$$

+ Ứng suất tại E do tải trọng ngắn hạn (Hình 3.5b):

$$f_E^n = \frac{M^n}{I_{td}}(D_c - y_n)$$

+ Ứng suất tại E do tĩnh tải giai đoạn II và các tải trọng dài hạn khác nếu có (Hình 3.5c):

$$f_E^d = -\frac{M^d}{I_{td}}(y_d - D_c)$$

Vì D_c là chiều cao bản bụng chịu nén nên tại E ứng suất tổng cộng phải bằng không, từ đó có phương trình:

$$-\frac{M^I}{I_t}(y_i - D_c) + \frac{M^n}{I_{td}}(D_c - y_n) - \frac{M^d}{I'_{td}}(y_d - D_c) = 0 \quad (3-9)$$

Giải phương trình (3-9) có D_c là chiều cao chịu nén của bản bụng.

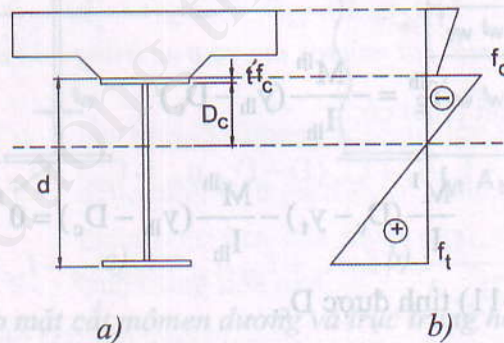
Trong (3-9):

M^I, M^n, M^d - mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn I, tải trọng ngắn hạn có xét xung kích của hoạt tải và mômen uốn do tải trọng dài hạn ở mặt cắt tính toán.

I_t, I_{td}, I'_{td} - mômen quán tính của mặt cắt dầm thép, mặt cắt liên hợp ngắn hạn và mặt cắt liên hợp dài hạn đối với trục trung hòa x_t, x_{td}, x'_{td} của nó.

y_t, y_n, y_d - khoảng cách từ trục trung hòa x_t, x_{td}, x'_{td} đến mép dưới cánh nén của dầm thép.

Tại mặt cắt mômen dương thay cho việc tính D_c theo phương trình 3-9 có thể sử dụng phương trình 3-10 được thiết lập từ biểu đồ ứng suất trên, với b là biểu đồ ứng suất tổng cộng.



Hình 3.6. Sơ đồ tính D_c theo biểu đồ mômen tổng hợp cho mặt cắt uốn dương

Trong đó:

f_c - ứng suất tổng cộng ở mép trên của bản cánh chịu nén do tĩnh tải DC_1 tác dụng lên mặt cắt dầm thép, DC_2 và DW tác dụng lên mặt cắt liên hợp dài hạn, hoạt tải có xét xung kích $LL+IM$ tác dụng lên mặt cắt liên hợp ngắn hạn, f_c có dấu âm.

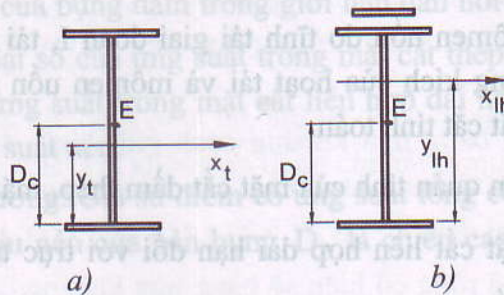
f_t - ứng suất tổng cộng ở mép dưới cánh kéo. Cả trong f_c và f_t không xét ứng suất uốn ngang bản cánh.

Trên hình 3-6b có:

$$\frac{|f_c|}{D_c + t_{f_c}} = \frac{f_t}{d - (D_c + t_{f_c})} \text{ hay } D_c = \left(\frac{|f_c|}{|f_c| + f_t} \right) d - t_{f_c} \quad (3-10)$$

- Mặt cắt mômen âm:

+ Trường hợp chung mặt cắt liên hợp có cốt thép dọc trong cánh dầm thép. Giả sử E là điểm có ứng suất tổng cộng bằng không.



Hình 3.7. Sơ đồ tính D_c của mặt cắt uốn âm

Ứng suất do tĩnh tải giai đoạn I (DC_1) (a):

$$f_E^I = \frac{M^I}{I_t} (D_c - y_t)$$

Ứng suất do tĩnh tải giai đoạn II, hoạt tải LL+IM và các tải trọng khác nếu có (Hình 3.7b).

$$f_E^{lh} = -\frac{M^{lh}}{I_{lh}} (y_{lh} - D_c)$$

Từ đó có:

$$\frac{M^I}{I_t} (D_c - y_t) - \frac{M^{lh}}{I_{lh}} (y_{lh} - D_c) = 0 \quad (3-11)$$

Giải phương trình (3-11) tính được D_c .

Trong (3-11):

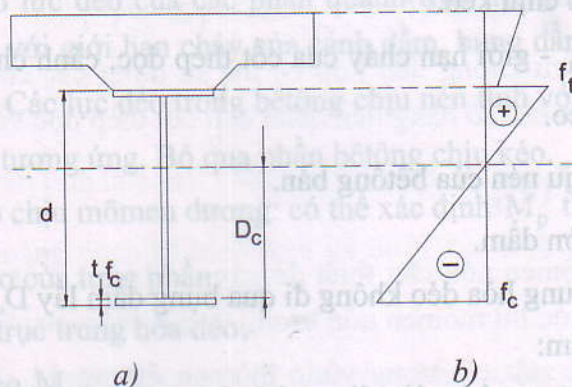
M^I , M^{lh} - mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn I và mômen uốn do tất cả các tải trọng còn lại ở mặt cắt tính toán.

I_t , I_{lh} - mômen quán tính của mặt cắt dầm thép và của mặt cắt gồm dầm thép và cốt thép dọc trong bản.

Trường hợp ở TTGH sử dụng bản bê tông được coi là có hiệu và chịu kéo để tính ứng suất do uốn của mặt cắt liên hợp gây ra trong tổ hợp tải trọng sử dụng II thì D_c tính theo công thức (3-10) trong đó:

f_c - ứng suất tổng cộng ở mép dưới cánh dưới (cánh chịu nén).

f_t - ứng suất tổng cộng ở mép trên cánh trên (cánh chịu kéo).

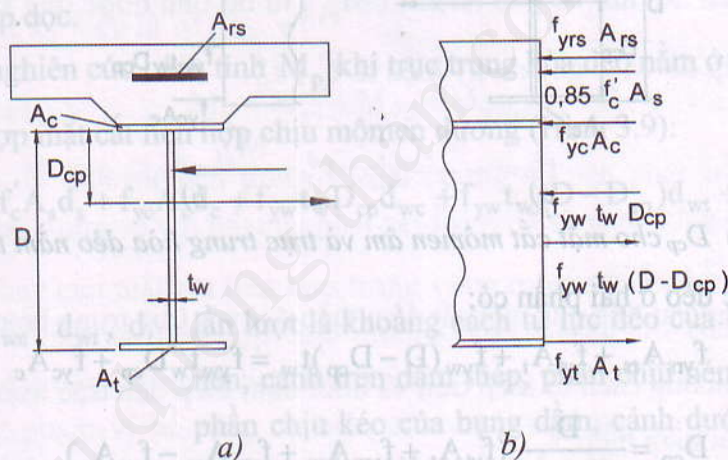


Hình 3.8. Sơ đồ tính D_c của mặt cắt uốn âm trong tổ hợp tải trọng sử dụng II

3.8.2. Vật liệu trên toàn mặt cắt chảy dẻo

- Mặt cắt mômen dương:

+ Trường hợp trục trung hòa đi qua bụng dầm (Hình).



Hình 3.9. Tính D_{cp} cho mặt cắt mômen dương và trục trung hòa nằm ở bụng dầm

Cân bằng lực dẻo ở hai phần có:

$$f_{yw}(D - D_{cp})t_w + f_{yt}A_t = f_{yc}A_c + f_{yw}D_{cp}t_w + 0,85f'_cA_s + f_{yrs}A_{rs}$$

Suy ra

$$D_{cp} = \frac{D}{2} \cdot \left[\frac{f_{yt}A_t - f_{yc}A_c - 0,85f'_cA_s - f_{yrs}A_{rs}}{f_{yw}A_w} + 1 \right] \quad (3-12)$$

Trong đó:

$A_{rs}, A_s, A_c, A_w, A_t$ - diện tích cốt thép dọc, bản bê tông, cánh chịu nén, sườn dầm và cánh chịu kéo.

$f_{yr}, f_{yc}, f_{yw}, f_{yt}$ - giới hạn chảy của cốt thép dọc, cánh chịu nén, sườn dầm và cánh chịu kéo.

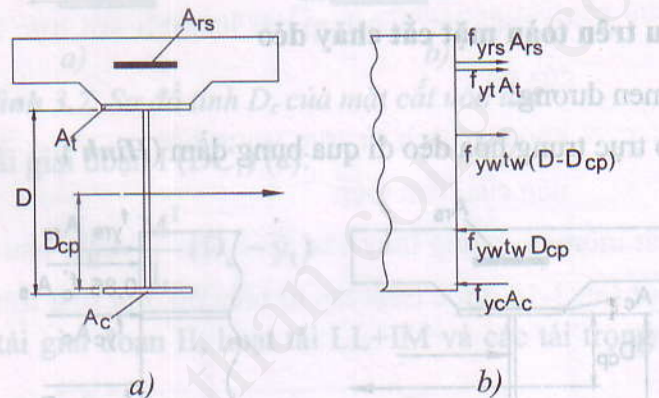
f'_c - cường độ chịu nén của bê tông bản.

D - chiều cao sườn dầm.

Trường hợp trục trung hòa dẹt không đi qua bụng dầm lấy $D_{cp} = 0$.

- Mặt cắt mômen âm:

+ Trường hợp trục trung hòa dẹt đi qua bản bụng (Hình 3.10):



Hình 3.10. Tính D_{cp} cho mặt cắt mômen âm và trục trung hòa dẹt nằm trong bụng dầm

Cân bằng lực dẹt ở hai phần có:

$$f_{yrs} A_{rs} + f_{yt} A_t + f_{yw} (D - D_{cp}) t_w = f_{yw} t_w D_{cp} + f_{yc} A_c$$

Suy ra:
$$D_{cp} = \frac{D}{2f_{yw} A_w} (f_{yt} A_t + f_{yw} A_w + f_{yrs} A_{rs} - f_{yc} A_c) \quad (3-13)$$

+ Trường hợp trục trung hòa dẹt không đi qua bụng dầm lấy $D_{cp} = 0$.

- Mặt cắt chịu mômen âm không liên hợp (tức là không bố trí neo liên hợp ở vùng mômen âm):

+ Khi $f_{yw} A_w \geq |f_{yc} A_c - f_{yt} A_t|$ thì D_{cp} phải tính theo công thức:

$$D_{cp} = \frac{D}{2f_{yw} A_w} (f_{yt} A_t + f_{yw} A_w + f_{yrs} A_{rs} - f_{yc} A_c) \quad (3-14)$$

+ Các trường hợp khác phải lấy $D_{cp} = D$.

3.9. MÔMEN

Mômen d
tính bằng m
trong phần t
diện tích t
với diện tích

- Mặt cắt

+ Tính cá

+ Xác đị

+ Tính m

Thiên về

- Mặt cắt

qua cốt thép

- Mặt cắ

tổng và cốt

Sau đây

+ Trườn

$$M_p = 0$$

Trong đó:

d_s, d_c

Trong c

$$f_{yw} t_w D$$

Trong c

+ Trườn

3.9. MÔMEN ĐẸO (M_p)

Mômen dẻo là mômen kháng khi mặt cắt chảy dẻo hoàn toàn. Mômen dẻo được tính bằng mômen do lực dẻo của các phần quanh trục trung hòa dẻo. Các lực dẻo trong phần thép tính với giới hạn chảy của cánh dầm, bụng dầm và cốt thép dọc với diện tích tương ứng. Các lực dẻo trong bê tông chịu nén tính với ứng suất nén $0,85 f'_c$ với diện tích bê tông tương ứng. Bỏ qua phần bê tông chịu kéo.

- Mặt cắt liên hợp chịu mômen dương: có thể xác định M_p theo trình tự sau:

+ Tính các lực dẻo của từng phần;

+ Xác định vị trí trục trung hòa dẻo;

+ Tính mômen dẻo M_p .

Thiên về an toàn khi tính có thể bỏ qua cốt thép dọc của bản.

- Mặt cắt liên hợp chịu mômen âm: tính tương tự như trên nhưng không được bỏ qua cốt thép dọc ở bản.

- Mặt cắt không liên hợp: tính bằng cách bỏ qua các số hạng liên quan đến bê tông và cốt thép dọc.

Sau đây ta nghiên cứu cách tính M_p khi trục trung hòa dẻo nằm ở bụng dầm.

+ Trường hợp mặt cắt liên hợp chịu mômen dương (Hình 3.9):

$$M_p = 0,85f'_c A_s d_s + f_{yc} A_c d_c + f_{yw} t_w D_{cp} d_{wc} + f_{yw} t_w (D - D_{cp}) d_{wt} + f_{yt} A_t d_t \quad (3-15)$$

Trong đó:

$d_s, d_c, d_{wc}, d_{wt}, d_t$ - lần lượt là khoảng cách từ lực dẻo của bản bê tông chịu nén, cánh trên dầm thép, phần chịu nén của bụng dầm, phần chịu kéo của bụng dầm, cánh dưới dầm thép đến trục trung hòa dẻo.

Trong công thức (3-15) có thể thay:

$$f_{yw} t_w D_{cp} d_{wc} + f_{yw} t_w (D - D_{cp}) d_{wt} = f_{yw} A_w \left| \frac{D}{2} - D_{cp} \right| \text{ ta có:}$$

$$M_p = 0,85f'_c A_s d_s + f_{yc} A_c d_c + f_{yw} A_w \left| \frac{D}{2} - D_{cp} \right| + f_{yt} A_t d_t \quad (3-16)$$

Trong công thức (3-16) A_w là diện tích bản bụng dầm.

+ Trường hợp mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn âm (Hình 3.10)

$$M_p = f_{yrs} A_{rs} d_s + f_{yt} A_t d_t + f_{yw} t_w (D - D_{cp}) d_{wt} + f_{yc} A_c d_c + f_{yw} t_w D_{cp} d_{wc} \quad (3-17)$$

$$\text{Hay: } M_p = f_{yrs} A_{rs} d_s + f_{yt} A_t d_t + f_{yw} A_w \left[\frac{D}{2} - D_{cp} \right] + f_{yc} A_c d_c \quad (3-18)$$

Với mặt cắt của dầm không liên hợp có thể sử dụng các công thức trên để tính mômen dẻo khi bỏ qua các số hạng liên quan đến cốt thép dọc và bản bê tông.

3.10. MÔMEN CHẢY (M_y)

Mômen chảy là mômen uốn cần thiết để gây ra chảy ở một trong hai cánh dầm. Khi cánh nào chảy trước thì mômen uốn tương ứng là mômen chảy của mặt cắt.

- Mômen chảy của mặt cắt trong vùng mômen dương M_y phải được lấy bằng tổng mômen tác dụng vào mặt cắt dầm thép, mặt cắt liên hợp dài hạn và mặt cắt liên hợp ngắn hạn để gây ra ứng suất chảy ở một bản cánh ở TTGH cường độ. Không xét đến uốn ngang bản cánh và chảy của bụng dầm.

Trình tự tính như sau:

+ Tính mômen do tĩnh tải giai đoạn I (M_{y1}) từ đó tính được ứng suất ở mép trên và dưới dầm thép do M_{y1} gây ra, ký hiệu là f_{t1}^t, f_{t1}^d .

$$f_{t1}^t = -\frac{M_{y1}}{I_t} y_{t1}^t, \quad f_{t1}^d = \frac{M_{y1}}{I_t} y_{t1}^d$$

Trong đó:

I_t - mômen quán tính của mặt cắt dầm thép đối với trục trung hòa x_t .

y_{t1}^t, y_{t1}^d - khoảng cách từ mép trên và dưới dầm thép đến trục trung hòa của mặt cắt dầm thép x_t .

Tính mômen do tĩnh tải giai đoạn II (M_{y2}) và ứng suất ở mép trên và dưới do

$$M_{y2} \text{ sinh ra: } f_{tdh}^t = \mp \frac{M_{y2}}{I_{td}} y_{tdh}^t, \quad f_{tdh}^d = \frac{M_{y2}}{I_{td}} y_{tdh}^d$$

Trong đó:

I_{td} - mômen quán tính của mặt cắt dầm liên hợp dài hạn đối với trục x'_{td} .

y_{tdh}^t, y_{tdh}^d - khoảng cách từ mép trên và dưới đến trục trung hòa của mặt cắt liên hợp dài hạn x'_{td} .

Gọi mômen do tải trọng ngắn hạn sinh ra là M_{y3} ; tính ứng suất ở mép trên và dưới do M_{y3} sinh ra.

$$f_{t_{nh}}^t = \mp \frac{M_{y3}}{I_{td}} y_{t_{nh}}^t, \quad f_{t_{nh}}^d = \frac{M_{y3}}{I_{td}} y_{t_{nh}}^d$$

Trong đó:

I_{td} - mômen quán tính của mặt cắt đầm liên hợp dài hạn đối với trục x_{td} ;

$y_{t_{nh}}^t, y_{t_{nh}}^d$ - khoảng cách từ mép trên và dưới đến trục trung hòa của mặt cắt liên hợp ngắn hạn x_{td} .

Cho tổng ứng suất ở mép trên và dưới đầm thép bằng cường độ chảy f_y ;

$$\left. \begin{aligned} f_{t1}^t + f_{tdh}^t + f_{t_{nh}}^t &= -f_y \\ f_{t1}^d + f_{tdh}^d + f_{t_{nh}}^d &= f_y \end{aligned} \right\} \quad (3-19)$$

Giải mỗi phương trình trên được một giá trị M_{y3} , chọn giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị tìm được, ký hiệu là M_{y3min} và:

$$M_y = M_{y1} + M_{y2} + M_{y3min} \quad (3-20)$$

Chú ý rằng do tính mômen trong TTGH cường độ nên phải áp dụng hệ số tải trọng cho các tải trọng và với hoạt tải phải xét thêm hệ số xung kích (1+IM).

- Mômen chảy của mặt cắt liên hợp trong vùng mômen uốn âm: Cách tính toán cũng giống như mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn dương chỉ khác là cả khi tính với tải trọng dài hạn và ngắn hạn mặt cắt liên hợp chỉ có đầm thép và cốt thép dọc bản trong phạm vi bề rộng có hiệu của cánh bê tông, ngoài ra còn phải xét xem cốt thép dọc và mép trên đầm thép thành phần nào đạt tới giới hạn chảy trước, có nghĩa công thức (3-19) trở thành:

$$\left. \begin{aligned} f_{t1}^t + f_{tdh}^t + f_{t_{nh}}^t &= f_y \\ f_{t1}^d + f_{tdh}^d + f_{t_{nh}}^d &= -f_y \\ f_{dh}^{rs} + f_{nh}^{rs} &= f_y \end{aligned} \right\} \quad (3-21)$$

Giải các phương trình của (3-21) ta có M_{y3min} , thay M_{y3min} vào (3-20) tính được M_y là mômen chảy của mặt cắt liên hợp.

3.11. TÍNH HIỆU ỨNG CỦA TẢI TRỌNG

Để thiết kế một bộ phận nào đó cần phải sử dụng công thức (3-1), có nghĩa cần phải tính hiệu ứng của tải trọng thiết kế $\Sigma \eta_i \gamma_i Q_i$ để so sánh với sức kháng của kết cấu ϕR_n . Tính hiệu ứng của tải trọng ngoài hệ số tải trọng γ_i còn phải xét hệ số điều chỉnh tải trọng η_i và hiệu ứng của tải trọng danh định Q_i .

3.11.1. Hệ số điều chỉnh tải trọng η_i

(3-22)

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_l$$

- Hệ số η_D - hệ số liên quan đến tính dẻo.

Khi kết cấu có tính dẻo nếu một bộ phận nào đó làm việc ra ngoài miền đàn hồi biến dạng sẽ tăng lên và có sự phân phối lại nội lực sang các bộ phận khác, do đó kết cấu hay liên kết có tính dẻo làm việc tốt hơn kết cấu hay liên kết không có tính dẻo.

Khi thiết kế các bộ phận của cầu cần xác định kích thước và cấu tạo để biến dạng không đàn hồi phát triển đáng kể và có thể thấy được biến dạng đó ở TTGH cường độ và TTGH đặc biệt trước khi phá hoại.

Tính dẻo có lợi cho sự làm việc của kết cấu nhưng hệ số η_D lại ở về trái của công thức (3-1) nên nếu kết cấu có tính dẻo η_D phải nhỏ hơn kết cấu không có tính dẻo, từ đó tiêu chuẩn thiết kế quy định:

+ Trong TTGH cường độ:

$\eta_D \geq 1,05$ cho kết cấu và liên kết không dẻo.

$\eta_D = 1$ cho kết cấu thông thường và các chi tiết theo đúng tiêu chuẩn thiết kế.

$\eta_D \geq 0,95$ cho kết cấu và liên kết có các biện pháp tăng thêm tính dẻo vượt quá quy định của tiêu chuẩn thiết kế.

+ Các TTGH khác: $\eta_D = 1,00$.

- Hệ số η_R - hệ số liên quan đến tính dư.

Dầm liên tục ba nhịp như trên Hình 3-11 khi xuất hiện khớp dẻo ở E dầm vẫn không bị phá hoại do dầm có tính dư. Nói rộng ra kết cấu có nhiều đường truyền lực và kết cấu liên tục là kết cấu có tính dư cần được sử dụng. Như vậy tính dư có lợi cho sự làm việc của kết cấu, tuy nhiên do nằm ở về trái của công thức (3-1) nên cũng như η_D , η_R có giá trị nhỏ hơn cho kết cấu có tính dư cụ thể là:

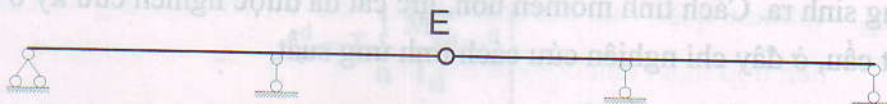
+ Trong TTGH cường độ:

$\eta_R \geq 1,05$ cho các bộ phận không dư.

$\eta_R = 1,00$ cho các mức dư thông thường.

$\eta_R \geq 0,95$ cho mức dư đặc biệt.

+ Trong các TTGH khác $\eta_R = 1,00$



Hình 3.11. Dầm liên tục 3 nhịp khi xuất hiện khớp dèo ở E.

- Hệ số η_I - hệ số tầm quan trọng trong khai thác.

Cầu có tầm quan trọng trong khai thác do chủ đầu tư hoặc cơ quan quản lý quy định.

Trong TTGH cường độ:

$\eta_I \geq 1,05$ cho các cầu quan trọng;

$\eta_I = 1,00$ cho các cầu bình thường;

$\eta_I \geq 0,95$ cho các cầu ít quan trọng;

+ Trong các TTGH khác: $\eta_I = 1,00$.

3.11.2. Tính hiệu ứng của tải trọng danh định

3.11.2.1. Tính tải

Đối với cầu liên hợp, tĩnh tải được phân thành:

- Tĩnh tải giai đoạn I: Trừ trường hợp cầu liên hợp được thi công trên đà giáo, sau khi bê tông bản mặt cầu đã đông cứng mới dỡ đà giáo các trường hợp còn lại tĩnh tải phần I ký hiệu là DC_1 do dầm thép chịu.

Tĩnh tải phần I bao gồm toàn bộ tĩnh tải dầm thép, hệ liên kết và tĩnh tải bản mặt cầu. Tĩnh tải phần I được tính thành tĩnh tải rải đều.

- Tĩnh tải giai đoạn II: Tĩnh tải phần II là tải trọng lâu dài nên do mặt cắt liên hợp dài hạn chịu. Tĩnh tải phần II được phân làm hai loại do hệ số tải trọng khác nhau:

+ DC_2 là các tĩnh tải còn lại thi công sau khi bản bê tông đã đông cứng trừ lớp phủ mặt cầu và tiện ích công cộng.

+ DW : Tĩnh tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích công cộng.

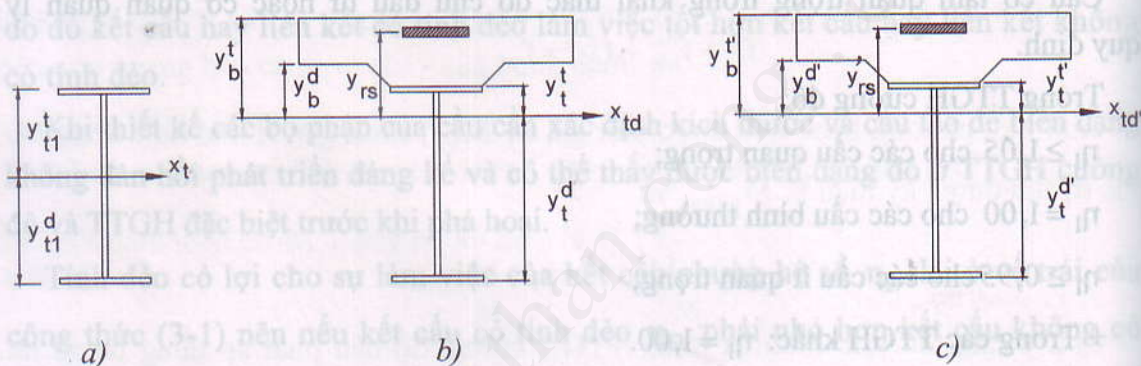
Cũng như DC_1 , cả DC_2 và DW đều được tính thành tải trọng rải đều.
 Trong cầu dầm bản kê đỡ không có mặt cắt liên hợp ngắn hạn và dài hạn nên chỉ có tính tải DC và DW .

3.11.2.2. Tính hiệu ứng của tải trọng

Như đã biết hiệu ứng của tải trọng đó có thể là mômen uốn, lực cắt, ứng suất... do tải trọng sinh ra. Cách tính mômen uốn, lực cắt đã được nghiên cứu kỹ ở môn học cơ học kết cấu, ở đây chỉ nghiên cứu cách tính ứng suất.

a) Mặt cắt chịu mômen uốn dương

Giả sử mặt cắt thép, mặt cắt liên hợp ngắn hạn và mặt cắt liên hợp dài hạn như Hình 3.12.



Hình 3.12. Các mặt cắt dầm thép

a) Liên hợp ngắn hạn; b) Liên hợp dài hạn; c) Của một mặt cắt chịu mômen dương

- Ứng suất do tĩnh tải giai đoạn I:

$$\left. \begin{aligned} f_{t1}^t &= -\frac{M^I}{I_t} y_{t1}^t \\ f_{t1}^d &= \frac{M^I}{I_t} y_{t1}^d \end{aligned} \right\} \quad (3-23)$$

Trong đó:

f_{t1}^t - ứng suất do tĩnh tải giai đoạn I ở thớ trên dầm thép;

f_{t1}^d - ứng suất do tĩnh tải giai đoạn I ở thớ dưới dầm thép;

M^I - mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn I;

I_t - mômen quán tính của mặt cắt dầm thép đối với trục x_t .

- Ứng suất do tải trọng ngắn hạn trên mặt cắt liên hợp ngắn hạn, khi M_{nh} dương và vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi:

$$\left. \begin{aligned} f_t^t &= \mp \frac{M_{nh}}{I_{td}} y_t^t \\ f_t^d &= \frac{M_{nh}}{I_{td}} y_t^d \\ f_b^d &= \mp \frac{1}{n} \frac{M_{nh}}{I_{td}} y_b^d \\ f_b^t &= -\frac{1}{n} \frac{M_{nh}}{I_{td}} y_b^t \\ f_{rs} &= \mp \frac{M_{nh}}{I_{td}} y_{rs} \end{aligned} \right\} \quad (3-24)$$

Trong đó:

$f_t^t, f_t^d, f_b^d, f_b^t, f_{rs}$ - ứng suất do tải trọng ngắn hạn trên mặt cắt liên hợp ngắn hạn tại thớ trên dầm thép, thớ dưới dầm thép, mép dưới bản bê tông, mép trên bản bê tông, cốt thép dọc bản;

M_{nh} - mômen uốn do tải trọng ngắn hạn sinh ra ở mặt cắt xét;

I_{td} - mômen quán tính của mặt cắt liên hợp ngắn hạn đối với trục x_{td} .

Trước các biểu thức có dấu “ \mp ”, lấy dấu “-” khi thớ tính ứng suất nằm trên trục x_{td} , lấy dấu “+” khi ngược lại.

- Ứng suất do tải trọng dài hạn tác dụng lên mặt cắt liên hợp dài hạn khi M_{dh} dương và vật liệu vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

$$\left. \begin{aligned} f_t^t &= \mp \frac{M_{dh}}{I'_{td}} y_t'^t \\ f_t^d &= \frac{M_{dh}}{I'_{td}} y_t'^d \\ f_b^d &= \mp \frac{1}{n} \frac{M_{dh}}{I'_{td}} y_b'^d \\ f_b^t &= -\frac{1}{n} \frac{M_{dh}}{I'_{td}} y_b'^t \\ f_{rs} &= \mp \frac{M_{nh}}{I'_{td}} y'_{rs} \end{aligned} \right\} \quad (3-25)$$

Trong đó:

$f_t^t, f_t^d, f_b^d, f_b^t, f_{rs}$ - ứng suất do tải trọng dài hạn trên mặt cắt liên hợp dài hạn tại thớ trên dầm thép, thớ dưới dầm thép, mép dưới bản bê tông, mép trên bản bê tông, cốt thép dọc bản.

M_{dh} - mômen uốn do tải trọng dài hạn sinh ra ở mặt cắt xét.

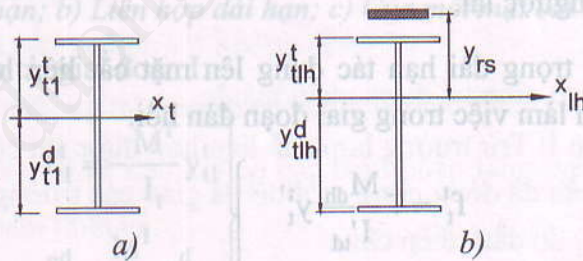
I'_{td}, I_{td} - mômen quán tính của mặt cắt dài hạn đối với trục x'_{td} và của mặt cắt liên hợp ngắn hạn đối với trục x_{td} .

Trước các biểu thức có dấu “ \mp ”, lấy dấu “ $-$ ” khi thớ tính ứng suất nằm trên trục x'_{td} hoặc x_{td} , lấy dấu “ $+$ ” khi ngược lại.

Các công thức tính ứng suất trong bê tông của công thức (3-25) dựa vào quy định trong tiêu chuẩn thiết kế “khi tính toán ứng suất uốn trong bản bê tông do tải trọng ngắn hạn hay dài hạn đều dùng tỷ số mô đun đàn hồi ngắn hạn n ” (Xem điều 10.1.1.4 trong phần 10: mặt cắt chữ I chịu uốn) và được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} f_b^t &= -\frac{1}{n'} \frac{M_{dh}}{I'_{td}} y_b^{t'} \\ f_b^d &= \mp \frac{1}{n'} \frac{M_{dh}}{I'_{td}} y_b^{d'} \end{aligned} \right\} \quad (3-26)$$

b) Mặt cắt chịu mômen âm



Hình 3.13. Các mặt cắt dầm thép (a) và mặt cắt liên hợp của mặt cắt chịu mômen âm (b).

- Ứng suất do tĩnh tải giai đoạn I:

$$\left. \begin{aligned} f_{t1}^t &= \frac{|M^I|}{I_t} y_{t1}^t \\ f_{t1}^d &= -\frac{|M^I|}{I_t} y_{t1}^d \end{aligned} \right\} \quad (3-27)$$

Trong đó:

f_t^t, f_t^d - ứng suất do tĩnh tải giai đoạn I ở thớ trên và thớ dưới dầm thép;

M^I - mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn I;

I_t - mômen quán tính của mặt cắt dầm thép đối với trục x_t .

- Ứng suất do tải trọng ngắn hạn và dài hạn trên mặt cắt liên hợp (không xét sự làm việc của bê tông):

$$\left. \begin{aligned} f_t^t &= \mp \frac{|M_{nh} + M_{dh}|}{I_{lh}} y_{tth}^t \\ f_t^d &= - \frac{|M_{nh} + M_{dh}|}{I_{lh}} y_{tth}^d \\ f_{rs} &= \frac{|M_{nh} + M_{dh}|}{I_{lh}} y_{rs} \end{aligned} \right\} \quad (3-28)$$

Trong đó:

f_t^t, f_t^d, f_{rs} - ứng suất do tải trọng ngắn hạn và dài hạn trên mặt cắt liên hợp tại thớ trên dầm thép, thớ dưới dầm thép, cốt thép dọc bản;

x_{lh} - trục trung hòa của mặt cắt dầm thép và cốt thép dọc trong bản;

I_{lh} - mômen quán tính của tiết diện liên hợp gồm dầm thép và cốt thép dọc bản đối với trục trung hòa x_{lh} .

c) Ứng suất trong bản cánh do uốn ngang

- Khi bản cánh được giằng liên tục ứng suất do uốn ngang lấy bằng không ($f_1 = 0$).

- Khi bản cánh được giằng từng đoạn:

+ Tất cả các đoạn bản cánh được giằng phải thỏa mãn:

$$f_1 \leq 0,6f_{yf} \quad (3-29)$$

+ Ứng suất uốn ngang trong bản cánh xác định trực tiếp từ phân tích đàn hồi bậc nhất (tức là bỏ qua biến dạng của dầm khi tính ứng suất hay nói cách khác là tính theo sơ đồ không biến dạng) bản cánh chịu nén được giằng nếu thỏa mãn điều kiện về chiều dài không giằng L_b :

$$L_b \leq 1,2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{f_{bu} / f_{yc}}} \quad (3-30)$$

hoặc tương đương:

$$L_b \leq 1,2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{M_u / M_{yc}}} \quad (3-31)$$

Trong đó:

C_b - hệ số điều chỉnh biến thiên mômen;

R_b - hệ số phân tán tải trọng bản bụng;

f_{bu} - giá trị lớn nhất của ứng suất nén trong chiều dài không giằng của bản cánh đang xét khi không tính đến uốn ngang bản cánh;

L_p - giới hạn chiều dài không giằng;

M_u - mômen uốn lớn nhất trên chiều dài không giằng gây nén bản cánh đang xét;

M_{yc} - mômen chảy ứng với chảy ở bản cánh đang xét.

Khi công thức (3-30) hoặc (3-31) không thỏa mãn thì f_l xác định bằng phân tích đàn hồi bậc hai bằng cách lấy ứng suất do phân tích đàn hồi bậc một nhân với hệ số:

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{f_{cr}}} \right) f_{l1} \geq f_{l1} \quad (3-32)$$

hoặc tương đương:

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{M_u}{f_{cr} S_{xc}}} \right) f_{l1} \geq f_{l1} \quad (3-33)$$

Trong đó:

f_{l1} - ứng suất uốn ngang trong bản cánh chịu nén phân tích bậc nhất tại mặt cắt đang xét hoặc ứng suất uốn ngang lớn nhất trong bản cánh theo phân tích bậc nhất trên chiều dài không giằng;

f_{cr} - ứng suất ổn định xoắn ngang đàn hồi trong bản cánh xác định theo công thức (3-48);

M_u - mômen uốn lớn nhất trong chiều dài không giằng gây ra nén bản cánh đang xét;

S_{xc} - mômen chống uốn của mặt cắt đàn hồi của bản cánh chịu nén đối với trục chính của mặt cắt, vì $f = \frac{M}{S}$ nên có thể tính S_{xc} theo $S_{xc} = \frac{M_{yc}}{f_{yc}}$, trong đó M_{yc} là mômen chảy tính theo bản cánh chịu nén bị cháy, f_{yc} là giới hạn chảy của bản cánh chịu nén.

d) Xác định C_b , R_b , f_{cr} để tính ứng suất do uốn ngang

d-1. Hệ số điều chỉnh biến thiên mômen C_b

Có hai cách để tính C_b .

Cách thứ nhất:

- Đối với cánh hẫng không giằng và đối với cầu kiện có $f_{mid} / f_2 > 1$ hoặc $f_2 = 0$ thì $C_b = 1,00$.

- Các trường hợp khác:

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) + 0,3 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \leq 2,3 \quad (3-34)$$

Cách thứ hai:

- Đối với cánh hẫng không giằng và các cầu kiện có $\frac{M_{mid}}{M_2} > 1$ hoặc $M_2 = 0$ thì $C_b = 1,00$.

- Các trường hợp khác:

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3 \quad (3-35)$$

Trong các công thức (3-34), (3-35):

f_2 - ứng suất nén nhiều nhất không xét đến uốn ngang ở hai đầu của đoạn không giằng của bản cánh tính từ hình bao mômen tính toán (xác định từ tải trọng tính toán). f_2 lấy dấu dương khi nén, dấu âm khi kéo. Trừ trường hợp bản cánh không có dạng lạng trụ lấy theo chỉ dẫn trong tiêu chuẩn thiết kế;

f_{mid} - ứng suất không tính đến uốn ngang ở điểm giữa của đoạn không giằng được tính từ biểu đồ bao mômen tính toán gây ra ứng suất nén nhiều nhất tại điểm này hoặc ứng suất kéo nhỏ nhất cũng tại điểm đó nếu trên bản cánh chỉ có ứng suất kéo, f_{mid} lấy dấu dương khi nén, lấy dấu âm khi kéo;

f_1 - ứng suất không tính đến uốn ngang ở điểm giằng còn lại (hai điểm giằng ở hai đầu đoạn không giằng, một điểm đã dùng để tính f_2) được suy ra theo quan hệ tuyến tính từ f_2 với f_{mid} hoặc f_0 tùy theo giá trị nào cho C_b nhỏ hơn, f_1 có thể xác định như sau:

+ Khi biến thiên của mômen trong giai đoạn không giằng có dạng lõm thì:

$$f_1 = f_0 \quad (3-36)$$

+ Khác với trên thì:

$$f_1 = 2f_{mid} - f_2 \geq f_0 \quad (3-37)$$

f_0 - ứng suất không tính đến uốn ngang tại điểm tính f_1 tính từ hình bao mômen tính toán gây ra ứng suất nén nhiều nhất trong bản cánh đang xét hoặc ứng suất kéo nhỏ nhất nếu bản cánh chỉ chịu kéo, f_0 lấy dấu dương khi nén, dấu âm khi kéo;

M_2 - mômen uốn lớn nhất ở hai đầu của đoạn không giằng do tải trọng tính toán lấy từ hình bao mômen uốn, M_2 lấy giá trị dương nếu mômen bằng không hoặc gây ra ứng suất kéo trong bản cánh ở cả hai đầu đoạn không giằng thì lấy $M_2 = 0$;

M_{mid} - mômen uốn tại mặt cắt giữa của đoạn không giằng được lấy từ hình bao mômen uốn gây ra ứng suất nén nhiều nhất trong bản cánh của mặt cắt xét hoặc ứng suất kéo nhỏ nhất nếu bản cánh chỉ chịu kéo. M_{mid} có dấu dương khi gây ra ứng suất nén, có dấu âm khi gây ra nén trong bản cánh xét;

M_1 - mômen uốn tại mặt cắt còn lại của 2 điểm giằng (một điểm đã dùng để tính M_2) ở hai đầu đoạn không giằng được suy ra theo quan hệ tuyến tính từ M_2 với M_{mid} hoặc M_0 tùy theo giá trị nào cho C_b nhỏ hơn, M_1 có thể xác định như sau:

+ Khi biến thiên của mômen uốn trong đoạn không giằng có dạng lõm thì:

$$M_1 = M_0 \quad (3-38)$$

+ Các trường hợp khác:

$$M_1 = 2M_{mid} - M_2 \geq M_0 \quad (3-39)$$

d-2. Hệ số phân tán tải trọng trong bản bụng R_b

- Khi mặt cắt liên hợp chịu mômen dương thỏa mãn điều kiện $\frac{D}{t_w} \leq 150$ khi không có sườn tăng cường dọc hoặc $\frac{D}{t_w} \leq 300$ khi có sườn tăng cường dọc.

+ Hoặc có một hay nhiều sườn tăng cường dọc:

$$\frac{D}{t_w} \leq 0,95 \sqrt{\frac{E \cdot k}{f_{yc}}} \quad (3-40)$$

+ Hoặc bản bụng thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_{rw} \quad (3-41)$$

Thì $R_b = 1$.

Nếu khác ở trên thì:

$$R_b = 1 - \left(\frac{a_{wc}}{1200 + 300a_{wc}} \right) \left(\frac{2D_c}{t_w} - \lambda_{rw} \right) \leq 1,0 \quad (3-42)$$

Trong đó:

λ_{rw} - giới hạn độ mảnh của bản bụng không đặc chắc:

$$\lambda_{rw} = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (3-43)$$

a_{wc} - hệ số lấy như sau:

Với các mặt cắt liên hợp có sườn tăng cường dọc trong vùng mômen dương thì:

$$a_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{fc} + b_s t_s \left(1 - \frac{f_{DC1}}{f_{yc}} \right) / 3n} \quad (3-44)$$

Với mặt cắt còn lại:

$$a_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (3-45)$$

Trong các công thức trên:

f_{DC1} - ứng suất nén trong bản cánh đang xét do tĩnh tải giai đoạn I sinh ra trong mặt cắt dầm thép;

t_s, b_s - chiều dày và chiều rộng bản bê tông;

t_{fc}, b_{fc} - chiều dày và chiều rộng cánh chịu nén;

f_{yc} - cường độ chảy của cánh chịu nén;

t_w - chiều dày bụng dầm;

D_c - chiều cao chịu nén của bụng dầm trong miền đàn hồi;

k - hệ số uốn oằn của bản bụng.

$$+ \text{ Nếu } \frac{d_s}{D_c} \geq 0,4 \text{ thì } k = \frac{5,17}{\left(\frac{d_s}{D_c}\right)^2} \geq \frac{9}{D_c} \quad (3-46)$$

$$+ \text{ Nếu } \frac{d_s}{D_c} < 0,4 \text{ thì } k = \frac{11,64}{(D_c - d_s)^2} \quad (3-47)$$

Khi cả hai mép của bụng dầm đều chịu nén thì lấy $k = 7,20$.

d_s - khoảng cách từ tim sườn tăng cường dọc gần nhất hoặc cạnh của sườn tăng cường dọc bằng thép góc gần nhất tới mặt trong hoặc chân của cánh chịu nén.

d-3. Xác định ứng suất ổn định xoắn ngang đàn hồi trong bản cánh.

$$f_{cr} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_1}\right)^2} \quad (3-48)$$

Trong đó C_b, R_b, L_b như đã biết còn r_1 là bán kính quán tính có hiệu cho ổn định xoắn ngang.

$$r_1 = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c}{b_{fc} t_{fc}}\right)}} \quad (3-49)$$

3.12. TÍNH SỨC KHÁNG UỐN VÀ KIỂM TRA THEO ĐIỀU KIỆN (3-1) CHO MẶT CẮT CHỮ I CHỊU UỐN

3.12.1. Khái niệm chung

Trong công thức (3-1) sức kháng tính toán của kết cấu nói chung là R_r , trong đó ϕ là hệ số sức kháng, R_n là sức kháng danh định.

3.12.1.1. Hệ số sức kháng ϕ

Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện hành, hệ số sức kháng ϕ lấy như sau (TTGH cường độ):

- Uốn $\phi_f = 1,00$
- Cắt $\phi_v = 1,00$
- Nén dọc trục, chỉ cho thép $\phi_c = 0,90$
- Nén dọc trục, liên hợp $\phi_c = 0,90$
- Kéo đứt trong mặt cắt thực $\phi_u = 0,80$
- Kéo chảy trong mặt cắt nguyên $\phi_y = 0,95$
- Ép mặt trên các chốt, lỗ doa, lỗ khoan hoặc bắt bulông và các bề mặt cán. $\phi_b = 1,00$
- Bulông ép mặt trên vật liệu $\phi_{bb} = 0,80$
- Neo chịu cắt $\phi_{sc} = 0,85$
- Bulông A325M và A490M chịu kéo $\phi_t = 0,80$
- Bulông A307 chịu kéo $\phi_t = 0,80$
- Bulông A307 chịu cắt $\phi_s = 0,75$
- Cắt khuôn $\phi_{bs} = 0,80$
- Mối nối bụng dầm $\phi_w = 0,80$
- Kim loại hàn trong đường hàn ngẫu hoàn toàn:
 - + Cắt trên diện tích có hiệu $\phi_{e1} = 0,85$
 - + Kéo hoặc nén trục giao với diện tích có hiệu $\phi = \phi$ kim loại nền
 - + Kéo hoặc nén song song với trục đường hàn $\phi = \phi$ kim loại nền
- Kim loại hàn trong các đường hàn ngẫu cục bộ:
 - + Cắt song song với trục đường hàn $\phi_{e2} = 0,80$
 - + Kéo hoặc nén song song với trục đường hàn $\phi = \phi$ kim loại nền
 - + Kéo trục giao với diện tích có hiệu $\phi = \phi$ kim loại nền
 - + Kéo trục giao với diện tích có hiệu $\phi_{e1} = 0,80$
- Kim loại hàn trong các mối hàn:
 - + Kéo nén song song với trục đường hàn $\phi = \phi$ kim loại nền

+ Cắt trong chiều cao tính toán của kim loại hàn

$$\phi_{e2} = 0,80$$

+ Neo định chịu cắt khi kéo

$$\phi_{st} = 0,75$$

Trong TTGH đặc biệt hệ số sức kháng ϕ lấy như sau:

- Trừ đôi với bulông hệ số sức kháng đều lấy bằng 1,00.

- Các mối nối bulông được thiết kế theo diện tích thanh hoặc theo trạng thái chảy kết cấu có thể giả định làm việc như các liên kết ma sát và hệ số sức kháng lấy như trong TTGH cường độ như ở trên.

3.12.1.2. Mặt cắt đặc chắc và mặt cắt không đặc chắc

- Một mặt cắt chịu mômen uốn dương là:

+ Mặt cắt đặc chắc khi có khả năng phát triển sức kháng uốn danh định vượt qua mômen chảy (M_y) nhưng chưa vượt quá mômen dẻo (M_p).

+ Mặt cắt không đặc chắc khi sức kháng danh định không lớn hơn mômen chảy.

+ Cả mặt cắt đặc chắc và không đặc chắc đều phải thỏa mãn yêu cầu về tính dẻo:

$$D_p \leq 0,42D_t \quad (3-50)$$

Trong đó:

D_p - khoảng cách từ đỉnh bản bê tông đến trục trung hòa dẻo;

D_t - chiều cao tổng cộng của mặt cắt liên hợp.

- Trong cầu thẳng mặt cắt chịu mômen uốn dương là đặc chắc nếu thỏa mãn các điều kiện sau:

+ Cường độ chảy của bản cánh không vượt quá 480MPa.

+ Bản bụng phải đảm bảo tỷ lệ giữa chiều cao và chiều dày:

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \text{ khi không có sườn tăng cường dọc.}$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \text{ khi có sườn tăng cường dọc.}$$

+ Bản bụng phải đảm bảo giới hạn về độ mảnh:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (3-51)$$

Nếu không thỏa mãn 3 điều kiện trên mặt cắt không đặc chắc.

3.12.1.3. Bản bụng đặc chắc và không đặc chắc

- Trong mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn âm hoặc mặt cắt không liên hợp có:

+ Bản bụng đặc chắc khi bản bụng chịu nén có độ mảnh bằng hoặc nhỏ hơn độ mảnh mà mặt cắt có sức kháng uốn lớn nhất bằng mômen dẻo trước khi bản bụng bị cắt do uốn xoắn.

+ Bản bụng không đặc chắc khi bản bụng xảy ra mất ổn định oằn do uốn xoắn trước khi mặt cắt đạt đến sức kháng uốn danh định.

- Điều kiện để bản bụng là đặc chắc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3-52)$$

Nếu không thỏa mãn công thức (3-52) bản bụng là không đặc chắc.

3.12.1.4. Bản cánh đặc chắc và không đặc chắc

- Mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn âm hoặc mặt cắt không liên hợp có:

+ Bản cánh đặc chắc khi có một cánh đơn chịu nén đảm bảo đạt được sức kháng uốn của mặt cắt trước khi bản cánh bị mất ổn định cục bộ.

+ Bản cánh không đặc chắc khi mặt cắt có một cánh đơn chịu nén mà mất ổn định cục bộ xảy ra trước khi mặt cắt đạt đến sức kháng uốn.

- Điều kiện để bản cánh chịu nén là đặc chắc:

$$\frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_{yr}}} \quad (3-53)$$

Trong đó:

f_{yr} - lấy giá trị nhỏ hơn của $0,7 f_{yc}$ và f_{yw} nhưng không nhỏ hơn $0,5 f_{yc}$;

b_{fc} , t_{fc} - bề rộng và bề dày bản cánh chịu nén.

3.12.2. Mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn dương

3.12.2.1. Mặt cắt đặc chắc

Mặt cắt đặc chắc trong TTGH cường độ công thức (3-1) khi xét thêm cả uốn ngang bản cánh có dạng:

$$M_u + \frac{1}{3} f_l S_{xt} \leq \phi_f M_n \quad (3-54)$$

Trong đó:

ϕ_f - hệ số sức kháng uốn;

M_n - sức kháng uốn danh định;

M_u - mômen uốn tính toán lớn nhất ở mặt cắt đang xét;

f_l - ứng suất do uốn ngang trong bản cánh;

s_{xt} - mômen chống uốn của mặt cắt đàn hồi tính với điểm xa nhất của cánh kéo;

$$S_{xt} = \frac{M_{yt}}{f_{yt}} \quad (3-55)$$

M_{yt} - mômen chảy tính theo sự chảy xuất hiện ở bản cánh chịu kéo;

f_{yt} - cường độ chảy của bản cánh chịu kéo.

Sức kháng uốn danh định của mặt cắt đặc chắc (M_n).

+ Khi $D_p \leq 0,1D_t$ thì:

$$M_n = M_p \quad (3-56)$$

+ Khi không thỏa mãn $D_p \leq 0,1D_t$ thì:

$$M_n = M_p \left(1,07 - 0,70 \frac{D_p}{D_t} \right) \quad (3-57)$$

Trong đó:

D_p - khoảng cánh từ đỉnh bản bê tông tới trục trung hòa dẻo;

D_t - chiều cao của mặt cắt liên hợp;

M_p - mômen dẻo của mặt cắt liên hợp.

Trong dằm liên tục sức kháng uốn danh định của mặt cắt chịu mômen uốn dương tính theo công thức (3-56) hoặc (3-57) còn phải thỏa mãn điều kiện:

$$M_n \leq 1,3R_h M_y \quad (3-58)$$

trừ các trường hợp như quy định trong tiêu chuẩn thiết kế.

Trong công thức (3-58):

M_y - mômen chảy của mặt cắt liên hợp;

R_h - hệ số lai.

- Xác định hệ số lại R_h .

+ Với thép hình cán, mặt cắt tổ hợp được làm từ một loại thép và mặt cắt tổ hợp thép bản bụng có cường độ cao hơn thép bản cánh thì $R_h = 1,00$.

+ Khác với các loại trên thì:

$$R_h = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta} \quad (3-59)$$

$$\beta = \frac{2D_n t_w}{A_{fn}} \quad (3-60)$$

Trong công thức (3-59) và (3-60):

ρ - lấy giá trị nhỏ hơn của $\frac{f_{yw}}{f_n}$ và 1,00;

D_n - khoảng cách lớn hơn trong hai khoảng cách từ trục trung hòa đàn hồi tới mặt trong của hai bản cánh. Với mặt cắt có trục trung hòa nằm giữa chiều cao bản bụng lấy D_n là khoảng cách từ trục trung hòa đàn hồi tới mặt trong của bản cánh nào có hiện tượng chảy trước;

A_{fn} - tổng diện tích bản cánh và diện tích của các bản táp phía ngoài trục trung hòa tương ứng với D_n . Với mặt cắt chịu mômen âm có thể cộng diện tích cốt thép dọc vào A_{fn} của bản cánh trên;

f_n - giá trị lớn nhất của cường độ chảy của mỗi thành phần kể đến khi tính A_{fn} , khi các mặt cắt có hiện tượng chảy trong bản cánh xảy ra trước bản phủ hoặc cốt thép dọc trên trục trung hòa ở phía tương ứng với D_n . Khi hiện tượng chảy xuất hiện đầu tiên ở phía ngược lại so với trục trung hòa thì f_n là giá trị lớn nhất của ứng suất đàn hồi trong bản cánh, bản táp, hoặc cốt thép dọc phía ngoài của trục trung hòa tương ứng với D_n .

3.12.2.2. Mặt cắt không đặc chắc

- Với mặt cắt không đặc chắc sức kháng danh định không lớn hơn mômen chảy có nghĩa ở sức kháng danh định không có cánh nào của dầm thép vượt quá cường độ chảy, khi đó ở TTGH cường độ công thức (3-1) có dạng:

+ Cánh chịu nén:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (3-61)$$

+ Cánh chịu kéo:

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_l \leq \phi_f F_{nt} \quad (3-62)$$

Trong công thức (3-61) và (3-62):

f_{bu} - ứng suất trong bản cánh khi không tính đến uốn ngang bản cánh;

ϕ - hệ số sức kháng;

f_l - ứng suất do uốn ngang trong bản cánh chịu kéo;

F_{nc} , F_{nt} - sức kháng uốn danh định của bản cánh chịu nén và bản cánh chịu kéo.

- Xác định sức kháng uốn danh định.

+ Bản cánh chịu nén:

$$F_{nc} = R_b R_h f_{yc} \quad (3-63)$$

+ Bản cánh chịu kéo:

$$F_{nt} = R_h f_{yt} \quad (3-64)$$

Trong công thức (3-63) và (3-64):

R_b - hệ số phân tán tải trọng trong bản bụng;

R_h - hệ số lại;

f_{yc} , f_{yt} - cường độ chảy của bản cánh chịu nén và bản cánh chịu kéo.

3.12.3. Mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn âm và mặt cắt không liên hợp

3.12.3.1. Khái niệm chung

- Với mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn âm và mặt cắt không liên hợp công thức (3-1) được viết cho từng bản cánh, cụ thể như sau cho TTGH cường độ.

+ Bản cánh chịu nén giằng gián đoạn:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f F_{nc} \quad (3-65)$$

+ Bản cánh chịu kéo giằng gián đoạn:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f F_{nt} \quad (3-66)$$

+ Bản cánh chịu kéo hoặc nén giằng liên tục:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h f_{yf} \quad (3-67)$$

Trong các công thức (3-65), (3-66) và (3-67):

ϕ_f - hệ số sức kháng uốn.

f_{bu} - ứng suất trong bản cánh xét không tính uốn ngang.

f_t - ứng suất bản cánh do uốn ngang.

R_h - hệ số lai.

F_{nc}, F_{nt} - sức kháng uốn danh định của bản cánh chịu nén và của bản cánh chịu kéo.

3.12.3.2. Sức kháng uốn của bản cánh chịu nén

Bản cánh chịu nén có thể mất ổn định cục bộ, mất ổn định do xoắn ngang do vậy cần phải xác định sức kháng ổn định cục bộ và sức kháng ổn định xoắn ngang, giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị trên sẽ là sức kháng uốn của mặt cắt (F_{nc}).

a) Sức kháng ổn định cục bộ

Sức kháng ổn định cục bộ phụ thuộc vào độ mảnh của cánh nén λ_f và độ mảnh giới hạn λ_{pf} .

- Nếu $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ thì:

$$F_{nc} = R_b R_h R_{yc} \quad (3-68)$$

- Nếu $\lambda_f > \lambda_{pf}$ thì:

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{f_{yr}}{R_h f_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h f_{yc} \quad (3-69)$$

Trong công thức (3-68) và (3-69):

λ_f - độ mảnh của cánh nén:

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \quad (3-70)$$

λ_{rf} - độ mảnh giới hạn cho bản cánh không đặc chắc:

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_{yr}}} \quad (3-71)$$

λ_{pf} - độ mảnh giới hạn để tính sức kháng:

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (3-72)$$

R_b, R_h - hệ số phân tán tải trọng trong bản bụng và hệ số lai.

f_{yc} - cường độ chảy của cánh nén.

f_{yr} - ứng suất trong bản cánh chịu nén khi bắt đầu xuất hiện chảy trong mặt cắt ngang bao gồm cả hiệu ứng của ứng suất dư nhưng không tính uốn ngang bản cánh, f_{yr} lấy giá trị nhỏ hơn của $0,7f_{yc}$ và f_{yw} nhưng không nhỏ hơn $0,5f_{yc}$.

b) Sức kháng ổn định xoắn ngang.

- Cấu kiện hình lăng trụ (bản cánh nén dầm I thỏa mãn điều kiện này) và với chiều dài không giằng L_b :

+ Nếu $L_b \leq L_p$ thì:

$$F_{nc} = R_b R_h f_{yc} \quad (3-73)$$

+ Nếu $L_p < L_b \leq L_r$ thì:

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{f_{yr}}{R_h f_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h f_{yc} \leq R_b R_h f_{yc} \quad (3-74)$$

+ Nếu $L_b > L_r$ thì:

$$F_{nc} = f_{cr} \leq R_b R_h f_{yc} \quad (3-75)$$

Trong các công thức trên:

L_p - chiều dài không giằng giới hạn để đạt được sức kháng uốn danh định $R_b R_h f_{yc}$ dưới tác dụng của mômen uốn rải đều:

$$L_p = r_1 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (3-76)$$

L_r - chiều dài không giằng giới hạn để bắt đầu xuất hiện chảy trong bản cánh dưới tác dụng của mômen uốn phân bố đều có xét đến tác dụng của ứng suất dư trong cánh nén.

$$L_r = \pi r_1 \sqrt{\frac{E}{f_{yr}}} \quad (3-77)$$

r_1 - bán kính quán tính có hiệu cho ổn định xoắn ngang, tính theo công thức (3-49).

R_b, R_h, f_{yc}, f_{yr} - như đã biết ở các công thức trước.

- Cấu kiện không có dạng lăng trụ trong phạm vi chiều dài không giằng thì ở mỗi mặt cắt trong phạm vi này xem cấu kiện là hình lăng trụ và tính F_{nc} theo các công thức (3-73), (3-74) và (3-75) sau đó lấy giá trị nhỏ nhất. Trong trường hợp này khi tính lấy $C_b = 1,00$ và không điều chỉnh L_b bằng hệ số chiều dài có hiệu.

Nếu trong phạm vi chiều dài không giằng có sự chuyển tiếp dần đến mặt cắt nhỏ hơn cách một đoạn nhỏ hơn hoặc bằng 20% chiều dài không giằng tính từ điểm giằng có mômen nhỏ hơn thì sức kháng ổn định xoắn ngang có thể xác định với giả thiết không có sự chuyển tiếp nếu mômen quán tính đối với trục nằm ngang tại mặt cắt nhỏ hơn bằng hoặc lớn hơn 50% giá trị tương ứng tại mặt cắt lớn hơn.

c) Sức kháng uốn của bản cánh chịu kéo (F_{nt})

$$F_{nt} = R_h f_{yt} \quad (3-78)$$

Trong đó:

R_h - hệ số lai;

f_{yt} - cường độ chảy của bản cánh chịu kéo.

3.13. TÍNH SỨC KHÁNG CẮT VÀ KIỂM TRA THEO CÔNG THỨC (3-1)

3.13.1. Khái niệm chung

- Các khoang bản bụng (phần bản bụng giới hạn bởi cánh dầm và các sườn tăng cường ngang hoặc giới hạn bởi sườn tăng cường dọc, cánh dầm với các sườn tăng cường ngang) của dầm thẳng và cong trong TTGH cường độ phải thỏa mãn:

$$V_u \leq V_r = \phi_v V_n \quad (3-79)$$

Trong đó:

V_u - lực cắt trong bản bụng do tải trọng tính toán sinh ra ở mặt cắt xét;

ϕ_v - hệ số sức kháng cắt;

V_n - sức kháng cắt danh định.

- Các sườn tăng cường ngang trung gian và sườn tăng cường dọc phải được thiết kế theo các quy định về cấu tạo ở Chương 2.

- Các bản bụng xem là bản bụng được tăng cường khi:

+ Không có sườn tăng cường dọc và khoảng cách giữa các sườn tăng cường ngang không quá 3D.

+ Có một hoặc nhiều sườn tăng cường dọc và khoảng cách giữa các sườn tăng cường ngang không quá 1,5D.

Không thỏa mãn điều kiện trên xem là bản bụng không được tăng cường.

3.13.2. Sức kháng cắt danh định của bản bụng không được tăng cường

Sức kháng cắt của bản bụng của dầm một loại thép và dầm lai V_n như sau:

$$V_n = V_{cr} = C V_p \quad (3-80)$$

Trong đó:

V_p - lực cắt dẻo;

$$V_p = 0,58 f_{yw} D t_w \quad (3-81)$$

V_{cr} - sức kháng ổn định khi cắt;

C - tỷ số sức kháng oằn chịu cắt với cường độ chảy dẻo tính với hệ số oằn do cắt $k=5,0$.

- Nếu: $\frac{D}{t_w} < 1,12 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$ thì $C=1,0$ (3-82)

- Nếu: $1,12 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$ thì $C = \left(\frac{D}{t_w} \right)^{\frac{1,12 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}}{1,40 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}}} \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$ (3-83)

- Nếu: $\frac{D}{t_w} > 1,40 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$ thì $C = \left(\frac{D}{t_w} \right)^{\frac{1,57 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}}{1,40 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}}} \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$ (3-84)

Trong đó:

k là hệ số ổn định cắt:

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D} \right)^2} \quad (3-85)$$

d_0 - khoảng cách giữa các sườn tăng cường ngang.

3.13.3. Sức kháng cắt danh định của bản bụng được tăng cường

Bản bụng được tăng cường có thể chỉ có sườn tăng cường ngang với khoảng cách giữa chúng không quá $3D$ hoặc có cả sườn tăng cường ngang và dọc với khoảng cách giữa các sườn tăng cường ngang không quá $1,5D$. Sườn tăng cường chia bản bụng thành các khoang, khi tính toán sức kháng cần phân biệt khoang biên (khoang ở hai đầu dầm) và khoang trong (khoang trung gian).

Khi tính sức kháng cắt dù bản bụng có sườn tăng cường dọc vẫn dùng chiều cao bản bụng (D) để tính toán.

Mỗi khoang có chiều dài nhất định, lực cắt trong khoang sẽ thay đổi, khi tính sườn tăng cường ngang phải dùng lực cắt lớn nhất trong khoang.

3.13.3.1. Sức kháng cắt danh định của các khoang phía trong

Mặt cắt trong phạm vi khoang nền cầu tạo sao cho tỷ lệ giữa diện tích sườn dầm và cánh dầm thỏa mãn:

$$\frac{Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} \leq 1,25 \quad (3-86)$$

để được lấy sức kháng cắt danh định:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] \quad (3-87)$$

Trong đó:

$$V_p - \text{lực cắt dèo: } V_p = 0,58f_{yw}Dt_w \quad (3-88)$$

C - tỷ số giữa sức kháng oằn khi cắt với cường độ chảy khi cắt, tính theo các công thức từ (3-82) đến (3-85).

+ Nếu điều kiện (3-86) không thỏa mãn sức kháng cắt danh định tính như sau:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2 + \frac{d_0}{D}}} \right] \quad (3-89)$$

3.13.3.2. Sức kháng cắt danh định của các khoang biên

Sức kháng cắt danh định của khoang biên bụng dầm:

$$V_n = V_{cr} = CV_p \quad (3-90)$$

Trong đó:

V_p - tính theo công thức (3-88);

V_{cr} - sức kháng ổn định (hay sức kháng oằn) khi cắt;

C - tính theo các công thức từ (3-82) đến (3-85).

Khoảng cách giữa các sườn tăng cường ngang của khoang biên khi có hoặc không có sườn tăng cường dọc cũng không được vượt quá $1,5D$.

3.14. TÍNH KẾT CẤU THEO CÁC TTGH KHÁC

Ở các phần trên đã nghiên cứu cách tính toán theo TTGH cường độ, như đã biết ngoài TTGH cường độ kết cấu còn phải tính theo các TTGH khác như TTGH sử dụng, TTGH môi và nứt gãy...

3.14.1. Tính kết cấu theo TTGH sử dụng

Có bốn TTGH sử dụng:

- TTGH sử dụng I: xét với tổ hợp tải trọng liên quan đến khai thác bình thường của cầu với gió có tốc độ 25m/s và với tất cả các tải trọng lấy theo giá trị danh định.
- TTGH sử dụng II: xét với tổ hợp tải trọng để kiểm soát giới hạn chảy của kết cấu thép và trượt của mối nối bulông cường độ cao chịu ma sát tới hạn do hoạt tải xe.
- TTGH sử dụng III: để kiểm soát nứt và liên quan đến ứng suất kéo chủ trong dầm bê tông dự ứng lực thi công theo phương pháp phân đoạn.
- TTGH sử dụng IV liên quan đến kéo trong cột bê tông dự ứng lực để kiểm soát nứt.

Trong tính toán thiết kế cầu thép chỉ cần quan tâm đến hai TTGH sử dụng I và II mà cụ thể là kiểm soát độ võng dài hạn và độ võng do hoạt tải.

3.14.1.1. Độ võng dài hạn

Khi kiểm tra độ võng dài hạn phải áp dụng tổ hợp tải trọng của TTGH sử dụng II, ở đó tải trọng DC, DW có hệ số tải trọng là 1,00 còn hoạt tải có hệ số tải trọng là 1,30.

Độ võng dài hạn kiểm soát thông qua ứng suất ở các bản cánh dầm, cụ thể là:

- Bản cánh trên dầm thép của mặt cắt liên hợp:

$$f_f \leq 0,95R_h f_{yf} \quad (3-91)$$

- Bản cánh dưới dầm thép của mặt cắt liên hợp:

$$f_f + \frac{f_t}{2} \leq 0,95R_h f_{yf} \quad (3-92)$$

- Cả hai bản cánh dầm thép của mặt cắt không liên hợp:

$$f_f + \frac{f_t}{2} \leq 0,80R_h f_{yf} \quad (3-93)$$

Trong đó:

f_f - ứng suất trong bản cánh do tổ hợp tải trọng sử dụng II sinh ra, không xét ứng suất do uốn ngang;

f_t - ứng suất bản cánh do uốn ngang do tổ hợp tải trọng sử dụng II sinh ra;

R_h - hệ số lại;

f_{yf} - cường độ chảy của bản cánh.

- Với các mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn dương có đà giáo chống đỡ trong khi thi công, ứng suất nén trong bản bê tông do tổ hợp tải trọng sử dụng II không được vượt quá $0,6f_c'$.

- Trừ các mặt cắt liên hợp chịu mômen uốn dương và có bản cánh thỏa mãn yêu cầu cấu tạo, tất cả các mặt cắt khác phải thỏa mãn yêu cầu sau:

$$f_c \leq F_{crw} \quad (3-94)$$

Trong đó:

f_c - ứng suất trong bản cánh do tổ hợp tải trọng sử dụng II sinh ra ở mặt cắt xét, không xét ứng suất do uốn ngang;

F_{crw} - sức kháng oằn danh định của bản bụng tính như sau:

$$F_{crw} = \frac{0,9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2}$$

Nhưng F_{crw} không được vượt quá giá trị nhỏ hơn của $R_h f_{yc}$ và $f_{yw}/0,7^e$.

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2}$$

khi cả hai mép bản bụng đều chịu nén lấy $k = 7,20$;

D_c - chiều cao bản bụng chịu nén trong giới hạn đàn hồi;

R_h - hệ số lai.

3.14.1.2. Độ võng do hoạt tải

Độ võng do hoạt tải sinh ra phải nhỏ hơn độ võng giới hạn:

$$v_L \leq v_{gh} \quad (3-95)$$

Trong đó:

v_L - độ võng do hoạt tải có xét xung kích;

v_{gh} - độ võng giới hạn.

- Tính độ võng do hoạt tải (v_L):

+ Phải dùng tổ hợp tải trọng sử dụng I kể cả lực xung kích.

+ Độ võng lấy trị số lớn hơn của:

• Kết quả tính toán chỉ do một xe tải thiết kế.

• Kết quả tính toán của 25% xe tải thiết kế cùng với tải trọng làn.

+ Phải áp dụng hệ số làn trong tính toán độ võng.

- Độ vồng giới hạn: Giới hạn độ vồng lấy theo tiêu chuẩn thiết kế cầu, cụ thể là:
- + Tải trọng xe nói chung: $L/800$
- + Tải trọng xe và người hoặc người đi bộ: $L/1000$
- + Tải trọng xe ở phần hẫng: $L/300$
- + Tải trọng xe và người hoặc người đi bộ ở phần hẫng: $L/375$

3.14.2. Tính kết cấu theo trạng thái giới hạn mỗi

Có hai trạng thái giới hạn mỗi:

- TTGH mỗi I tính với tổ hợp tải trọng gây ra mỗi với tuổi thọ chịu mỗi vô hạn.
 - TTGH mỗi II tính với tổ hợp tải trọng gây ra mỗi với tuổi thọ chịu mỗi hữu hạn.
- Cả hai TTGH mỗi đều được sử dụng để tính mỗi cho cầu thép.

Khi tính mỗi cần phân loại mỗi do tải trọng gây ra hay mỗi do cong vênh gây ra. Ở đây chỉ xét mỗi do tải trọng gây ra.

3.14.2.1. Khái niệm chung về tính toán mỗi do tải trọng

- Tác dụng của tải trọng để xem xét tính toán mỗi là biên độ ứng suất do tải trọng gây ra. Ứng suất do hoạt tải và biên độ ứng suất tại tất cả các mặt cắt phải được tính toán dựa trên ứng xử liên hợp ngắn hạn và giả sử bản bê tông là có hiệu với cả uốn âm và uốn dương.

- Các quy định này chỉ áp dụng cho các chi tiết chịu ứng suất kéo thực. Trong các vùng mà tải trọng thường xuyên không nhân với hệ số gây ra ứng suất nén thì chỉ kiểm tra mỗi nếu ứng suất nén này nhỏ hơn ứng suất kéo lớn nhất gây ra do hoạt tải từ tổ hợp tải trọng mỗi I, quy định trong Bảng 3-1.

- Tính toán mỗi do tải trọng gây ra, chi tiết kiểm tra phải thỏa mãn:

$$\gamma(\Delta F) \leq (\Delta F)_n \quad (3-96)$$

Trong đó:

γ - hệ số tải trọng xem trong Bảng 3-1;

ΔF - biên độ ứng suất do hoạt tải gây ra;

$(\Delta F)_n$ - sức kháng mỗi danh định.

3.14.2.2. Biên độ ứng suất do hoạt tải ΔF

- Tải trọng để tính mỗi là một xe tải thiết kế có khoảng cách giữa hai trục 145kN là 9m. Khi tính mỗi hoạt tải phải được xét xung kích. Bảng 3-1 cho tỷ lệ tăng tải trọng do xung kích trong TTGH mỗi là 15%, từ đó hệ xung kích $(1+IM)=1,15$.

- Khi đã có hoạt tải xếp xe trên cầu dễ dàng tính được ứng suất lớn nhất và nhỏ nhất (về giá trị tuyệt đối) từ đó tính được biên độ ứng suất ΔF .

3.14.2.3. Sức kháng mỗi danh định (ΔF)_n

- Các chi tiết phải được thiết kế để thỏa mãn các yêu cầu của các chi tiết loại A, B, C, D... như trong tiêu chuẩn thiết kế, ứng với các chi tiết này tiêu chuẩn thiết kế đã cho sẵn hằng số A, ngưỡng mỗi (ΔF)_{TH} và điểm khởi đầu của vết nứt tiềm ẩn.

- Tần số lặp của tải trọng mỗi lấy theo lưu lượng xe tải trung bình một ngày đêm của làn xe đơn (ADTT_{SL}), tần số này áp dụng cho tất cả các cấu kiện của cầu.

- Khi thiếu thông tin thì ADTT_{SL} có thể lấy như sau:

$$ADTT_{SL} = P \times ADTT \quad (3-97)$$

Trong đó:

ADTT - lượng xe tải qua cầu trong một ngày đêm tính theo một chiều tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế;

P - phần xe tải phân cho một làn, lấy theo Bảng 3-9.

- Khi lưu lượng xe tải trung bình ngày đêm của một làn xe trong 75 năm nhỏ hơn hoặc bằng giá trị quy định trong Bảng 3-10 cho các chi tiết được xem xét với tổ hợp tải trọng mỗi II, có thể dùng sức kháng mỗi danh định tuổi thọ hữu hạn, nếu không phải sử dụng tổ hợp tải trọng mỗi I với sức kháng mỗi danh định tuổi thọ vô hạn.

Bảng 3-9. Hệ số xe tải cho làn xe đơn

Số làn xe tải được lưu thông	P
1	1,00
2	0,85
≥ 3	0,80

Bảng 3-10. (ADTT)_{SL} 75 năm tương đương tuổi thọ vô hạn

Loại chi tiết	ADTT _{SL} 75 năm tương đương tuổi thọ vĩnh cửu (xe tải / ngày đêm)
A	530
B	860
B'	1035
C	1290
C'	745
D	1875
E	3530
E'	6485

Sức kháng mỗi danh định được tính như sau:

- Trừ trường hợp quy định ở dưới, sức kháng danh định:

+ Đối với tổ hợp tải trọng mỗi I và tuổi thọ vĩnh cửu:

$$(\Delta F)_n = (\Delta F)_{TH} \quad (3-98)$$

+ Đối với tổ hợp tải trọng mỗi II và tuổi thọ hữu hạn:

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3-99)$$

$$\text{Với } N = 365,75.n.(ADTT)_{SL} \quad (3-100)$$

Trong đó:

A - hằng số lấy theo loại chi tiết, tra Bảng 3-11;

N - số chu kỳ biên độ ứng suất với mỗi lượt xe tải chạy qua cầu, tra Bảng 3-12.

$(\Delta F)_{TH}$ - ngưỡng mỏi lấy theo loại chi tiết, tra Bảng 3-13.

Bảng 3-11. Hằng số loại chi tiết

Loại chi tiết	Hằng số $A \times 10^{11}$ (MPa ³)
A	82,0
B	39,3
B'	20,0
C	14,4
C'	14,4
D	7,21
E	3,61
E'	1,28
Bulông M164M (A325M) chịu kéo dọc trục	5,61
Bulông M253M (A490M) chịu kéo dọc trục	10,3

Bảng 3-12. Số chu kỳ đối với mỗi lượt xe tải chạy qua (n)

Các cấu kiện	Chiều dài nhịp	
	> 12m	≤ 12m
Các nhịp dầm giản đơn	1,0	2,0

Bảng 3-12. (tiếp theo)

Các cấu kiện	Chiều dài nhịp	
	> 12m	≤ 12m
Các nhịp dầm giản đơn	1,0	2,0
Các dầm liên tục		
Gần gối tựa trung gian	1,5	2,0
Ở nơi khác	1,0	2,0
Các dầm hẫng	5,0	
Các giàn	1,0	
Các cấu kiện ngang	Khoảng cách	
	> 6m	≤ 6m
	1,0	2,0

- Với kim loại cơ bản và kim loại hàn tại các chi tiết bản không liên tục nối với nhau bằng một cặp mối nối hàn góc hoặc mối nối hàn rãnh ngẫu không hoàn toàn trên mặt đối diện của tấm thép vuông góc với phương của ứng suất chính, sức kháng mỗi danh định tính theo công thức:

$$(\Delta F)_n = (\Delta F)_n^c \left[\frac{1,12 - 1,01\left(\frac{2a}{t_p}\right) + 1,24\left(\frac{W}{t_p}\right)}{\frac{1}{t_p^6}} \right] \leq (\Delta F)_n^c \quad (3-101)$$

Trong đó:

$(\Delta F)_n^c$ - sức kháng mỗi danh định đối với chi tiết loại C;

2a - chiều dày của bản thép góc không hàn ngẫu theo phương của chiều dày bản thép chịu tải. Đối với liên kết hàn góc tỷ số $\frac{2a}{t_p}$ lấy bằng 1,0;

t_p - chiều dày bản chịu tải;

W - kích thước chân phần hàn phủ của đường hàn rãnh hoặc chu vi của mặt đường hàn góc theo phương của bản thép chịu tải.

Bảng 3-13. Ngưỡng mỏi với biên độ không đổi $(\Delta F)_{TH}$

Loại chi tiết	$(\Delta F)_{TH}$ (MPa)
A	165
B	110
B'	83,0
C	69,0
C'	83,0
D	48,0
E	31,0
E'	18,0
Bulông M164M (A325M) chịu kéo dọc trục	214
Bulông M253M (A490M) chịu kéo dọc trục	262

3.14.2.4. Các yêu cầu đặc biệt về mỏi cho bản bụng

- Tải trọng để tính toán mỏi cho bản bụng là tổ hợp tải trọng mỏi I và hoạt tải tính mỏi như phần 3.5.6.
- Các khoang của bản bụng có sườn tăng cường ngang và có hoặc không có sườn tăng cường dọc phải thỏa mãn:

$$V_u \leq V_{cr} \quad (3-102)$$

Trong đó:

V_u - lực cắt trong bản bụng do tĩnh tải không có hệ số và tải trọng mỏi sinh ra.

V_{cr} - sức kháng ổn định khi cắt, tính theo công thức (3-80).

3.14.3. Tính toán khả năng thi công

3.14.3.1. Khái niệm chung

Tính toán theo khả năng thi công nhằm đảm bảo cho kết cấu thi công được và không xảy ra mất an toàn trong giai đoạn thi công.

- Khi kiểm tra khả năng thi công các kết cấu chịu uốn hệ số tải trọng lấy theo bảng 3-1 nhưng phải điều chỉnh như sau:

+ Trong tổ hợp tải trọng cường độ I, III và V hệ số tải trọng dùng cho kết cấu và các phụ kiện không nhỏ hơn 1,25.

+ Hệ số tải trọng cho tải trọng của các thiết bị và bất kỳ hiệu ứng xung kích nào của nó không lấy nhỏ hơn 1,50 trong tổ hợp tải trọng cường độ I. Hệ số tải trọng của gió trong tổ hợp tải trọng cường độ III không nhỏ hơn 1,25.

- Để đánh giá độ võng thi công phải áp dụng tổ hợp tải trọng sử dụng I. Tĩnh tải thi công được xem là tải trọng thường xuyên và tải trọng tức thời khi thi công phải được xem là hoạt tải, hệ số tải trọng khi tính độ võng lấy bằng 1,0.

- Lực kích thiết kế trong khai thác cầu không được nhỏ hơn 1,3 lần phản lực gối ở điểm kích nâng.

Trong khai thác nếu kích mà không dùng khai thác thì lực kích còn phải xét thêm phản lực do hoạt tải nhân với hệ số tải trọng của hoạt tải.

3.14.3.2. Kiểm tra uốn

a) Bản cánh giằng gián đoạn chịu nén

Bản cánh chịu nén giằng gián đoạn cần phải kiểm tra theo ba điều kiện:

- Kiểm tra giới hạn chảy danh định của bản cánh, công thức (3-103).

- Kiểm tra sức kháng uốn của bản cánh, công thức (3-104).

- Kiểm tra ổn định uốn bản bụng, công thức (3-105). Với mặt cắt có bản bụng mảnh không cần kiểm tra theo công thức (3-103) khi ứng suất do uốn ngang $f_l = 0$. Với mặt cắt có bản bụng đặc chắc hay không đặc chắc vẫn phải kiểm tra theo công thức (3-105):

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f R_h f_{yc} \quad (3-103)$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f R_h F_{nc} \quad (3-104)$$

$$\text{Và:} \quad f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (3-105)$$

Trong đó:

ϕ_f - hệ số sức kháng uốn;

f_{bu} - ứng suất trong bản cánh không xét uốn ngang;

f_l - ứng suất trong bản cánh do uốn ngang;

F_{nc} - sức kháng uốn danh định của bản cánh chịu nén, khi tính F_{nc} trong thi công lấy $R_b = 1,0$;

f_{yc} - giới hạn chảy của cánh nén;

F_{crw} - sức kháng danh định ổn định khi uốn của bản bụng;

R_h - hệ số lai.

b) Bản cánh giằng gián đoạn chịu kéo

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f R_h f_{yt} \quad (3-106)$$

c) Bản cánh giằng liên tục chịu kéo hoặc nén

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h f_{yf}$$

f_{yf} - cường độ chảy của cánh đang xét, bản cánh kéo là f_{yt} , bản cánh nén là f_{yc} .

Khi mặt cắt không liên hợp có bản bụng mảnh bản cánh chịu nén còn phải thỏa mãn (3-105).

3.14.3.3. Kiểm tra cắt

Trong tất cả các giai đoạn thi công bản bụng phải thỏa mãn:

$$V_u \leq \phi_v V_{cr} \quad (3-107)$$

Trong đó:

ϕ_v - hệ số sức kháng cắt;

V_u - lực cắt trong bản bụng tại mặt cắt xét do tải trọng dài hạn tính toán và tải trọng thi công tác dụng lên mặt cắt.;

V_{cr} - sức kháng ổn định khi cắt, xác định theo công thức (3-80).

3.14.3.4. Lắp đặt bản mặt cầu

Khi lắp xong bản mặt cầu và bê tông đã đông cứng đầm liên hợp chịu mômen uốn dương, nhưng trong quá trình thi công bản chưa liên hợp nên chỉ được dùng các đặc trưng hình học, chiều dài giằng và ứng suất của mặt cắt đầm thép để tính sức kháng uốn danh định.

Phải xem xét sự thay đổi của tải trọng, độ cứng và liên kết trong suốt các giai đoạn lắp đặt bản mặt cầu và kiểm tra uốn theo các công thức ở mục 3.14.3.1. Ở nước ta, bản mặt cầu trong cầu liên hợp vẫn bố trí cốt thép thường do vậy không cần kiểm tra uốn trong bản bê tông.

3.15. NEO LIÊN HỢP

Cầu tạo của neo liên hợp (còn gọi là neo chống cắt nhưng thực ra neo chống cả cắt và chống cả bóc bản bê tông khỏi bề mặt đầm thép) đã được nghiên cứu ở chương 2, ở đây chỉ xét cách bố trí và tính toán neo.

3.15.1. Bước neo

Bước neo xác định để cường độ:

Trong đó:

V_{sr} - biên

V_{fat} - biên

F_{fat} - biên

hoặc:

σ_{f1g} - biên

A_{bot} - biên

F_{rc} - biên

I_{td} - biên

l - biên

n - biên

Q - biên

V_f - biên

đã

3.15.1. Bước neo (P)

Bước neo là khoảng cách giữa các neo theo chiều dọc dầm. Bước neo phải được xác định để thỏa mãn TTGH mỗi và số lượng neo phải đủ để thỏa mãn TTGH cường độ:

$$P \leq \frac{nZ_r}{V_{sr}} \quad (3-108)$$

Trong đó:

V_{sr} - biên độ lực cắt ngang khi mỗi cho mỗi đơn vị dài.

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} \quad (3-109)$$

V_{fat} - biên độ lực cắt dọc mỗi cho mỗi đơn vị dài.

$$V_{fat} = \frac{V_f Q}{I_{td}} \quad (3-110)$$

F_{fat} - biên độ lực cắt hướng tâm mỗi cho mỗi đơn vị dài, lấy giá trị lớn hơn của:

$$F_{fat1} = \frac{A_{bot} + \sigma_{f lg} l}{I_{td}} \quad (3-111)$$

hoặc:

$$F_{fat2} = \frac{F_{rc}}{W} \quad (3-112)$$

$\sigma_{f lg}$ - biên độ ứng suất dọc mỗi trong bản cánh dưới khi không xét uốn ngang bản cánh;

A_{bot} - diện tích mặt cắt ngang bản cánh dưới;

F_{rc} - biên độ thực của lực truyền từ liên kết ngang lên bản cánh trên;

I_{td} - mômen quán tính của mặt cắt liên hợp ngắn hạn đối với trục x_{td} ;

l - khoảng cách giữa các điểm giằng;

n - số lượng các neo chống cắt trên một mặt cắt ngang;

Q - mômen tĩnh của diện tích tính đối của bản đối với trục x_{td} ;

V_f - biên độ lực cắt thẳng đứng do tổ hợp tải trọng mỗi với hoạt tải tính mỗi như đã biết;

W - chiều dài có hiệu của bản, lấy là 1220mm trừ vị trí trên đỉnh trụ lấy là 600mm;

Z_r - sức kháng mỗi khi cắt của một neo chống cắt, xác định theo các công thức ở phần sau.

Với các đoạn thẳng hoặc nhịp thẳng có thể lấy $F_{fat1} = 0$. Với cầu thẳng hoặc cong bằng góc chéo không quá 20° cũng có thể lấy $F_{fat2} = 0$.

Bước neo (khoảng cách từ tim đến tim) liên hợp không được vượt quá 600mm và không được nhỏ hơn 6 lần đường kính neo đỉnh.

3.15.2. Khoảng cách ngang

Các neo liên hợp cần bố trí theo phương ngang trên bản cánh trên của dầm thép với khoảng cách đều hoặc thay đổi nhưng khoảng cách của các neo đỉnh theo phương ngang không được nhỏ hơn 4 lần đường kính neo.

Khoảng trống từ mép bản cánh đến mép neo gần nhất không được nhỏ hơn 25mm.

3.15.3. Sức kháng mỗi của neo

3.15.3.1. Neo đỉnh

Khi lưu lượng xe tải bình quân một ngày đêm trên một làn trong tuổi thọ thiết kế $ADTT_{SL}$ lớn hơn hoặc bằng 960 xe thì dùng tổ hợp tải trọng mỗi I để tính sức kháng cắt mỗi vô hạn:

$$Z_r = 38d^2 \quad (3-113)$$

Khi $ADTT_{SL}$ nhỏ hơn 960 xe thì dùng tổ hợp tải trọng mỗi II để tính sức kháng cắt mỗi hữu hạn:

$$Z_r = \alpha d^2 \quad (3-114)$$

$$\alpha = 238 - 29,5 \lg N$$

trong đó:

d - đường kính neo đỉnh;

N - số chu kỳ, lấy theo Bảng 3.10.

3.15.3.2. Neo bằng thép chữ

Khi $ADTT_{SL}$ lớn hơn hoặc bằng 1850 xe thì dùng tổ hợp tải trọng mỗi I để tính sức kháng cắt mỗi vô hạn:

$$Z_r = 368W \quad (3-115)$$

Khi $ADTT_{SL}$ nhỏ hơn 1850 xe thì dùng tổ hợp tải trọng mỗi II để tính sức kháng cắt mỗi hữu hạn.

$$Z_r = BW \quad (3-116)$$

$$B = 1641 - 189 \lg N \quad (3-117)$$

W - chiều dài của neo [đo theo chiều ngang cánh dầm.

3.15.4. Neo bổ sung ở các điểm uốn tĩnh tải

Với các cấu kiện không liên hợp trong vùng mômen uốn âm phải bổ sung neo ở vùng mômen uốn do tĩnh tải đối dấu với số lượng neo bổ sung n_{AC} như sau:

$$n_{AC} = \frac{A_s f_{sr}}{Z_r} \quad (3-118)$$

Trong đó:

A_s - diện tích cốt thép dọc trên gối trung gian trong phạm vi chiều rộng có hiệu của bản bê tông;

f_{sr} - ứng suất trong cốt thép dọc trên gối trung gian do tổ hợp tải trọng môi sinh ra;

Z_r - sức kháng môi của một neo.

Các neo bổ sung được bố trí trên khoảng cách bằng một phần ba chiều rộng bản cánh có hiệu về mỗi bên của điểm đối dấu mômen do tĩnh tải dầm thép.

3.15.5. Tính neo trong TTGH cường độ

3.15.5.1. Khái niệm chung

Sức kháng cắt tính toán của neo được tính như sau:

$$Q_r = \phi_{sc} Q_n \quad (3-119)$$

Trong đó:

ϕ_{sc} - hệ số sức kháng đối với neo chịu cắt;

Q_n - sức kháng cắt danh định.

Ở TTGH cường độ trong một vùng đang xét số neo cần thiết là:

$$n = \frac{P}{Q_r} \quad (3-120)$$

P - tổng lực cắt danh định trên vùng xét.

Từ công thức (3-119) và (3-120) nhận thấy để tính được số neo cần thiết cần phải xác định được P và Q_r .

3.15.5.2. Lực cắt danh định

Lực cắt danh định được xác định cho từng vùng hay từng đoạn dầm để tính ra số lượng neo cần thiết trong vùng đó.

- Với các nhịp giản đơn và nhịp liên tục không liên hợp trong vùng mômen âm tổng lực cắt danh định (P) giữa điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xung kích và điểm có mômen bằng không liền kề lấy bằng:

$$P = \sqrt{P_p^2 + F_p^2} \quad (3-121)$$

Trong đó:

P_p - tổng lực cắt dọc trong bản bê tông tại điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xung kích lấy giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị sau:

$$P_{lp} = 0,85f'_c b_s t_s \quad (3-122)$$

và:

$$P_{2p} = f_{yw} D t_w + f_{yt} b_{ft} t_{ft} + f_{yc} b_{fc} t_{fc} \quad (3-123)$$

F_p - tổng lực cắt hướng tâm trong bản bê tông tại điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xét xung kích.

$$F_p = P_p \frac{L_p}{R} \quad (3-124)$$

Trong đó:

b_s - bề rộng có hiệu của bản bê tông;

t_s - bề dày bản bê tông;

D, t_w - chiều cao và chiều dày bản bụng;

b_{ft}, t_{ft} - chiều rộng và chiều dày cánh kéo;

b_{fc}, t_{fc} - chiều rộng và chiều dày cánh nén;

f'_c - cường độ nén của bê tông bản;

f_{yw}, f_{yt}, f_{yc} - cường độ chảy của bụng dầm, cánh kéo và cánh nén;

L_p - chiều dài (lấy theo đường cong nếu cầu cong bằng) giữa đầu dầm và điểm có mômen dương lớn nhất liền kề do hoạt tải có xung kích;

R - bán kính cong nhỏ nhất của dầm trên chiều dài L_p , với dầm thẳng $R = \infty$ nên $F_p = 0$.

- Với các nhịp liên tục có liên hợp trong vùng mômen uốn âm tổng lực cắt danh định giữa điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xét xung kích và điểm đầu và cuối của các nhịp biên tính theo công thức (3-121). Tổng lực cắt danh định giữa điểm có mômen dương do hoạt tải có xét xung kích và tim gối của trụ trung gian liên kề xác định như sau:

$$P = \sqrt{P_T^2 + F_T^2} \quad (3-125)$$

Trong đó:

P_T - tổng lực cắt dọc trong bản bê tông từ điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xét xung kích đến tim gối trung gian liên kề.

$$P_T = P_p + P_n \quad (3-126)$$

P_p - tính theo (3-122) và (3-123) rồi lấy giá trị nhỏ hơn.

P_n - tổng lực cắt dọc trong bản bê tông trên gối trung gian lấy giá trị nhỏ hơn của hai giá trị sau:

$$P_{1n} = F_{yw} D t_w + f_{yt} b_{ft} t_{ft} + f_{yc} b_{fc} t_{fc} \quad (3-127)$$

và:

$$P_{2n} = 0,45 f'_c b_s t_s \quad (3-128)$$

F_T - tổng lực cắt hướng tâm trong bản bê tông từ điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xét xung kích đến tim gối trung gian liên kề.

$$F_T = P_T \frac{L_n}{R} \quad (3-129)$$

L_n - chiều dài lấy theo đường cong giữa điểm có mômen dương lớn nhất do hoạt tải có xét xung kích và tim gối trung gian liên kề.

R - bán kính cong nhỏ nhất trên chiều dài L_n . Các đoạn dầm thẳng, cầu thẳng $R = \infty$ nên $F_T = 0$.

3.15.5.3. Sức kháng cắt danh định

- Neo định:

$$Q_n = 0,50 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} f_u \quad (3-130)$$

Trong đó:

A_{sc} - diện tích mặt cắt ngang của neo định;

f'_c - cường độ nén của bê tông;

E_c - mô đun đàn hồi của bê tông;

f_u - cường độ kéo của neo đỉnh.

- Neo thép hình:

$$Q_n = 0,3(t_f + 0,5t_w)L_c\sqrt{f'_cE_c} \quad (3-131)$$

Trong đó:

t_f - chiều dày cánh của neo;

t_w - chiều dày bụng của neo;

L_c - chiều dài của neo.

3.15.6. Trình tự tính toán và bố trí neo

- Tính sức kháng mỏi của neo (Z_r).

- Tính biên độ lực cắt do mỏi (V_{sr}).

- Tính bước neo tối đa ($\frac{n.Z_r}{V_{sr}}$), so sánh với 600mm và 6d để chọn bước neo tối đa.

- Xác định mặt cắt có mômen dương lớn nhất do hoạt tải thiết kế có xung kích từ đó xác định các chiều dài L_p và L_n .

- Tính tổng lực cắt danh định trên từng vùng (P).

- Tính sức kháng danh định (Q_n) và sức kháng cắt tính toán (Q_r) cho từng vùng trong TTGH cường độ.

- Tính số neo (n) cho từng vùng theo điều kiện cường độ, tính số neo bổ sung, bố trí neo, khi bố trí neo phải so sánh với bước neo tối đa và tối thiểu theo đúng quy định của tiêu chuẩn thiết kế.

3.16. TÍNH MỐI NỐI

3.16.1. Khái niệm chung

Trong cầu thép tại mối nối thường dùng liên kết bulông cường độ cao và liên kết hàn.

- Các liên kết và mối nối của các cấu kiện chính trong cầu phải được thiết kế ở TTGH cường độ và không nhỏ hơn trị số lớn hơn của:

+ Trị số trung bình của ứng suất do các tải trọng tính toán ở vị trí nối hoặc liên kết và sức kháng tính toán của kết cấu ở cùng vị trí;

+ 75% sức kháng tính toán của kết cấu hoặc thành phần của kết cấu.

- Khi các liên kết ngang (khung ngang, vách ngang, dầm ngang) dầm dọc của kết cấu chịu uốn thẳng hoặc cong bằng được đưa vào mô hình tính toán thì đầu nối của các bộ phận này phải được thiết kế với nội lực tính toán, nếu không phải được thiết kế với 75% sức kháng theo mặt cắt cấu tạo của nó.

- Cần cố gắng bố trí các liên kết đối xứng qua trục của cầu kiện. Các liên kết trừ các giằng và lan can tay vịn phải có không ít hơn 2 bulông. Các bộ phận gồm các hệ giằng cần liên kết để trục của chúng giao nhau ở một điểm. Cần tránh các liên kết lệch tâm, nếu không thể tránh được thì các bộ phận và liên kết phải đủ chịu được các tác động do lệch tâm.

- Các liên kết truyền tổng lực cắt ở đầu bộ phận thì mặt cắt nguyên phải lấy như mặt cắt nguyên của cầu kiện được liên kết.

- Chiều dày của các thép góc liên kết đầu dầm dọc, dầm ngang và các dầm nói chung không được nhỏ hơn 10mm.

- Trừ khi có quy định riêng phải dùng các lỗ bulông tiêu chuẩn trong liên kết ở các cầu cong bằng.

3.16.2. Liên kết bulông

Ở đây không nghiên cứu cấu tạo của bulông, lỗ bulông mà chỉ nghiên cứu cách tính toán liên kết bulông và các quy định về bố trí bulông trên mỗi nối.

Các mối nối liên kết bằng bulông cường độ cao phải chỉ rõ liên kết ma sát hay liên kết ép tựa.

3.16.2.1. Các liên kết bulông ma sát

Liên kết bulông ma sát được dùng trong các mối nối sau đây:

- Chịu tải trọng môi.
- Chịu cắt với bulông lắp vào các lỗ quá cỡ.
- Chịu cắt với bulông lắp vào lỗ có rãnh, ở nơi mà lực trên mỗi nối theo phương không vuông góc với trục của rãnh.
- Chịu tải trọng xoắn.
- Chịu kéo dọc trục hoặc kéo dọc trục đồng thời cắt.
- Các mối nối hàn và bulông cùng tham gia chịu lực ở bề mặt được tạo nhám chung.
- Các mối nối chịu kéo dọc trục với các lỗ tiêu chuẩn hoặc lỗ có khía rãnh trong một lớp của liên kết với phương tải trọng vuông góc với phương của rãnh trừ mỗi nối của cầu kiện chịu nén có các đầu được gia công ở nhà máy để được nối ép tựa.
- Các mối nối có nguy cơ trượt.

3.16.2.2. Các liên kết bulông chịu ép tựa

Chỉ được dùng liên kết bulông cường độ cao chịu ép tựa cho các mối nối chịu nén dọc trục hoặc các mối nối ghép của hệ giằng ngang.

3.16.2.3. Sức kháng tính toán

- Liên kết bulông ma sát có sức kháng tính toán (R_r) trong tổ hợp tải trọng sử dụng II:

$$R_r = R_n \quad (3-132)$$

- Sức kháng tính toán R_r hoặc T_r trong tổ hợp tải trọng cường độ của liên kết bulông ma sát và bulông ép tựa:

$$R_r = \phi R_n \quad (3-133)$$

$$T_r = \phi T_n \quad (3-134)$$

Trong đó:

R_n, T_n - sức kháng danh định.

ϕ - hệ số sức kháng lấy theo 3.12.1.1 tùy theo từng trường hợp như chịu cắt, chịu ép mặt...

3.16.2.4. Sức kháng danh định

a) Sức kháng trượt

Sức kháng trượt danh định của bulông trong liên kết ma sát:

$$R_n = K_h K_s N_s P_t \quad (3-135)$$

trong đó:

N_s - số lượng mặt ma sát tính cho mỗi bulông;

P_t - lực kéo nhỏ nhất yêu cầu của bulông (Bảng 3-14);

K_h - hệ số kích thước lỗ (Bảng 3-15);

K_s - hệ số điều kiện bề mặt (Bảng 3-16).

Bảng 3-14. Lực kéo nhỏ nhất yêu cầu của bulông

Đường kính bulông (mm)	Lực kéo yêu cầu P_t (KN)	
	M164 (A325M)	M253 (A490M)
16	91	114
20	142	179

Bảng 3-14. (tiếp theo)

Đường kính bulông (mm)	Lực kéo yêu cầu Pt (KN)	
	M164 (A325M)	M253 (A490M)
22	176	221
24	205	257
28	267	334
30	326	408
36	475	595

Bảng 3-15. Các trị số của K_h

Cho các lỗ tiêu chuẩn	1,00
Cho các lỗ quá cỡ và khía rãnh ngắn	0,85
Cho các lỗ khía rãnh dài có rãnh thẳng góc với phương của lực	0,70
Cho các lỗ khía rãnh dài có rãnh song song với phương của lực	0,60

Bảng 3-16. Các trị số của K_s

Cho các điều kiện bề mặt loại A	0,33
Cho các điều kiện bề mặt loại B	0,50
Cho các điều kiện bề mặt loại C	0,33

Ghi chú của Bảng 3-16:

- Bề mặt loại A: làm sạch gỉ ở nhà máy, không sơn, các bề mặt được làm sạch bằng thổi áp lực với các lớp phủ bọc loại A.

- Bề mặt loại B: không sơn, bề mặt được làm sạch bằng thổi áp lực với các lớp phủ bọc loại B.

- Bề mặt loại C: các bề mặt mạ kẽm nóng và làm nhám bằng bàn chải sắt sau khi mạ.

b) Sức kháng cắt

- Sức kháng cắt ở TTGH cường độ trong mỗi nối có cự ly giữa các bulông xa nhất lấy theo phương song song với đường tác dụng của lực nhỏ hơn 1270mm:

+ Khi các đường ren ngoài mặt phẳng cắt:

$$R_n = 0,48A_b f_{ub} N_s \quad (3-136)$$

+ Khi các đường ren nằm trong mặt phẳng cắt:

$$R_n = 0,38A_b f_{ub} N_s \quad (3-137)$$

Trong đó:

A_b - diện tích của bulông tương ứng với đường kính danh định;

F_{ub} - cường độ kéo của bulông, trong tiêu chuẩn thiết kế quy định cường độ kéo của bulông cường độ cao đường kính từ 16mm tới 27mm tối thiểu 830MPa, đường kính từ 28mm tới 38mm tối thiểu là 725MPa. Nếu cần thiết có thể kiểm tra cường độ kéo của bulông bằng thí nghiệm;

N_s - số lượng mặt chịu cắt cho mỗi bulông.

c) Sức kháng ép mặt ở các lỗ bulông

Diện tích chịu ép mặt có hiệu của bulông lấy bằng đường kính bulông nhân với chiều dày các tấm liên kết mà thân bulông ép tựa, nếu các tấm liên kết có lỗ khoét miệng loe thì chiều dày phải trừ đi một nửa chiều cao miệng loe.

- Đối với các lỗ tiêu chuẩn, lỗ quá cỡ, lỗ khía rãnh ngăn chịu lực theo phương bất kỳ và các lỗ khía rãnh dài song song với hướng tác dụng của lực gây ra ép mặt thì sức kháng danh định của các lỗ trong TTGH cường độ như sau:

+ Với các lỗ có khoảng trống không nhỏ hơn 2d và khoảng trống ở đầu không nhỏ hơn 2d thì:

$$R_n = 2,4dtf_u \quad (3-138)$$

+ Nếu khoảng trống giữa các lỗ hoặc khoảng trống ở đầu nhỏ hơn 2d thì:

$$R_n = 1,2L_c tf_u \quad (3-139)$$

- Với các lỗ có khía rãnh dài vuông góc với lực gây ra ép mặt:

+ Các bulông có khoảng trống giữa các lỗ và khoảng trống ở đầu không nhỏ hơn 2d:

$$R_u = 2dtf_u \quad (3-140)$$

+ Nếu khoảng trống giữa các lỗ hoặc khoảng trống ở đầu nhỏ hơn 2d:

$$R_u = L_c tf_u \quad (3-141)$$

Trong đó:

d - đường kính danh định của bulông;

t - chiều dày của các tấm liên kết;

f_u - cường độ kéo của vật liệu liên kết lấy theo Bảng 3-17;

L_c - khoảng trống giữa các lỗ hoặc khoảng trống ở đầu lấy theo hướng tác dụng của lực và lấy giá trị nhỏ hơn trong hai khoảng trống.

Bảng 3-17. Các đặc tính cơ học tối thiểu của kết cấu theo hình dáng, cường độ và chiều dày

Ký hiệu AASHTO	Thép kết cấu	Thép hợp kim thấp cường độ cao		Thép hợp kim thấp tôi và ram	Thép hợp kim tôi và ram, cường độ chảy dẻo cao	
	M270M Cấp 250	M270M Cấp 345	M270M Cấp 345W	M270M Cấp 485W	M270M Các cấp 690/690W	
Ký hiệu ASTM tương đương	A709M Cấp 250	A709M Cấp 345	A709M Cấp 345W	A709M Cấp 485W	A709M Các cấp 690/690W	
Chiều dày của các bản, mm	Tới 100	Tới 100	Tới 100	Tới 100	Tới 65	Trên 65 đến 100
Thép hình	Tất cả các nhóm	Tất cả các nhóm	Tất cả các nhóm	Không áp dụng	Không áp dụng	Không áp dụng
Cường độ chịu kéo nhỏ nhất, F_u , MPa	400	450	485	620	760	690
Điểm chảy nhỏ nhất hoặc cường độ chảy nhỏ nhất F_y , MPa	250	345	345	485	690	620

d) Sức kháng kéo

Các bulông cường độ cao chịu kéo dọc trục phải được xiết đến lực kéo như quy định trong Bảng 3-14. Lực kéo tác dụng lên bulông phải cộng thêm bất kỳ lực kéo nào do tác động nhỏ lên gây ra.

Sức kháng kéo danh định (T_n) không phụ thuộc vào lực xiết ban đầu:

$$T_n = 0,76A_b f_{ub} \quad (3-142)$$

A_b - diện tích của bulông tương ứng với đường kính danh định;

f_{ub} - cường độ kéo của bulông.

e) Sức kháng mỗi khi kéo

Khi tính mỗi của bulông cường độ cao chịu kéo biên độ ứng suất do hoạt tải mỗi có xét xung kích cộng với lực nhỏ lên do tính tác động có chu kỳ của tải trọng mỗi phải thỏa mãn điều kiện $\gamma(\Delta F) \leq (\Delta F)_n$.

Khi tính biên độ ứng suất của bulông phải dùng đường kính danh định, lực nhỏ tính toán không được vượt quá 30% tải trọng bên ngoài tác dụng lên, lực nhỏ lên là lực kéo bulông được tính theo công thức sau:

$$Q_u = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{328000} \right] P_u \quad (3-143)$$

Trong đó:

Q_u - lực kéo nhỏ một bulông do các tải trọng tính toán, lấy bằng không khi Q_u tính ra là âm;

P_u - lực kéo trực tiếp lên một bulông do tải trọng tính toán;

a - khoảng cách từ tim bulông đến mép của tấm;

b - khoảng cách từ tim bulông đến tim đường hàn của bộ phận liên kết;

t - chiều dày của bộ phận liên kết mỏng nhất.

g) *Sức kháng kéo và cắt đồng thời*

Sức kháng kéo danh định của bulông chịu kéo đồng thời cắt T_n tính như sau:

- Nếu $\frac{P_u}{R_u} \leq 0,33$ thì: $T_n = 0,76A_b f_{ub}$ (3-144)

- Nếu $\frac{P_u}{R_u} > 0,33$ thì: $T_n = 0,76A_b f_{ub} \sqrt{1 - \left(\frac{P_u}{\phi R_n}\right)^2}$ (3-145)

A_b - diện tích bulông ứng với đường kính danh định;

f_{ub} - cường độ kéo của bulông;

P_u - lực cắt tác động lên bulông;

R_n - sức kháng cắt danh định của bulông, tính theo phần b của 3.16.2.4.

Trong tổ hợp tải trọng sử dụng II sức kháng danh định của bulông ở liên kết ma sát để chịu cắt kết hợp với kéo dọc trục không được vượt quá sức kháng danh định tính theo công thức (3-135) nhân với hệ số:

$$1 - \frac{T_u}{P_t} \quad (3-146)$$

T_u - lực kéo do tải trọng tính toán trong tổ hợp tải trọng sử dụng II;

P_t - lực kéo nhỏ nhất yêu cầu của bulông, lấy theo Bảng 3-14.

3.16.3. Liên kết hàn

Liên kết hàn được sử dụng rộng rãi trong các mối nối của cầu thép nhất là các mối nối được thực hiện trong công xưởng.

Ở đây không nghiên cứu về vật liệu hàn, phương pháp hàn... mà chỉ nghiên cứu các tính toán các liên kết hàn trong các mối nối của cầu thép.

3.16.3.1. Các liên kết hàn có soi rãnh vát ngẫu hoàn toàn

a) Kéo hoặc nén

Các liên kết hàn có soi rãnh vát ngẫu hoàn toàn chịu kéo hoặc nén trực giao với diện tích có hiệu hoặc song song với trục đường hàn có sức kháng tính toán của liên kết hàn lấy như sức kháng cắt tính toán của kim loại cơ bản.

Diện tích có hiệu là chiều dài đường hàn có hiệu nhân với chiều cao thắt hẹp có hiệu của mối hàn, trong đó chiều cao thắt hẹp có hiệu của mối hàn là khoảng cách nhỏ nhất từ gốc mối ghép đến mặt mối hàn.

Sức kháng tính toán:

$$R_r = 0,6\phi_{el}f_{exx} \quad (3-146a)$$

b) Cắt

Sức kháng cắt tính toán của mối hàn có soi rãnh vát ngẫu hoàn toàn chịu cắt trên diện tích có hiệu được lấy theo trị số nhỏ hơn của 60% sức kháng kéo tính toán của kim loại cơ bản và của trị số dưới đây:

$$\text{với:} \quad R_r = 0,6\phi_{e2}f_{exx} \quad (3-147)$$

f_{exx} - cường độ phân loại của kim loại đường hàn;

ϕ_{el}, ϕ_{e2} - hệ số sức kháng đối với kim loại hàn.

3.16.3.2. Các liên kết hàn có soi rãnh vát ngẫu không hoàn toàn

a) Kéo hoặc nén

Liên kết hàn có soi rãnh vát ngẫu không hoàn toàn chịu nén trực giao với diện tích có hiệu hoặc chịu kéo, nén song song với trục đường hàn có sức kháng tính toán của liên kết hàn lấy như sức kháng tính toán của kim loại cơ bản.

Khi liên kết hàn có soi rãnh vát ngẫu không hoàn toàn chịu kéo trực giao với diện tích hiệu dụng sức kháng tính toán phải lấy theo giá trị nhỏ hơn của sức kháng tính toán của kim loại cơ bản và của trị số tính theo công thức (3-146a).

b) Cắt

Sức kháng cắt tính toán của liên kết hàn có soi rãnh vát ngẫu không hoàn toàn chịu cắt song song với trục của đường hàn phải lấy giá trị nhỏ hơn 60% sức kháng tính toán của vật liệu liên kết và sức kháng tính toán của kim loại hàn tính theo công thức (3-147) nhưng phải lấy hệ số sức kháng tương ứng với trường hợp chịu cắt.

3.16.3.3. Các liên kết dùng đường hàn góc

a) Kéo hoặc nén

Các đường hàn góc chịu kéo hoặc nén song song với trục đường hàn sức kháng tính toán lấy theo sức kháng tính toán của kim loại cơ bản (công thức 3-146a).

b) Cắt

Sức kháng cắt tính toán của đường hàn góc được lấy như tích số của diện tích có hiệu với cường độ chảy hoặc sức kháng tính toán của kim loại cơ bản tính theo công thức (3-147) với hệ số sức kháng khi cắt.

Diện tích có hiệu được xác định dựa trên chiều dài có hiệu của đường hàn. Chiều dài có hiệu nhỏ nhất của đường hàn góc phải là bốn lần kích thước của nó và không trường hợp nào nhỏ hơn 40mm.

Kích thước của đường hàn góc được xác định khi thiết kế sao cho các tải trọng tính toán không vượt quá sức kháng của liên kết.

Kích thước lớn nhất lấy như sau:

- + Vật liệu thép có chiều dày nhỏ hơn 6mm lấy bằng chiều dày của vật liệu;
- + Vật liệu thép có chiều dày lớn hơn hoặc bằng 6mm lấy nhỏ hơn chiều dày vật liệu 2mm.

Kích thước nhỏ nhất của đường hàn góc có thể lấy theo Bảng 3-18.

Bảng 3-18. Kích thước nhỏ nhất của đường hàn góc

Chiều dày kim loại cơ bản của bộ phận mỏng hơn được nối ghép (mm)	Kích thước nhỏ nhất của đường hàn góc (mm)
≤ 20	6
> 20	8

3.16.4. Mối nối dầm

Mối nối dầm gồm mối nối bụng dầm và mối nối cánh dầm liên kết bằng bulông cường độ cao hoặc bằng các đường hàn, nếu mối nối ở công trường thì nên dùng mối nối bulông cường độ cao. Mối nối bụng dầm và cánh dầm có thể ở cùng một mặt cắt hoặc hai mặt cắt khác nhau của dầm.

Cả mối nối cánh dầm và mối nối bụng dầm ở mỗi phía của mối nối không được bố trí ít hơn hai hàng bulông.

Các mối nối của kết cấu chịu uốn phải thiết kế theo mối nối ma sát và phải bảo đảm chống trượt trong cả quá trình cầu lắp cũng như đổ bê tông bản mặt cầu.

3.16.4.1.

Mối nối
cao hoặc đư

Các tấm
lực cắt và n

Lực cắt
phần lực c

đỉnh hoặc n
bằng khoản
Mômen uốn
thường tính
nhân với tỷ
mặt cắt.

a) Kiểm

Tám nối
dụng lên tá

- Nếu V

- Nếu V

Trong đó:

ϕ_v - h

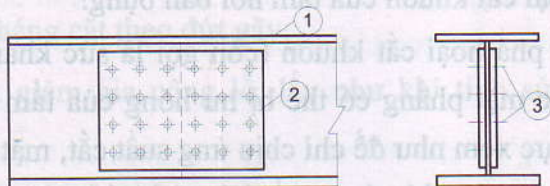
V_u - lự

V_n - su

xá

3.16.4.1. Mối nối bụng dầm (Hình 3.14)

Mối nối bụng dầm gồm hai tấm nối ở hai bên bụng dầm và các bulông cường độ cao hoặc đường hàn để liên kết tấm nối với bụng dầm.



Hình 3.14. Mối nối bụng dầm

1 - Dầm; 2 - Tấm nối; 3 - Bulông

Các tấm nối và liên kết phải thiết kế để chịu được lực cắt, mômen do lệch tâm của lực cắt và một phần mômen uốn.

Lực cắt của dầm tại mặt cắt mối nối xem như bụng dầm chịu toàn bộ (bỏ qua phần lực cắt nhỏ do cánh dầm chịu). Lực cắt này đặt lệch so với trọng tâm nhóm đỉnh hoặc nhóm đường hàn ở một bên nên sinh ra mômen lệch tâm với cánh tay đòn bằng khoảng cách từ vị trí nối bản bụng đến trọng tâm của liên kết ở phía đang xét. Mômen uốn của dầm ở mặt cắt nối phần lớn do cánh dầm chịu, trước đây người ta thường tính phần mômen phân cho bụng dầm chịu bằng mômen uốn của mặt cắt nhân với tỷ số giữa mômen quán tính của sườn dầm với mômen quán tính của toàn mặt cắt.

a) Kiểm tra tấm nối

Tấm nối phải được kiểm tra trong TTGH cường độ, khi đó tất cả tải trọng tác dụng lên tấm nối được quy thành lực cắt thiết kế nhỏ nhất V_{uw} và lấy như sau:

- Nếu $V_u < 0,5\phi_v V_n$ thì:

$$V_{uw} = 1,5V_u \quad (3-148)$$

- Nếu $V_u \geq 0,5\phi_v V_n$ thì:

$$V_{uw} = \frac{V_u + \phi_v V_n}{2} \quad (3-149)$$

Trong đó:

ϕ_v - hệ số sức kháng cắt;

V_u - lực cắt do tải trọng tính toán tại mặt cắt nối;

V_n - sức kháng cắt danh định cho bản bụng có hoặc không có sườn tăng cường, xác định theo (mục 3.13.2) hoặc (mục 3.13.3).

Trong TTGH cường độ lực cắt thiết kế nhỏ nhất V_{uw} không được vượt quá giá trị nhỏ hơn của sức kháng phá hoại cắt khuôn và sức kháng cắt của tấm nối bản bụng, các ứng suất này được tính như sau:

- Sức kháng phá hoại cắt khuôn của tấm nối bản bụng.

Để tính sức kháng phá hoại cắt khuôn (còn gọi là sức kháng phá hoại cắt khối) cần xem xét tất cả các mặt phẳng có thể bị hư hỏng của tấm nối. Mặt phẳng song song với phương đặt lực xem như để chỉ chịu ứng suất cắt, mặt phẳng vuông góc với phương đặt lực xem như chỉ chịu ứng suất kéo. Khi đó, sức kháng cắt khuôn được tính như sau:

$$R_r = \phi_{bs} R_p (0,58 f_u A_{vn} + U_{bs} f_u A_{tn}) \leq \phi_{bs} R_p (0,58 f_y A_{vg} + U_{bs} f_u A_{tn}) \quad (3-150)$$

Trong đó:

ϕ_{bs} - hệ số sức kháng khi cắt khuôn;

R_p - hệ số chiết giảm gia công lỗ, $R_p = 0,90$ nếu tạo lỗ đủ kích thước bằng đột lỗ, $R_p = 1,00$ nếu khoan lỗ trước sau đó doa cho đủ kích thước;

f_u, f_y - cường độ kéo và cường độ chảy của thép tấm nối;

A_{vg} - diện tích nguyên dọc theo mặt cắt chịu ứng suất cắt;

A_{nv} - diện tích thực đã trừ hao hụt do khoét lỗ dọc theo mặt cắt chịu ứng suất cắt;

U_{bs} - hệ số chiết giảm sức kháng cắt khuôn, $U_{bs} = 0,5$ khi ứng suất kéo không đều, $U_{bs} = 1$ khi ứng suất kéo đều, trong dầm chịu uốn ứng suất kéo phân bố không đều, $U_{bs} = 0,5$;

A_{tg} - diện tích nguyên dọc theo mặt cắt chịu ứng suất kéo;

A_{tm} - diện tích thực đã trừ hao hụt dọc theo mặt cắt chịu ứng suất kéo.

- Sức kháng cắt của tấm nối bản bụng.

Sức kháng cắt của tấm nối bản bụng phải lấy giá trị nhỏ hơn giữa hai giá trị cắt chảy và cắt đứt gãy.

+ Tính theo cắt chảy:

$$R_r = \phi_v 0,58 f_y A_{vg} \quad (3-151)$$

Trong đó:

ϕ_v - hệ số sức kháng chảy khi cắt;

f_y - giới hạn chảy của thép tấm nối;

A_{vg} - diện tích nguyên chịu cắt của tấm nối.

+ Tính t

Trong đó:

$\phi_{vu} - h$

$R_p - h$

kh

$f_u - cu$

$A_{vn} - c$

tio

Ở TTGH

do lực dọc t

độ chảy của

tấm và môn

nối không c

b) Kiểm

Kiểm tra

theo tổ hợp

tính theo tổ

nguyên

+ R_n - s

+ ϕ - hệ

3.16.4.2.

Môi nối

của cánh d

hoặc đường

góc phải đư

chảy

đam

ng

chịu kéo

cs

đo là - s

+ Tính theo đứt gãy:

$$R_r = \phi_{vu} 0.58 R_p f_u A_{vn} \quad (3-152)$$

Trong đó:

ϕ_{vu} - hệ số sức kháng cắt theo đứt gãy;

R_p - hệ số chiết giảm gia công lỗ, lấy như khi tính sức kháng phá hoại cắt khuôn;

f_u - cường độ kéo của tấm nối;

A_{vn} - diện tích thực chịu cắt của tấm nối lấy bằng diện tích nguyên trừ đi diện tích hao hụt do lỗ đinh.

Ở TTGH cường độ còn phải kiểm tra điều kiện ứng suất do uốn kết hợp với ứng suất do lực dọc trong tấm nối bản bụng nhỏ hơn hoặc bằng hệ số sức kháng nhân với cường độ chảy của tấm thép nối. Khi tính ứng suất do uốn phải kể đến mômen do lực cắt lệch tâm và mômen của mặt cắt phân cho bản bụng. Do tổng ứng suất kéo và nén trên tấm nối không cân bằng nên còn lực kéo trong tấm nối làm phát sinh ứng suất kéo.

b) Kiểm tra bulông liên kết

Kiểm tra bulông liên kết để không xảy ra trượt của mỗi nối bulông. Phải kiểm tra theo tổ hợp tải trọng sử dụng II, khi đó lực cắt thiết kế để kiểm tra trượt (V_u) phải tính theo tổ hợp tải trọng II và lực cắt ấy phải thỏa mãn điều kiện:

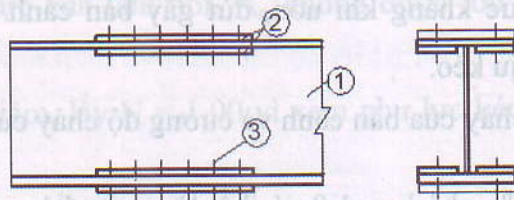
$$V_u \leq \phi R_n$$

+ R_n - sức kháng trượt danh định, tính theo công thức (3-135);

+ ϕ - hệ số sức kháng lấy theo (mục 3.12.1.1).

3.16.4.2. Mối nối cánh dầm (Hình 3.15)

Mối nối cánh dầm gồm có tấm nối bố trí ở cả hai mặt của cánh trên và hai mặt của cánh dưới và được liên kết tấm nối với cánh dầm bằng bulông cường độ cao hoặc đường hàn. Nếu tấm nối ở mặt trong dùng thép góc thì cánh còn lại của thép góc phải được liên kết với bụng dầm.



Hình 3.15. Mối nối cánh dầm

Có thể bố trí mỗi nối cánh trên và cánh dưới ở cùng một mặt cắt hoặc ở hai mặt cắt khác nhau. Trong hai mỗi nối này thường có một mỗi nối chịu kéo, một mỗi nối chịu nén.

Ở một mỗi nối khả năng chịu lực của bản cánh nhỏ hơn của các tấm nối khi đó bản cánh không chế thiết kế, ngược lại bản cánh không không chế thiết kế.

a) Kiểm tra tấm nối

- Trong TTGH cường độ tấm nối và liên kết của nó với bản cánh không chế phải có sức kháng tối thiểu bằng ứng suất thiết kế (F_{cf}) nhân với giá trị nhỏ hơn giữa hai diện tích có hiệu (A_c) ở hai phía của mỗi nối.

$$F_{cf} = \frac{\left[\frac{f_{cf}}{R_h} + \alpha \phi_y f_{yf} \right] R_g}{2} \geq 0,75 \alpha \phi_y f_{yf} R_g \quad (3-153)$$

Trong đó với bản cánh chịu kéo:

$$A_c = \left(\frac{\phi_u f_u}{\phi_y f_{yf}} \right) A_n \leq A_g \quad (3-154)$$

$$R_g = \frac{[\alpha A_g f_{yf}]_{LS}}{[\alpha A_g f_{yf}]_{SS}} \leq 1,0 \quad (3-155)$$

A_c - diện tích có hiệu của bản cánh. Với cánh nén A_c lấy là diện tích nguyên, với cánh kéo A_c lấy theo công thức (3-154).

A_n - diện tích thực của cánh kéo.

A_g - diện tích nguyên của cánh kéo.

f_{cf} - ứng suất uốn lớn nhất do tải trọng tính toán tại điểm giữa của bản cánh không chế.

R_h - hệ số lai, với mặt cắt lai có f_{cf} không vượt qua cường độ chảy của bản bụng $R_h = 1,0$.

ϕ_f, ϕ_u, ϕ_y - hệ số sức kháng khi uốn, đứt gãy bản cánh chịu kéo và chảy bản cánh chịu kéo.

f_{yf}, f_{yt} - cường độ chảy của bản cánh và cường độ chảy của bản cánh chịu kéo.

$\alpha = 1,0$, trừ khi $\frac{F_n}{f_{yf}}$ nhỏ hơn 1,0 có thể dùng cho bản cánh, trong đó F_n - sức

kháng uốn danh định của bản cánh.

$[\alpha A_g f_{yf}]_{LS}$ - tích của diện tích A_g với αf_{yf} ở phần diện tích có hiệu của bản cánh lớn hơn ở cả hai phía của mối nối đang xét.

$[\alpha A_g f_{yf}]_{SS}$ - tích của diện tích A_g với αf_{yf} ở phần diện tích có hiệu của bản cánh nhỏ hơn ở hai phía của mối nối đang xét.

- Trong TTGH cường độ tấm nối và liên kết của nó với bản cánh không khớp chế phải có sức kháng tối thiểu bằng ứng suất thiết kế (F_{ncf}) nhân với giá trị nhỏ hơn giữa hai diện tích có hiệu (A_c) ở cả hai phía của mối nối:

$$F_{ncf} = R_{cf} \left| \frac{f_{ncf}}{R_h} \right| \geq 0,75 \alpha \phi_f f_{yf} R_g \quad (3-156)$$

Trong đó:

R_{cf} - giá trị tuyệt đối của tỷ số $\frac{f_{cf}}{R_h}$ cho bản cánh không chế;

f_{ncf} - ứng suất uốn lớn nhất do tải trọng tính toán tại điểm giữa chiều dày của bản cánh không khớp chế.

- Trong TTGH cường độ lực kéo hoặc lực nén do tải trọng thiết kế của tấm nối chịu kéo hoặc tấm nối chịu nén không được lớn hơn sức kháng của tấm nối chịu kéo hoặc tấm nối chịu nén.

+ Sức kháng của tấm nối chịu kéo tính như sau:

$$R_r = \min \begin{cases} \phi_y f_y A_g \\ \phi_u f_u A_n U \end{cases} \quad (3-157)$$

Trong đó:

ϕ_c, ϕ_u - hệ số sức kháng chảy và sức kháng đứt gãy.

f_y, f_u - cường độ chảy và cường độ chịu kéo.

A_g - diện tích nguyên của tấm nối.

A_n - diện tích thực của tấm nối, A_n không được lớn hơn 85% của diện tích nguyên A_g .

U - hệ số chiết giảm, lấy $U = 1,00$ vì xem như lực kéo được truyền cho tất cả các tấm nối.

+ Sức kháng của tấm nối chịu nén tính như sau:

$$R_r = \phi_c f_y A_g \quad (3-158)$$

ϕ_c - hệ số sức kháng khi nén;

f_y - cường độ chảy của tấm nổi ở cánh nén;

A_g - diện tích nguyên của tấm nổi.

b) Kiểm tra bulông liên kết

Mỗi nổi cánh dầm phải được thiết kế theo mỗi nổi ma sát. Để kiểm tra trượt của mỗi nổi phải lấy ứng suất thiết kế ở tổ hợp tải trọng sử dụng II (F_s) nhân với giá trị nhỏ hơn giữa diện tích nguyên của bản cánh ở hai phía của mỗi nổi, trong đó F_s tính như sau:

$$F_s = \frac{f_s}{R_h} \quad (3-159)$$

Trong đó:

f_s - ứng suất uốn lớn nhất do tổ hợp tải trọng sử dụng II ở điểm giữa chiều dày của bản cánh có mặt cắt nhỏ hơn ở hai bên của mỗi nổi.

R_h - hệ số lai, với mặt cắt lai có f_s không vượt quá cường độ chảy của bụng dầm $R_h = 1,0$

Điều kiện không trượt của mỗi nổi là:

$$A_s f_s \leq \phi R_n \quad (3-160)$$

Trong đó:

A_g - diện tích nguyên nhỏ hơn của bản cánh;

R_n - sức kháng trượt danh định;

ϕ - hệ số sức kháng.

3.17. ỨNG SUẤT DO NHIỆT ĐỘ TRONG CẦU LIÊN HỢP

Biên độ của nhiệt độ phụ thuộc vào nhiệt độ cao nhất (T_{\max}) và nhiệt độ thấp nhất (T_{\min}). Bảng 3-19 cho nhiệt độ cao nhất và thấp nhất khi mặt cầu là bê tông trên dầm thép hoặc hộp thép và mặt cầu thép trên dầm thép hoặc hộp thép theo hai vùng của Việt Nam là vùng Bắc vĩ độ 16°B (đèo Hải Vân) và Nam vĩ độ 16°B .

Bảng 3-19. Nhiệt độ cao nhất và thấp nhất

Vùng khí hậu	Mặt cầu bê tông trên dầm hoặc hộp thép	Mặt cầu thép trên dầm hoặc hộp thép
Bắc vĩ độ 16°B	$+1^\circ\text{C}$ đến $+55^\circ\text{C}$	-3°C đến $+63^\circ\text{C}$
Nam vĩ độ 16°B	$+6^\circ\text{C}$ đến $+55^\circ\text{C}$	$+2^\circ\text{C}$ đến $+63^\circ\text{C}$