

могут затруднять использование обжимных муфт для стыкования стержней продольной арматуры монолитных колонн.

Резьбовые муфты для стыкования арматуры в основном представлены муфтами Lenton нидерландской фирмы ERICO. Они используются для стыкования арматурных стержней периодического профиля диаметром от 12 до 40 мм. При этом один из стержней должен свободно вращаться. Механические соединения выполняются путем нарезки конической резьбы на концах арматурных стержней и их соединение с помощью муфт.

Если для армирования колонн используется винтовой арматурный прокат, то в этом случае нарезка резьбы на концах арматурных стержней не требуется и стыкование арматурных стержней упрощается [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНБ 5.03.01-03. Бетонные и железобетонные конструкции – Минск, 2003, 139 с.
2. ТКП EN 1992-1-1-2009. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций – Минск, 2010, 191 с.
3. ГОСТ 8734. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные.

УДК 624.014

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТРУБ НА ОСНОВЕ Т-ОБРАЗНОГО ЭЛЕМЕНТА

НАДОЛЬСКИЙ В. В., БОЯРИНЦЕВА Е. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. Обзор нормативной базы [1, 2] показал, что при большой распространенности фланцевых соединений на высокопрочных болтах, их методики расчета являются приближенными и обладают ограничениями по области применения [3]. Расчет фланцевых соединений стальных конструкций можно выполнить

согласно Рекомендациям по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций [1] или ТКП EN 1993-1-8-2009 «Стальные конструкции. Расчет соединений» [2]. При этом в данных стандартах недостаточно сведений о методах расчета фланцевых соединений элементов из труб. В настоящей статье предложена методика расчета фланцевого соединения элементов из труб, разработанная на основе эквивалентного Т-образного элемента, используемого в ТКП EN 1993-1-8-2009 [2] для расчета фланцевых соединений элементов из двутавров.

Расчет фланцевого соединения. Сопротивление фланцевого соединения определяется прочностью следующих компонентов:

- прочность и деформации фланца;
- прочность болтов на растяжение;
- прочность сварных швов, прикрепляющих фланец к профилю.

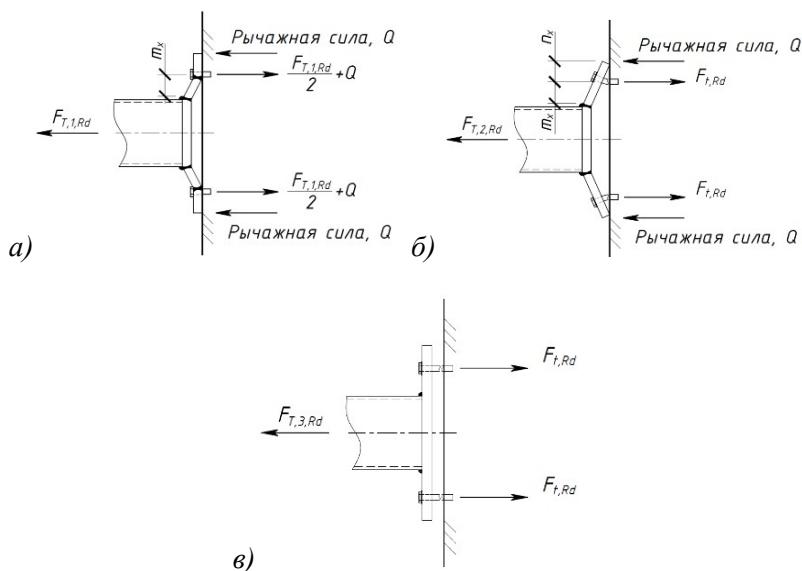


Рис. 1. Типы отказа фланцевого соединения в рамках методики Т-образного элемента:

- а) тип 1: полное развитие пластических деформаций во фланце;
 б) тип 2: разрыв болтов с развитием пластических деформаций во фланце;
 в) тип 3: разрыв болтов

В рамках предложенной методики сопротивление болтов и фланца определяется по методике Т-образного элемента, в которой линии текучести вокруг болтов преобразуются в "эквивалентную" расчётную длину Т-образного элемента. Более подробное описание методики Т-образного элемента можно найти в [4].

Расчётную несущую способность Т-образного элемента следует принимать равной наименьшей из трех возможных видов отказа:

Тип 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_x} \quad (1)$$

Тип 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n_x \cdot \sum F_{t,Rd}}{m_x + n_x} \quad (2)$$

Тип 3:

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad (3)$$

где $M_{pl,i,Rd}$ – изгибающий момент эквивалентного Т-образного элемента, воспринимаемый фланцем в пластической стадии:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{\sum l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_{yp}}{4\gamma_{M0}}, \quad (4)$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{\sum l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_{yp}}{4\gamma_{M0}}. \quad (5)$$

$l_{eff,1}$ – значение Σl_{eff} для отказа 1-го типа;

$l_{eff,2}$ – значение Σl_{eff} для отказа 2-го типа;

t_p – толщина фланца;

f_{yp} – предел текучести фланца (НП.1 ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]);

γ_{M0} – коэффициент безопасности по материалу (НП ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]);

$F_{T,i,Rd}$ – потенциальная несущая способность i -го ряда болтов или группы болтов;

$F_{t,Rd}$ – расчётная несущая способность одного болта на растяжение;

m_x – расстояние от центра болта до сварного шва, включая 20 % катета сварного шва;

n_x – расчетное расстояние от центра болта до края элемента.

Для эквивалентного элемента консольной части фланца используем величины m_x и n_x .

Расчетное расстояние от центра болта до края фланца n_x принимается меньшим из значений:

$$n_x = \min(e_x; 1,25m_x) \quad (6)$$

Геометрические параметры, используемые в методике представлены на рис. 2.

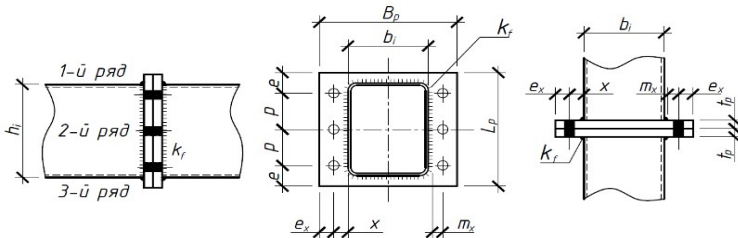


Рис. 2. Геометрические параметры фланцевого соединения

Для консольной части фланца:

$$m_x = x - 0,8k_f, \quad (7)$$

$$e_x = \frac{B_p - (b_i + 2x)}{2}, \quad (8)$$

$$e = \frac{L_p - \sum p}{2}, \quad (9)$$

где p – расстояние между центрами болтов или шаг болтов;

B_p – ширина фланца;

L_p – длина фланца;

k_f – катет сварного шва между стенкой замкнутого профиля и фланцем, здесь $k_f = a \cdot \sqrt{2}$

x – расстояние от центра болта до стенки профиля.

Вероятность возникновения эффекта рычага проверяется при сравнении деформации болта и деформативности эквивалентного элемента при заданной нагрузке, т. е. если зажимная длина болта L_b

меньше либо равна величине L_b^* , то возможно появление эффекта рычага:

$$L_b \leq L_b^*, \quad (10)$$

где L_b – удлинение болта длиной, равной зажимной длине (общая толщина материала стягиваемых элементов и шайб) плюс полусумма высоты головки болта и гайки;

L_b^* – деформативность элемента;

$$L_b^* = \frac{8,8m_x^3 A_s n_b}{\sum l_{eff,i} t_f^3}, \quad (11)$$

где m_x – принимается в соответствии с рисунком 2;

A_s – площадь сечения болта нетто;

n_b – количество рядов болтов (2 болта в ряду);

t_f – толщина фланца.

Для каждого ряда болтов эффективная длина эквивалентного элемента определяется по одной из возможных линий текучести, соответствующей размещению болтов. Данные линии текучести разработаны согласно рекомендациям ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]. При этом учитывалось различное количество болтов и возможное несимметричное их расположение.

Расчет соединения рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) Устанавливается расположение отверстий для болтов согласно требованиям п. 3.5 ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]:

а) расстояние между центрами болтов или шаг болтов, p :

$$d_0 = d + 2 \text{ мм}, \quad (12)$$

$$p_{\min} = 2,2d_0, \quad (13)$$

$$p_{\max} = \min(14t; 200), \quad (14)$$

где d_0 – диаметр отверстия для болта;

t – толщина фланца.

б) расстояние от центра болта до края элемента, e , e_x :

$$e_{\min} = 1,2d_0, \quad (15)$$

$$e_{\max} = 4t + 40 \text{ мм}, \quad (16)$$

в) расстояние от центра болта до стенки гнуто-сварного профиля, x :

$$x \geq 1,2d_0, \quad (17)$$

2) Назначаются размеры фланца L_p и B_p согласно расположению болтов и сортаменту проката стали (рисунок 2):

$$L_p \geq 2e + \sum p, \quad (18)$$

$$B_p \geq b_i + 2 \cdot (x + e_x). \quad (19)$$

3) Уточняются параметры e и e_x и определяются m_x и n_x .

4) Эффективная длина эквивалентного элемента для группы болтов, l_{eff} . Для этого рассматриваются все возможные варианты образования линий текучести для группы болтов и выбирается наименьшая из них.

5) Определяется вероятность возникновения эффекта рычага. Находится зажимная длина болта L_b и величина L_b^* (таблица 6.2 ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]):

$$L_b = 2t_p + t_{uu} + \frac{(t_{\sigma} + t_z)}{2}, \quad (20)$$

где $t_{uu} = 0,15d$ – толщина шайбы;

$t_{\sigma} = 0,7d$ – толщина головки болта;

$t_z = 0,8d$ – толщина гайки.

Если $L_b \leq L_b^*$, следовательно возможно появление эффекта рычага.

6) Изгибающий момент, воспринимаемый фланцем в пластической стадии $M_{pl,Rd}$.

7) Предельное усилие в группе болтов:

а) при полном развитии пластических деформаций во фланце, $F_{T,1,Rd}$.

б) при разрыве болтов, $F_{T,3,Rd}$:

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{i,Rd} = n_b \cdot \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}. \quad (21)$$

где $k_2 = 0,9$ – коэффициент;

f_{ub} – номинальное значение временного сопротивления болта на растяжение (таблица 3.1 ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]);

$\gamma_{M2} = 1,25$ – частный коэффициент безопасности несущей способности болта (п.6.6(1) ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]).

n_b – количество болтов в соединении.

в) при разрыве болтов и развитии пластических деформаций во фланце $F_{T,2,Rd}$.

Тогда

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}). \quad (22)$$

Если $F_{T,Rd} > N_{Ed}$, то несущая способность фланцевого соединения по прочности фланца и болтов обеспечена.

8) Несущая способность соединения по сварному шву $N_{w,Ed}$, кН:

$$N_{w,Ed} = F_{w,Rd} l_{eff}, \quad (23)$$

где $F_{w,Rd}$ – расчетное значение несущей способности на единицу длины сварного шва, Н/мм.

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a, \quad (24)$$

где $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$ – сопротивление сварного шва;

f_u – номинальное значение временного сопротивления на растяжение более слабого соединяемого элемента (таблица НП.1 ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]);

β_w – поправочный коэффициент (таблица 4.1 ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]);

$a = k_f / \sqrt{2}$ – эффективная толщина сварного шва;

$l_{eff,w}$ – эффективная длина сварного шва.

$$l_{eff,w} = 2h_i + b_{eff}, \quad (25)$$

где b_{eff} – эффективная ширина сечения замкнутого профиля.

$$b_{eff} = t_i + 2k_f + 7kt_p, \quad (26)$$

где $k = 1$.

Если $N_{w,Rd} > N_{Ed}$, то несущая способность фланцевого соединения по прочности сварного шва обеспечена.

Заключение. В статье предложен метод расчета фланцевых соединений из труб прямоугольного сечения, разработанный на основе методики Т-образного элемента [2]. Предложенная методика

представляет большой интерес так как является более универсальной и может быть адаптирована для фланцевых соединений с ребрами жесткости. Дальнейший интерес представляет анализ предложенной методики с существующими [1, 5, 6] и результатами, полученными посредством метода конечных элементов, а также дельнейшая модификация методики расчета фланцевых соединений с ребрами жесткости и различным расположением болтов по периметру трубы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций // СО Стальмонтаж, ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПСК им. Мельникова. – Москва, 1988. – С. 6-19.
2. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений.: ТКП EN 1993-1-8-2009 – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – 2010.
3. Надольский, В.В. Европейская методика расчета фланцевого соединения элементов из труб / В.В. Надольский, Е.С. Бояринцева // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САП): сборник статей II Международной научно-технической конференции. – Брест: Издательство БрГТУ, 2018. – С.109-114.
4. Joints in Steel Construction: Moment Connections / The Steel Construction Institute // Silwood Park – Berkshire. – P. 1-25.
5. NCCI: Design models for splices in structural hollow sections // Access Steel. – 2010. – P. 1-8