



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

Узлы и соединения в соответствии с EN 1993-1-8

Эльвира Ковалевская
Ведущий инженер-конструктор УЦСС

Семинар
«Расчет стальных конструкций в соответствии с Еврокодами»
17.06.2015

Разделы Еврокода:

- Основные положения по проектированию
- Соединения на болтах, заклепках и штифтах
- Сварные соединения
- Анализ, классификация и моделирование
- Узлы сопряжения конструктивных элементов из двутавров
- Узлы сопряжения элементов замкнутого профиля

УЗЕЛ - область пересечения двух или более элементов. При расчете узлом является группа всех основных компонентов необходимых для описания работы узла при передаче действующих внутренних сил и моментов между соединенными элементами. Например, узел соединения балки с колонной состоит из участка стенки колонны и одного (при односторонней конфигурации узла) или двух (при двусторонней конфигурации узла) соединений.

СОЕДИНЕНИЕ - место, в котором крепятся две или более детали. При расчете соединением называется группа основных компонентов, необходимых для описания работы соединения в процессе передачи внутренних сил и моментов.

Классификация узлов

- Перед введением узлов в расчетную схему требуется их классификация:
 - по жесткости (расчет в упругой стадии)
 - или по прочности (расчет с учетом пластики)
 - ... или оба

КОМПОНЕНТЫ УЗЛОВ:

- Болты
- Сварные швы
- Пластины

Необходимо помнить:

**сварные швы – неподатливые,
а болты – не являются пружинами**

Типы узлов

- **Шарнирный** (в котором можно допустить, что узел не передает изгибающий момент)
- **Жесткий** (когда допускается, что характер работы узла не влияет на расчет)
- **Податливый** (когда расчетом необходимо учитывать характер работы узла)

СОГЛАСНО EN 1993-1-1

В целом, допускается пренебрегать влиянием характера работы узлов ... однако при их значительном влиянии на характер работы (как, например, в случае полужестких узлов) это следует учитывать.

ЖЕСТКОСТЬ УЗЛОВ

имеет значительное влияние?

Нет



Не учитывать расчетом

Шарнирный =
идеально
шарнирный

Жесткий =
идеально
жесткий

Да



Учитывать расчетом

Полужесткий =
учитывать
жесткость

Классификация узлов по прочности

- **Номинально шарнирный**
 - Допускают поворот – должны быть податливыми
 - Несущая способность менее 25% по сравнению с равнопрочным
- **Равнопрочный**
 - Несущая способность больше, чем у присоединяемых элементов

Еврокод не настаивает на расчетах по классификации

Узел можно классифицировать на основе экспериментальных данных, **положительный опыт предыдущей эксплуатации** аналогичных решений или по результатам расчетов, основанных на результатах испытаний

Несущая способность узла зависит от несущей способности его компонентов

- Как правило – болты, сварные швы, пластины
- Ищем "самое слабое звено"

Прочность элементов

- Всегда требуется применение соответствующего частного коэффициента надежности, γ_M

... в соответствии с Национальным приложением

При применении предположений о распределении внутренних усилий:

- Предполагаемые деформации должны быть реалистичными
- Предполагаемое распределение усилий должно учитывать соотношение жесткостей

Рекомендуемые значения:

Таблица 2.1 — Частные коэффициенты безопасности для соединений

Несущая способность элементов и поперечных сечений	γ_{M0}, γ_{M1} и γ_{M2} , см. EN 1993-1-1
Несущая способность болтов	γ_{M2}
Несущая способность заклепок	
Несущая способность штифтов	
Несущая способность сварных швов	
Несущая способность пластин на смятие	
Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей: в предельном состоянии по несущей способности (категория C) в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности (категория B)	γ_{M3} $\gamma_{M3,ser}$
Несущая способность инъекционных болтов на смятие	γ_{M4}
Несущая способность узлов ферм из замкнутых профилей	γ_{M5}
Несущая способность штифтов в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности	$\gamma_{M6,ser}$
Предварительное натяжение высокопрочных болтов	γ_{M7}
Несущая способность бетонных элементов	γ_c , см. EN 1992

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

В Национальном
приложении
Украины



$$\gamma_{M3} = 1.25$$

$$\gamma_{M3,ser} = 1.1$$

Примечание — Численные значения коэффициентов безопасности γ_M могут быть определены в национальном приложении. Рекомендуются следующие значения: $\gamma_{M2} = 1,25$; $\gamma_{M3} = 1,25$ и $\gamma_{M3,ser} = 1,1$; $\gamma_{M4} = 1,0$; $\gamma_{M5} = 1,0$; $\gamma_{M6,ser} = 1,0$; $\gamma_{M7} = 1,1$.

Категории соединений

Таблица 3.2 — Категории болтовых соединений

Категория	Критерий	Примечание
Соединения, работающие на сдвиг		
А Срезное соединение	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Предварительное натяжение не требуется. Могут использоваться болты классов 4.6–10.9
В Фрикционное соединение в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением.
С Фрикционное соединение в предельном состоянии по несущей способности	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением. Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей в предельном состоянии по несущей способности определяется по 3.9. $N_{net,Rd}$ — см. 3.4.1(1) в)
Соединения, работающие на растяжение		
Д Соединение без предварительного натяжения болтов	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Предварительное натяжение не требуется. Могут использоваться болты классов 4.6–10.9. $B_{p,Rd}$ определяется по таблице 3.4
Е Соединение с предварительным натяжением болтов	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением. $B_{p,Rd}$ определяется по таблице 3.4
Расчетное растягивающее усилие $F_{t,Ed}$ должно включать возможное усилие отрыва вследствие эффекта рычага, см. 3.11. Болты, подверженные усилию сдвига совместно с растягивающим усилием, должны также удовлетворять условиям, приведенным в таблице 3.4.		



Соединения, работающие на срез

Таблица 3.2 — Категории болтовых соединений

Категория	Критерий	Примечание
Соединения, работающие на сдвиг		
А Срезное соединение	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Должны соответствовать требованиям на срез и на смятие
В Фрикционное соединение в	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	
предельном состоянии по эксплуатационной пригодности	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности определяется по 3.9

Болты

- Множество классов:
- 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9

Таблица 3.1 — Номинальные значения предела текучести f_{yb} и временного сопротивления на растяжение f_{ub} болтов

Класс прочности	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} , Н/мм ²	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} , Н/мм ²	400	400	500	500	600	800	1000



3.1.2 Болты с предварительным натяжением

(1) В качестве болтов с предварительным натяжением могут использоваться только болты классов прочности 8.8 и 10.9

Несущая способность болтов на срез:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}, \text{ где}$$

$\alpha_v = 0.6$ для 4.6 и 8.8
 $f_{ub} = 400 \text{ Н/мм}^2$ для 4.6
 $= 800 \text{ Н/мм}^2$ для 8.8

A – площадь, в зависимости от болта:



Болт с частичной резьбой

A = площадь брутто, когда плоскость среза проходит через часть без резьбы



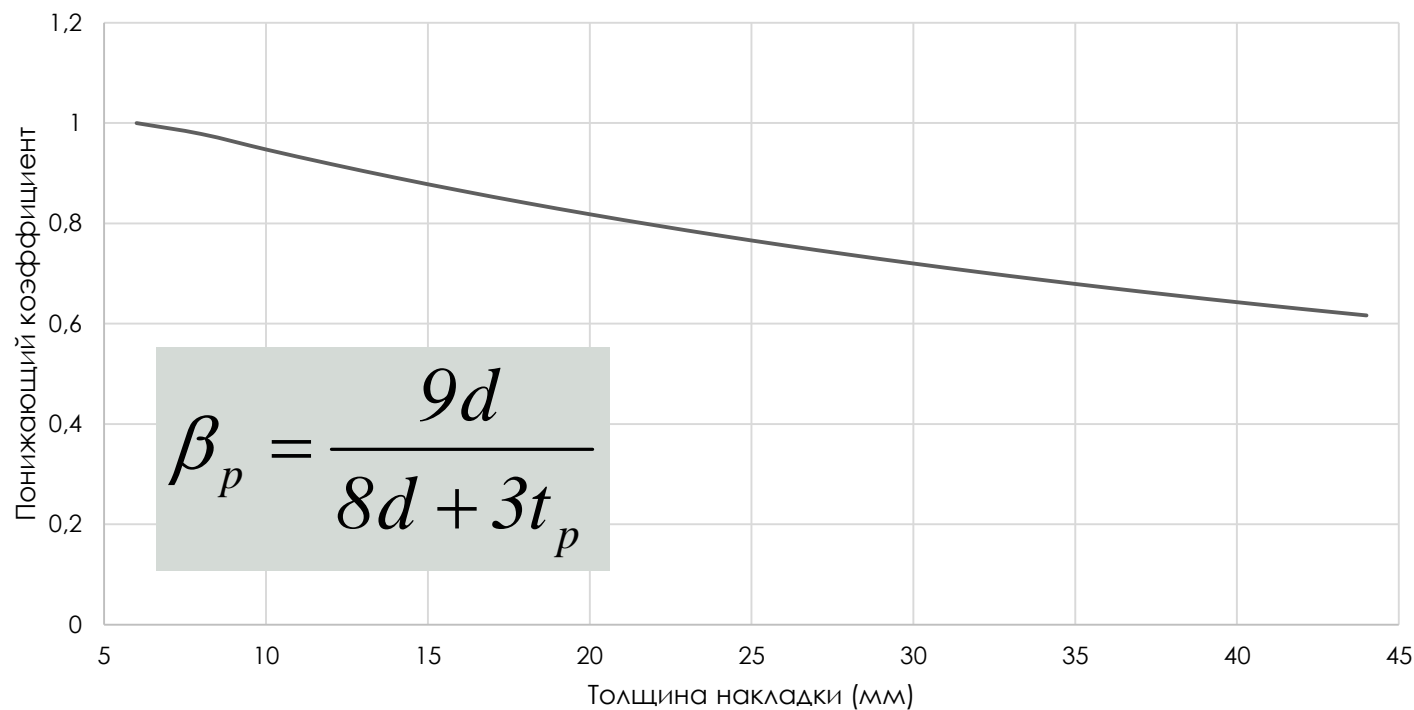
Болт с полной резьбой

A = площадь работающая на растяжение, когда плоскость среза проходит через резьбовую часть

Болты в соединениях с накладками

- Накладки допускают изгиб, поэтому несущая способность на срез должна быть скорректирована понижающим коэффициентом β_p , когда пакет накладок $> d/3$:

Понижающий коэффициент



Несущая способность соединяемых элементов на смятие:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

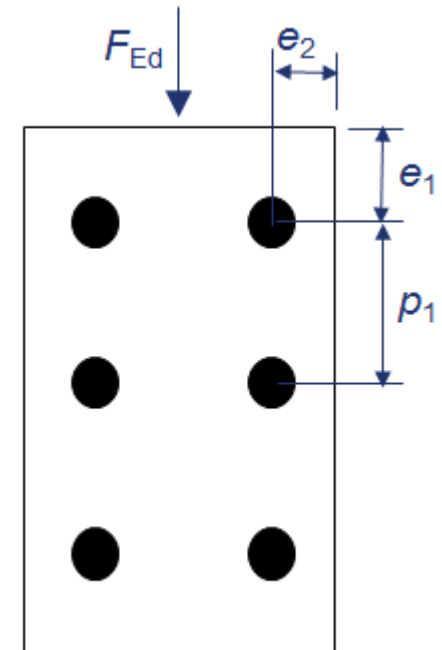
d , а не d_0

Зависит от e_2

Предел прочности фланца (пластины)

Зависит от:

1. e_1 и p_1
2. Происходит смятие болта или фланца



α_b — наименьшее из α_d , $\frac{f_{ub}}{f_u}$ и 1,0;

а) вдоль усилия:
для крайних болтов

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0};$$

для средних болтов

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4};$$

б) поперек усилия:
для крайних болтов

k_1 — наименьшее из $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ и $2,5$;

для средних болтов

k_1 — наименьшее из $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ и $2,5$

Несущая способность многоболтового соединения

= Σ несущих способностей на смятие (Если несущая способность на срез превышает все несущие способности на смятие)

= $n \times$ минимальная несущая способность (во всех других вариантах)

(Раздел 3.7)

Соединения, работающие на растяжение

Таблица 3.2

Соединения, работающие на растяжение		
Д Соединение без предварительного натяжения болтов	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Предварительное натяжение не требуется. Могут использоваться болты классов 4.6–10.9. $B_{p,Rd}$ определяется по таблице 3.4
Е Соединение с предварительным натяжением болтов	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением. $B_{p,Rd}$ определяется по таблице 3.4
Расчетное растягивающее усилие $F_{t,Ed}$ должно включать возможное усилие отрыва вследствие эффекта рычага см. 3.11. Болты, подверженные усилию сдвига совместно с растягивающим усилием, должны также удовлетворять условиям, приведенным в таблице 3.4.		

Несущая способность:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$k_2 = 0.9$$

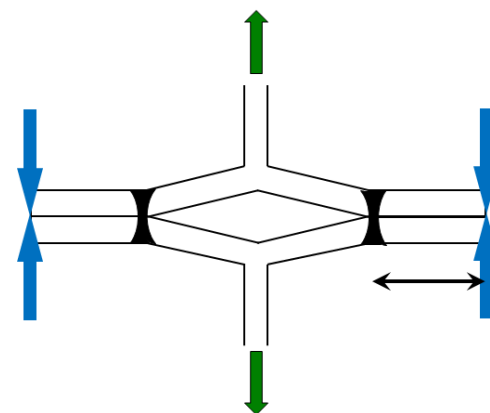
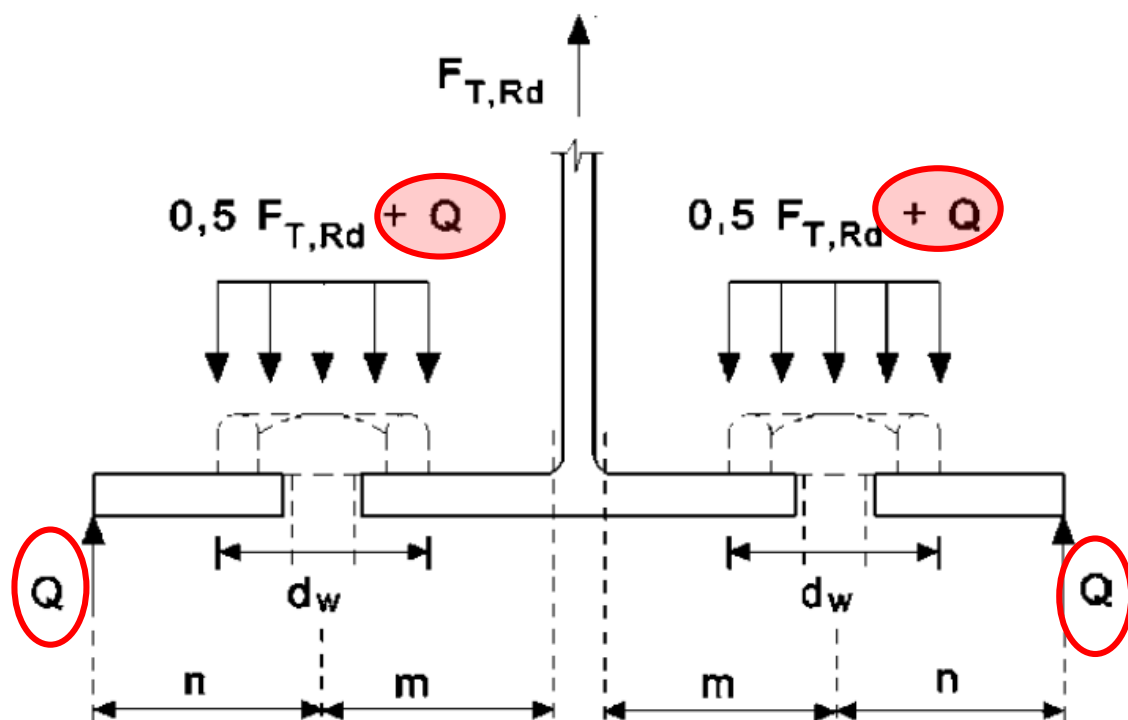
$k_2 = 0.63$ для болта с потайной головкой

Усилие отрыва (эффект рычага)

3.11 Усилия отрыва (эффект рычага)

(1) Крепежные детали, воспринимающие растягивающее усилие, следует проверять на действие дополнительного усилия отрыва, если оно может возникнуть.

Примечание — Правила расчета, приведенные в 6.2.4, в неявной форме учитывают усилия отрыва.



Рычажное
усилие Q

Рычажные усилия

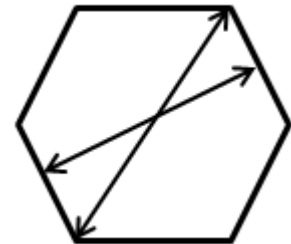
- Несущая способность болтового соединения (включая болты с потайной головкой на 90°) должна учитывать рычажные усилия. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 не включает конкретных правил по определению рычажных усилий. Однако, их косвенно учитывают принципы заложенные в раздел 6.2.4 дсту-н б en 1993-1-8.
- Рычажные усилия возникают в растянутых соединениях. Раздел 6.2.4 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 дает подход, который учитывает рычажные эффекты.

Несущая способность на продавливание

- Из Таблицы 3.4:

$$B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$

- d_m – средний размер между точками плоских участков наименьшей из гаек или головок болтов



Совместное действие растяжения и сдвига

- Из Таблицы 3.4

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

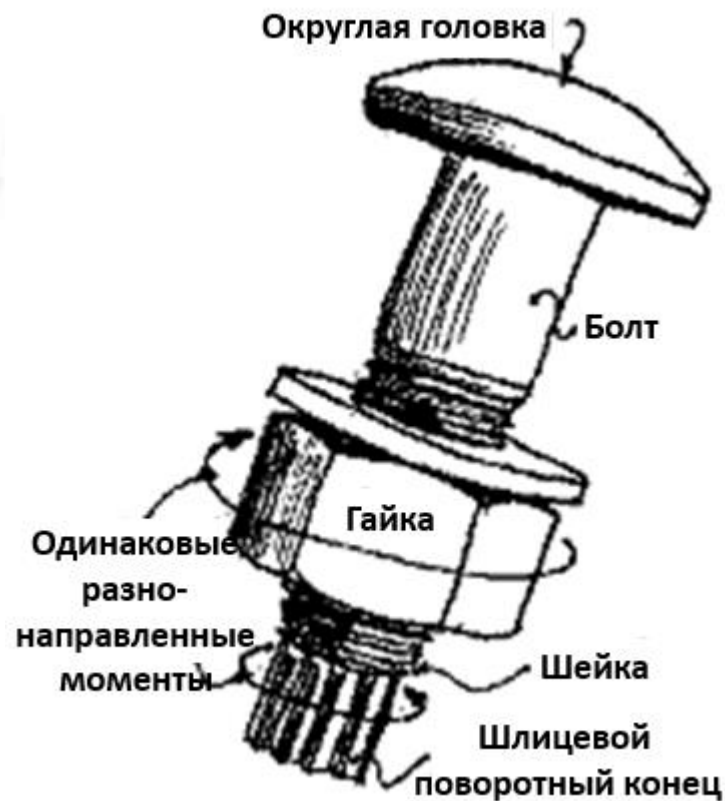
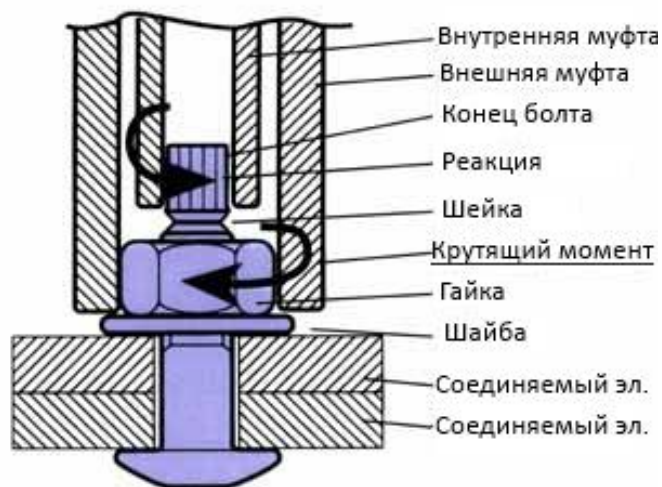
Соединения с предварительным натяжением

- Используются как крайняя мера
 - Подготовка и защита поверхностей трения являются дорогостоящими
 - Увеличивает стоимость монтажа
- Используются:
 - Если требуется избежать проскальзывания, например, в монтажных стыках, воспринимающих момент
 - При наличии вибраций и других динамических нагрузок



Соединения с предварительным натяжением

Болты с контролем крутящего момента



Соединения с предварительным натяжением

- **Категория В** – фрикционное соединение в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности

$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением. Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности определяется по 3.9
$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	
$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	

- Несущая способность соединения, как фрикционного, проверяется на нагрузки для предельного состояния по эксплуатационной пригодности
- Несущая способность на срез проверяется на нагрузки для предельного состояния по несущей способности
- Несущая способность на смятие проверяется на нагрузки для предельного состояния по несущей способности

Соединения с предварительным натяжением

- **Категория С** – фрикционное соединение в предельном состоянии по несущей пригодности

$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением. Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей в предельном состоянии по несущей способности определяется по 3.9. $N_{net,Rd}$ — см. 3.4.1(1) в)
$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	
$F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	

- Несущая способность соединения, как фрикционного, проверяется на нагрузки для предельного состояния по несущей способности
- Несущая способность на смятие проверяется на нагрузки для предельного состояния по несущей способности
- Проверка соединяемых элементов по площади сечения нетто

Несущая способность фрикционного соединения

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C}, \quad (3.6) \quad \text{где } k_s \text{ — принимается по таблице 3.6;}$$

n — количество поверхностей трения соединяемых элементов;

μ — коэффициент трения, принимаемый по результатам испытаний поверхностей, приведенных в ссылочных стандартах группы 7 (см. 1.2.7), или в таблице 3.7.

(2) Для болтов классов прочности 8.8 и 10.9, соответствующих ссылочным стандартам группы 4 (см. 1.2.4) с контролируемым натяжением, в соответствии со ссылочными стандартами группы 7 (см. 1.2.7), усилие предварительного натяжения $F_{p,C}$ в формуле (3.6) следует принимать равным

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s. \quad (3.7)$$

Таблица 3.6 — Значения k_s

Описание	k_s
Болты, установленные в нормальные отверстия	1,0
Болты, установленные в отверстия с большим зазором или в короткие овальные отверстия при передаче усилия перпендикулярно продольной оси отверстия	0,85
Болты, установленные в длинные овальные отверстия при передаче нагрузки перпендикулярно продольной оси отверстия	0,7
Болты, установленные в короткие овальные отверстия при передаче нагрузки параллельно продольной оси отверстия	0,76
Болты, установленные в длинные овальных отверстиях при передаче нагрузки параллельно продольной оси отверстия	0,63

Несущая способность фрикционного соединения

Таблица 3.7 — Значения коэффициента трения μ для болтов с предварительным натяжением

Класс поверхностей трения (см. ссылочные стандарты группы 7 (см. 1.2.7))	Коэффициент трения μ
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

Примечание 1 — Требования к испытаниям и контролю приведены в ссылочных стандартах группы 7 (см. 1.2.7).
Примечание 2 — Классификация поверхностей трения при любом другом способе обработки должна быть основана на результатах испытаний образцов поверхностей по процедуре, изложенной в ссылочных стандартах группы 7 (см. 1.2.7).
Примечание 3 — Определения классов поверхностей трения приведены в ссылочных стандартах группы 7 (см. 1.2.7).
Примечание 4 — При наличии окрашенной поверхности с течением времени может произойти потеря предварительного натяжения.

См.
EN 1090-2-1

Таблица 18 - Классификация, которая может быть принята для поверхностей трения

Обработка поверхности	Класс	Коэф. трения μ
Поверхности после дробеструйной или пескоструйно обработки, без ржавчины и раковин	A	0,50
Поверхности после дробеструйной или пескоструйной обработки: а) Металлизированное покрытие с алюминиевым или цинковым напылением б) Лако-красочное покрытие силикатами щелочных металлов (цинк) толщиной от 50 до 80 мкм	B	0,40
Поверхности, очищенные металлическими щетками или горелкой, без ржавчины и грязи	C	0,30
Прокатные или аналогичные поверхности	D	0,20

- Самыми распространенными являются угловые сварные швы с катетом 6мм и 8 мм
- Сварные швы :
 - Угловые (для соединения деталей, свариваемые поверхности которых расположены под углом от 60° до 120°)
 - Стыковые (сварные соединения с полным проваром, если по всей толщине соединения обеспечена глубина провара и сплавление металла шва с основным металлом).

Процесс сварки

- Требуется наличие квалифицированного сварщика с соответствующим уровнем подготовки с точки зрения
 - Положения,
 - Технологии,
 - Типа сварки
- Требуется контроль (технологии) для минимизации риска образования трещин
 - Контроль углеродного эквивалента (CEV)
 - Контроль общей толщины (теплопоглощения)
 - С точки зрения технологического процесса, сварочных материалов, переменных параметров режима сварки (сила электрического тока, напряжение, скорость, положение)

Длина сварного шва

- Как правило, принимается общая длина шва за вычетом (а) с обоих концов (Начало и конец – места возникновения несовершенств)

4.5.1 Длина сварных швов

(1) Эффективную длину сварного шва l следует принимать равной длине шва с полноразмерной эффективной высотой a . Ее можно принять равной полной длине шва за вычетом его двойной эффективной высоты a . Снижение эффективной длины сварного шва не требуется, при условии обеспечения полноразмерности сварного шва по всей его длине, включая начало и конец шва.

(2) Сварной угловой шов эффективной длиной менее 30 мм или менее 6 толщин сварного шва, учитывая большее значение, не является несущим швом.

Несущая способность сварных швов

- Прямой метод
- Упрощенный метод – п.4.5.3.3

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw.d} a$$

a - высота сварного шва

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

f_u - предел прочности на растяжение
наименее прочной детали

β_w - зависит от марки стали:

= 0.8 для S 235

= 0.85 для S 275

= 0.9 для S 355

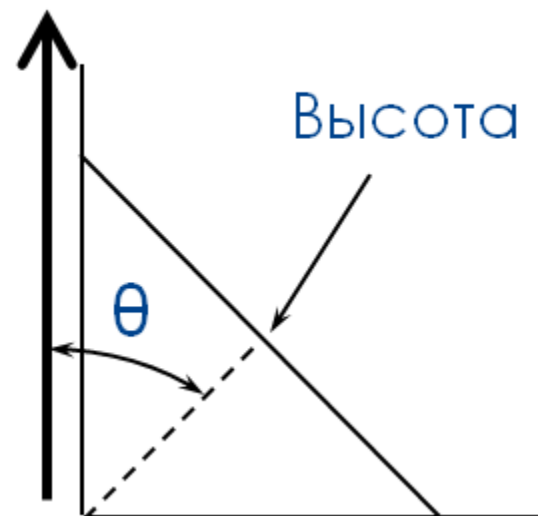
Несущая способность сварных швов поперек шва

- Поперечные сварные швы более прочные чем продольные, с учетом коэффициента K

$$K = \sqrt{\frac{3}{1 + 2 \cos^2 \theta}}$$

Расчетная несущая способность шва

Катет шва	Высота шва	Сопротивление вдоль шва	Сопротивление поперек шва
s мм	a мм	$F_{w,L,Rd}$ кН/мм	$F_{w,T,Rd}$ кН/мм
3.0	2.1	0.47	0.57
4.0	2.8	0.62	0.76
5.0	3.5	0.78	0.96
6.0	4.2	0.94	1.15
8.0	5.6	1.25	1.53
10.0	7.0	1.56	1.91
12.0	8.4	1.87	2.29
15.0	10.5	2.34	2.87
18.0	12.6	2.81	3.44
20.0	14.0	3.12	3.82
22.0	15.4	3.43	4.20
25.0	17.5	3.90	4.78



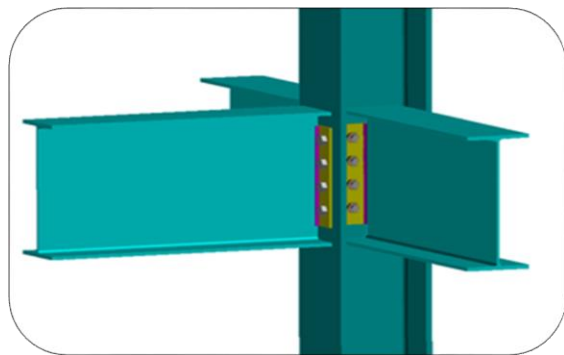
При $\theta = 45^\circ$,
 $K = 1.225$

Два широко распространенных типа соединений

- Опорный фланец (на всю высоту или часть высоты)
- Через ребро

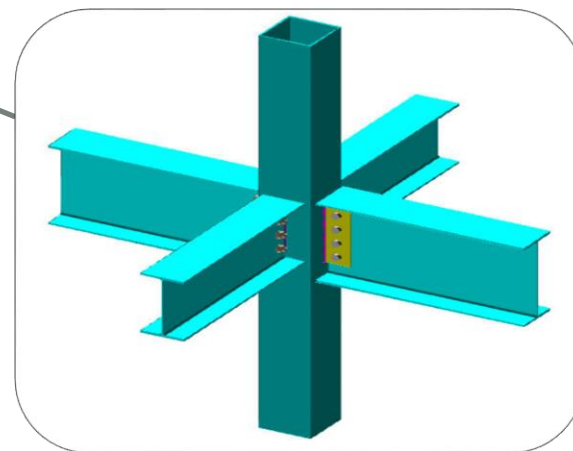
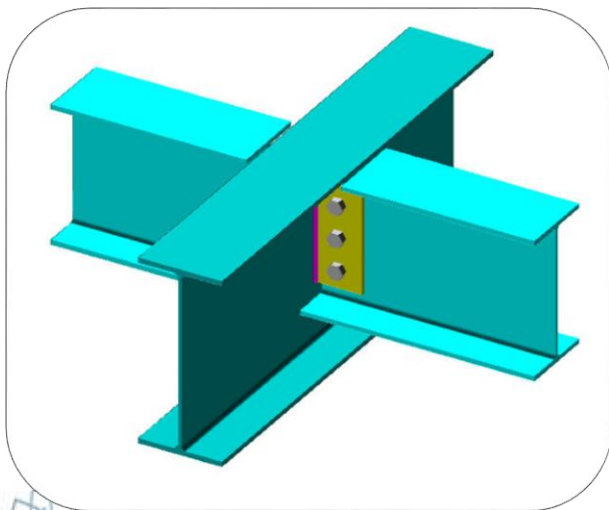
Фланец на часть высоты выполняют, как минимум, на 60% высоты сечения и приваривают только к стенке

Фланцевые шарнирные узлы





Шарнирные узлы с ребром



Узлы элементов из замкнутых профилей

- Проверки основаны на сериях испытаний
- На сегодняшний день EN 1993-1-8 дает соответствующие расчетные методики

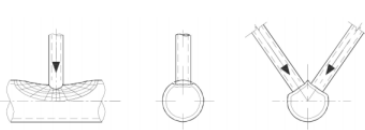
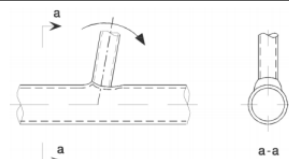
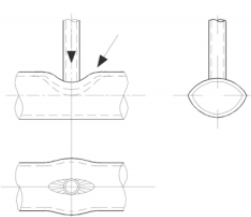
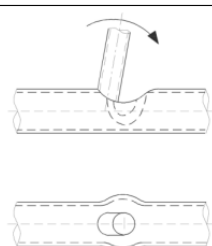
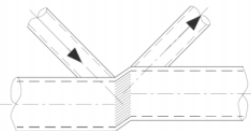
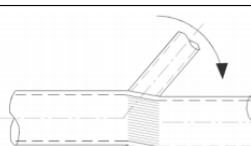
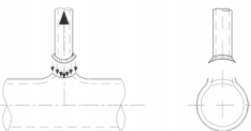
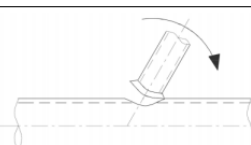
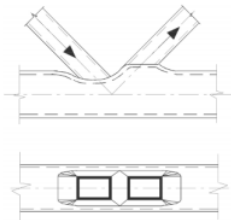
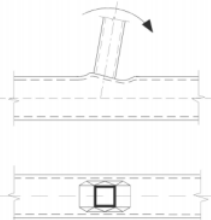
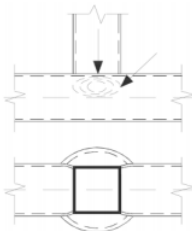

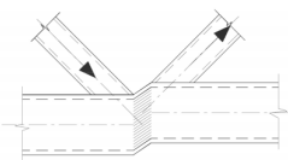
Вид отказа	При действии осевой силы	При действии изгибающего момента
а		
б		
в		
г		

Рис. 7.1, 7.2, 7.3

Вид отказа	При действии осевой силы	При действии изгибающего момента
а		
б		
в		

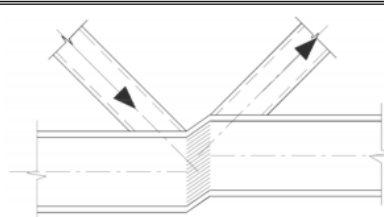
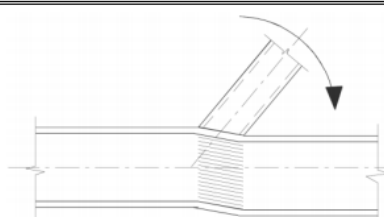
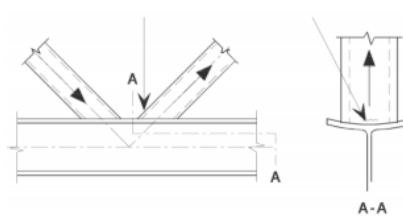
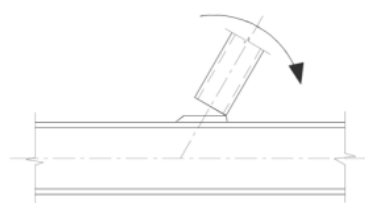
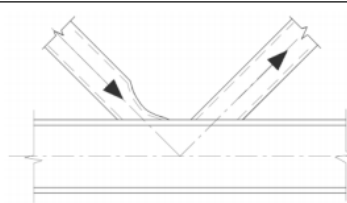
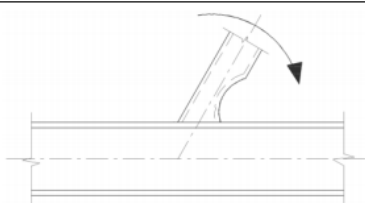
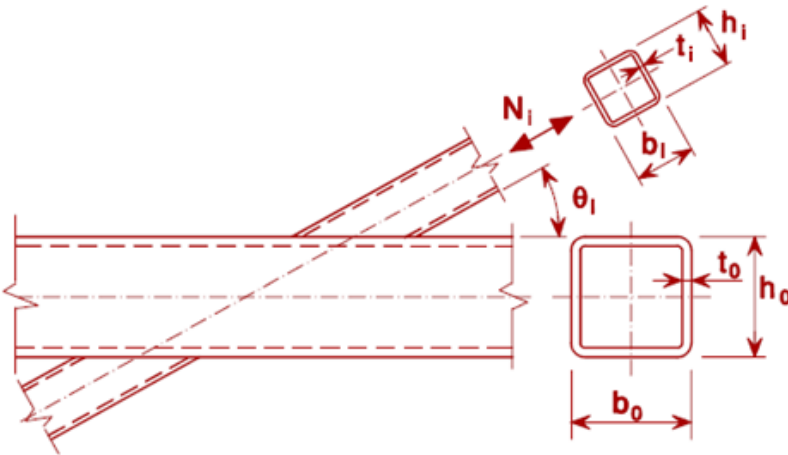
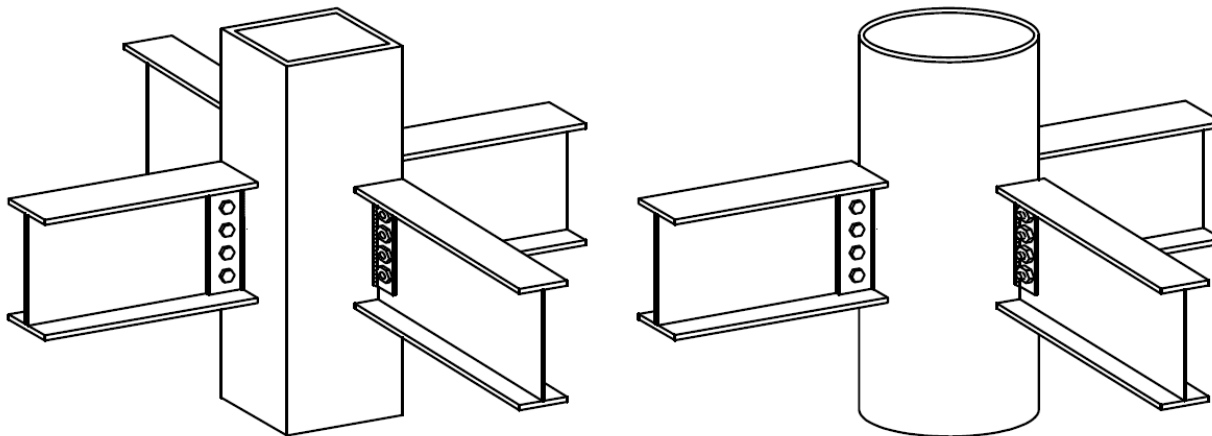
в		
г	—	—
д		
е		

Рис. 7.1, 7.2, 7.3

Тип узла	Несущая способность [$i = 1$]
	Разрушение по грани пояса $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Потеря устойчивости стенки пояса ¹⁾ $\beta = 1,0$ ²⁾
	$N_{i,Rd} = \frac{f_b t_0}{\sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Отказ элемента решетки $\beta \geq 0,85$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Продавливание $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$

Узлы элементов из замкнутых профилей

- Как правило, имеют несущую способность ниже, чем элементы конструкции
 - Хороший проект предусматривает тщательный выбор элементов конструкции и проверку узлов (не только элементов)
- В идеале – следует использовать программное обеспечение

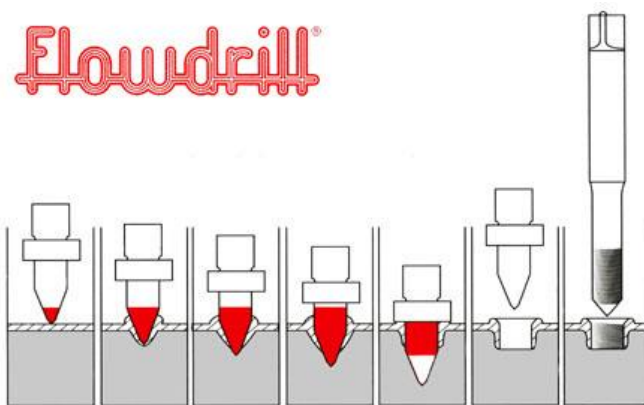


Соединения с элементами замкнутого профиля

- Распорные болты Holo или аналоги

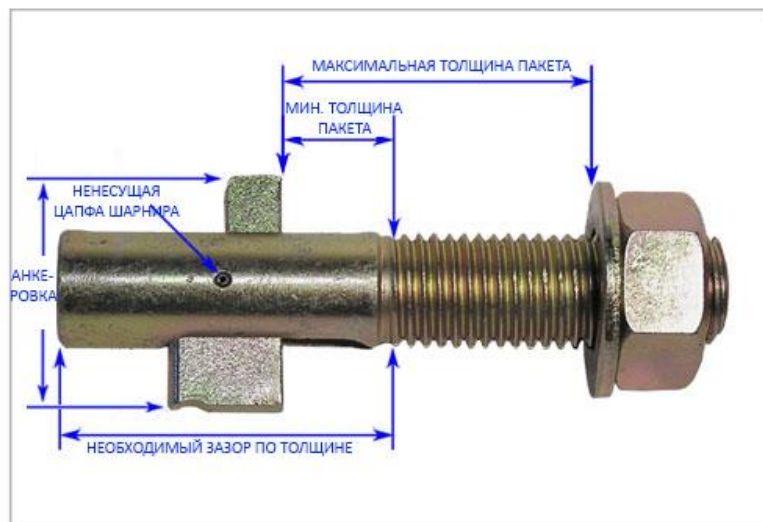


- Сверла Flowdrill



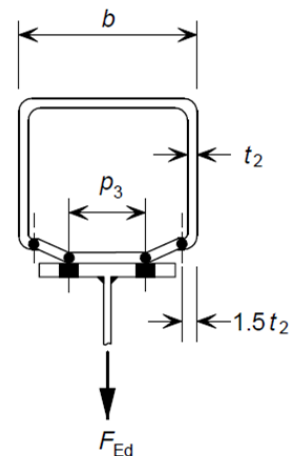
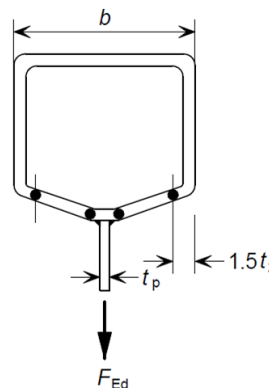
Соединения с элементами замкнутого профиля

➤ Потайной болт



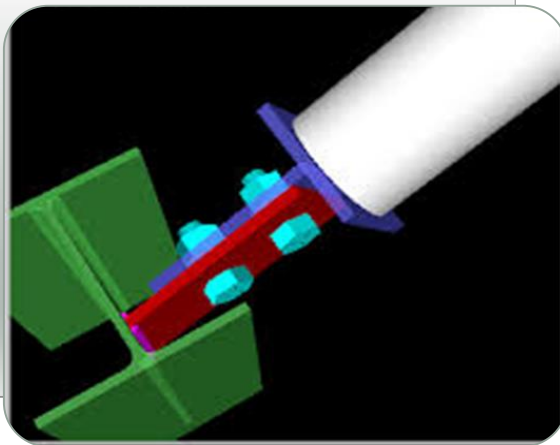
Обращайте внимание на растяжение на стенке

- Большая вероятность, что это будет слабым звеном

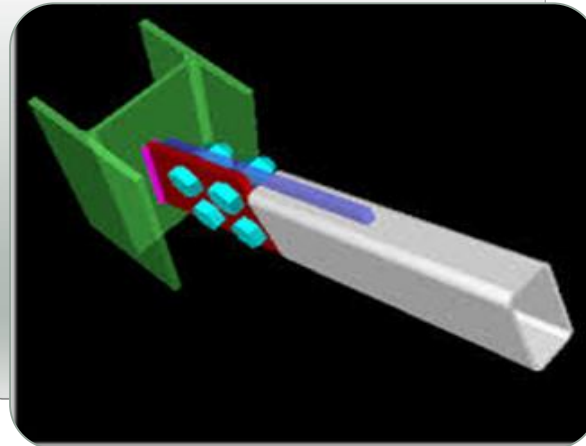


Два широко распространенных типа:

Т-образное (тавровое)



С врезкой в трубу



С врезкой в трубу



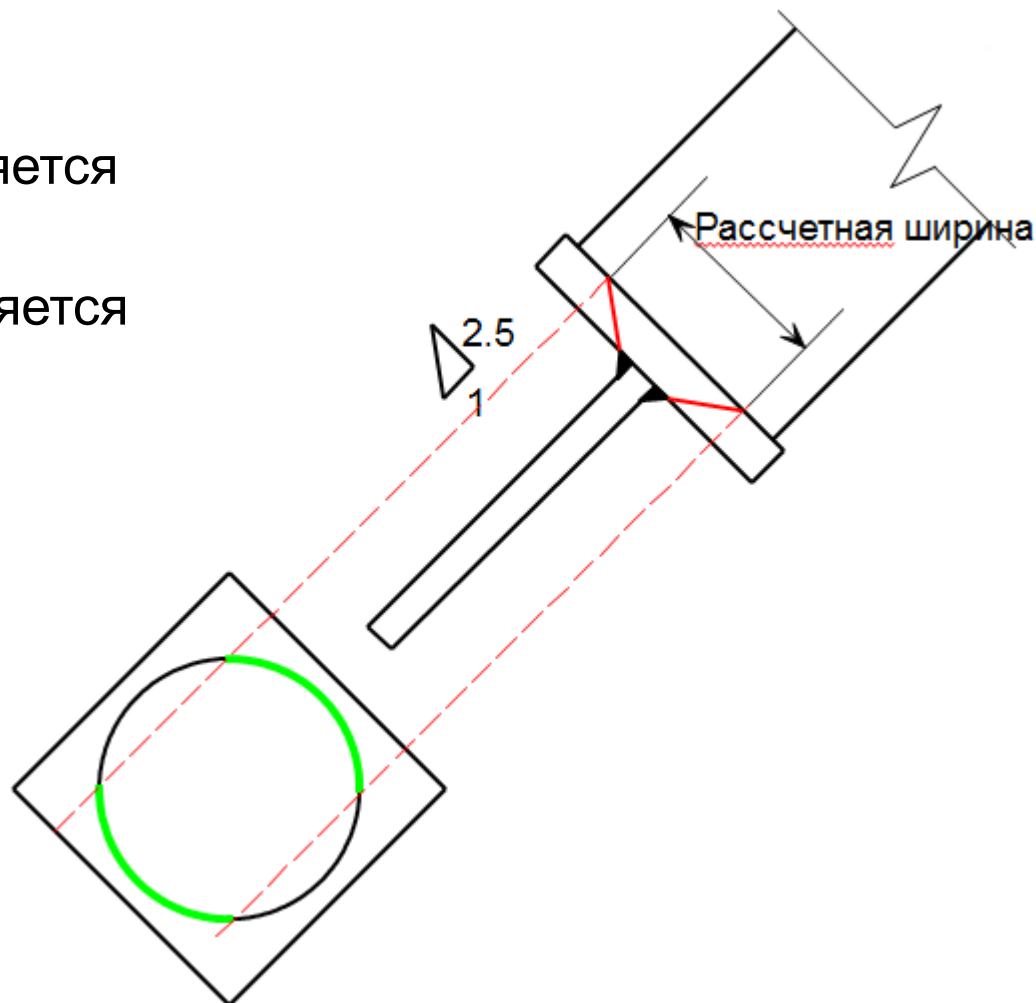
- Как правило, для более высоких нагрузок

Т-образное (тавровое) соединение



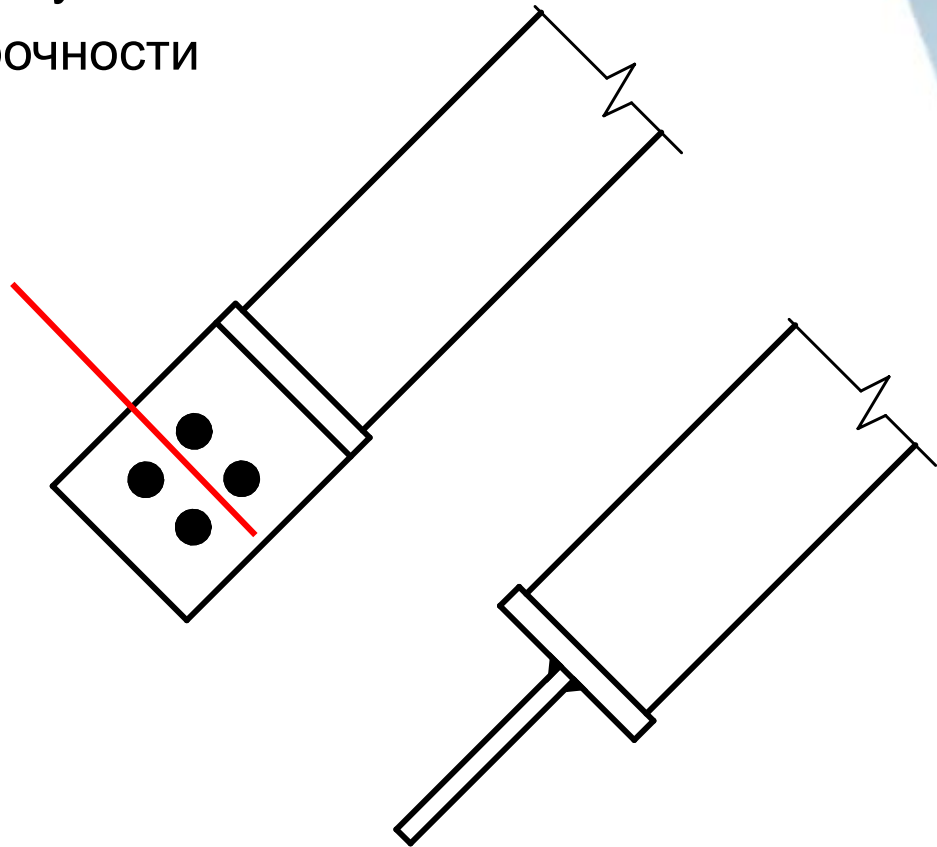
Соединения компонентов в узлах связей

- Расчетная ширина
- Сварной шов проверяется на этом участке
- Стенка трубы проверяется на этом участке



Соединения компонентов в узлах связей

- Две проверки:
 - Сечения брутто по пределу текучести
 - Сечения нетто по пределу прочности
- Болты
 - На срез
 - На смятие



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!