



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЬНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА

## **Расчет соединений ЛСТК. Примеры узлов и распространенные практики каркасно-щитового строительства на основе ЛСТК / строительства зданий павильонного типа**

Семко Владимир,  
кандидат технических наук

Семинар «ЛСТК: проектирование, производство и монтаж»

16-17 апреля 2015



# Расчет соединений ЛСТК

---

Действие ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3 распространяется на элементы из сталей в диапазоне толщин  $t_{cor}$ :

- для профлистов и элементов:  $0,45 \text{ мм} \leq t_{cor} \leq 15 \text{ мм}$ ;
- для соединений:  $0,45 \text{ мм} \leq t_{cor} \leq 4 \text{ мм}$ .

Если толщина соединяемых элементов более 4 мм, тогда необходимо использовать ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8.

# Расчет соединений ЛСТК

---

В холодноформованных конструкциях соединения используются для:

1. Соединения стальных листов к поддерживающим конструкциям (тонкий-к-толстому), например, профнастил к прогонам, стеновые кассеты к элементам каркаса;
2. Соединение двух и более листов (тонкий-к-тонкому или толстый-к-толстому);
3. Сборка линейных элементов (тонкий-к-тонкому или толстый-к-толстому), например, элементы каркаса, фермы и т.п.

# Расчет соединений ЛСТК

---

Типы соединений можно разделить на три группы:



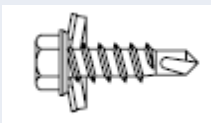

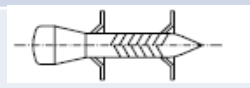
1. Соединения на метизах (механических крепежах);
2. Сварные соединения;
3. Клеевые соединения.

# Расчет соединений ЛСТК

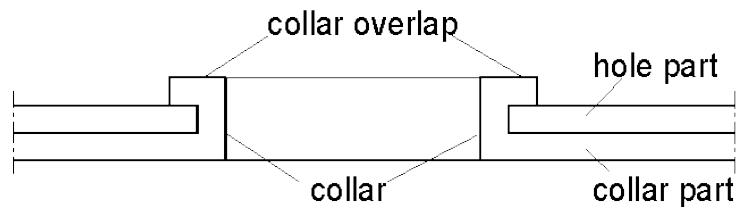
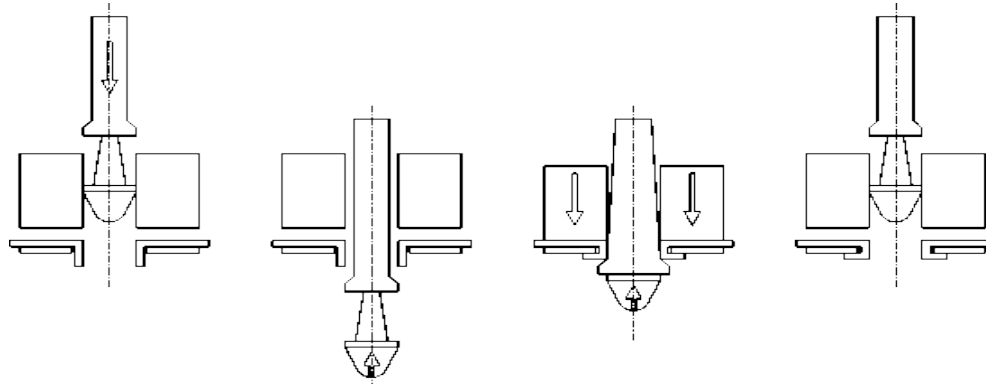
## Применение различных видов соединений

Тонкий-к-тонкому	Тонкий-к-толстому или тонкий-к-горячекатанному	Толстый-к-толстому или толстый-к-горячекатанному
<ul style="list-style-type: none"><li>- самосверлильные и самонарезные винты;</li><li>- заклепки;</li><li>- пресс-соединения;</li><li>- односторонние V-образные швы;</li><li>- точечная сварка;</li><li>- клеевое соединение.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- самосверлильные и самонарезные винты;</li><li>- дюбель-гвозди;</li><li>- болты;</li><li>- дуговая точечная сварка;</li><li>- клеевое соединение.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- болты;</li><li>- дуговая сварка.</li></ul>

# Соединения на металлических изделиях

Тонкий-к-толстому	Сталь-дерево	Тонкий-к-тонкому	Крепеж	Примечание
X		X		Болты М5-М16
X				Самонарезной винт с шайбой $\geq 16$ мм и 1мм прокладкой из каучукового материалв
	X	X		Винт з шестигранной головкой d=6,3мм или d=6,5мм с шайбой $\geq 16$ мм и 1мм прокладкой из каучукового материала
X		X		Самосверлильный винт диаметром: d=4,22 або 4,8 мм; d=5,5 мм; d=6,3 мм.
		X		Витяжна заклепка диаметром: d=4,0 мм; d=4,8 мм; d=6,4 мм.
X				Дюбель

# Пресс-соединения



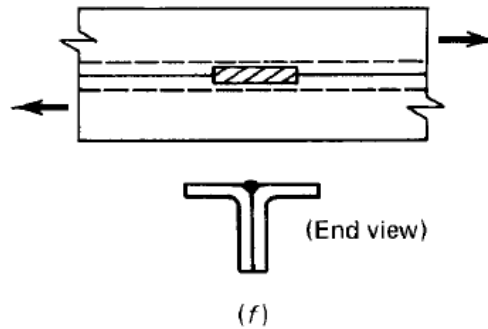
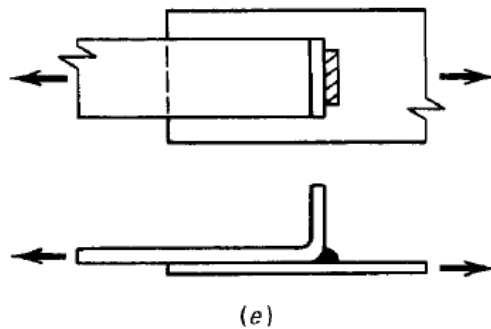
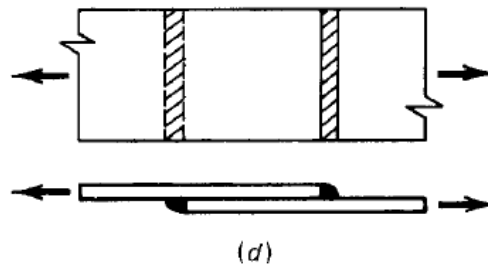
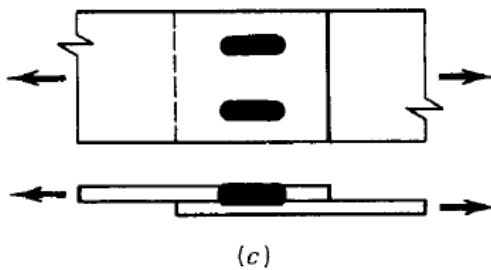
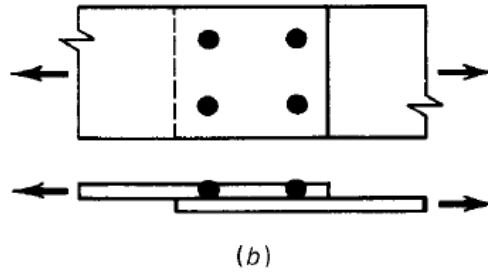
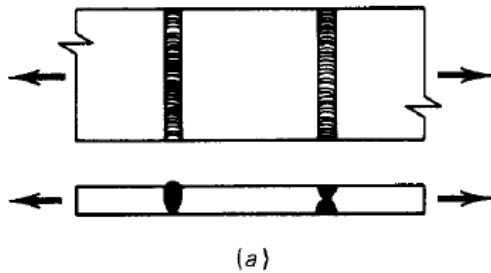
Collar overlap - “напуск воротника”

Collar - “воротник”

Hole part – элемент с отверстием

Collar part – элемент с “воротником”

# Сварные соединения



- a) стыковое соединение;
- b) точечная дуговая сварка;
- c) прямолинейное  
роликовое сваривание;
- d) угловой сварной шов;
- e) сварной шов между  
закругленными  
элементами;
- f) V-образный сварной  
шов.

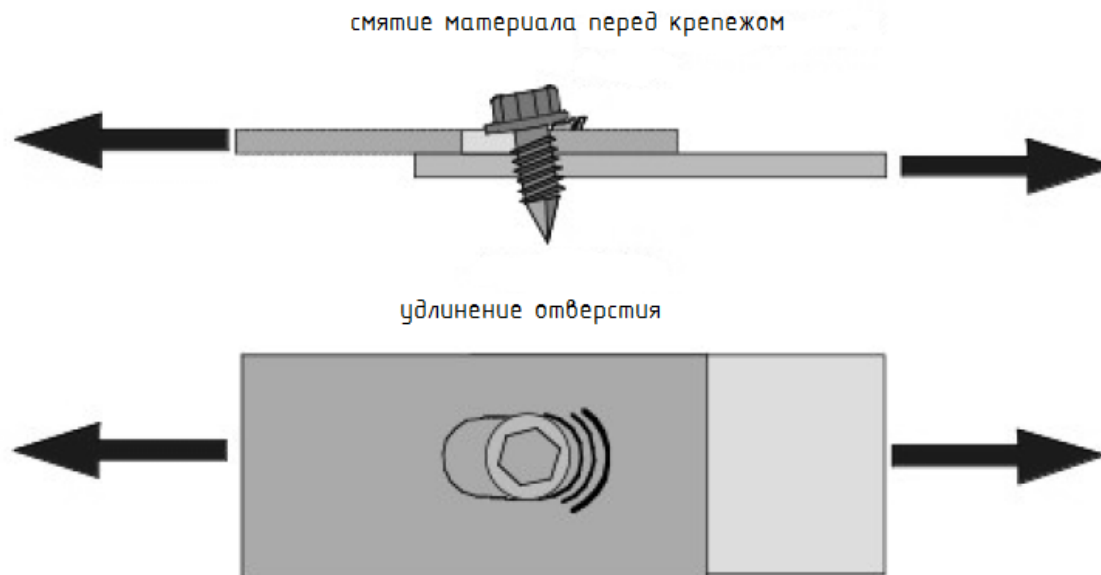


# Расчет соединений ЛСТК

Формы отказов и их характерные признаки для соединений, работающих на срез

Форма отказа	Удлинение отверстия	Смятие материала	Образование шейки/ разрывов	Выдергивание крепежа	Расположение повреждения
Смятие	√	√			Любой или оба листа
Разрыв по сечению нетто	√	√	√		Любой или оба листа
Срез крепежа					Крепеж
Отказ «хвоста»	√	√	√		Любой или оба листа
Наклон и вырыв				√	Между листом и крепежом

# Расчет соединений ЛСТК

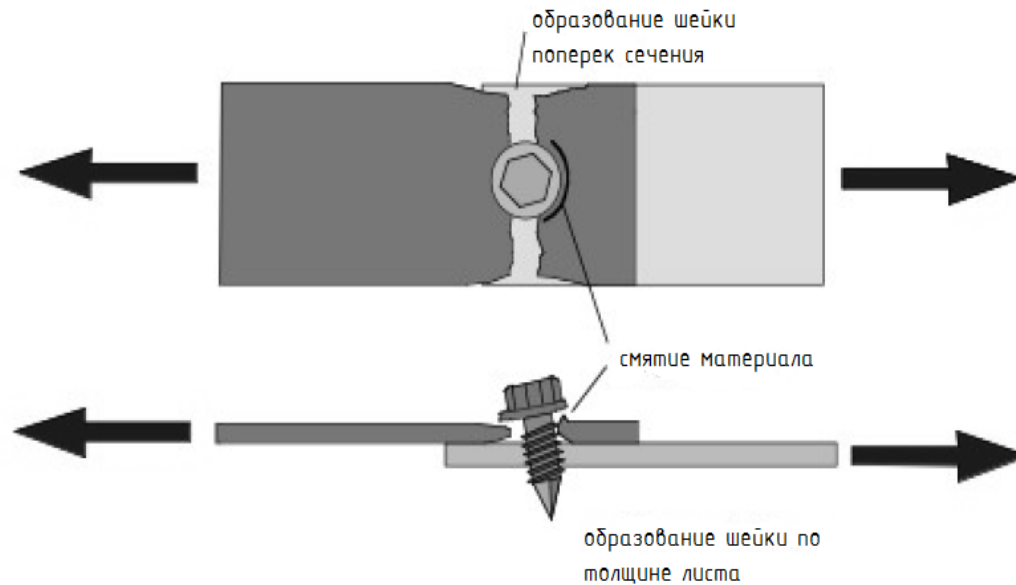


Разрушение соединения в результате потери прочности при смятии

Характерные признаки формы отказа:

- удлинение отверстия;
- смятие материала перед крепежом;
- закручивание листа из плоскости;
- отсутствие образования шейки в листовых элементах;
- возможность образования диагональных трещин возникающих в металле прилегающем к крепежу;
- отказ происходит в одном или обоих листах соединения.

# Расчет соединений ЛСТК



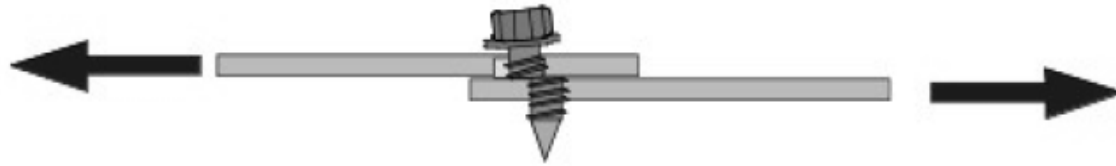
Характерные признаки формы отказа:

- образование шейки поперек сечения элемента;
- образование шейки по толщине листа;
- отказ происходит в одном или обоих листах соединения.

Разрушение соединения в результате разрыва элемента по сечению нетто

# Расчет соединений ЛСТК

---

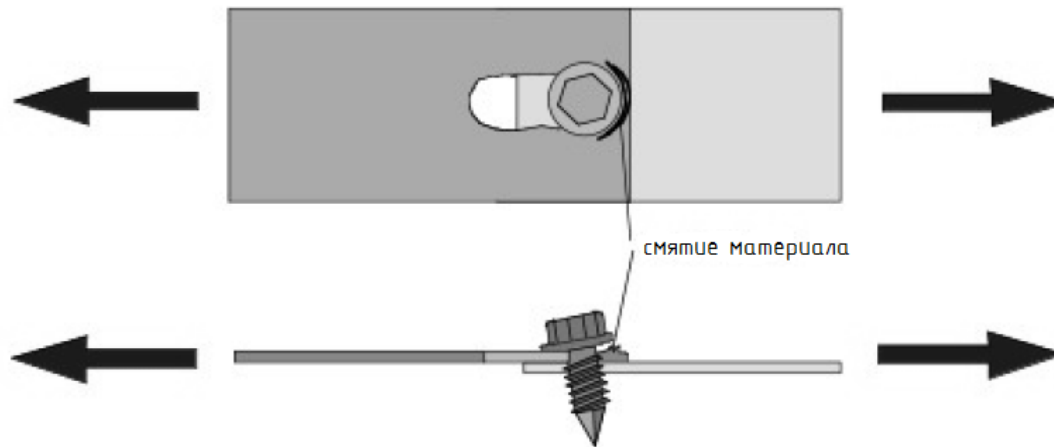


Разрушение соединения в результате среза крепежного элемента

Характерные признаки формы отказа:

- отказ происходит в результате перелома крепежного элемента или образования шейки в нем.

# Расчет соединений ЛСТК

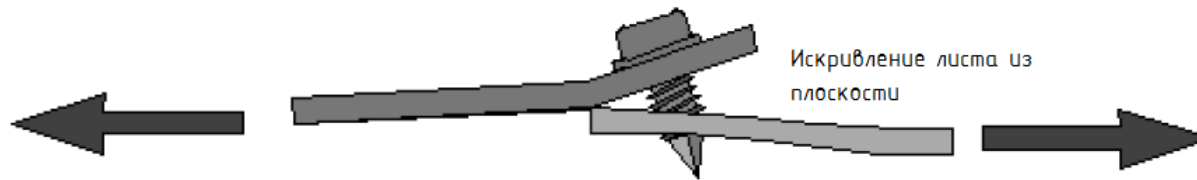


Разрушение соединения в результате разрыва хвостовых частей листовых элементов

Характерные признаки формы отказа:

- удлинение отверстия;
  - продольный разрыв в направлении приложенного усилия;
  - смятие материала перед крепежом;
- отказ происходит в одном или обоих листах соединения.

# Расчет соединений ЛСТК



Разрушение соединения в результате отклонения листовых элементов и выдергивания крепежа

Характерные признаки формы отказа:

- искривление листов;
- отказ происходит в результате выдергивания крепежа из ниже лежащего элемента.

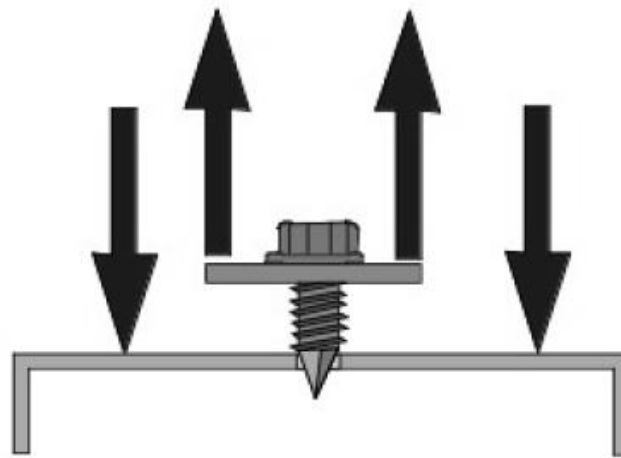
# Расчет соединений ЛСТК

---

Формы отказа соединений для крепежей, работающих на растяжение

Если крепежный элемент работает на растяжение, разрушение соединения может произойти из-за отказа одного из крепежных элементов или разрушения соединяемых стальных листов/элементов.

# Расчет соединений ЛСТК



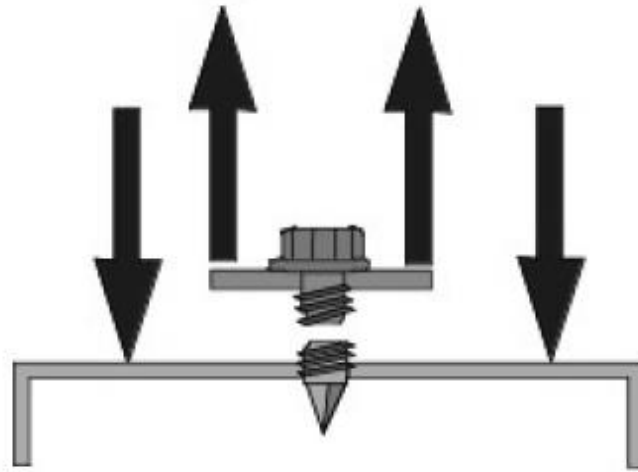
Разрушение соединения в результате выдергивания крепежного элемента

Характерные признаки формы отказа:

- срыв резьбы винтов или болтов и/или срыв резьбы основы;
- искривление головки крепежа;
- искривление стали основы;
- отказ происходит в результате выдергивания крепежа из основы.



# Расчет соединений ЛСТК

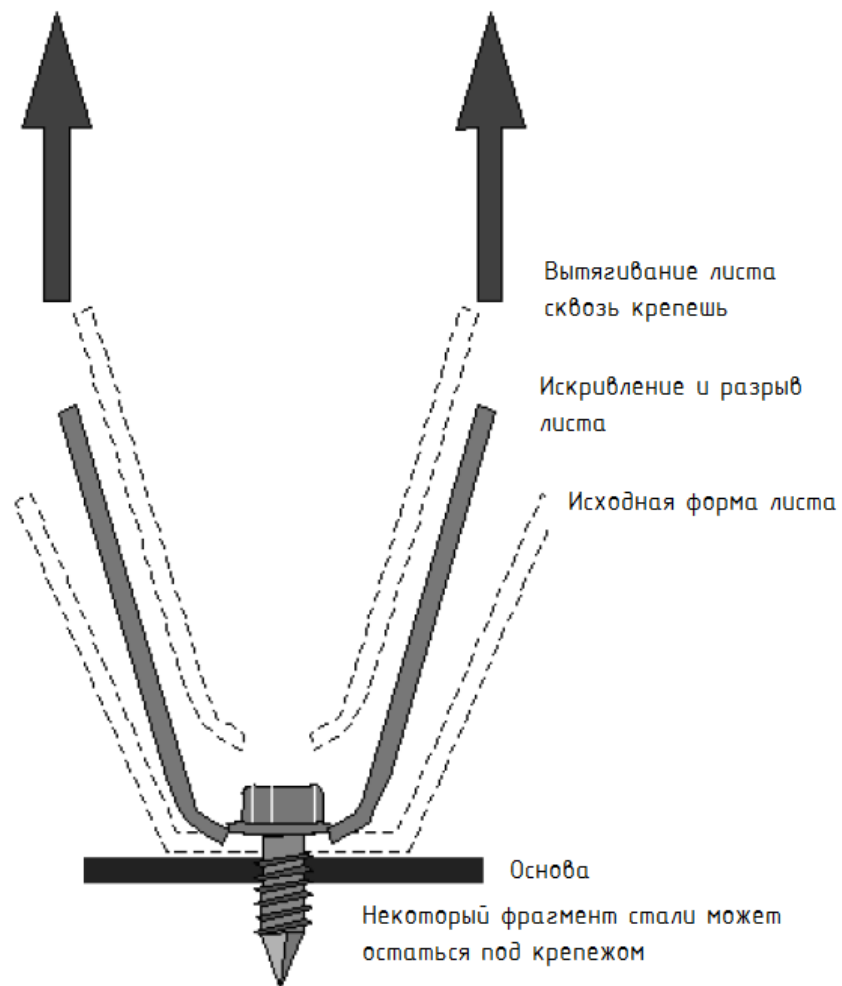


Разрушение соединения в результате разрыва крепежного элемента

Характерные признаки формы отказа:

- отказ происходит в результате разрыва или образования шейки в стержне крепежного элемента.

# Расчет соединений ЛСТК

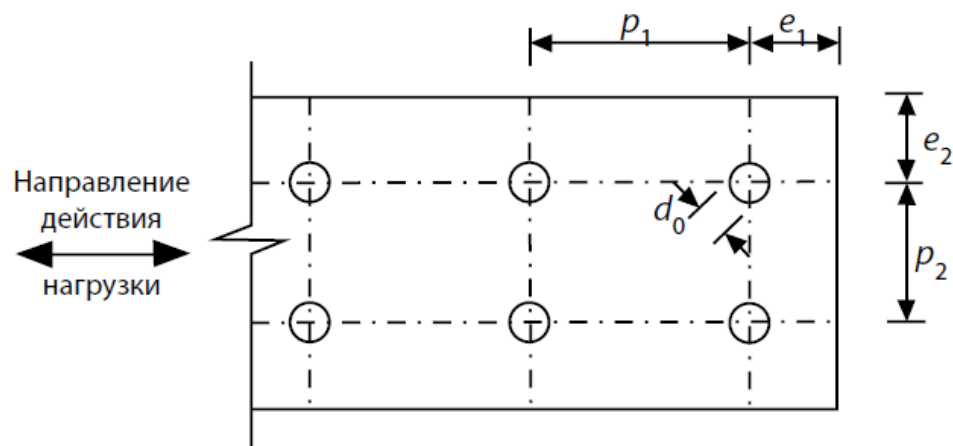


## Разрушение соединения в результате срыва листа

Характерные признаки формы отказа:

- образование разрывов и искривление листа вокруг головки крепежа (срыв листа);
- крепеж остается прикрепленным к основе;
- разрушение происходит в части материала смежной с головкой крепежа;
- некоторый фрагмент стали может остаться под крепежом;
- профиль может быть отсоединен целиком от крепежа (проскальзывание листа).

# Расчет соединений ЛСТК



$A$  полная площадь поперечного сечения метиза;  
 $A_s$  площадь растянутой части сечения метиза;  
 $A_{net}$  площадь нетто сечения соединяемого элемента;  
 $\beta_{Lf}$  снижающий коэффициент для протяженных узлов по EN 1993-1-8;  
 $d$  номинальный диаметр метиза;  
 $d_o$  номинальный диаметр отверстия;  
 $d_w$  диаметр шайбы или головки метиза;  
 $e_1$  расстояние от центра метиза до ближайшего края соединяемого элемента вдоль усилия;

$e_2$  расстояние от центра метиза до ближайшего края соединяемого элемента поперек усилия;  
 $f_{ub}$  временное сопротивление на растяжение материала метиза;  
 $f_{u,sup}$  временное сопротивление на растяжение опорного элемента, в котором установлен винт;  
 $n$  количество листов, которые крепятся к опорному элементу посредством винта или дюбеля;  
 $n_f$  количество метизов в одном соединении;  
 $p_1$  расстояние между центрами метизов вдоль усилия (см. рисунок 7.2);  
 $p_2$  расстояние между центрами метизов поперек усилия (см. рисунок 7.2);  
 $t$  толщина более тонкого из соединяемых элементов;  
 $t_1$  толщина более толстого из соединяемых элементов;  
 $t_{sup}$  толщина опорного элемента, к которому крепится винт или дюбель.

# Расчет соединений ЛСТК

## Расчетная несущая способность заклепок для односторонней клепки

Заклепки в соединениях, работающих на сдвиг		
<u>Несущая способность смятия</u> $F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2}$ , но $F_{b,Rd} \leq f_u e_1 t / (1,2 \gamma_{M2})$ , где $\alpha$ принимается следующим образом: если $t = t_1$ $\alpha = 3,6 \sqrt{t/d}$ , но $\alpha \leq 2,1$ если $t_1 \geq 2,5$ $\alpha = 2,1$ если $t < t_1 < 2,5 \alpha$ $\alpha$ принимают по линейной интерполяции.		
<u>Несущая способность сечения нетто</u> $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$		
<u>Несущая способность среза</u> . Несущую способность среза $F_{v,Rd}$ определяют испытаниями и $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$		
Условия: <sup>4)</sup>		
$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd} / (n_f \beta_{Lf})$ или $F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$		
Заклепки в соединениях, работающих на растяжение <sup>2)</sup>		
<u>Несущая способность вырывания</u> . Несущую способность вырывания $F_{p,Rd}$ определяют испытаниями <sup>1)</sup> .		
<u>Несущая способность выдергивания</u> . Не относится к заклепкам.		
<u>Несущая способность растяжения</u> . Несущую способность растяжения $F_{t,Rd}$ определяют испытаниями <sup>1)</sup> .		
Условия: $F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$		
Диапазон применения <sup>3)</sup>		
$e_1 \geq 1,5d$ $e_2 \geq 1,5d$ $f_u \leq 550 \text{ Н/мм}^2$	$p_1 \geq 3d$ $p_2 \geq 3d$	$2,6 \text{ мм} \leq d \leq 6,4 \text{ мм}$
<sup>1)</sup> Допускается, что закладная головка заклепки расположена над более тонким из соединяемых листов. <sup>2)</sup> Заклепки данного типа обычно не используют при растяжении. <sup>3)</sup> Эти заклепки могут использоваться в другом диапазоне применения, если их несущая способность определена по результатам испытаний. <sup>4)</sup> Требуемые условия должны быть выполнены при необходимости ограничения деформативности соединения. Если эти условия не выполнены, то следует ограничить деформативность соединения другими элементами конструкций.		

# Расчет соединений ЛСТК

## Расчетная несущая способность самонарезающих винтов

### Самонарезающие винты в соединениях, работающих на сдвиг

Несущая способность смятия

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2},$$

где  $\alpha$  принимается в следующем виде:

$$\text{если } t = t_1 \quad \alpha = 3,6 \sqrt{t/d}, \text{ но } \alpha \leq 2,1$$

$$\text{если } t_1 \geq 2,5 \text{ и } t < 1,0 \text{ мм} \quad \alpha = 3,6 \sqrt{t/d}, \text{ но } \alpha \leq 2,1$$

$$\text{если } t_1 \geq 2,5 \text{ и } t < 1,0 \text{ мм} \quad \alpha = 2,1$$

$$\text{если } t < t_1 < 2,5 \alpha \quad \alpha \text{ принимают по линейной интерполяции.}$$

Несущая способность сечения нетто

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

Несущая способность среза. Несущую способность среза и  $F_{v,Rd}$  определяют испыт

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$$

Условия:<sup>4)</sup>

$$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd} \text{ или } \sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$$

### Винты в соединениях, работающих на растяжение

Несущая способность вырывания:<sup>2)</sup>

для статических нагрузок

$$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2};$$

для винтов под действием ветровых нагрузок и сочетания ветровых и статических нагрузок

$$F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

Несущая способность выдергивания

$$\text{Если } t_{sup}/s < 1 \quad F_{o,Rd} = 0,45 d t_{sup} f_{u, sup} / \gamma_{M2} \quad (s \text{ — шаг резьбы}).$$

$$\text{Если } t_{sup}/s \geq 1 \quad F_{o,Rd} = 0,65 d t_{sup} f_{u, sup} / \gamma_{M2}$$

Несущая способность растяжения. Несущую способность растяжения  $F_{t,Rd}$  определяют испытаниями.

Условия:<sup>4)</sup>

$$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd} \text{ или } F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$$

### Диапазон применения<sup>3)</sup>

Общие:

$$e_1 \geq 3d \quad p_1 \geq 3d \quad 3,0 \text{ мм} \leq d \leq 8,0 \text{ мм}$$

$$e_2 \geq 1,5d \quad p_2 \geq 3d$$

$$\text{Для растяжения: } 0,5 \text{ мм} \leq t \leq 1,5 \text{ мм и } t_1 \geq 0,9 \text{ мм, } f_u \leq 550 \text{ Н/мм}^2$$

<sup>1)</sup> Допускается, что головка винта расположена над более тонким из соединяемых листов.

<sup>2)</sup> Допускается, что шайба достаточно жесткая для предотвращения ее нежелательной деформации и исключен отрыв головки винта.

<sup>3)</sup> Самонарезающие винты могут использоваться в другом диапазоне применения, если их несущая способность определена по результатам испытаний.

<sup>4)</sup> Требуемые условия должны быть выполнены при необходимости ограничения деформативности соединения. Если эти условия не выполнены, то следует ограничить деформативность соединения другими элементами кон структур.

# Расчет соединений ЛСТК

## Расчетная несущая способность пристреливаемых дюбелей

Дюбели в соединениях, работающих на сдвиг
<u>Несущая способность смятия</u> $F_{b,Rd} = 3,2f_u d t / \gamma_{M2}$
<u>Несущая способность по сечению нетто</u> $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
<u>Несущая способность среза</u> . Несущая способность среза $F_{v,Rd}$ определяется испытаниями $F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}$
<u>Условия:</u> <sup>3)</sup> $F_{v,Rd} \geq 1,5 \Sigma F_{b,Rd}$ или $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd}$
Дюбели в соединениях, работающих на растяжение
<u>Несущая способность вырывания</u> : <sup>1)</sup> для статических нагрузок $F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$ ; для ветровых нагрузок и сочетания ветровых и статических нагрузок $F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$
<u>Несущая способность выдергивания</u> . Несущая способность выдергивания $F_{o,Rd}$ определяется испытаниями.
<u>Несущая способность растяжения</u> . Несущая способность растяжения $F_{t,Rd}$ определяется испытаниями.
<u>Условия:</u> <sup>3)</sup> $F_{o,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$ или $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$
Диапазон применения <sup>2)</sup>
Общие: $e_1 \geq 4,5d$ $3,7 \text{ мм} \leq d \leq 6,0 \text{ мм}$ $e_2 \geq 4,5d$ для $d = 3,7 \text{ мм}$ $t_{sup} \geq 4,0 \text{ мм}$ $p_1 \geq 4,5d$ для $d = 4,5 \text{ мм}$ $t_{sup} \geq 6,0 \text{ мм}$ $p_2 \geq 4,5d$ для $d = 5,2 \text{ мм}$ $t_{sup} \geq 8,0 \text{ мм}$ $f_u \leq 550 \text{ Н/мм}^2$ Для растяжения: $0,5 \text{ мм} \leq t \leq 1,5 \text{ мм}$ , $t_{sup} \geq 6,0 \text{ мм}$
<sup>1)</sup> Допускается, что шайба достаточно жесткая для предотвращения ее нежелательной деформации и исключен отрыв головки дюбеля. <sup>2)</sup> Дюбели могут быть использованы в другом диапазоне применения, если их несущая способность определена по результатам испытаний. <sup>3)</sup> Требуемые условия должны быть выполнены при необходимости ограничения деформативности соединения. Если эти условия не выполнены, то следует ограничить деформативность соединения другими элементами конструкций.

# Расчет соединений ЛСТК

## Расчетная несущая способность болтов

### Болты в соединениях, работающих на сдвиг

Несущая способность смятия<sup>2)</sup>

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u d t / \gamma_{M2},$$

где  $\alpha_b$  — наименьшее значение из 1,0 и  $e_1/(3d)$ ;

$$k_t = (0,8t + 1,5)/2,5 \text{ для } 0,75 \text{ мм} \leq t \leq 125 \text{ мм}, k_t = 1, \text{ для } t \geq 1,25$$

Несущая способность по сечению нетто

$$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_0/u - 0,3)) A_{net} f_u / \gamma_{M2}, \text{ но } F_{n,Rd} \leq A_{net} f_u / \gamma_{M2},$$

где  $r$  — [количество болтов в поперечном сечении]/[общее количество болтов в соединении];

$$u = 2e_2, \text{ но } u \leq p_2$$

Несущая способность среза

Для болтов классов прочности 4.6, 5.6 и 8.8

$$F_{v,Rd} = 0,6f_{ub}A_s / \gamma_{M2};$$

для болтов классов прочности 4.8, 5.8, 6.8 и 10.9

$$F_{v,Rd} = 0,5f_{ub}A_s / \gamma_{M2}$$

Условия:<sup>3)</sup>

$$F_{v,Rd} \geq 1,2 \Sigma F_{b,Rd} \text{ или } \Sigma F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$$

### Болты в соединениях, работающих на растяжение

Несущая способность вырывания. Несущая способность вырывания  $F_{p,Rd}$  определяется испытаниями.

Несущая способность выдергивания. Не относится к болтам.

Несущая способность растяжения  $F_{t,Rd} = 0,9f_{ub}A_s / \gamma_{M2}$ .

Условия:<sup>3)</sup>

$$F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$$

### Диапазон применения<sup>1)</sup>

$$e_1 \geq 1,0d_0 \quad p_1 \geq 3,0d_0 \quad 0,75 \text{ мм} \leq t < 3 \text{ мм. Минимальный размер болта: M6.}$$

$$e_2 \geq 1,5d_0 \quad p_2 \geq 3,0d_0 \quad \text{Классы прочности болтов: 4.6 – 10.9 (таблица 7.5).}$$

$$f_u \leq 550 \text{ Н/мм}^2$$

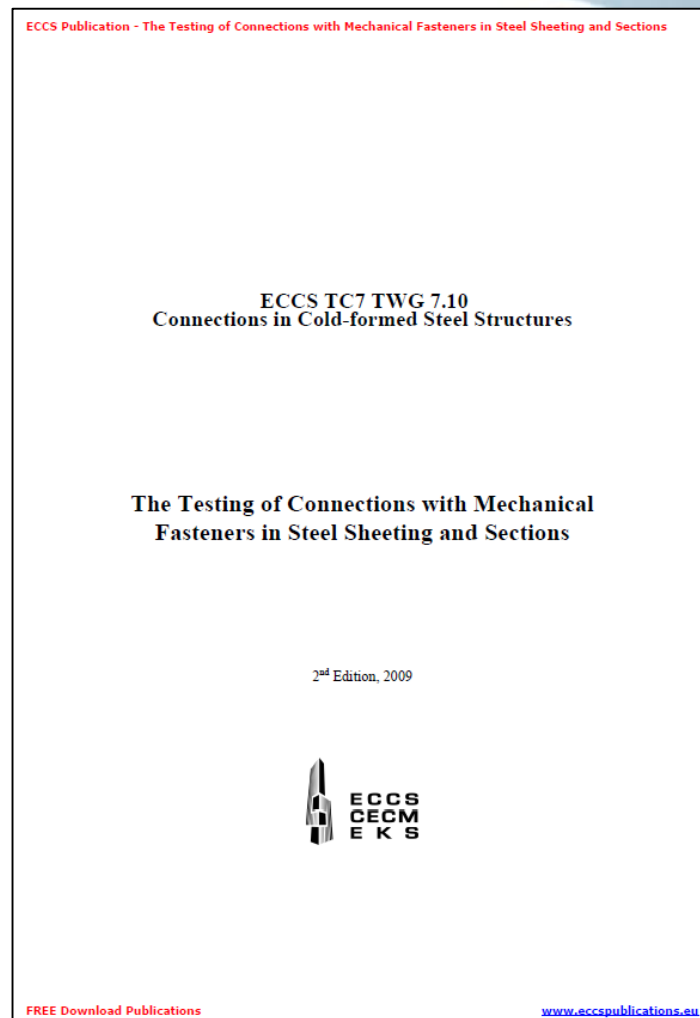
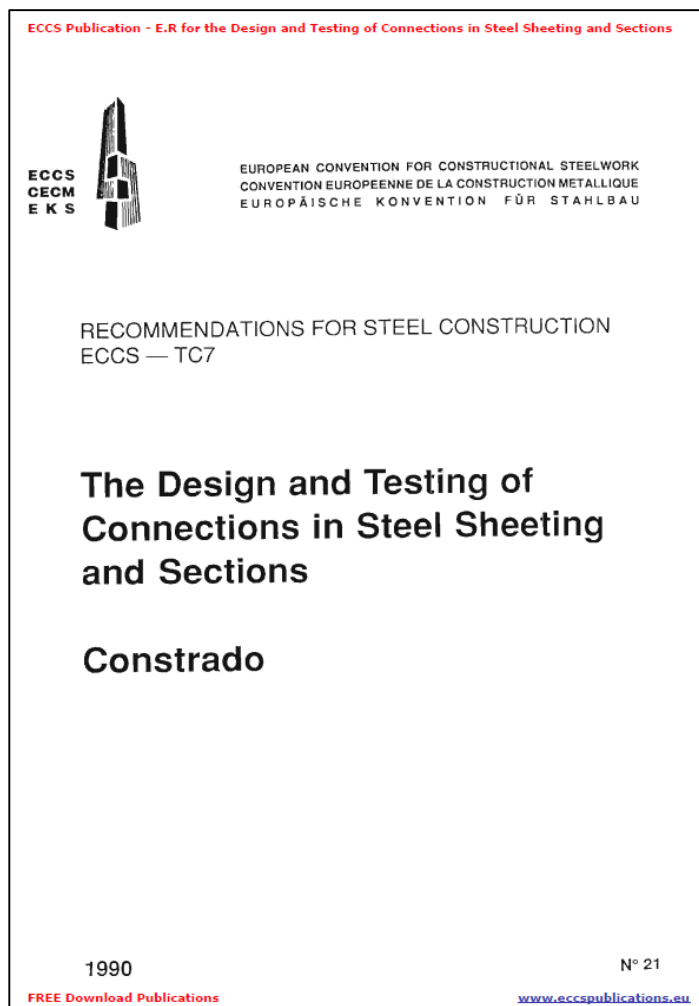
<sup>1)</sup> Болты могут быть использованы в другом диапазоне применения, если их несущая способность определена по результатам испытаний.

<sup>2)</sup> Для толщины 3 мм и более должны использоваться правила для болтов по ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 [8].

<sup>3)</sup> Требуемые условия должны быть выполнены при необходимости ограничения деформативности соединения. Если эти условия не выполнены, то следует ограничить деформативность соединения другими элементами конструкций.

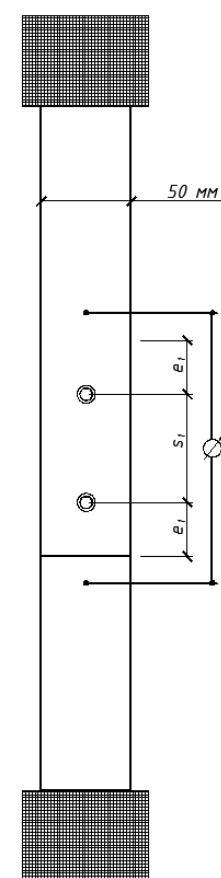
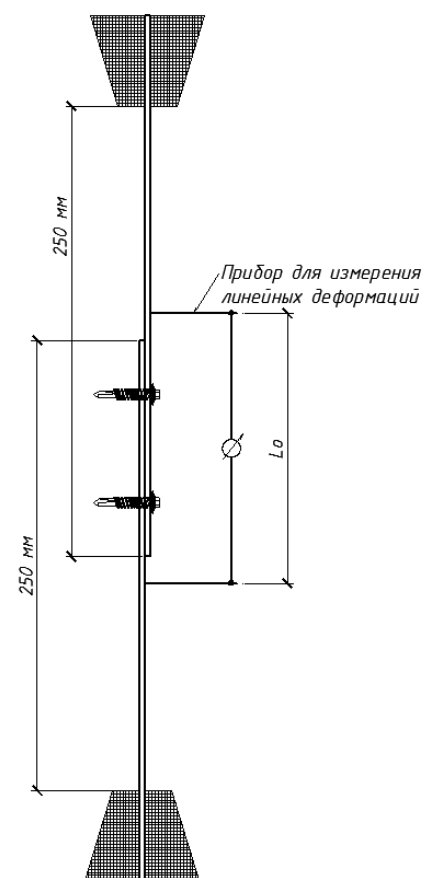
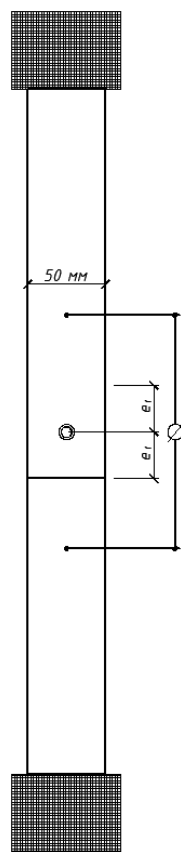
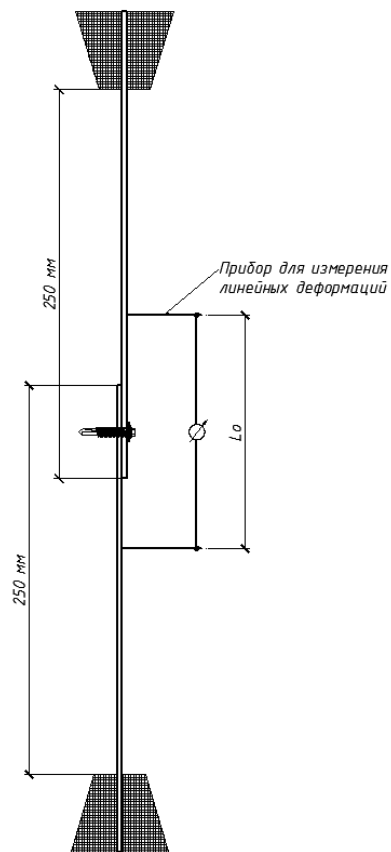


# Расчет соединений ЛСТК





# Расчет соединений ЛСТК



# Расчет соединений ЛСТК

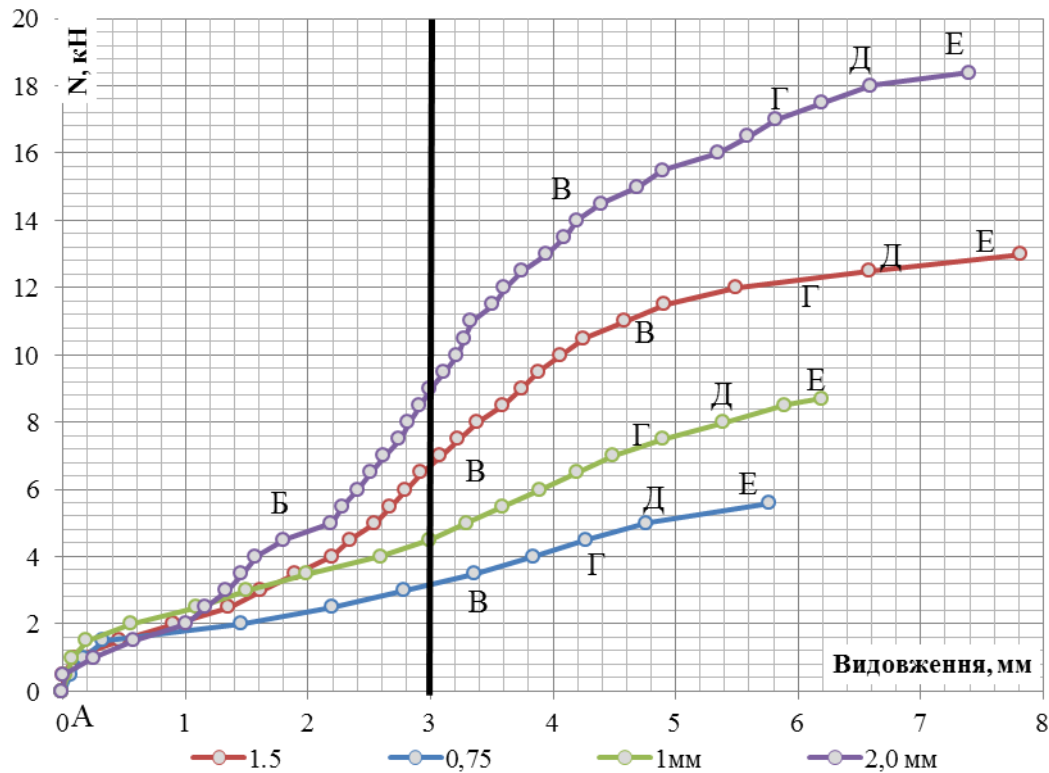
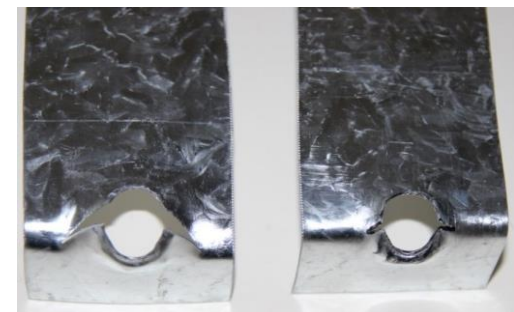
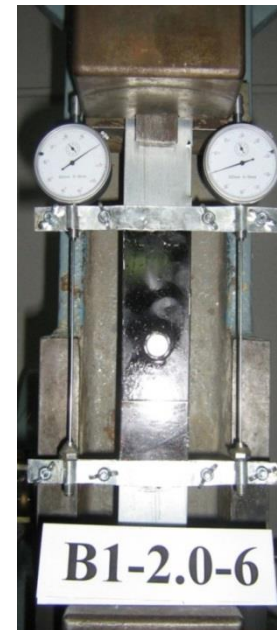


Диаграмма работы образцов болтовых соединений на срез соответствующих толщин без шайб



# Расчет соединений ЛСТК

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 <sup>2</sup>	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ , Н/мм <sup>2</sup>	400	400	500	500	600	800	1000

Характеристические значения несущей способности заклепок на срез  $F_{v,Rk}$  (Н/заклепку)

Диаметр, мм	Материал заклепки			
	Сталь	Нержавеющая сталь	Монель-метал <sup>1)</sup>	Алюминий
4,0	1600	2800	2400	800
4,8	2400	4200	3500	1100
5,0	2600	4600	-	-
6,4	4400	-	6200	2000
1) Сплав никеля и меди в пропорциях две части никеля и одна часть меди				

Характеристические значения несущей способности самонарезающих винтов на срез  $F_{v,Rk}$  (Н/винт)

Внешний диаметр резьбы, мм	Материал винта	
	Закаленная сталь	Нержавеющая сталь
4,8	5200	4600
5,5	7200	6500
6,3	9800	8500
8,0	16300	14300

# Расчет соединений ЛСТК

Допущения и требования для расчета соединений: соединения следует рассчитывать на основе реалистичной предпосылки о распределении внутренних сил и моментов. Для определения распределения внутренних усилий используются следующие предпосылки:

- а) внутренние силы и моменты, принимаемые при расчете, находятся в равновесии с силами и моментами, приложенными к соединению;
- б) каждый элемент соединения обладает достаточной несущей способностью для восприятия внутренних сил и моментов;
- в) деформации, соответствующие принятому распределению, не превышают предельные деформации крепежных деталей или сварных швов и соединяемых деталей;
- г) допускаемое распределение внутренних усилий должно быть реалистичным по отношению к погонным жесткостям в пределах соединения;
- д) деформации, допускаемые в любой расчетной модели при упруго-пластическом расчете, основаны на вращениях жесткого тела и/или на физически возможных деформациях в плоскости.

# Расчет соединений ЛСТК

---

## Расчет соединения на метизах

Соединения на метизах должны быть компактны по форме. Расположения метизов должно обеспечивать удовлетворительные условия для монтажа и ремонта. Сдвигающие силы на отдельные метизы в соединении допускаются равными при условии, что:

- метизы имеют достаточную пластичность;
- срез не является критической формой разрушения.

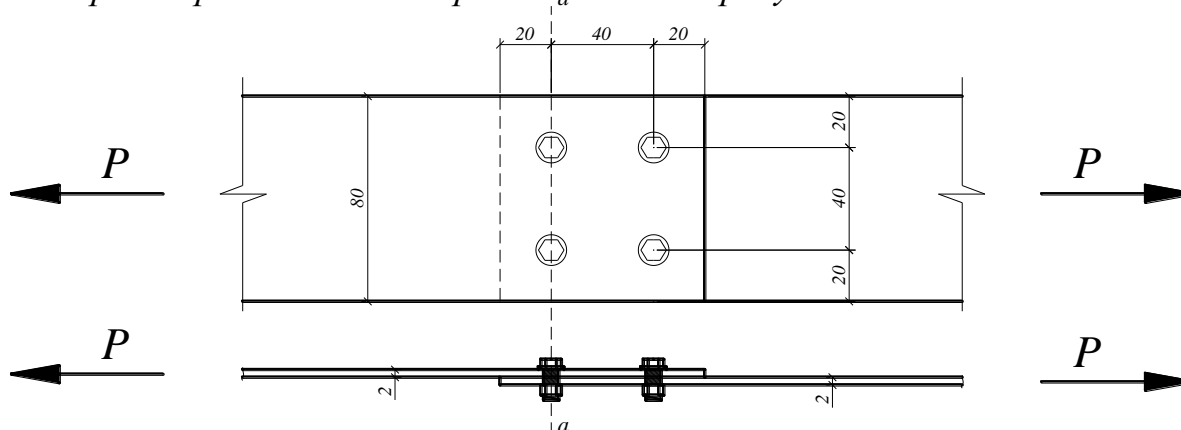
Если несущая способность метиза на выдергивание  $F_{o,Rd}$  меньше, чем его несущая способность из условия вырывания  $F_{p,Rd}$ , то деформативность соединения должна определяться с помощью испытаний.

# Расчет соединений ЛСТК

**Пример 7.1:** Определить прочность болтового соединения работающего на сдвиг. Соединение состоит из двух листов приложенных внахлест и скрепленных четырьмя болтами.

**Исходные данные.**

Геометрические параметры соединения представлены на рисунке.



Сталь листов

Основной предел текучести стали

Временное сопротивление стали

Класс прочности болта

Диаметр болта

Диаметр отверстия

Временное сопротивление на  
растяжение болта

Площадь растянутой части сечения метиза

Коэффициент надежности

Коэффициент надежности

S320GD+Z

$f_{yb}=320 \text{ Н/мм}^2$

$f_u=390 \text{ Н/мм}^2$

6.8

$d=10 \text{ мм}$

$d_o=11 \text{ мм}$

$f_{ub}=600 \text{ Н/мм}^2$

$A_s=58,0 \text{ мм}^2$

$\gamma_{M0}=1,0$

$\gamma_{M2}=1,25$

# Расчет соединений ЛСТК

**Проверка диапазона применения болтов.**

*Шаг болтов между центрами отверстий:*

$$p_1 = p_2 = 40 \text{ мм} > 3d = 30 \text{ мм}.$$

*Расстояния от центра отверстия до края листа:*

$$e_1 = 20 \text{ мм} > 1,0d = 10 \text{ мм};$$

$$e_2 = 20 \text{ мм} > 1,5d = 15 \text{ мм}.$$

**Определение прочности поперечного сечения листов.**

*Расчетное сопротивление равномерно растянутого поперечного сечения определяется по формуле:*

$$N_{t,Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{M0}} = \frac{320 \cdot 80 \cdot 2}{1} = 51200 \text{ Н} = 51,2 \text{ кН}.$$

**Определение несущей способности соединения по сечению нетто (по линии a-a).**

*При определении несущей способности по сечению нетто должно выполняться условие:*

$$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_o/u - 0,3))A_{net}f_u/\gamma_{M2}, \text{ но} \\ F_{n,Rd} \leq A_{net}f_u/\gamma_{M2},$$

где

$$r = 2/4 = 0,5;$$

$$u = 2e_2 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ мм}, \text{ но } u \leq p_2 = 40 \text{ мм};$$

$$A_{net} = 80 \cdot 2 - 2 \cdot 11 \cdot 2 = 116 \text{ мм}.$$

$$F_{n,Rd} = (1 + 3 \cdot (11/40 - 0,3))116 \cdot 390/1,25 = 33478 \text{ Н} = 33,48 \text{ кН}.$$

$$A_{net}f_u/\gamma_{M2} = 116 \cdot 390/1,25 = 36192 \text{ Н} = 36,19 \text{ кН}.$$

$$F_{n,Rd} = 33,48 \text{ кН} < 36,19 \text{ кН}.$$

# Расчет соединений ЛСТК

## **Определение несущей способности соединения на смятие.**

Несущая способность одного болта на смятие определяется по формуле

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5\alpha_b k_t f_u d t}{\gamma_{M2}},$$

где

$\alpha_b$ , меньшее из 1,0 и  $e_1/3d=20/(3\cdot10)=0,667$ ;

$\alpha_b=0,667$ ;

$k_t=1,0$ , для  $t\geq1,25$  мм.

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,667 \cdot 1 \cdot 390 \cdot 10 \cdot 2}{1,25} = 10405\text{Н} = 10,4\text{кН}.$$

Общая несущая способность соединения из 4 болтов составит

$$10,4\text{кН} \times 4\text{болта} = 41,6\text{ кН}.$$

## **Определение несущей способности соединения на срез.**

Несущая способность болтов класса прочности 6.8 на срез определяется по формуле:

$$F_{V,Rd} = 0,5f_{ub} A_s / \gamma_{M2} = 0,5 \cdot 600 \cdot 58 = 17400\text{Н} = 17,4\text{ кН}.$$

Общая несущая способность соединения из 4 болтов составит

$$17,4\text{кН} \times 4\text{болта} = 69,4\text{ кН}.$$

**Вывод:** несущая способность соединения будет равна несущей способности соединения по сечению нетто

$$F_{n,Rd} = 33,48\text{ кН}.$$



# СПАСИБО!

[www.uscc.com.ua](http://www.uscc.com.ua) | +38-044-590-01-56

