

6 БОЛТОВЫЕ И ЗАКЛЕПОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

- ▶ Болтовые соединения применяют преимущественно при монтаже металлических конструкций. Болтовые и заклепочные соединения не рекомендуются в конструкциях из сталей высокой прочности, поскольку отверстия не дают возможности полностью использовать прочность стали.
- ▶ Обычные болтовые соединения менее плотны, чем заклепочные и дают большие сдвиги, но они более просты в постановке, широко применяют в монтажных соединениях.
- ▶ Заклепочные соединения в стальных конструкциях в связи с развитием сварки применяются в отдельных случаях при наличии знакопеременных и вибрационных нагрузок. Широко применяются заклепочные соединения в алюминиевых конструкциях при применении сильно разупрочняющихся при сварке сплавов. На монтаже заклепочные соединения могут применяться только в исключительных случаях, так как клепка в монтажных условиях очень неудобна и трудоемка.

6.1 Болтовые соединения

6.1.1 Болты грубой, нормальной точности

- ▶ В соединениях металлических конструкций применяют болты **грубой и нормальной точности, повышенной точности, высокопрочные и анкерные.**
- ▶ Эти болты ставят и отверстия на 3 мм больше, чем диаметр болта, благодаря чему он легко устанавливается даже при небольшом несовпадении центров отверстий. Этим определяется преимущественное применение болтов грубой и нормальной точности в монтажных фиксирующих соединениях при работе на растяжения. При взаимном сдвиге соединяемых элементов эти болты дают довольно деформативное соединение, так как диаметр отверстий существенно больше диаметра болтов, поэтому их иногда называют **черными**.

6.1.2 Болты повышенной точности

- ▶ Диаметр отверстий для этих болтов принимается равным их диаметру (без плюсовых допусков для болта и минусовых допусков для отверстия не допускается). Поверхность ненарезной части болта и поверхность отверстия должна быть гладкой. Болты в таких отверстиях «сидят» плотно и хорошо воспринимают сдвигающие силы; однако недостаточно сил, стягивающих пакет, ухудшает его работу по сравнению с соединениями на высокопрочных болтах или на заклепках.
- ▶ Болты повышенной точности обеспечивают плотное малодеформативное соединение - их называют чистыми болтами. Сложность изготовления и постановки болтов повышенной точности привела к тому, что соединения на таких болтах применяется редко.

6.1.3 Высокопрочные болты

- ▶ Изготавливаются из углеродистой стали 35 или из легированных сталей 40Х , 40ХФА и 38ХС и термически обрабатывают уже в готовом виде. Высокопрочные болты, как и болты нормальной точности, устанавливают в отверстия диаметром на 3 мм большие, чем их диаметр, но их гайки затягивают тарировочным ключом, позволяющим создавать и контролировать большую силу натяжения болтов. Такая сила натяжения болта плотно стягивает соединяемые элементы и обеспечивает монолитность соединения. При действии на такое соединение сдвигающих сил между соединенными элементами возникают силы трения, препятствующие сдвигу этих элементов относительно друг друга.
- ▶ Таким образом высокопрочный болт, работает на осевое растяжение, обеспечивается передача сил сдвига трением между соединенными элементами, именно поэтому подобное соединение часто называют **фрикционными**. Для увеличения силы трения поверхностей элементов в месте стыка очищают от грязи, масла, ржавчины, и окалины.
- ▶ Чтобы соединения с накладками с двух сторон работало надежно, необходимо строго одинаковая толщина стыкуемых элементов, поскольку даже при небольшой разности их толщин несущая способность болта резко снижается. Для улучшения работы соединения иногда применяют комбинированное соединение, в котором соединяемые поверхности склеивают специальным клеем, а затем стягивают высокопрочными болтами.

6.1.4 Анкерные болты

- ▶ Применяют для крепления баз (башмаков) колонн и стоек к фундаментам.



Заклепочные соединения

- ▶ Применяются с начала позапрошлого столетия; они надежно работают при статической и динамической нагрузках. Однако перерасход металла в соединениях и их большая трудоемкость по сравнению со сваркой ограничили область применения.
- ▶ Заклепки в стальных конструкциях различаются по форме закладной и замыкающей головок. Замыкающая головка образуется деформированием выступающей части стержня заклепки. Заклепки ставят в отверстия, на 1-1,5 мм большие, чем диаметр заклепки.
- ▶ При образовании замыкающей головки стержень заклепки осаживается и утолщается, плотно заполняя отверстие. Поэтому за расчетный диаметр заклепки принимается диаметр отверстия, в который она поставлена



- ▶ Клепка может выполняться горячим и холодным способом. При горячем способе замыкающая головка образуется в нагретом до температуры примерно 800-1000°С, стержне с помощью пневматического молотка
- ▶ При холодной клепке замыкающая головка образуется в ненагретом стержне при помощи мощных клепальных скоб. Сила, стягивающая пакет, при холодной клепке в 2-3 раза меньше, чем при горячей, так как пакет сжимается только усилием клепальной скобы; в процессе горячей клепки заклепка при остывании укорачивает и плотно стягивает пакет (растягивающие напряжения в заклепки достигают 10-15 кН/см .
- ▶ В конструкциях из алюминиевых сплавов также применяют болты нормальной и повышенной точности. Их изготавливают из алюминиевых сплавов; форма и размеры их такие же, как и у стальных.
- ▶ Высокопрочные болты для конструкций из алюминиевых сплавов изготавливают из стали. При постановке высокопрочных стальных болтов недопустим непосредственный контакт стали и алюминиевых сплавов, так как в местах соприкосновения возникает интенсивная электрохимическая коррозия. В этих случаях шайбы высокопрочных болтов должны быть кадмированы или оцинкованы, а часть стержня болта, находящаяся в соединяемом пакете, обмотана изоляционной лентой (или кадмирован, или оцинкован весь болт).



Расчет болтовых и заклепочных соединений

- ▶ Внешние усилия в болтовом или заклепочном соединении стремятся сдвинуть соединяемые элементы один относительно другого.
- ▶ Болты или заклепки препятствуют этому сдвигу, в них возникают деформации. В болтах и заклепках возникает очень сложное напряженное состояние: по плоскости соприкосновения сдвигаемых элементов возникают, срезающие напряжения от поперечного давления элементов возникают сминающие напряжения; искривление болта или заклепка вызывает изгибающие напряжения и, кроме этого, от первоначального натяжения остаются растягивающие напряжения.

- ▶ Наиболее существенными из этих напряжений, определяющими работу соединения, являются срезающие и сминающие напряжения. Поэтому условной расчетной схемой болтового или заклепочного соединения при взаимном сдвиге соединяемых элементов принимают схему работы их на срез и на смятие соединяемых элементов. (смятие болта без его среза быть не может, поэтому на прочность проверяют металл соединяемых элементов).

Расчет болтов и заклепок на срез

$$\tau = \frac{N_{\epsilon}}{\sum A} = \frac{N_{\epsilon}}{nn_s \frac{\pi d^2}{4}} \leq R_{\epsilon s} \gamma_{\epsilon}$$

- ▶ где N_{ϵ} - расчетное усилие, действующее в соединении;
- ▶ n - число болтов или заклепок в соединении;
- ▶ n_s - число рабочих срезов одного болта или заклепки;
- ▶ d - наружный диаметр болта в болтовом соединении или диаметр отверстия в заклепочном соединении;
- ▶ γ_{ϵ} - коэффициент условий работы соединения.

Расчет болтового и заклепочного соединения на смятие

$$\sigma = \frac{N_e}{\sum A} = \frac{N_e}{nd \sum t} \leq R_{ep} \gamma_e$$

где $d \sum t$ - расчетная площадь смятия, условно принимаемая как произведение диаметра болта (или диаметра отверстия под заклепку) d на наименьшую суммарную толщину листов, сминаемых в одном направлении;

n - число болтов или заклепок в соединении.

Практически при расчете болтовых или заклепочных соединений удобно поступать следующим образом.

Определяют предельные расчетные усилия, которые может воспринять один болт или заклепка из условий среза и смятия:

$$1) N_{\epsilon} = R_{\epsilon s} \gamma_{\epsilon} \cdot A n_s$$

$$2) N_{\epsilon} = R_{\epsilon p} \gamma_{\epsilon} \sum t d$$

Тогда необходимое количество болтов или заклепок для восприятия расчетной силы N в соединении:

$$n \geq \frac{N}{N_{\epsilon} \gamma_c}$$

- ▶ Для облегчения расчетов предельные расчетные усилия на один болт или заклепку вычисляют заранее и приводят в справочниках по металлическим конструкциям.
- ▶ Если болты или заклепки будут поставлены слишком близко к краю элемента или один к другому, может произойти срез («выкалывание») металла элемента соединения. Чтобы этого не произошло, расстояние вдоль усилия от центра отверстия до края элемента не должно быть меньше двух диаметров отверстия, а расстояние между центрами отверстий - меньше трех диаметров.

Расчет болтов и заклепок на растяжение

Проверка заключается в том, что растягивающие напряжения от внешней нагрузки в болтах или заклепках не должны превышать расчетного сопротивления их материала растяжению

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} = \frac{N_{\epsilon}}{\frac{\pi d_0^2}{4}} \leq R_{\epsilon t}$$

или необходимое число болтов в соединении

$$n \geq \frac{N}{N_{\epsilon}} = \frac{N}{\frac{\pi d_0^2}{4} R_{\epsilon t}}$$

Где d_0 - диаметр отверстия под заклепку.

Расчет высокопрочных болтов

Передача усилий в соединении на высокопрочных болтах происходит в результате сил трения, возникающих по соприкасающимся плоскостям. Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot \gamma_e \cdot A_{bn} \cdot \mu}{\gamma_h}$$

Где R_{bh} - расчётное сопротивление металла болта;

γ_h - коэффициент надежности;

γ_e - коэффициент трения, зависящий от способа очистки поверхностей;

μ - коэффициент условий работы соединения;

A_{bn} - площадь сечения нетто болта.

Осевое усилие натяжения болта P зависит от механических свойств его материала после термической обработки; при закручивании гайки его доводят до 70 % предела прочности материала болта.

Необходимое количество высокопрочных болтов в соединении с расчетным усилием N

$$P = R_{bh} \cdot A_{bn}$$

где k - количество поверхностей трения соединенных элементов.

$$n = \frac{N}{\gamma_{bh} \cdot k \cdot Q}$$

Конструирование болтовых и заклепочных соединений

- ▶ При конструировании соединения следует стремиться к наилучшей передаче усилия с одного элемента на другой кратчайшим путем при одновременном обеспечении удобства выполнения соединения.
- ▶ В стыках и узлах прикрепленной (для экономии материала накладок) расстояние между болтами и заклепками должно быть минимальным.
- ▶ В слабо работающих - связующих, конструктивных соединениях расстояние должно быть максимальным, чтобы уменьшить количество болтов и заклепок. Болты и заклепки располагают в соединении по прямым линиям - рискам, параллельным действующему усилию.
- ▶ Расстояние между смежными рисками называется дорожкой, а расстояние между двумя смежными по риске болтами или заклепками - шагом.

- ▶ Минимальное расстояние определяют условиями прочности основного материала. Максимальное расстояние определяют устойчивостью сжатых частей элементов в промежутках между болтами и заклепками или условием плотности соединения растянутых элементов во избежание попадания в щели влаги и пыли, способствующих коррозии элемента. При конструировании болтовых и заклепочных соединений следует стремиться к симметричной передаче усилий в соединении.
- ▶ При применении односторонних накладок или соединений в нахлестку силовой поток в соединениях перестает быть симметричным, искривляется и в соединении возникает дополнительный момент, поэтому расчетное число заклепок в таких соединениях следует увеличить на 10%.
- ▶ Также ухудшается работа соединения, если усилие, с одного элемента на другой передается не непосредственно, а через прокладки или дополнительные коротыши. В этом случае общее количество заклепок на коротышах увеличивают на 50% по сравнению с расчетом.
- ▶ Если конструкция подвержена воздействию подвижных или вибрационных нагрузок, то в ее болтовых соединениях предусматривают меры против откручивания гаек: постановка контргаек, расчеканка резьбы болта либо приварка гайки к стержню болта.

- ▶ В рабочих элементах конструкций число болтов и заклепок, прикрепляющих элемент в узле или расположенных по одну сторону стыка, желательно иметь не меньше двух независимо от действующего усилия.
- ▶ При конструировании болтовых и заклепочных соединений следует стремиться к применению одного диаметра заклепок в пределах каждого конструктивного элемента и к наименьшему числу различных диаметров болтов и заклепок для всех элементов сооружения.
- ▶ На чертежах проектов металлических конструкций отверстия, болты и заклепки изображают специальными условными обозначениями.