

УДК 624.014(031)
ББК 38.5
С 30

Рецензенты:
д-р техн. наук *О.В. Атаманова*,
инженер *М.Ф. Земцов* (ОсОО «Кыргызстальконструкция»)

Рекомендовано к изданию Ученым советом КРСУ.

Семенов В.С., Каримова Р.Х.

С 30 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ: Учебно-метод. пособие. – Б.: КРСУ, 2008. – 80 с.

ISBN 978-99-67-05-450-9

Изложены основные положения расчета и конструирования соединений стальных строительных конструкций, позволяющие сократить расход основных видов ресурсов без ущерба для надежности и несущей способности соединений и конструкций в целом. Приведены сведения о видах соединений и предъявляемых к ним требованиям. Подробно освещены вопросы расчета соединений элементов стальных конструкций при различных силовых воздействиях.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, изучающих дисциплину «Металлические конструкции». Материалы пособия будут также полезны инженерно-техническим работникам проектных и строительных организаций.

С 3305000000-08

ISBN 978-99-67-05-450-9

УДК 624.014(031)

ББК 38.5

© КРСУ, 2008

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A	– площадь сечения элемента брутто;
A_{bn}	– площадь сечения болта нетто;
A_n	– площадь сечения элемента нетто;
A_{wf}	– площадь сечения по металлу углового шва;
A_{wz}	– площадь сечения по металлу границы сплавления;
I	– момент инерции сечения брутто;
M	– момент, изгибающий момент;
N	– продольная сила;
Q	– поперечная сила, сила сдвига;
Q_{fc}	– условная поперечная сила для соединительных элементов;
R_{ba}	– расчетное сопротивление растяжению фундаментных болтов;
R_{bh}	– расчетное сопротивление растяжению высокопрочных болтов;
R_{bp}	– расчетное сопротивление смятию одноболтового соединения;
R_{bs}	– расчетное сопротивление срезу одноболтового соединения;
R_{bt}	– расчетное сопротивление растяжению одноболтового соединения;
R_{bun}	– нормативное сопротивление стали болтов, принимаемое равным временному сопротивлению σ_B по государственным стандартам и техническим условиям на болты;
R_{bu}	– расчетное сопротивление растяжению U-образных болтов;
R_{bun}	– нормативное сопротивление стали болтов, принимаемое равным пределу текучести σ_T по государственным стандартам и техническим условиям на болты;
R_s	– расчетное сопротивление стали сдвигу;
R_u	– расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;
R_{un}	– временное сопротивление стали, принимаемое равным минимальному значению σ_B по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;
R_v	– расчетное сопротивление стали усталости;
R_{wf}	– расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва;
R_{wz}	– расчетное сопротивление стыковых сварных соединений растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;
R_{wun}	– нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению;
R_{ws}	– расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сдвигу;
R_{wu}	– расчетное сопротивление стыковых сварных соединений растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;
R_{wz}	– расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу границы сплавления;
R_y	– расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;
R_{ym}	– расчетное сопротивление, принимаемое равным значению предела текучести стали σ_T по ГОСТ и ТУ на сталь;
S	– статический момент сдвигаемой части сечения брутто относительно нейтральной оси;

$W_x; W_y$	– моменты сопротивления сечения брутто относительно осей $x-x$ и $y-y$ соответственно;
$W_m; W_{yn}$	– моменты сопротивления сечения нетто относительно осей $x-x$ и $y-y$;
b	– ширина;
d	– диаметр отверстия болта;
d_b	– наружный диаметр стержня болта;
e	– эксцентриситет силы;
h	– высота;
i	– радиус инерции сечения;
i_{\min}	– наименьший радиус инерции сечения;
$i_x; i_y$	– радиусы инерции сечения относительно осей $x-x$ и $y-y$ соотв.;
k_f	– катет углового шва;
l	– длина, пролет;
l_w	– длина сварного шва;
$l_x; l_y$	– расчетные длины элемента в плоскостях, перпендикулярных осям $x-x$ и $y-y$ соответственно;
r	– радиус;
t	– толщина;
$\beta_f; \beta_z$	– коэффициенты для расчета углового шва соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления;
γ_b	– коэффициент условий работы болтового соединения;
γ_c	– коэффициент условий работы;
γ_f	– коэффициент надежности по нагрузке;
γ_m	– коэффициент надежности по материалу;
γ_n	– коэффициент надежности по ответственности;
γ_u	– коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению;
η	– коэффициент влияния формы сечения;
λ	– гибкость, $\lambda = l_{ef} / i$;
ν	– коэффициент поперечной деформации стали (Пуассона);
σ_{loc}	– местное напряжение;
$\sigma_x; \sigma_y$	– нормальные напряжения, параллельные осям $x-x$ и $y-y$ соотв.;
τ	– касательное напряжение.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Достижения современной науки предоставляют широкие возможности для создания экономичных стальных конструкций при одновременном обеспечении надежности их элементов и соединений. Однако эти достижения, а также последние изменения и дополнения, внесенные в нормы проектирования, пока не нашли должного отражения в учебной литературе по металлическим, в данном случае стальным конструкциям. Поэтому основная цель настоящего пособия — оказать помощь студентам в освоении прогрессивных методов расчета соединений элементов стальных строительных конструкций, а также лучше подготовить их к будущей профессиональной деятельности.

Данное учебно-методическое пособие является логическим продолжением монографии В.С. Семенова «Основы расчета стальных строительных конструкций», изданной в 2007 г. Оно включает необходимые теоретические сведения, методические указания и большое количество приложений со справочным материалом. Приведенные в пособии примеры расчета и конструирования имеют не только иллюстративное, но и познавательное назначение, поскольку многие из них содержат дополнительную практическую и научно-теоретическую информацию, выходящую за рамки классических учебников.

По вопросам, не нашедшим отражения в пособии, но непосредственно примыкающим к рассматриваемым, в тексте имеются ссылки на литературные источники, список которых приведен в конце книги.

В оформлении пособия принимал участие инженер А.В. Кондрашов.

Авторы выражают признательность докт. технических наук, доц. О.В. Атамановой (КРСУ), а также инженеру М.Ф. Земцову (ОАО «Кыргызстальконструкция») за развернутую рецензию и с благодарностью примут критические замечания коллег-преподавателей, инженеров и любознательных студентов, направленные на дальнейшее улучшение пособия.

Глава 1. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

Соединения элементов металлических строительных конструкций по месту их выполнения разделяются на заводские и монтажные.

По способу выполнения соединения бывают сварными, паяными, болтовыми (фланцевыми, срезными, фрикционными, фрикционно-срезными, клееболтовыми), заклепочными и специальными (дюбельными, на самонарезающих или самосверлящих винтах, комбинированных заклепках и др.).

Болтовые и заклепочные соединения элементов осуществляются постановкой металлических стержней (болтов или заклепок) в совмещенные, заранее подготовленные отверстия соединяемых элементов.

Соединение и совместная работа элементов происходит либо за счет их обжатия между головкой болта и плотно завинченной гайкой, либо между двумя головками заклепки при её деформировании (осадке) в процессе клепки. Для соединения алюминиевых конструкций применяют также специальные болты с обжимными кольцами (лок-болты).

В заклепочном соединении формирование второй замыкающей головки происходит в горячем состоянии ($v-t = 800-850^{\circ}\text{C}$) и при остывании в результате осадки стержня происходит заполнение отверстия. Клепку ведут специальной клепальной скобой (на заводах металлических конструкций) или клепальным молотком (на монтажных площадках). Заканчивают клепку при температуре заклепки ниже распада аустенита, что обеспечивает качественное соединение. При остывании заклепка стягивает пакет соединяемых элементов, обеспечивая передачу внешних усилий через силы трения. Материал заклепок должен обладать высокими пластическими свойствами, так как их изготовление и работа связаны с большими пластическими деформациями, а форма – с концентрацией напряжений в точках перехода от стержня к головке. Поэтому для заклепок применяются специальные стали: углеродистые Ст. 2 и Ст. 3 или низколегированная 09Г2С.

Эти стали подвергаются специальным испытаниям (проба на осаживание), гарантирующим требуемую пластичность.

Заклепки обеспечивают надежную работу соединяемых элементов, как при статических, так и динамических нагрузках, однако требуют специального оборудования и их постановка достаточно трудоемка. Поэтому в настоящее время заклепочные соединения почти не применяют. Болтовые соединения менее плотны, чем заклепочные, но более просты в установке. Поэтому такие соединения чаще всего применяют на строительной площадке при монтаже конструкций.

Одним из наиболее перспективных типов болтовых соединений является фрикционно-срезный на высокопрочных болтах. Такие соединения выполняются с контролируемым усилием натяжения болта, а при их расчете учитывается совокупность сопротивлений трению, смятию и срезу.

Сварка, пайка и склеивание представляют собой физико-химические процессы неразъемного соединения элементов.

Сущность сварки – диффузия или взаимопроникновение (установление межатомных связей) соединяемых элементов при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого.

Сегодня существует свыше 60 способов сварки, при которых материал в месте соединения либо расплавляется (дуговая, электрошлаковая, плазменная, газовая, лазерная, электроннолучевая и др.), либо нагревается и пластически деформируется (контактная, высокочастотная, газопрессовая и др.), либо деформируется без нагрева (холодная сварка, взрывом и др.) [Политехнический словарь, с.463].

Из специальных видов соединения наибольшее распространение получили соединения на самонарезающих (самосверлящих) винтах и на дюбелях диаметром 4,8–6,3 мм. Такие соединения отличаются высокой технологичностью, поскольку при их выполнении используется производительное механическое, пневматическое и электрическое оборудование (различные монтажные пистолеты). Этот вид соединений применяется для крепления элементов конструкций из стали толщиной до 2 мм – профилированного настила, элементов ограждения, легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) и т.п.

Выбор того или иного типа соединения зависит от многих факторов, главные из которых величина и тип нагрузки (статическая или динамическая), условий эксплуатации (температура и другие характеристики окружающей среды), а также наличия высокопроизводительного оборудования.

При проектировании соединений стальных конструкций необходимо соблюдать следующие требования:

- предусматривать применение высокопроизводительного оборудования и соответствующих материалов;
- монтажные соединения должны обеспечивать легкость сборки, удобство выполнения и доступность для осмотра;
- группы болтов, заклепок или сварных швов, а также накладки следует располагать так, чтобы их центр тяжести совпадал с центром тяжести соединяемых элементов. При наличии эксцентриситета учитывать его при определении напряженного состояния соединения;
- назначать монтажные соединения элементов преимущественно на болтах грубой и нормальной точности с передачей вертикальных усилий на опорные столики, исключая работу болтов на срез. При наличии в соединении изгибающих моментов использовать работу болтов на растяжение;
- проектировать соединения, как правило, следует по несущей способности.

Глава 2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.1. Классификация способов сварки в строительстве. Материалы для сварки

По виду источника энергии сварка в строительстве бывает: электродуговая (плавящимся электродом), контактная (точечная, шовная и стыковая), газовая и др.; способу защиты расплава – под флюсом, в защитной среде, вакууме; а также по степени механизации сварочного процесса: ручная, полуавтоматическая и автоматическая.

Электросварка – основной тип соединений стальных конструкций в современном строительстве. Она почти полностью заменила другие виды соединений как при изготовлении конструкций на заводе, так и при монтаже на строительной площадке. Сварка упрощает конструктивную форму соединения, дает экономию металла (до 20%), позволяет применять высокопроизводительные механизированные способы, которые значительно уменьшают трудоемкость изготовления конструкций. Сварочные соединения обладают не только прочностью и надежностью, но также водо- и газонепроницаемостью, что особенно важно для листовых конструкций.

1. *Ручная сварка плавящимся электродом* достаточно универсальна и может выполняться в любом пространственном положении. Она часто применяется при монтаже в труднодоступных местах. Меньшая глубина проплавления основного металла, невысокая производительность (из-за пониженной силы тока и необходимости постоянной смены электрода), а также зависимость качества сварного шва от квалификации сварщика являются недостатками ручной сварки.

Электроды для ручной сварки подразделяют на типы и марки (ГОСТ 9467-75*). *Тип электрода* определяет прочность металла шва в кН/см^2 (например, электроды типов Э50 или Э50А позволяют получить шов с $\sigma_u > 50 \text{ кН/см}^2$). Буква А в марке электрода означает, что данные электроды дают шов, обладающий повышенными пластичностью и ударной вязкостью.

Тип электрода выбирают в зависимости от класса стали свариваемых элементов. Этим обеспечиваются предпосылки к созданию равнопрочного соединения. Например, электроды типа Э42 $\sigma_s \geq 410 \text{ МПа}$ (42 кН/см^2) применяются для сварки сталей, имеющих $\sigma_s \leq 430 \text{ МПа}$. Электроды типа Э50 применяются для сварки сталей, имеющих $\sigma_s \leq 520 \text{ МПа}$.

Марка электрода определяется составом защитной обмазки и выбирается в зависимости от рода сварочного тока (переменный или постоянный) и пространственного положения шва.

2. *Автоматическая сварка* под слоем флюса, разработанная в институте электросварки им. Е.О.Патона (Украина), осуществляется автоматом с подачей сварочной проволоки сплошного сечения или порошковой проволоки (свернутой в трубочку стальной ленты, внутри которой запрессован флюс). Дуга возбуждается под слоем флюса, флюс расплавляется, легирует расплавленный металл содержащимися в нем примесями и надежно защищает его от соприкосновения с воздухом. Металл получается чистым с ничтожным количеством вредных примесей – кислорода, азота и др. Благодаря хорошей теплозащите расплавленный металл под слоем флюса остывает медленно, хорошо освобождается от пузырьков газов и шлака и отличается значительной плотностью и чистотой. Большая сила тока (600–1200А и более) и хорошая теплозащита шва

обеспечивают глубокое проплавление свариваемых элементов. Таким образом, хорошее качество швов и высокая производительность являются основными достоинствами автоматической сварки под флюсом, и ее применение желательно во всех соединениях, где это возможно.

Сварочную проволоку изготавливают из специальных низколегированных сталей, а марка характеризует ее химический состав, принятый при обозначении низколегированных сталей. Буква А в конце обозначения марок проволоки указывает на повышенную чистоту металла по сере и фосфору. Выбор материалов для автоматической сварки (сварочной проволоки и флюса) производят в зависимости от группы конструкций, стали и климатического района, в котором конструкция эксплуатируется.

Для защиты сварочной ванны и упрощения состава шихты применяется комбинированный процесс сварки порошковой проволокой с дополнительной защитой металла шва углекислым газом. Проволоки, не требующие дополнительной защиты зоны сварки углекислым газом, называют самозащитными.

Нормы рекомендуют для сварки стальных конструкций применять порошковую проволоку марок по ГОСТ 26271-84. Марка порошковой проволоки характеризует тип сердечника, что важно для выбора режима сварки.

К недостаткам автоматической сварки относится сложность выполнения швов в вертикальном и потолочном положении и в стесненных условиях. Поэтому эта сварка применяется в основном при заводском изготовлении конструкций.

Для коротких и криволинейных швов, а также швов в местах, недоступных для установки автоматов, с успехом применяется полуавтоматическая сварка шланговым автоматом. Сварка производится тонкой проволокой ($d < 3$ мм) под флюсом в нижнем положении или порошковой проволокой в любом положении.

3. *Электрошлаковая сварка* представляет собой разновидность сварки плавлением; этот тип сварки удобен для вертикальных стыковых швов элементов толщиной от 20 мм и более. Процесс сварки ведется голый электродной проволокой под слоем расплавленного шлака, сварочная ванна защищена с боков медными формирующими шов ползунами, охлаждаемыми проточной водой. Качество шва, выполняемого этим способом, получается очень высоким.

4. *Сварка в среде углекислого газа* ведется голый электродной проволокой диаметром $d = 1,4-2$ мм на постоянном токе обратной полярности. Углекислый газ при высокой температуре активно взаимодействует со сталью, окисляя ее, что компенсируется повышенным содержанием раскислителей в электродной проволоке. Сварка в среде углекислого газа не требует приспособлений для удержания флюса и может выполняться в любом пространственном положении. Она обеспечивает получение высококачественных сварных соединений из различных металлов при высокой производительности труда (на 15–20 % выше, чем при полуавтоматической сварке под флюсом).

5. *Контактная сварка* является одним из видов сварки давлением и основана на нагреве и пластическом деформировании соединяемых элементов. Нагрев металла осуществляется электрическим током, проходящим через детали, находящиеся в плотном контакте. Контактную сварку выполняют без использования присадочного металла, что обеспечивает высокую производительность и позволяет легко механизировать и автоматизировать процесс изготовления металлоконструкций.

При изготовлении строительных стальных конструкций используют три вида контактной сварки: точечную, шовную и стыковую.

Контактную *точечную сварку* используют для выполнения нахлесточных соединений стальных конструкций (профилированного настила, прогонов, элементов

решетчатых конструкций и др.), а также для изготовления неотчетственных элементов – площадок, лестниц, оконных переплетов.

Шовная сварка позволяет получать плотные и прочные швы при изготовлении конструкций из тонколистовой стали – газо- и воздухопроводов, тонкостенных труб и пр.

Стыковая сварка находит применение при соединении труб, стержневых элементов профильного металлопроката – уголков, арматуры и др.

В табл. 2.1 помещены рекомендуемые материалы для сварки различных классов и марок сталей (табл. 55* [1]).

Из таблицы видно, что для сварки сталей различной прочности рекомендуются соответствующие марки сварочной проволоки и типы электродов. Правильный выбор материалов для сварки обеспечивает уменьшение количества наплавленного металла без снижения прочности соединения, и, как следствие, экономию сварочных материалов, снижение трудоемкости выполнения соединения и уменьшение термического влияния сварки на соединение.

Материалы для сварки, соответствующие стали

Таблица 2.1

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157-79)	покрытыми электродами по ГОСТ 9467-75*
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087-81*)	сварочной проволоки (по ГОСТ 2246-70*)		
2, 3 и 4 - во всех районах, кроме I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп	АН-348-А, АН-60	Св-08А, Св-08ГА	СВ-08Г2С	Э42, Э46
	C345, C345Т, C375, C375Т, C390, C390Т, C390К, С440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-17-М, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³
I - во всех районах; 2, 3 и 4 - в районах I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСт3кп,	АН-348-А	Св-08А, Св-08ГА	СВ-08Г2С	Э42А, Э46А

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157-79)	покрытыми электродами по ГОСТ 9467-75*
		Марки			
		флюсов (по ГОСТ 9087-81*)	сварочной проволоки (по ГОСТ 2246-70*)		
ВСтЗпс, ВСтЗсп					
С345, С345Т, С375, С375Т, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50А	
С390, С390Т, С390К, С440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17-М, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50А	
С345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³	
С590, С590К, С590КШ	АН-17-М	Св-08ХН2ГМЮ, Св-10НМА	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМА, Св-08Г2С	Э60, Э70	

¹ Применение флюса АН-348-А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций в климатических районах I₁, I₂, II₂ и II₃ и толщин свыше 32 мм – в остальных климатических районах.

² Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

³ Применять только электроды марок ОЗС-18 и КД-11.

Примечания: 1. Проволока марки Св-08Х1ДЮ поставляется по ТУ 14-1-1148-75, марки Св-08ХГ2СДЮ – по ТУ 14-1-3665-83.

2. При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице. При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящей таблице.

2.2. Виды сварных соединений, классификация швов и их характеристики

2.2.1. Сварные соединения в строительных конструкциях классифицируют по следующим признакам.

1. В зависимости от взаимного положения свариваемых элементов различают: стыковые, угловые, тавровые, нахлесточные и комбинированные соединения.

Стыковыми называют соединения, в которых сварной шов соединяет торцы (кромки) элементов (рис. 2.1). Такие соединения осуществляются стыковыми сварными швами, которые имеют наименьшую концентрацию напряжений, отличаются экономичностью и удобны для контроля. Стыковые соединения, усиленные накладками, иногда называют комбинированными.

Соединения, в которых поверхности свариваемых элементов частично перекрывают друг друга, называются *нахлесточными*. Эти соединения выполняются угловыми сварными швами и широко применяются при сварке листовых конструкций, в решетчатых и некоторых других видах конструкций.

Соединения внахлестку и с накладками отличаются простотой обработки элементов под сварку, но по расходу металла они менее экономичны, чем стыковые. Кроме того, в этих соединениях отмечается концентрация напряжений, вследствие чего они редко применяются в конструкциях, подвергающихся действию переменных или динамических нагрузок, а также в конструкциях, работающих при низких температурах.

Угловыми и тавровыми называют соединения, в которых свариваемые элементы расположены под прямым углом друг к другу. Они выполняются угловыми швами, отличаются простотой исполнения, высокой прочностью и экономичностью.

2.2.2. Сварные швы в специальной литературе классифицируют по следующим признакам:

- назначению;
- месту выполнения;
- конструктивному признаку;
- положению в пространстве при выполнении сварки;
- протяженности и внешней форме;
- положению относительно действующего усилия.

По назначению швы бывают рабочими и конструктивными (связующими). Рабочие швы рассчитываются на прочность, поскольку их разрушение приводит к потере несущей способности соединения. Связующие швы в большинстве случаев не влияют на работу соединения, поэтому их размеры назначают конструктивно. Такие швы чаще всего используют для фиксации положения свариваемых элементов.

По месту выполнения сварные швы делятся на *заводские* и *монтажные*.

По конструктивному признаку, как уже было сказано, швы разделяют на *стыковые* (рис.2.1) и *угловые* (рис. 2.2). *Стыковые швы* наваривают в пространство между кромками соединяемых элементов. Такие швы рациональны, однако при сварке элементов толщиной больше 8 мм для проплавления металла по всей толщине сечения необходимы зазоры и специальная обработка кромок. *Угловые (валиковые) швы* наваривают в угол, образованный свариваемыми элементами.

По форме разделки кромок швы бывают V, U, X и K-образные (рис.2.1, г,д,е). Для V- и U-образных швов обязательна подварка корня шва с другой стороны. Начало и конец шва считаются дефектными, поскольку содержат непровары и кратеры (объяснение терминов см. приложение 1).

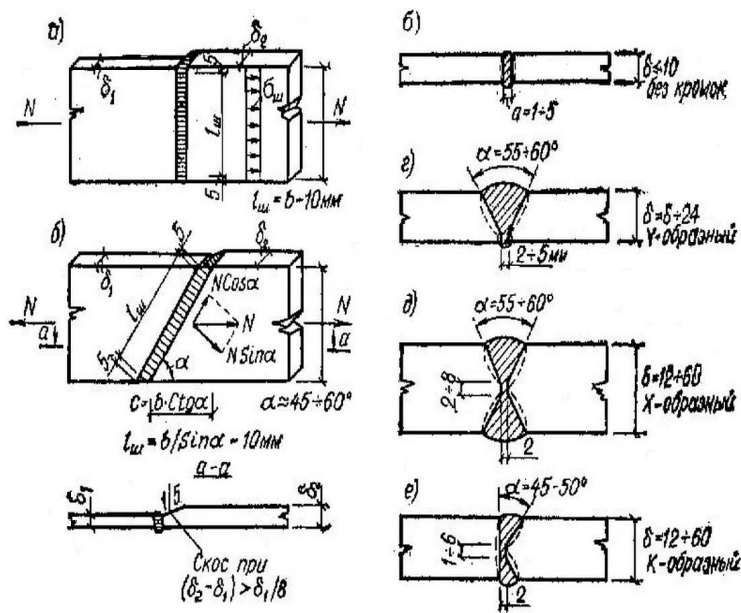


Рис.2.1. Сварные стыковые швы:
 а – прямой; б – косой; б, г, д, е – типы сечений швов по форме разделки кромок

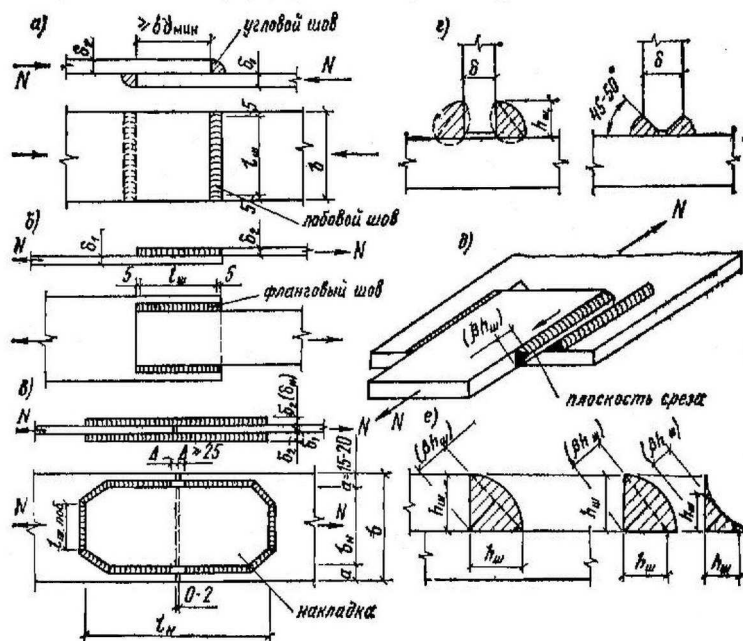


Рис. 2.2. Сварные соединения с угловыми швами:
 а – внахлестку с лобовыми швами; б– тоже с фланговыми швами; в – стыковое с накладками; г – впритык; д – разрушение флангового шва при срезе; е – схемы к определению расчетной высоты угловых швов (βh_w).

Поэтому их выводят на технологические планки за пределы рабочего сечения шва и отрезают. Чтобы обеспечить полный провар шва, односторонняя автоматическая сварка часто выполняется на флюсовой подушке, на медной подкладке или на стальной остающейся подкладке. При электрошлаковой сварке разделки кромок свариваемых элементов не требуется, но зазор в стыке принимают не менее 14 мм.

По положению в пространстве во время сварки шов может быть нижним, вертикальным, горизонтальным и потолочным в зависимости от углов поворота продольной и поперечной осей шва (рис.2.3). Выполнение нижних швов и «в лодочку» наиболее удобно, легко поддается механизации, дает лучшее качество шва. Вертикальные, горизонтальные и потолочные швы чаще всего выполняются при монтаже конструкций. Они плохо поддаются механизации, качество шва получается хуже. Потому применение их ограничено.

По протяженности швы бывают сплошными или прерывистыми (шпоночными). Прерывистые швы чаще всего применяют в качестве связующих, а также при сварке слабонагруженных конструкций и элементов.

По количеству слоев, накладываемых при сварке, швы могут быть однослойными (однопроходными) и многослойными.

По внешней форме (очертанию) угловые швы бывают нормальные (в форме равнобедренного треугольника), выпуклые и вогнутые (рис.2.4).

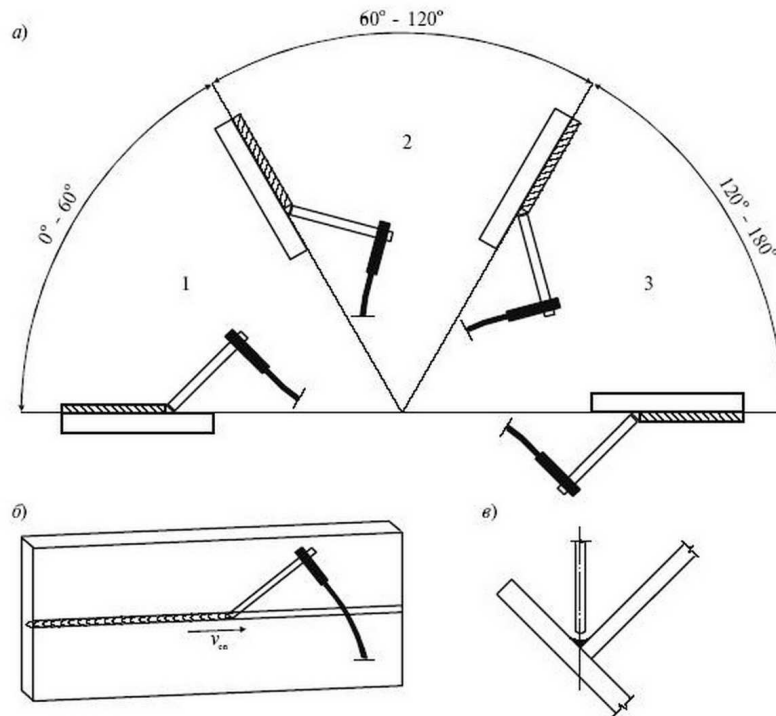
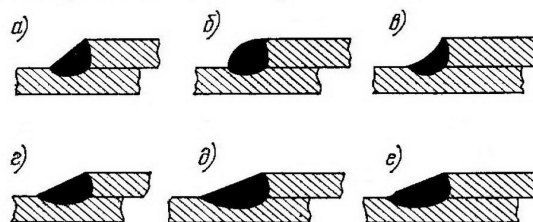


Рис.2.3. Пространственное положение сварных швов при их выполнении: а – положение: 1 – горизон-тальное; 2 – вертикальное; 3 – потолочное; б – то же, горизонтальное на вертикальной плоскости; в – положение элементов при сварке «в лодочку».

Рис. 2.4. Очертание угловых швов:



а – нормальное; б – выпуклое; в – вогнутое; г – с отношением катетов 1:1,5; д – с отношением катетов 1:2; е – то же с обработкой конца шва.

Наиболее рациональны швы, имеющие очертание неравнобедренных треугольников.

В зависимости от положения шва относительно действующего усилия угловые швы, расположенные параллельно действующему осевому усилию, называют фланговыми (рис. 2.5, а), а перпендикулярно усилию – лобовыми (рис. 2.5, б).

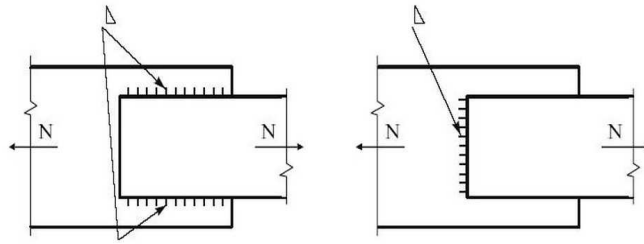


Рис. 2.5. Сварные угловые швы: а – фланговый; б – лобовой

а б

Стыковые швы, расположенные под углом к направлению усилия, называют косыми. Условное изображение сварных швов на строительных чертежах показано в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Условное изображение сварных швов на чертежах

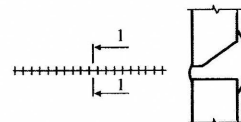
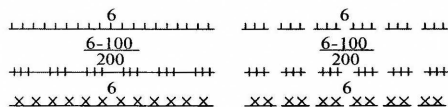
Наименование	Изображение шва		Размер изображений, мм
	заводского	монтажного	
Шов стыкового сварного соединения, сплошной:			
с видимой стороны	+++++	×××××	
с невидимой стороны	+++ +++	×× ×× ××	
То же, прерывистый:			
с видимой стороны	+++++	××× ×××	
с невидимой стороны	+++ — +++	×× — ××	
Шов таврового углового или нахлесточного соединения, сплошной:			
с видимой стороны	K_f +++++	K_f ×××××	
с невидимой стороны	K_f +++ +++	K_f ×× ×× ××	
То же, прерывистый:			
с видимой стороны	$\frac{K_f-l}{a}$ +++++	$\frac{K_f-l}{a}$ ××× ×××	
с невидимой стороны	$\frac{K_f-l}{a}$ +++ — +++	$\frac{K_f-l}{a}$ ××× ×××	
Нахлесточное точечное соединение, точки выполнены контактной сваркой			
Нахлесточное точечное соединение, точки выполнены электродуговой сваркой			

Примечания:

1. Здесь K_f – катет углового шва; l – длина участка прерывистого шва; a – расстояние между участками прерывистого шва.

2. Изображения сварных швов при необходимости дополняют разрезами, показывающими геометрические размеры разделки и выполненного шва.

Пример:



2.2.3. Требования к сварным швам и соединениям

При проектировании сварных соединений следует:

- принимать минимально необходимое количество и минимальные размеры сварных швов;
- предусматривать применение высокопроизводительных механизированных способов сварки;
- предусматривать применение эффективных сварочных материалов (электродов, электродных проволок, защитных газов, флюсов);
- предусматривать такое расположение и размеры сварных швов, при которых максимально сокращалась бы необходимость кантовки конструкций при их изготовлении, а также уменьшились бы размеры соединяемых деталей;
- обеспечивать свободный доступ к местам наложения швов и удобное пространственное положение с учетом выбранного способа и технологии сварки, а также принятого метода неразрушающего контроля шва.

Сокращение массы наплавленного металла при проектировании сварных соединений достигается за счет:

- повышения расчетных сопротивлений соединений с угловыми швами (за счет применения эффективной технологии сварки и электродных материалов);
- соблюдения требований по назначению минимально допустимых катетов угловых швов, устанавливаемых в зависимости от наибольшей толщины свариваемых элементов, вида сварки и механических свойств стали;
- применения односторонних угловых швов (в поясах сварных двутавров, при установке ребер жесткости, диафрагм и других деталей);
- уменьшения количества деталей в элементах конструкций (применения односторонних ребер жесткости, исключения фасонки в решетчатых конструкциях) или уменьшения их размеров в связи с повышением расчетных сопротивлений соединений с угловыми швами.

2.2.4. Расчетные характеристики металла сварных соединений и швов

Расчетные сопротивления для различных видов соединений и напряженных состояний определяются по формулам табл.2.3

(табл. 3 СНиП II-23-81*). Нормативные и расчетные сопротивления металла швов (в зависимости от вида сварки и типа шва) приведены в табл. 2.3 и 2.4.

Таблица 2.3

Формулы для определения расчетных сопротивлений сварных соединений

Сварные соединения	Напряженное состояние		Условное обозначение	Расчетные сопротивления сварных соединений
Стыковые	Сжатие, растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической	По пределу текучести	R_{wy}	$R_{wy} = R_y$
		По временному сопротивлению	R_{wu}	$R_{wu} = R_u$

Сварные соединения	Напряженное состояние		Условное обозначение	Расчетные сопротивления сварных соединений
	или ручной сварке с физическим контролем качества швов			
	Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке	По пределу текучести	R_{wy}	$R_{wy} = 0,85 R_y$
	Сдвиг		R_{ws}	$R_{ws} = R_s$
С угловыми швами	Срез (условный)	По металлу шва	R_{wf}	$R_{wf} = 0,55 \frac{R_{wun}}{\gamma_{wm}}$
		По металлу границы сплавления	R_{wz}	$R_{wz} = 0,45 R_{un}$

Примечания:

1. Для швов, выполняемых ручной сваркой, значения R_{wun} следует принимать равными значениям временного сопротивления разрыву металла шва, указанным в ГОСТ 9467-75*.
2. Для швов, выполняемых автоматической или полуавтоматической сваркой, значения R_{wun} приведены в табл. 4*.
3. Значения коэффициента надежности по материалу шва γ_{wm} следует принимать равными: 1,25 – при значениях R_{wun} не более 490 МПа (5000 кгс/см²); 1,35 – при значениях R_{wun} 590 МПа (6000 кгс/см²) и более.

Расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.4

Нормативные сопротивления металла швов, выполненных автоматической или полуавтоматической сваркой

Марки проволоки (по ГОСТ 2246-70*) для автоматической или полуавтоматической сварки		Марки порошковой проволоки (по ГОСТ 26271-84)	Значения нормативного сопротивления металла шва R_{wun} , МПа (кгс/см ²)
под флюсом (ГОСТ 9087-81*)	в углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157-79*)		
Св-08, Св-08А	-	-	410 (4200)
Св-08ГА	-	-	450 (4600)
Св-10ГА	Св-08Г2С	ПП-АН8, ПП-АН3	490 (5000)
Св-10НМА, Св-10Г2	Св-08Г2С*	-	590 (6000)

Марки проволоки (по ГОСТ 2246-70*) для автоматической или полуавтоматической сварки		Марки порошковой проволоки (по ГОСТ 26271-84)	Значения нормативного сопротивления металла шва R_{wun} , МПа (кгс/см ²)
под флюсом (ГОСТ 9087-81*)	в углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157-79*)		
Св-08ХН2ГМЮ, Св-08Х1ДЮ	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГ2СДЮ	-	685 (7000)

* При сварке проволокой Св-08Г2С значение R_{wun} следует принимать равным 590 МПа (6000 кгс/см²) только для угловых швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см²) и более.

Таблица 2.5

Нормативные и расчетные сопротивления металла швов соединений с угловыми швами

Сварочные материалы		R_{wun} , МПа (кгс/см ²)	R_{wf} , МПа (кгс/см ²)
тип электрода (по ГОСТ 9467-75)	марка проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410 (4200)	180 (1850)
Э46, Э46А	Св-08ГА	450 (4600)	200 (2050)
Э50, Э50А	Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3	490 (5000)	215 (2200)
Э60	Св-08Г2С*, Св-08Г2СЦ*, Св-10НМА, Св-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ	685 (7000)	280 (2850)
Э85	-	835 (8500)	340 (3450)

* Только для швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см²) и более.

Расчетные сопротивления сварных соединений, определенные по формулам, которые приведены в главе СНиП II-23-81*, обеспечиваются при соблюдении следующих условий:

- подготовка материалов, сборка конструкций, сварка и контроль качества осуществляются в соответствии с требованиями главы СНиП III-18-75*;
- сварочные материалы для стыковых соединений соответствуют прочности свариваемой стали и условиям эксплуатации конструкций и применяются в соответствии с табл. 55* прил. 2 [1];
- сварочные материалы для расчетных угловых швов применяются в соответствии с табл. 56* прил. 1 с учетом условий эксплуатации конструкций, указанных в табл. 55* [1].

Расчетные сопротивления стыковых соединений, выполняемых всеми видами дуговой сварки, принимаются равными расчетным сопротивлениям стального проката при условии физического контроля качества швов и соблюдении требований п. 13.42 главы СНиП II-23-81* об обеспечении полного провара соединяемых элементов путем двухсторонней сварки, односторонней с подваркой корня шва или односторонней сварки на подкладке.

В случаях, когда в стыковых соединениях невозможно обеспечить полный провар элементов, рекомендуется принимать $R_{wy} = 0,7 R_y$.

Несущая способность сварных соединений с угловыми швами зависит от ориентации шва относительно направления усилия, действующего на соединение. Однако учет этой зависимости существенно усложняет расчет соединения, в связи с чем расчетные сопротивления соединений с угловыми швами в главе СНиП II-23-81* приняты для наименее благоприятной ориентации (флангового шва) и независимыми от величины угла между продольной осью шва и направлением силового вектора, действующего на него.

Предельным состоянием для сварных соединений с угловыми швами является опасность разрушения. В связи с этим их расчетные сопротивления установлены по временному сопротивлению материала: для металла шва – в зависимости от нормативного сопротивления металла шва $R_{wf} = f(R_{wun})$; для металла границы сплавления – в зависимости от нормативного сопротивления основного металла $R_{wz} = f(R_{un})$.

Числовые значения расчетных сопротивлений сварных соединений с угловыми швами приведены в табл. 2.2 и 2.3 прил. 2.

2.3. Работа и расчет сварных соединений при различных силовых воздействиях

2.3.1. Работа и расчет соединений, выполненных стыковыми швами

Проверка прочности сварных стыковых соединений на центральное растяжение или сжатие (рис.2.6, а) производится по формуле

$$\sigma_w = \frac{N}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (2.1)$$

где σ_w – нормальные напряжения в шве; t – наименьшая толщина соединяемых элементов; l_w – расчетная длина шва, равная полной его длине, уменьшенной на $2t$, или полной его длине в случае вывода концов шва за пределы стыка.

При расчете сварных стыковых соединений элементов конструкций, эксплуатация которых возможна и после достижения металлом предела текучести, в формуле (2.1) вместо R_{wy} надо принимать R_{wu} / γ_u .

В случае применения сварочных материалов согласно прил. 2 [1], полном проваре соединяемых элементов и физическом контроле качества растянутых швов расчет сварных стыковых соединений выполнять не требуется.

При действии на соединяемые элементы изгибающего момента (рис. 2.6, в) проверка прочности производится по формуле

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} \leq R_y \gamma_c. \quad (2.2)$$

Момент сопротивления сварного шва W равен моменту сопротивления основного сечения.

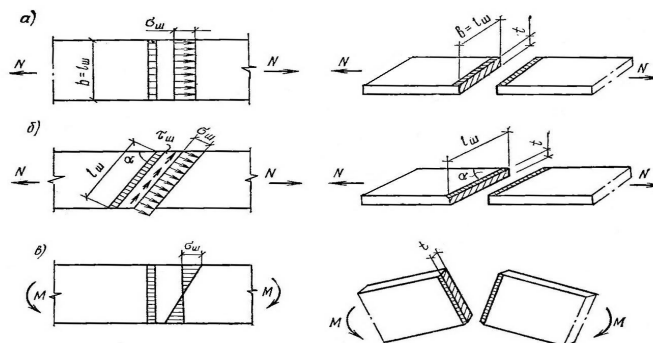


Рис. 2.6. К расчету сварных соединений выполненных стыковыми швами:
а, б – прямого и косоуго при сжатии и растяжении; в – прямого шва при изгибе.

Если изгибающий момент действует совместно с нормальной силой, то напряжения в стыковом шве

$$\sigma_w = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_w} = \frac{N}{t \cdot l_w} + \frac{6M}{t \cdot l_w^2} \leq R_y \gamma_c. \quad (2.3)$$

При работе соединения встык на срез (рис.2.6, б) касательные напряжения в шве

$$\tau_w = \frac{QS_w}{I_w t} \leq R_y \gamma_c, \quad (2.4)$$

где Q – поперечная сила; I_w, S_w – момент инерции и статический момент сопротивления шва с учетом уменьшения площади их поперечного сечения; t_w – наименьшая из толщин соединяемых элементов.

При действии изгибающего момента и поперечной силы на стыковое соединение, выполненное без физического контроля качества, напряжения в шве определяются по формуле:

$$\sqrt{\sigma_{wx}^2 + \sigma_{wy}^2 - \sigma_{wx} \sigma_{wy} + 3\tau_{wxy}^2} \leq 1,15 R_{wy} \gamma_c, \quad (2.5)$$

где σ_{wx}, σ_{wy} – нормальные напряжения в сварном соединении во взаимно перпендикулярных направлениях; $\tau_{wxy} = Q/tl_w$ – касательные напряжения в сварном шве от среза.

2.3.2. Работа и расчет соединений, выполненных угловыми швами

С целью повышения эффективности использования наплавленного металла в соединениях с расчетными угловыми швами предусмотрено применение электродных материалов, обеспечивающих повышенные прочностные свойства металла шва. При этом возникает необходимость проверки прочности соединений по двум опасным сечениям: по металлу шва и по металлу границы сплавления (рис. 2.7).

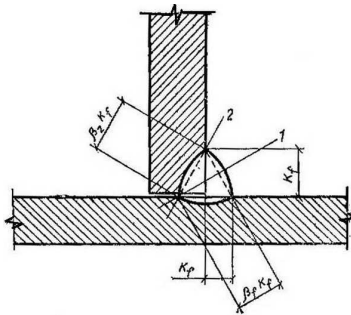


Рис. 2.7. Расчетные сечения сварного соединения с угловыми швами: 1 – сечение по металлу шва; 2 – сечение по границе сплавления.

Фланговые угловые швы при действии продольной и поперечной сил работают на срез. Напряжения по длине шва распределяются неравномерно – наибольшие возникают в начале и конце шва, к середине шва напряжения выравниваются. Расчет (проверка прочности) производится для двух

сечений:
по металлу шва

$$\tau_{wf} = N / (\beta_f k_f l_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (2.6)$$

по металлу границы сплавления

$$\tau_{wz} = N / (\beta_z k_f l_w) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (2.7)$$

где τ_{wf} и τ_{wz} – срезающие (касательные) напряжения в сечении 1 и 2 соответственно; l_w – расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм; β_f и β_z – коэффициенты, принимаемые при сварке элементов из стали: с пределом текучести до 580 МПа (5900 кгс/см²) по табл. 2.6; а для сталей с пределом текучести свыше 580 МПа (5900 кгс/см²) независимо от вида сварки, положения шва и диаметра сварочной проволоки $\beta_f = 0,7$ и $\beta_z = 1$; γ_{wf} и γ_{wz} – коэффициенты условий работы шва, равные 1 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах I₁, I₂, II₂ и II₃, для которых $\gamma_{wf} =$

0,85 для металла шва с нормативным сопротивлением $R_{wun} = 410$ МПа (4200 кгс/см²) и $\gamma_{wz} = 0,85$ для всех сталей.

При сварке с использованием технологических приемов, направленных на повышение производительности наплавки, которые сопровождаются снижением глубины проплавления (например, сварка при удлиненном вылете электрода, при прямой полярности постоянного тока, с применением дополнительного присадочного материала и т.п.), значения коэффициентов рекомендуется принимать $\beta_f = 0,7$ и $\beta_z = 1$.

При определении толщины флангового углового шва по формулам (2.6–2.7) для последующего конструирования соединения надо принимать большее значение k_f .

Таблица 2.6

Коэффициенты глубины проплавления угловых швов

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки d , мм	Положение шва	Коэффициент	Значения коэффициентов β_f и β_z при катетах швов, мм			
			3-8	9-12	14-16	18 и более
Автоматическая при $d = 3 - 5$ мм (поясные швы в балках и колоннах)	В лодочку	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	Нижнее	β_f	1,1	0,9	0,7	
		β_z	1,15	1,05	1,0	
Автоматическая и полуавтоматическая при $d = 1,4 - 2$ мм (ребра жесткости, стыки балок и колонн, узлы ферм)	В лодочку	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
Ручная; полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при $d < 1,4$ или порошковой проволокой (узлы балок, колонн, ферм)	В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_f	0,7			
		β_z	1,0			

Примечание. Значения коэффициентов соответствуют нормальным режимам сварки.

В отличие от фланговых, *лобовые швы* находятся в сложном напряженном состоянии, работая на изгиб, растяжение (сжатие) и срез в связи с искривлением силового потока в месте соединения.

Проверка прочности этих швов при действии только продольных и поперечных сил производится на срез (условный) по вышеприведенным формулам. При работе соединения с угловыми швами на действие момента в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения швов, расчет производится по формулам:

по металлу шва

$$\tau_f = \frac{M}{W_f} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (2.8)$$

по металлу границы сплавления

$$\tau_z = \frac{M}{W_z} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c; \quad (2.9)$$

где $\tau_{f(z)}$ – напряжения в шве; W_f – момент сопротивления расчетного сечения по металлу шва; W_z – то же, по металлу границы сплавления.

Расчет сварных соединений с угловыми швами на действие момента в плоскости расположения этих швов производится по следующим формулам:

по металлу шва

$$\frac{M}{J_{fx} + J_{fy}} \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (2.10)$$

по металлу границы сплавления

$$\frac{M}{J_{zx} + J_{zy}} \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (2.11)$$

где J_{fx} и J_{fy} – моменты инерции расчетного сечения по металлу шва относительно его главных осей; J_{zx} и J_{zy} – то же, по металлу границы сплавления; x и y – координаты точки шва, наиболее удаленной от центра тяжести расчетного сечения швов, относительно главных осей этого сечения.

Расчет угловых швов при одновременном действии изгиба и среза (рис.2.8) производится на равнодействующую напряжений по формуле:

$$\sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \sqrt{(N/2\beta_f \kappa_f l_w)^2 + (6M/2\beta_f \kappa_f l_w^2)^2} \leq R_{wf(z)} \gamma_{wf(z)} \gamma_c. \quad (2.12)$$

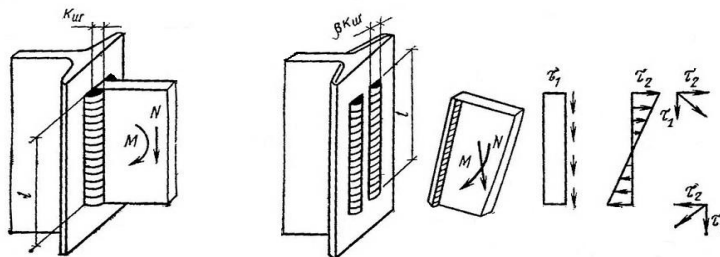


Рис. 2.8. К расчету угловых швов при действии изгиба и среза

При расчете сварных соединений с угловыми швами на одновременное действие продольной и поперечной сил и момента должны быть выполнены условия

$$\tau_f \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c \text{ и } \tau_z \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (2.13)$$

где τ_f и τ_z – напряжения в расчетном сечении по металлу шва и по металлу границы сплавления, равные геометрическим суммам напряжений, вызываемых продольной и поперечной силами и моментом.

При проектировании угловых швов в соединениях из стали с пределом текучести до 295 МПа (2900 кгс/см²) согласно рекомендациям [13] следует предусматривать электроды или сварочную проволоку (см. табл. П.2.1) для которых расчетные сопротивления срезу по металлу шва R_{wf} должны быть более R_{wz} , а при ручной сварке не менее чем в 1,1 раза превышать расчетные сопротивления срезу по металлу границы сплавления R_{wz} , но не превосходить значений $R_{wz} \beta_z / \beta_f$.

В соединениях элементов из стали с пределом текучести более 295 МПа допускается применять электроды или сварочную проволоку, для которых выполняется условие

$$R_{wz} < R_{wf} \leq R_{wz} \beta_z / \beta_f.$$

При выборе электродных материалов следует учитывать группы конструкций и климатические районы, указанные в табл. 55* СНиП II-23-81* (В [13], табл. 1 прил. 1). Например, проволоку марки Св-08Г2С целесообразно применять при сварке в углекислом газе однопроходных швов ($l_w < 8$ мм) в конструкциях из стали ВСт3, которая обеспечивает минимальный расход наплавленного металла из всех возможных

вариантов полуавтоматической и ручной сварки; проволоку марок Св-08А и Св-08ГА – при автоматической сварке под флюсом конструкций из стали ВСт3 (применение проволоки Св-08ГА обосновано в случаях, когда на одном производственном участке одновременно выполняется сварка конструкций из малоуглеродистой и низколегированной стали).

В зависимости от значений R_{wf} , R_{wz} и β_f , характеризующих соединение с угловыми швами, прочность одного из двух расчетных сечений меньше прочности другого сечения. Поэтому для расчета такого соединения на срез (условный) достаточно произвести проверку менее прочного сечения. Расчетные сечения, по которым следует производить проверку прочности соединения с угловыми швами, в зависимости от параметров R_{wun} , R_{un} и β_f , указаны в табл. 2.7 (для конструкций во всех климатических районах, кроме I₁, I₂, II₂, II₃) и табл. 2.8 (для конструкций в климатических районах I₁, I₂, II₂, II₃).

Примечание. Коэффициенты β_f и β_z связаны зависимостью $\beta_z = 1,41\sqrt{\beta_f^2 - 1,41\beta_f + 1}$, поэтому в табл. 2.7 и 2.8 значения β_z не приводятся.

Предельные усилия на сварные соединения с угловыми швами для наиболее распространенных сочетаний электродных материалов, условий сварки и катетов швов приведены в табл. прил. 2.

Таблица 2.7

R_{wun}	$R_{un} = 345 (3500)$ $R_{un} = 355 (3600)$				$R_{un} = 365 (3700)$ $R_{un} = 370 (3800)$				$R_{un} = 380 (3900)$			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Г	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш
≥ 685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2.7, а

R_{wun}	$R_{un} = 390 (4000)$ $R_{un} = 410 (4200)$				$R_{un} = 430 (4400)$ $R_{un} = 440 (4500)$ $R_{un} = 450 (4600)$ $R_{un} = 460 (4700)$				$R_{un} = 470 (4800)$ $R_{un} = 480 (4900)$ $R_{un} = 490 (5000)$			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Г	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2.7, б

R_{wun}	$R_{un} = 500 (5100)$ $R_{un} = 510 (5200)$				$R_{un} = 520 (5300)$ $R_{un} = 530 (5400)$				$R_{un} = 540 (5500)$ $R_{un} = 570 (5800)$ $R_{un} = 590 (6000)$			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
≤ 490 (5000)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Ш	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш

Примечания: 1. Значение нормативных сопротивлений R_{un} и R_{wun} указаны в МПа (кгс/см²). 2. Буквы Ш и Г указывают, что при данном сочетании R_{un} , R_{wun} и β_f расчет соединения с угловыми швами должен производиться соответственно по металлу шва или по металлу границы сплавления. 3. Для стального проката с $R_{un} = 685$ МПа (7000 кгс/см²) расчет соединения с угловыми швами должен производиться по металлу шва.

Таблица 2.8

R_{wun}	$R_{un} = 345 (3500)$ $R_{un} = 355 (3600)$ $R_{un} = 365 (3700)$				$R_{un} = 370 (3800)$ $R_{un} = 380 (3900)$				$R_{un} = 390 (4000)$			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
≥ 490 (5000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2.8, а

R_{wun}	$R_{un} = 410 (4200)$ $R_{un} = 430 (4400)$				$R_{un} = 440 (4500)$				$R_{un} = 450 (4600)$ $R_{un} = 460 (4700)$ $R_{un} = 470 (4800)$ $R_{un} = 480 (4900)$			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Г	Ш
≥ 685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2.8, б

R_{wun}	$R_{un} = 490 (5000)$				$R_{un} = 500 (5100)$ $R_{un} = 510 (5200)$				$R_{un} = 520 (5300)$ $R_{un} = 530 (5400)$			
	β_f				β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
410 (4200)	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
450 (4600)	Г	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
490 (5000)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш	Г	Г	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Таблица 2.8, в

R_{wun}	$R_{un} = 540 (5500)$ $R_{un} = 570 (5800)$				$R_{un} = 590 (6000)$			
	β_f				β_f			
	1,1	0,9	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
$\leq 490 (5000)$	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш
590 (6000)	Г	Ш	Ш	Ш	Г	Ш	Ш	Ш
685 (7000)	Г	Г	Г	Ш	Г	Г	Ш	Ш
835 (8500)	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г

Примечания: 1. Обозначения даны в табл. 2.8, а. 2. Таблица составлена с учетом коэффициентов γ_{wf} и γ_{wz} , значения которых указаны в п. 11.2 главы СНиП II-23-81*. 3. Для стального проката с $R_{un} = 685$ МПа (7000 кгс/см²) расчет соединения с угловыми швами должен производиться по металлу шва.

Расчет таврового соединения с разделкой кромок элемента с неполным его проваром (рис. 28, а) на действие продольной и поперечной сил рекомендуется производить по двум сечениям по формулам:

по металлу шва

$$N / (2,6 hl_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (2.14)$$

по металлу границы сплавления

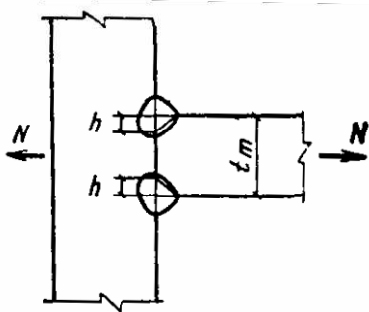
$$N / (2,8 hl_w) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (2.15)$$

где h – глубина разделки кромок, значения которой следует принимать согласно соответствующему стандарту на основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений; l_w – расчетная длина шва, равная полной его длине, уменьшенной на t_m , или полной его длине в случае вывода концов шва за пределы стыка.

В формулах (2.14) и (2.15) учтено наличие двух швов в соединении.

Тавровые соединения с разделкой кромок целесообразно применять в случаях, когда катеты швов должны быть $k_f > 14$ мм. При этом назначение разделки кромок должно производиться с учетом технологических возможностей производства.

Рис. 2.8, а. К расчету таврового кромки элемента и неполным соединения с разделкой его проваром.



Тавровые соединения с лобовыми угловыми швами, рассчитываемые на действие растягивающей силы по двум сечениям, следует рассчитывать также на растяжение по основному металлу в сечении, перпендикулярном направлению действия силы (рис. 2.9, сечение 3-3).

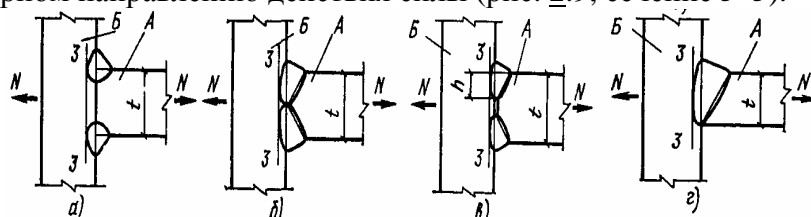


Рис. 2.9. К расчету таврового соединения по основному металлу в сечении, перпендикулярном направлению растягивающей силы.

В соединении с двухсторонним швом без разделки кромок (рис. 2.9, а) расчет по сечению 3-3 следует производить по формуле

$$N / (2,8 \beta_f k_f l_w) \leq R_{th} \gamma_c \quad (2.16)$$

В соединении с двухсторонним швом и *k*-образной разделкой кромок расчет по сечению 3-3 следует производить по формулам:

при полном проваре прикрепляемого элемента (рис. 2.9, б)

$$N / (1,3 t l_w) \leq R_{th} \gamma_c; \quad (2.17)$$

при частичном проваре прикрепляемого элемента (рис. 2.9, в)

$$N / [2 (h + 0,15t) l_w] \leq R_{th} \gamma_c. \quad (2.18)$$

В соединении с односторонним швом и разделкой кромок при полном проваре прикрепляемого элемента (рис. 2.9, г) расчет по сечению 3-3 следует производить по формуле

$$N / (1,15 t l_w) \leq R_{th} \gamma_c. \quad (2.19)$$

В формулах (2.16) - (2.19): l_w – длина шва, принимаемая равной его полной длине; t – толщина прикрепляемого элемента; h – глубина разделки кромок; R_{th} – расчетное сопротивление растяжению в направлении толщины проката, которое следует принимать $R_{th} = 0,5 R_u$.

Расчет соединений по сечению 3-3 не следует производить в следующих случаях: в соединениях с двухсторонним угловым швом без разделки кромок (рис. 2.9, а), а также с разделкой кромок и частичным проваром прикрепляемого элемента (рис. 2.9, б)

при соблюдении соотношения между значениями временного сопротивления свариваемых элементов $R_{un}^A \leq R_{un}^B$;

В соединениях с двухсторонним угловым швом и k -образной разделкой кромок (рис. 2.9, в), при соблюдении соотношения значений характеристик прочностных свойств $R_{un}^A \leq 0,65 R_{un}^B$.

2. 4. Конструирование сварных соединений

2.4.1. Общие положения

Общие требования к конструкции сварных соединений, направленные на повышение их надежности и работоспособности, а также технологичности, изложены в пп.12.2–12.3 и 12.6–12.13 главы СНиП II-23-81*. Дополнительные сведения о конструировании сварных соединений стальных строительных конструкций можно найти также в [4, 5, 6, 7 и др.].

Одним из наиболее важных условий сокращения удельного расхода наплавленного металла в конструкциях при выполнении конструктивных и слабонагруженных угловых швов является назначение минимальных катетов швов в соответствии с табл.38* главы СНиП II-23-81*, размеры которых зависят от толщины свариваемых элементов, предела текучести стали, вида сварки и вида соединения.

При проектировании сварных соединений с угловыми швами необходимо учитывать, что количество наплавленного металла пропорционально квадрату катета шва. Поэтому завышение k_f даже на 1 мм приводит к значительному перерасходу наплавленного металла. Например, увеличение массы наплавленного металла в швах $k_f = 10$ мм по сравнению с $k_f = 9$ мм составляет почти 20%, а в швах $k_f = 6$ мм по сравнению с $k_f = 5$ мм – более 40%.

Из двух расчетных угловых швов с одинаковым расчетным сечением экономичнее по расходу наплавленного металла тот, который имеет меньший катет (и соответственно большую длину).

Для прикрепления ребер жесткости, диафрагм и поясов сварных двутавров допускается применять односторонние угловые швы, катеты которых k_f следует принимать по расчету, но не менее указанных в табл.38* главы СНиП II-23-81*.

Применение односторонних угловых швов не допускается в конструкциях группы 1, которые эксплуатируются в среднеагрессивной и сильноагрессивной средах, возводимых в климатических районах I_1 , I_2 , II_2 и III_3 .

Указанные ограничения не распространяются на односторонние угловые швы, выполненные с проваром на всю толщину прикрепляемого элемента.

Общие положения о применении односторонних угловых швов в элементах конструкций изложены ниже в данном разделе пособия.

Для расчетных и конструктивных угловых швов в проекте должны быть указаны вид сварки, электроды или сварочная проволока, положение шва при сварке.

Положение шва при сварке необходимо указывать для расчетных угловых швов, так как оно определяет величину коэффициентов β_f и β_z , входящих в расчетные формулы. В случае когда на стадии проектирования положение шва неизвестно, оно должно быть указано предположительно, а при разработке детализированных чертежей (КМД) уточнено с соответствующей корректировкой величины k_f углового шва.

При применении прерывистых швов и электрозаклепок в соответствии с п.12.13 главы СНиП II-23-81* расстояние между соседними концами участков прерывистого

шва должно составлять не более $18 t$ для сжатых элементов и не более $24 t$ для растянутых элементов (t – толщина наиболее тонкого из свариваемых элементов).

2.4.2. Конструкции сварных соединений в балках

Поясные швы сварных балок, а также швы, присоединяющие к основному сечению балки вспомогательные элементы (например, ребра жесткости), должны выполняться непрерывными. При этом допускается применение односторонних поясных швов в сварных двутавровых балках, несущих статическую нагрузку, и швов, прикрепляющих вспомогательные элементы.

При применении односторонних поясных швов в сварных двутавровых балках должны быть выполнены следующие требования:

расчет устойчивости стенок балок должен быть произведен в соответствии с требованиями пп.7.2 и 7.3 главы СНиП II-23-81*;

расчетная нагрузка должна быть приложена симметрично относительно поперечного сечения балки (СНиП II-23-81*, п.13.26);

устойчивость сжатого пояса балки должна быть обеспечена в соответствии с п.5.16,а главы СНиП II-23-81*, а именно путем применения сплошного жесткого настила, непрерывно опирающегося на сжатый пояс балки и надежно с ним связанного (плиты железобетонные, плоский и профилированный металлический настил, волнистая сталь и т.п.);

в местах приложения к поясу балки сосредоточенных нагрузок, включая нагрузки от ребристых железобетонных плит, должны быть установлены поперечные ребра жесткости (СНиП II-23-81*, п.13.26).

В ригелях рамных конструкций у опорных узлов следует применять двухсторонние поясные швы, протяженность которых должна быть не менее высоты сечения ригеля (рис.2.10).

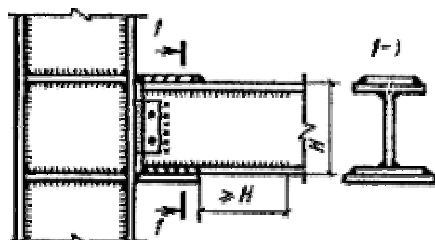


Рис. 2.10. Расположение двухстороннего поясного шва в опорном узле ригеля.

В балках и ригелях рамных конструкций, рассчитываемых согласно требованиям пп.5.18–5.23 главы СНиП II-23-81* (с учетом развития пластических деформаций), применение односторонних поясных швов не допускается.

В сварных двутавровых балках конструкций групп 2 – 4 следует, как правило, применять односторонние ребра жесткости с расположением их с одной стороны балки.

Расчет устойчивости одностороннего ребра жесткости следует производить согласно требованиям пп.7.10-7.13 главы СНиП II-23-81*.

В балках с односторонними поясными швами ребра жесткости на стенке следует располагать со стороны, противоположной расположению односторонних поясных швов (рис. 2.11).

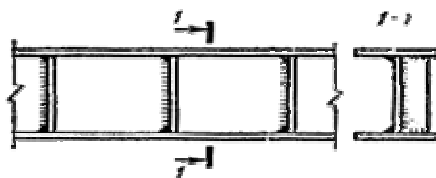


Рис.2.11. Расположение односторонних ребер жесткости в балке с односторонними поясными швами.

Ребра жесткости сварных балок должны быть удалены от стыков стенки на расстояние не менее 10 толщин стенки. В местах пересечения стыковых швов стенки балки с ребром жесткости швы, прикрепляющие ребро к стенке, следует не доводить до стыкового шва на 40 мм (рис.2.12).

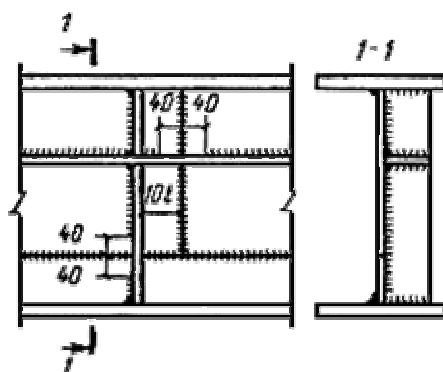


Рис. 2.12. Взаимное расположение стыковых швов и ребер жесткости на стенке балки.

Торцы вертикальных ребер жесткости сварных балок в местах примыкания их к поясам [за исключением нижних торцов опорных ребер, а также ребер, располагаемых со стороны, противоположной односторонним поясным швам (см. рис.2.12)] должны иметь скосы, размеры которых рекомендуется принимать 40x40 мм (рис.2.13).

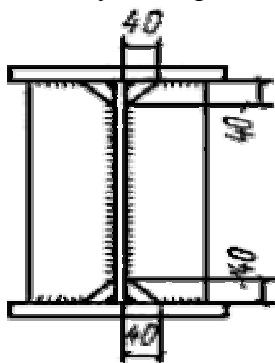


Рис. 2.13. Примыкание ребер жесткости к элементам сечения сварной балки.

2.4.3. Конструкции сварных соединений в колоннах

В центрально-сжатых колоннах и стойках двутаврового сечения допускается применять односторонние поясные швы. При этом в узлах крепления связей, балок, распорок и других элементов в зоне передачи усилия следует применять двухсторонние поясные швы, выходящие за контуры прикрепляемого элемента (узла) на длину $30k_f$ с каждой стороны (рис.2.14).

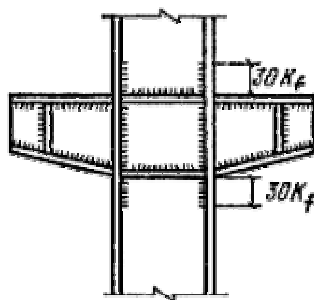


Рис. 2.14. Расположение двухстороннего поясного шва в колонне в узле примыкания балки.

Угловые швы, прикрепляющие фанонки соединительной решетки к колоннам внахлестку, следует назначать по расчету и располагать с двух сторон фанонки вдоль колонны в виде отдельных участков в шахматном порядке; при этом расстояние между концами таких швов не должно превышать 15 толщин фанонки ($15t_f$, рис.2.15).

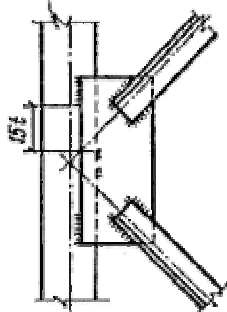


Рис. 2.15. Расположение швов, прикрепляющих фанонку к соединительной решетки колонны.

В конструкциях, возводимых в климатических районах I_1 , I_2 , II_2 и III_3 , а также при применении ручной дуговой сварки швы должны быть непрерывными по всей длине фанонки.

При креплении колонн к опорным плитам толщиной более 80 мм катеты угловых швов следует устанавливать по табл.38* главы СНиП II-23-81*, принимая толщину плиты равной 80 мм.

В монтажных стыках колонн, выполняемых на накладках со сварными швами, швы следует не доводить до стыка на 25 мм с каждой стороны (рис.2.16) или обеспечить зазор в стыке не менее 50 мм. Накладки рекомендуется применять прямоугольной формы.

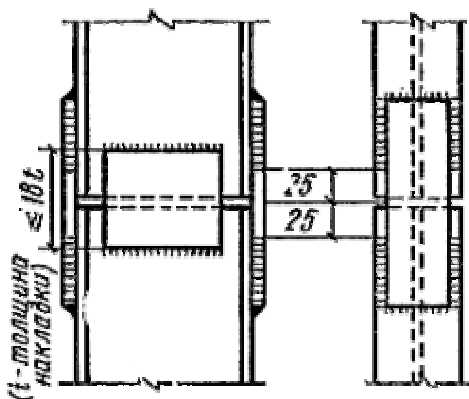


Рис. 2.16. Монтажный стык колонны с накладками.

2.4.4. Конструкции сварных соединений в фермах

Расстояние между краями элементов решетки и пояса в узлах сварных ферм с фасонками следует принимать равным $a = 6t - 20$ мм, но не более 80 мм (t – толщина фасонки, мм) (рис.2.17).

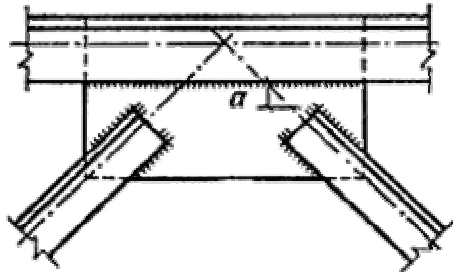


Рис. 2.17. Узел фермы с фасонками.

Между торцами стыкуемых элементов поясов ферм, перекрываемых накладками, следует оставлять зазор a не менее 50 мм (рис.2.18).

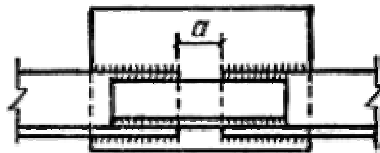


Рис. 2.18. Стык поясов ферм с накладками.

Сварные швы, прикрепляющие элементы решетки фермы к фасонкам, следует выводить на торец элемента на длину 20 мм (рис.2.19). Лобовые швы по торцам элементов решетки применять не рекомендуется, поскольку из-за увеличения остаточных сварочных напряжений ухудшаются условия эксплуатации фасонки.

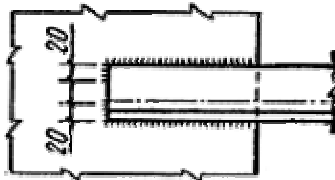


Рис. 2.19. Схемы выведения швов на торец элемента.

В узлах ферм с поясами из тавров, двутавров и одиночных уголков крепление фасонки к полкам поясов встык рекомендуется осуществлять с проваром на всю толщину фасонки (рис.2.20).

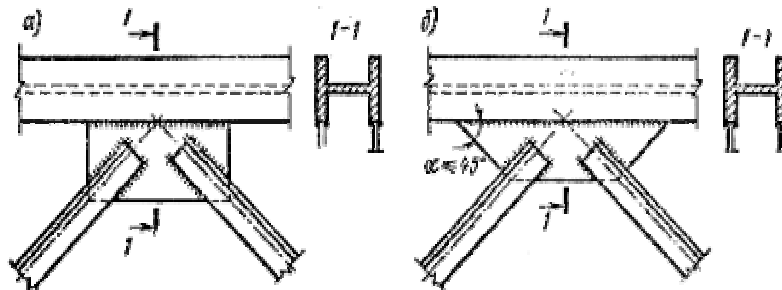


Рис.2.20. Узел фермы с фасонкой, привариваемой встык к элементу сечения пояса:

а – для климатических районов Π_4 и Π_5 ;

б – для климатических районов I_1, I_2, Π_2, Π_3 .

В конструкциях группы 1, а также эксплуатируемых в климатических районах I_1 , I_2 , II_2 и III_2 стыковые швы, прикрепляющие фанонки к полкам поясов, рекомендуется выполнять согласно рис. 2.20, б.

В узлах ферм с поясами из двутавров, тавров и одиночных уголков, в которых фанонки прикреплены к полкам поясов стыковыми швами, допускается пересечение угловых швов нахлесточных соединений раскосов со стыковыми швами.

Примеры расчета сварных соединений

Пример 2.1. Рассчитать соединение встык двух полос сечением 220x12 мм из стали марки 10Г2С1 ($R_y = 320 \text{ МПа}$) ручной сваркой с визуальным контролем (рис. 2.21). Растягивающее усилие N с учетом коэффициента надежности по назначению $\gamma_n = 0,95$, равно $N = 560 \text{ кН}$. Коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$. Для сварки принимаем электроды Э50.

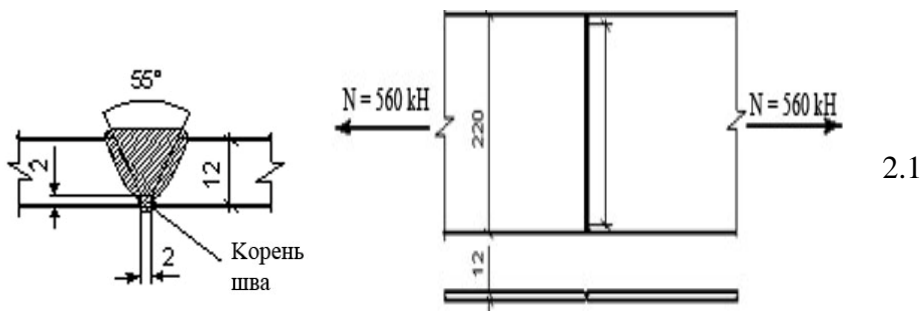
Расчетное сопротивление шва растяжению (см. формулу табл.2.3):

$$R_{wy} = 0,85 R_y = 0,85 \cdot 320 = 272 \text{ МПа.}$$

Напряжение в сварном шве с учетом уменьшения его длины на $2t$:

$$\sigma_w = \frac{N}{t \cdot l_w} = \frac{560 \cdot 10}{1,2(22 - 2 \cdot 1,2)} = 238 \text{ МПа} < R_{wy} \gamma_c = 245 \text{ МПа.}$$

Прочность соединения обеспечена. Конструкция соединения показана на рисунке 2.21.



Пример 2.2. Рассчитать соединение встык ручной сваркой двутавровой балки 40Б2 (ТУ 14-2 -24-72, $A = 67 \text{ см}^2$, $W_x = 928 \text{ см}^2$, толщина полки 11,9 мм) из стали ВСтЗпсб-1 ($R_y = 240 \text{ МПа}$, $R_{ys} = 245 \text{ МПа}$, $\gamma_m = 1,025$) (рис. 2.22). Нагрузки (с учетом коэффициента надежности по назначению $\gamma_n = 0,95$) равны: изгибающий момент $M_x = 160 \text{ кНм}$, поперечная сила $Q = 250 \text{ кН}$. Коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$.

Принимаем электроды типа Э42 с $R_{wy} = 0,85 R_y = 0,85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа}$. Нормальные напряжения в шве определяем по формуле

$$\sigma_w = \frac{16000 \cdot 10}{928} = 172,4 \text{ МПа} < R_{wy} \gamma_c = 204 \cdot 0,9 = 184 \text{ МПа.}$$

Средние касательные напряжения в шве:

$$\tau_w = \frac{Q}{A_w} = \frac{250 \cdot 10}{67} = 37,3 \text{ МПа} < R_{ws} \gamma_c = 138,6 \cdot 0,9 = 125 \text{ МПа.}$$

Здесь $R_{ws} = 0,58 R_{ys} / \gamma_m = 0,58 \cdot 245 / 1,025 = 138,6 \text{ МПа}$, $A_w = A$.

Приведенные напряжения в соединении:

$$\sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} = \sqrt{172,4^2 + 3 \cdot 37,3^2} = 184,1 \text{ МПа} < 1,15 R_{ws} y_c = 212 \text{ МПа}.$$

Для обеспечения полного проплавления принимаем для полок X-образную разделку кромок. Сначала сваривается стенка (без разделки кромок), затем полки.

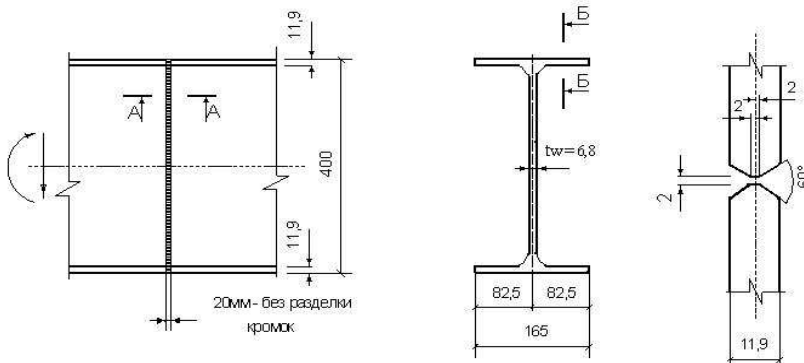


Рис. 2.22. К примеру 2.2.

Пример 2.3.

Полоса сечением 200x12 мм из стали марки ВСт3псб ($R_y = 225$ МПа) соединяется стыковым швом с накладками (рис.2.23).

Рассчитать соединение из условия равнопрочности. Сварка ручная, электроды типа Э42, $R_{wf} = 180$ МПа $y_c = 0,9$, $y_n = 0,9$.

Несущая способность полосы $N = A \cdot R_y y_c / y_n = 20 \cdot 1,2 \cdot 225 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9 / 0,9 = 540$ кН.

Принимаем накладки сечением 160x8 мм из стали ВСт3псб. Напряжения в накладке

$$\sigma_w = \frac{540 \cdot 10}{1,2(20 - 2 \cdot 1,2) + 2 \cdot 16 \cdot 0,8} = 115,6 \text{ МПа}.$$

Усилие в накладке $N_n = \sigma \cdot A_n = 115,6 \cdot 10^{-1} \cdot 16 \cdot 0,8 = 148$ кН.

При $k_f = 8$ мм и расчете по металлу шва и при $\beta_f R_{wf} < \beta_z R_{wz}$ длина угловых швов с одной стороны накладки:

$$\sum l_w = \frac{N_n}{2\beta_f k_f R_{wy} y_c} + 1 = \frac{148 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 180 \cdot 0,9} + 1 = 9,2 \text{ см}.$$

Принимаем длину шва $l_w = 10$ см. Длина накладки с учетом зазора между угловыми и стыковыми швами по 25 мм $- l_n = 2(10 + 2,5) = 25$ мм.

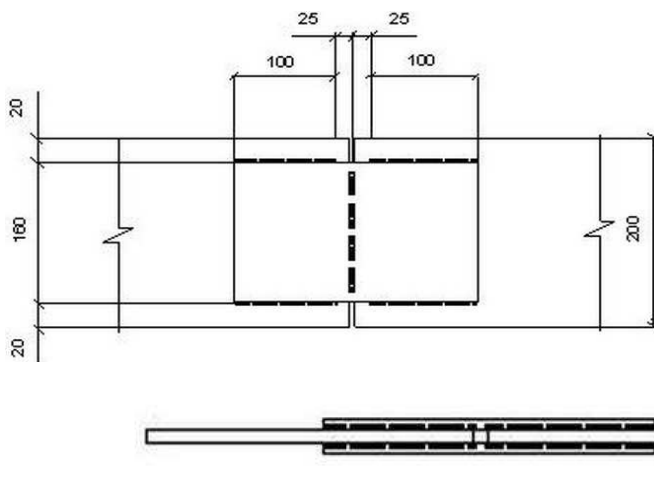


Рис. 2.23.
К примеру 2.3.

Стыковой шов выполняется с V-образной разделкой кромок и подваркой корня шва. После сварки стыковой шов зачистить заподлицо с основным металлом.

Глава 3. БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

3.1. Характеристика, материалы и область применения болтовых соединений

3.1.1. Виды болтовых соединений

В современном строительстве болтовые соединения элементов стальных каркасов зданий и сооружений являются наиболее эффективным видом монтажных соединений.

Эффективность таких соединений определяется прежде всего малой трудоемкостью и простотой технологии выполнения, не требующей высокой квалификации монтажников. Кроме того, болтовые соединения отличаются большой надежностью и разнообразием конструктивных форм, отвечающих эксплуатационным требованиям, предъявляемым к соединяемым элементам и конструкциям.

Из большого разнообразия болтовых соединений, отличающихся друг от друга механизмами передачи внешних усилий, наиболее распространенными являются следующие.

Фрикционные или *сдвигоустойчивые соединения*, в которых внешние усилия воспринимаются за счет сил трения, возникающих по контактным плоскостям соединяемых элементов от предварительного натяжения высокопрочных болтов (рис.3.1).

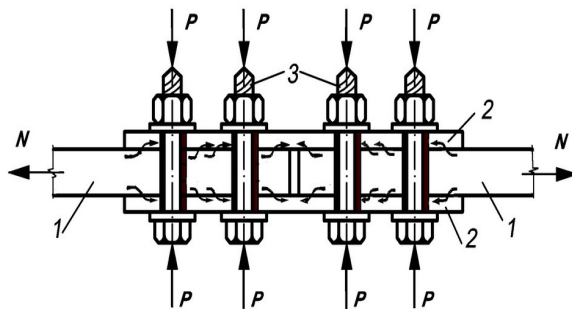


Рис.3.1. Фрикционное болтовое соединение:

- 1 – соединяемые элементы;
- 2 – накладки;
- 3 – высокопрочные болты.

Срезные соединения, в которых внешние усилия воспринимаются за счет сопротивления болтов срезу и соединяемых элементов смятию (рис. 3.2). Отличительная особенность срезных соединений – достаточно высокая деформативность вследствие смятия соединяемых элементов. Поэтому основная область их применения – соединения элементов, подвергающихся действию статических нагрузок.

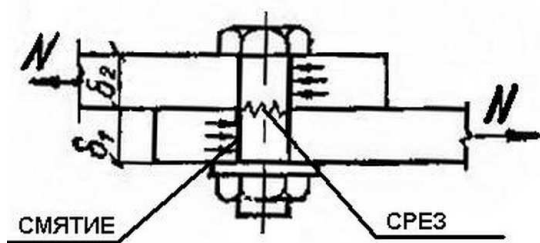


Рис.3.2. Срезное болтовое соединение.

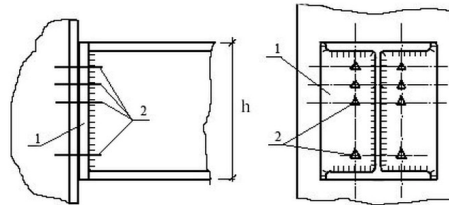
Фрикционно-срезные соединения, в которых внешние усилия воспринимаются в результате совместного сопротивления сил трения, среза и смятия. Такие соединения эффективны при действии как статических, так и циклических, в том числе знакопеременных нагрузок.

Фланцевые соединения, в которых внешние усилия воспринимаются главным образом за счет преодоления сопротивления сжатию фланцев (круглых или

прямоугольных стальных пластин с равномерно расположенными отверстиями для болтов) и работы на растяжение предварительно натянутых высокопрочных болтов.

Они используются для соединения элементов, воспринимающих усилия растяжения, изгиба или совместного их действия. Фланцевые соединения эффективнее других типов болтовых соединений, поскольку высокая несущая способность высокопрочных болтов используется практически полностью (рис. 3.3).

Рис.3.3. Фланцевое соединение:
1 – фланец;
2 – высокопрочные болты.



Для крепления стальных профилей к конструкциям из бетона, железобетона или кирпича используют самоанкерующиеся болты БСР по ГОСТ 28778 или ГОСТ 24379.0. Диаметр таких болтов 10–12мм, длина – не менее 150мм.

Другие типы болтовых соединений (болтоклеевые, болтосварные и др.) относятся к нерасчетным соединениям, используются в строительстве редко и в настоящем пособии не рассматриваются.

3.1.2. Материалы для болтовых соединений.

В соединениях стальных конструкций применяют обычные болты с шестигранной головкой, высокопрочные и анкерные – фундаментные (рис.3.4). Обычные болты изготавливают грубой, нормальной и повышенной точности, что соответствует классам точности *C*, *B* и *A* соответственно.

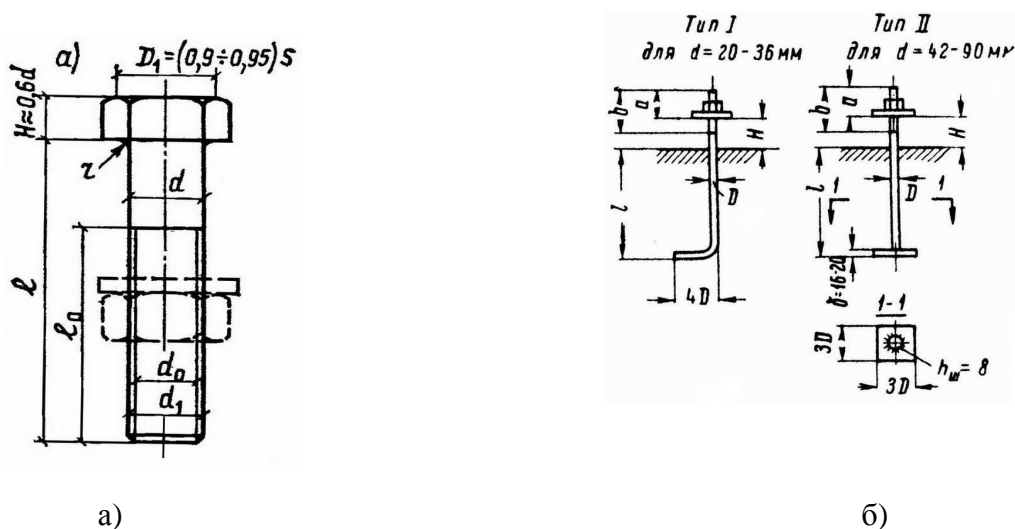


Рис.3.4. Типы болтов для соединения элементов стальных конструкций:
а – обычные и высокопрочные болты; б – анкерные болты.

Болты класса точности C (ГОСТ 15588-90*) ставят в отверстия, диаметр которых на 2–3 мм больше диаметра стержня болта. При работе такого соединения имеют место значительные перемещения, обусловленные разностью диаметров болта и

отверстия, а также невозможностью вступления в работу всех болтов соединения одновременно. Поэтому болты класса точности *C* ставятся конструктивно (без расчетов).

Болты класса точности B (ГОСТ 7798-70*) устанавливают в отверстия, диаметр которых на 1–1,5 мм больше диаметра стержня болта. Поэтому такие соединения менее деформативны, однако требуют более высокой точности при образовании и совмещении отверстий в соединяемых элементах.

Болты класса точности A (ГОСТ 7805-70*) устанавливают в отверстия, которые просверлены на проектный диаметр больше диаметра стержня болта всего на 0,25 – 0,30 мм. При этом сами болты имеют только минусовой допуск на диаметр стержня. Такие болты изготавливают методом точения и поэтому они имеют высокую стоимость. В таком соединении все болты практически одновременно включаются в работу, поэтому соединение достаточно жесткое (малодеформативное), однако требует высокой точности исполнения отверстий в соединяемых деталях.

Высокопрочные болты (ГОСТ 22353-77*, ГОСТ 22356-77* и ТУ 14-4-1345-85) для сдвигоустойчивых соединений изготавливают из легированной стали и термически обрабатывают. Высокопрочные болты – это болты нормальной точности (их ставят в отверстия большего, чем болт, диаметра), но при установке их гайки затягивают специальным динамометрическим ключом, позволяющим создавать и контролировать силу натяжения болтов. Таким образом, высокопрочный болт, работая на осевое растяжение, обеспечивает передачу усилий за счет сил трения, возникающих по соприкасающимся плоскостям соединяемых элементов. Поэтому такие соединения часто называют фрикционными. Для увеличения сил трения поверхности элементов место стыка очищают от грязи, масла, ржавчины и окалины металлическими щетками, пескоструйными или дробеструйными аппаратами, огневой очисткой и не окрашивают.

Фундаментные (анкерные) болты (ГОСТ 24379.1-80*, рис.3.4, б) служат для передачи растягивающих усилий от колонн на фундамент. Выбор марок стали для фундаментных болтов производится по ГОСТ 24379.0-80.

По механическим характеристикам болты подразделяют на классы прочности. Класс прочности болта обозначают двумя цифрами, разделенными точкой, например 4.6, 5.8, 6.6. В обозначении класса прочности болта закодированы механические свойства материала болта:

- первая цифра, умноженная на 10, обозначает минимальное временное сопротивление материала болта в кН/см^2 ;
- произведение чисел – предел текучести материала болта в кН/см^2 ;
- вторая цифра, умноженная на 10, обозначает соотношение σ_y / σ_u в %.

Класс прочности указывают на головке болта выпуклыми цифрами. В зависимости от условий эксплуатации требования к классу прочности болтов дифференцированы.

Болты назначаются в соответствии с условиями применения и технологическими требованиями по табл.3.1 (табл. 57* СНиП II-23-81*) и ГОСТ 15589-70*, ГОСТ 15591-70*, ГОСТ 7796-70*, ГОСТ 7798-70*, а при ограничении деформаций соединений – по ГОСТ 7805-70*.

Таблица 3.1

Требования к болтам при различных условиях их применения

Условия применения		Технологические требования по <u>ГОСТ 1759.4-87*</u>		
климатический район	условия работы болтов	класс прочности (табл. <u>1</u> СНиП)	дополнительные виды испытаний (табл. <u>10</u> СНиП)	марка стали болтов
В конструкциях, не рассчитываемых на выносливость				
Все районы, кроме I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃ **	Растяжение или срез	4.6; 5.6	Поз. 1	По табл. <u>1</u>
		4.8; 5.8	То же	То же
		6.6	«	35
		8.8	-	35X; 38XA
		10.9	-	40X
I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃	Растяжение или срез	4.6; 5.6	Поз. 1 и 4	По табл. <u>1</u>
		4.8* ; 5.8*	Поз. 1	То же
		8.8	Поз. 3 и 7	35X; 38XA
	Срез	4.8; 5.8	Поз. 1	По табл. <u>1</u>
		8.8	-	35X; 38XA
		10.9	-	40X
В конструкциях, рассчитываемых на выносливость				
Все районы, кроме I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃ *	Растяжение или срез	4.6; 5.6	Поз. 1 и 4	По табл. <u>1</u>
		6.6	То же	35
		8.8	-	35X; 38XA
	Срез	4.8; 5.8	Поз. 1	По табл. <u>1</u>
I ₂ , II ₂ и III ₃	Растяжение или срез	4.6; 5.6	Поз. 1 и 4	По табл. <u>1</u>
		8.8	Поз. 3 и 7	35X; 38XA
	Срез	4.8; 5.8	Поз. 1	По табл. <u>1</u>
		8.8	-	35X; 38XA
I ₁	Растяжение или срез	8.8	Поз. 3 и 7	35X; 38XA
	Срез	4.6; 5.6	Поз. 1 и 4	По табл. <u>1</u>
		4.8* ; 5.8*	Поз. 1	То же
		8.8	-	35X; 38XA

* Требуется дополнительный последующий отпуск при $t = 650$ °С.

** А также для конструкций, возводимых в климатических районах I₁, I₂, II₂ и III₃, но эксплуатируемых в отапливаемых помещениях.

Примечания:

1. Во всех климатических районах, кроме I₁, I₂, II₂ и III₃, в нерасчетных соединениях допускается применять болты с подголовком класса точности С и В по ГОСТ 15590-70* и ГОСТ 7795-70* без дополнительных видов испытаний, предусмотренных в настоящей таблице.

2. При заказе болтов классов прочности 6.6; 8.8; 10.9 по ГОСТ 1759.4-87* необходимо указывать марки стали.

3. При заказе болтов классов прочности 4.8 и 5.8 необходимо указывать, что применение автоматной стали не допускается.

4. Высокопрочные болты по ГОСТ 22356-77* из стали марки 40X «селект» без регулируемого натяжения применяются в тех же конструкциях, что и болты класса прочности 10.9.

Для фланцевых соединений применяются высокопрочные болты М24 и М27 из стали 40Х “селект” исполнения ХЛ с временным сопротивлением не менее 1100 МПа (110 кгс/мм^2), а также гайки высокопрочные и шайбы к ним по ГОСТ 22353-77* – ГОСТ 22356-77*.

Для фланцев элементов стальных конструкций, воспринимающих усилия изгиба и растяжения, применяется листовая сталь по ГОСТ 19903-74* с гарантированными механическими свойствами в направлении толщины проката по ТУ 14-1-4431-88, классов 3–5, марок 14Г2С-15 и 14Г2АФ-15 или по ТУ 14-105-465-89 марки 14Г2АФ-15.

Фланцы могут быть выполнены из других марок низколегированных сталей, предназначенных для строительных стальных конструкций. При этом сталь должна быть 12-й категории; временное сопротивление и относительное сужение стали в направлении толщины проката должны быть $\sigma_{bz} \geq 0,8\sigma_b$, $\psi_z \geq 20 \%$ (где σ_b – нормативное значение временного сопротивления для основного металла, принимаемое по государственным общесоюзным стандартам или техническим условиям).

3.1.3. Область применения болтовых соединений

В строительных стальных конструкциях применяются расчетные соединения на болтах как с контролируемым, так и без контролируемого натяжения. К соединениям с контролируемым натяжением болтов относятся фрикционно-срезные на высокопрочных болтах, при расчете которых учитывается вся совокупность сопротивлений трению, смятию и срезу, и фланцевые, при расчете которых учитываются сопротивления растяжению болтов, а в необходимых случаях и другие сопротивления.

В соединениях без контролируемого натяжения могут использоваться болты различных классов прочности, в том числе и высокопрочные. В расчетах таких соединений учитываются сопротивления растяжению, смятию и срезу без учета сил трения.

Области применения соединений на болтах приведены в табл. 3.2 (табл.52 СНиП). В расчетных соединениях рекомендуется применять болты классов прочности 5.8, 8.8, 10.9 по ГОСТ 7798-70* и высокопрочные болты по ГОСТ 22353-77* и ТУ 14-4-1345–85.

Болты классов прочности 4.6, 4.8, 5.6, 6.6 имеют те же области применения, что и болты класса прочности 5.8. В качестве сборочных для сварных соединений могут применяться болты классов прочности не ниже 4.6 и не выше 8.8.

Болтовые соединения должны отвечать требуемым условиям эксплуатации конструкций зданий и сооружений. С этой точки зрения при проектировании болтовых соединений рассматривают три группы конструкций.

К первой группе относят конструкции и их элементы, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающихся непосредственному воздействию знакопеременных, динамических, вибрационных и подвижных нагрузок (подкрановые балки, подкраново-подстропильные конструкции, балки перекрытий и рабочих площадок и т.д.).

Ко второй группе относят конструкции и их элементы, подвергающиеся воздействию статических нагрузок (балки перекрытий, ригели рам, стыки балок, поясов стропильных и подстропильных ферм на накладках, узлы крепления связей и т.д.).

В третью группу входят вспомогательные конструкции зданий и сооружений (связи, элементы фахверка, лестницы, ограждения и т.д.).

¹ При $\rho < 0$ усилие, меньшее по абсолютной величине, должно восприниматься трением, где $\rho = T_{min}/T_{max}$ (T – сдвигающее усилие от расчетных нагрузок приходящееся

на один болт, воспринимаемое одновременно трением и смятием соединяемых элементов, принимаются в соответствии с п. 3.4).

² Отклонение диаметра и овальность отверстий + 1,0 мм.

Рекомендуемые области применения болтовых соединений приведены в табл. 3.3 [8].

Таблица 3.2

Область применения работающих на сдвиг болтовых соединений

Условия работы соединений	Область применения работающих на сдвиг болтовых соединений ("+" допускается, "-" не допускается)						
	с контролируемым натяжением болтов			без контролируемого натяжения болтов			
	фрикционные на высокопрочных болтах	фрикционно-срезные на высокопрочных болтах ¹					
	Класс прочности болтов (по ГОСТ или ТУ)						
	110; 110ХЛ (ГОСТ 22353-77* ТУ 14-4-1345-85)	110; 110ХЛ (ГОСТ 22353-77*)		110; 110ХЛ (ГОСТ 22353-77*); 10.9; 8.8 (ГОСТ 7798-70*)		5.8 (ГОСТ 7798-70*)	
	Разность номинальных диаметров отверстий и болтов δ , мм						
	1-6	1	3	1	2-3	1	2-3
В конструкциях, непосредственно воспринимающих динамические нагрузки	+	+	-	+	-	+	-
В многоболтовых соединениях конструкций из стали с пределом текучести св. 380 МПа (39 кгс/мм ²)	+	+	-	+	-	-	-
В соединениях, требующих расчета на выносливость	+	+	-	-	-	-	-
В конструкциях, для которых перемещения сдвига в центрах соединений недопустимы, и в болтосварных соединениях	+	-	-	-	-	-	-
В конструкциях, в которых перемещения сдвига в соединениях не ограничены	+	+	+	+	+	+	+
В слабо нагруженных соединениях (связей, фахверка, прогонов и т. д.)	+	+	+	При $\rho > 0$	При $\rho > 0$	При $\rho > 0$	При $\rho > 0$
				При $\rho < 0$	При $\rho > 0$	При $\rho < 0$	При $\rho > 0$

Таблица 3.3

Рекомендуемые области применения болтовых соединений

Тип соединения	Область применения	Класс прочности болтов для соединений (ГОСТы и ТУ)
Фрикционные соединения (с контролируемым натяжением болтов)	Конструкции групп 1–3, для которых по условиям эксплуатации недопустимы остаточные перемещения сдвига	Высокопрочные болты М16, М20, М24 и М27: с минимальным временным сопротивлением 1100 Н/мм ² по ГОСТ 22353-77* и ГОСТ 22356-77* с минимальным временным сопротивлением 1400 Н/мм ² по ТУ 14-4-1414-87 Болты класса прочности 10.9 М16, М20, М24 и М27 по ГОСТ 1759-87*
Срезные (без контролируемого натяжения болтов)	Конструкции групп 2 и 3	Болты классов прочности 5.6, 6.8, 8.8, 10.9 М16, М20, М24 и М27 по ГОСТ 1759-87 Высокопрочные болты с минимальным временным сопротивлением 1100 Н/мм ² М16, М20, М24, М27 по ГОСТ 22353-77* и ГОСТ 22356-77*
Фрикционно-срезные (с контролируемым натяжением болтов)	Конструкции групп 1 и 2. В случае воздействия знакопеременных усилий этот тип соединений следует применять, когда меньше по абсолютной величине усилие может быть воспринято сопротивлением сил трения при расчете соединения согласно п.3.3.3 с введением коэффициента уменьшения начального натяжения болта, равного 0,85	Высокопрочные болты с минимальным временным сопротивлением 1100 Н/мм ² М16, М20, М24 и М27 по ГОСТ 22353-77* и ГОСТ 22356-77* Болты класса прочности 10.9 М16, М20, М24 и М27 по ГОСТ 1759-87
Фланцевые (с контролируемым натяжением болтов)	Конструкции группы 2, а также группы 1, воспринимающие знакопеременные нагрузки, а также многократно действующие подвижные, вибрационные или другого вида нагрузки с количеством циклов не более 10 ⁵ при коэффициенте асимметрии напряжений в соединяемых элементах $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \geq 0,8$	Высокопрочные болты с минимальным временным сопротивлением 1100 Н/мм ² исполнения ХЛ М20, М24 и М27 по ГОСТ 22353-77* и ГОСТ 22356-77*

Примечания. 1. Применение высокопрочных болтов с минимальным временным сопротивлением 1400 Н/мм² по ТУ 14-4-1414-87 для фрикционных соединений допустимо для климатических районов строительства с расчетной температурой минус 40°С и выше. 2. Фланцевые соединения (с контролируемым натяжением болтов) следует применять в конструкциях, возводимых в климатических районах с расчетной температурой минус 40°С и выше. 3. Болты, имеющие по длине ненарезанной части участки с различными диаметрами, допускается применять только во фрикционных соединениях.

3.2. Расчет болтовых соединений

3.2.1. Расчетные характеристики, коэффициенты условий работы

Необходимые для расчета болтовых соединений механические и геометрические характеристики приведены в таблицах 3.4 – 3.9, а также в приложении 3.

Таблица 3.4

Формулы для определения расчетных сопротивлений болтовых соединений

Напряженное состояние	Условные обозначения	Расчетные сопротивления одноболтовых соединений				
		срезу и растяжению болтов классов			смятию соединяемых элементов из стали с пределом текучести до 440 МПа (4500 кгс/см ²)	
		4.6; 5.6; 6.6	4.8; 5.8	8.8; 10.9		
Срез	R_{bs}	$R_{bs} = 0,38 R_{bun}$	$R_{bs} = 0,4 R_{bun}$	$R_{bs} = 0,4 R_{bun}$	-	
Растяжение	R_{bt}	$R_{bt} = 0,42 R_{bun}$	$R_{bt} = 0,4 R_{bun}$	$R_{bt} = 0,5 R_{bun}$	-	
Смятие: а) болты класса точности А б) болты класса точности В и С	R_{bp}	-	-	-	$R_{bp} = \left(0,6 + 410 \frac{R_{un}}{E}\right) R_{un}$ $R_{bp} = \left(0,6 + 340 \frac{R_{un}}{E}\right) R_{un}$	

Примечание. Допускается применять высокопрочные болты без регулируемого натяжения из стали марки 40Х «селект». При этом расчетные сопротивления R_{bs} и R_{bt} определяются как для болтов класса 10.9, а расчетное сопротивление R_{bp} – как для болтов класса точности В и С.

Высокопрочные болты по ТУ 14-4-1345-85 допускается применять только при их работе на растяжение.

Таблица 3.5

Расчетные сопротивления болтов срезу и растяжению

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетное сопротивление, МПа (кгс/см ²), болтов классов						
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8	10.9
Срез	R_{bs}	150 (1500)	160 (1600)	190 (1900)	200 (2000)	230 (2300)	320 (3200)	400 (4000)
Растяжение	R_{bt}	170 (1700)	160 (1600)	210 (2100)	200 (2000)	250 (2500)	400 (4000)	500 (5000)

Таблица 3.6

Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами

Временное сопротивление стали соединяемых элементов, МПа (кгс/мм ²)	Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см ²), смятию элементов, соединяемых болтами	
	класса точности А	классов точности В и С, высокопрочных без регулируемого натяжения
360 (37)	475 (4800)	430 (4350)
365 (37)	485 (4900)	440 (4450)
370 (38)	495 (5100)	450 (4600)
380 (39)	515 (5300)	465 (4800)
390 (40)	535 (5500)	485 (5000)
400 (41)	560 (5750)	505 (5200)
430 (44)	625 (6400)	565 (5800)
440 (45)	650 (6650)	585 (6000)
450 (46)	675 (6900)	605 (6200)
460 (47)	695 (7150)	625 (6400)
470 (48)	720 (7350)	645 (6600)
480 (49)	745 (7600)	670 (6850)
490 (50)	770 (7850)	690 (7050)
500 (51)	795 (8150)	710 (7250)
510 (52)	825 (8400)	735 (7500)
520 (53)	850 (8650)	760 (7750)
530 (54)	875 (8950)	780 (7950)
540 (55)	905 (9200)	805 (8200)
570 (58)	990 (10050)	880 (8950)
590 (60)	1045 (10600)	930 (9450)

Таблица 3.7

Расчетные сопротивления растяжению фундаментных болтов

Диаметр болтов, мм	Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см ²), болтов из стали марок		
	ВСтЗкп2 по ГОСТ 535-88	09Г2С по ГОСТ 19281-73*	10Г2С1 по ГОСТ 19281-73*
12, 16, 20	185 (1900)	235 (2400)	240 (2450)
24, 30	185 (1900)	230 (2350)	235 (2400)
36, 42, 48, 56	185 (1900)	225 (2300)	225 (2300)
64, 72, 80	185 (1900)	220 (2250)	215 (2200)
90, 100	185 (1900)	215 (2200)	215 (2200)

Таблица 3.8

Механические свойства высокопрочных болтов по ГОСТ 22356-77*

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Марка стали по ГОСТ 4543-71*	Наименьшее временное сопротивление $R_{bтн}$, Н / мм ² (кгс/мм ²)
От 16 до 27	40Х «селект»	1100 (110)
	30Х3МФ, 30Х2НМФА	1350 (135)
30	40Х «селект»	950 (95)
	30Х3МФ, 35Х2АФ	1200 (120)
36	40Х «селект»	750 (75)
	30Х3МФ	1100 (110)
42	40Х «селект»	650 (65)
	30Х3МФ	1000 (100)
48	40Х «селект»	600 (60)
	30Х3МФ	900 (90)

Таблица 3.9

Площади сечения болтов (* Болты указанных диаметров применять не рекомендуется)

d , мм	16	18*	20	22*	24	27*	30	36	42	48
A_b , см ²	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn} , см ²	1,57	1,92	2,45	3,03	3,52	4,39	5,60	8,16	11,20	14,72

A_{bn} – площадь сечения «нетто».

Коэффициенты условий работы

При расчете многоболтовых соединений без контролируемого натяжения учитываются коэффициенты условий работы соединений γ_b , γ_{b1} и γ_{b2} , принимаемые в соответствии со следующими рекомендациями [3].

Коэффициент условий работы болтового соединения вычисляется по формуле

$$\gamma_b = \gamma_{b1} \gamma_{b2}. \quad (3.1)$$

При определении расчетного усилия, которое может быть воспринято одним болтом многоболтового соединения при расчете на срез и смятие, для болтов класса точности А $\gamma_{b1} = 1$, для болтов классов точности В и С $\gamma_{b1} = 0,9$. В расчете на смятие соединяемых элементов конструкций из стали с пределом текучести до 380 МПа (3900 кгс/см²) при расстояниях: a (вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия), равном или больше $2d$, и b (между центрами отверстий), равном или больше $2,5d$ (d – диаметр отверстия), коэффициент $\gamma_{b2} = 1$. При расстоянии $a = 1,5d$ в одноболтовом, а также при $a = 1,5d$ и $b = 2d$ в многоболтовом соединении $\gamma_{b2} = 0,85$ [6].

При значениях a , промежуточных между $1,5d$ и $2d$, и b – между $2d$ и $2,5d$ γ_{b2} следует определять линейной интерполяцией. При этом в случае одновременного уменьшения a и b следует принимать меньшее значение γ_{b2} .

Таблица 3.10

Коэффициент условий работы соединения γ_b	
Характеристика соединения	Коэффициент условий работы соединения γ_b
1. Многоболтовое в расчетах на срез и смятие при болтах: класса точности А	1,0
классов точности В и С, высокопрочных с нерегулируемым натяжением	0,9
2. Одноболтовое и многоболтовое в расчете на смятие при $a = 1,5d$ и $b = 2d$ в элементах конструкций из стали с пределом текучести, МПа (кгс/см ²): до 285 (2900)	0,8
св. 285 (2900) до 380 (3900)	0,75

Обозначения, принятые в табл. 3.10:

a – расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия;

b – то же, между центрами отверстий;

d – диаметр отверстия для болта.

Примечания: 1. Коэффициенты, установленные в поз. 1 и 2, следует учитывать одновременно.

2. При значениях расстояний a и b , промежуточных между указанными в поз. 2 и в табл. 39 [1], коэффициент γ_b следует определять линейной интерполяцией.

Пример. Соединение с болтами класса точности В: $\gamma_{b1} = 0,9$; $a = 1,8d$, $\gamma_{b2} = 0,94$; $b = 2,1d$; $\gamma_{b2} = 0,88$.

Принимаем $\gamma_{b2} = 0,88$; $\gamma_b = \gamma_{b1} \gamma_{b2} = 0,9 \times 0,88 = 0,792$.

3.2.2. Расчет болтовых соединений без контролируемого натяжения

При расчете болтовых соединений на действие продольной силы N , проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами принимается равномерным.

Расчетное усилие N_b , которое может быть воспринято одним болтом, определяется по формулам:

$$\text{на срез} \quad N_b = R_{bs} \gamma_b A n_s; \quad (3.2)$$

$$\text{на смятие} \quad N_b = R_{bp} \gamma_b d \Sigma t; \quad (3.3)$$

$$\text{на растяжение} \quad N_b = R_{bt} A_{bn}. \quad (3.4)$$

Обозначения, принятые в формулах (3.2) – (3.4):

R_{bs} , R_{bp} , R_{bt} – расчетные сопротивления болтовых соединений; d – наружный диаметр стержня болта; $A = \pi d^2 / 4$ – расчетная площадь сечения стержня болта; A_{bn} – площадь сечения болта нетто (для болтов с метрической резьбой значение A_{bn} следует принимать по прил. 1 к ГОСТ 22356-77*); Σt – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении; n_s – число расчетных срезов одного болта (рис.3.5); γ_b – коэффициент условий работы соединения, который следует принимать по табл. 3.10.

Расчетное количество n болтов в соединении при действии продольной силы N определяется по формуле

$$n \geq N / \gamma_c N_{\min}, \quad (3.5)$$

где N_{min} – меньшее из значений расчетного усилия для одного болта, вычисленных по формулам (3.2 – 3.4).

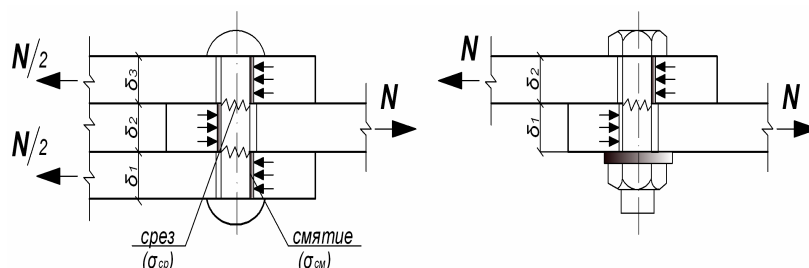


Рис.3.5. Расчетная схема двух – (а) и односрезного – (б) соединений

При действии на соединение момента, вызывающего сдвиг соединяемых элементов, распределение усилий на болты принимается пропорциональным расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого болта (рис. 3.6).

Болты, работающие одновременно на срез и растяжение проверяются отдельно на срез и растяжение. Болты, работающие на срез от действия продольной силы и момента, проверяются на равнодействующее усилие.

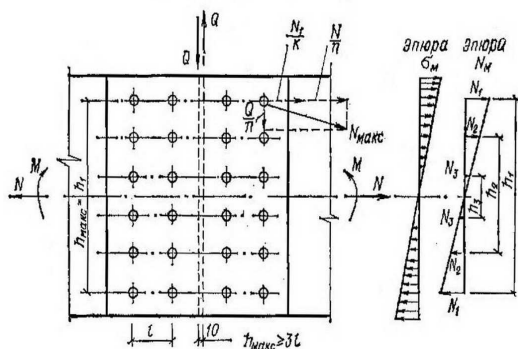


Рис.3.6. Расчетная схема болтового соединения, воспринимающего продольную силу и изгибающий момент.

В креплениях одного элемента к другому через прокладки или иные промежуточные элементы, а также в креплениях с односторонней накладкой, количество болтов должно быть увеличено на 10 %.

Необходимые для расчета болтовых соединений справочные данные приведены в приложении 3.

3.2.3. Расчет болтовых соединений с контролируемым натяжением

Фрикционные соединения на высокопрочных болтах

Проверка прочности сдвигоустойчивого (фрикционного) соединения на высокопрочных болтах (рис.3.1) производится по формуле

$$T \leq Q_{bh} = R_{bh} A_{bn} \mu \gamma_b / \gamma_h, \quad (3.6)$$

где T – сдвигающее усилие от учитываемых расчетных нагрузок, приходящееся на один болтоконтакт, определяемое в предположении равномерного распределения полной сдвигающей силы между болтами. Момент, действующий в плоскости соединения, уравнивается парами сдвигающих усилий, одинаковых по величине и приходящихся на один болт (в предположении прямоугольных эпюр распределения усилий между болтами).

Между элементами стыка или узла усилия распределяются без учета податливости фрикционных соединений и в предположении упругой работы стали;

Q_{bh} – расчетное сдвигающее усилие, которое может быть воспринято каждой контактной поверхностью соединяемых элементов, стянутых одним болтом;

$R_{bh}=0,7R_{bun}$ – расчетное сопротивление высокопрочного болта растяжению при предварительном напряжении с обжатием пакета (R_{bun} – наименьшее временное сопротивление болта разрыву, принимаемое по табл. 3.11);

A_{bn} – площадь сечения болта “нетто”, принимаемая по табл. 3.9 или 62* СНиП П-23-81*. Значения контролируемого усилия натяжения P для высокопрочных болтов из стали 40X “селект” приведены в табл. 3.12;

μ – коэффициент трения, (см. табл.3.13 или табл. 36* СНиП П-23-81*) зависящий от способа обработки (очистки) соединяемых поверхностей. Нормы регламентируют средние статистические (наиболее вероятные) коэффициенты трения. Согласно результатам исследований установлено, что коэффициенты трения не зависят от прочности стали соединяемых элементов.

Таблица 3.11

Нормативные и расчетные сопротивления, Н/мм², растяжению высокопрочных болтов по ГОСТ 22356 из стали марки 40X “селект”

Номинальный диаметр резьбы, мм	R_{bun}	R_{bh}
16, 20, (22), 24, (27)	1100	770
30	950	665
36	750	525
42	650	455
48	600	420

Примечание. Размеры, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

Таблица 3.12

Значения контролируемого усилия натяжения P для высокопрочных болтов из стали 40X “селект”

Номинальный диаметр d_b , мм	16	20	22	24	27
P , кН (тс)	121 (12,1)	189 (18,9)	233 (23,3)	271 (27,1)	353 (35,3)

Для фрикционных соединений допускается обработка контактных поверхностей ротационным способом стальными шариками с коэффициентом трения $\mu = 0,50$, а также пескоструйным, дробеметным или дробеструйным способом одной поверхности, стальными щетками – другой поверхности с коэффициентом трения $\mu = 0,42$;

γ – коэффициент условий работы (табл.3.10), определяемый в соответствии с п. 11.13* СНиП П-23-81* и учитывающий уменьшение сдвигающего усилия, приходящегося на один болт, из-за уменьшения числа болтов в соединении. С уменьшением числа болтов в результате статистического разброса усилий натяжения болтов и коэффициентов трения в зоне плотного контакта увеличивается вероятность снижения сопротивления сдвигу, приходящегося на один болт;

γ_n – коэффициент надежности (принимаемый по табл. 3.13 или 36* СНиП П-23-81*), учитывающий требуемую степень сдвигоустойчивости соединения, а также изменчивость коэффициентов трения и усилий натяжения болтов (в многоболтовых соединениях).

Нормами предусматриваются две степени сдвигоустойчивости соединения – повышенная и нормальная. Требуемая степень сдвигоустойчивости зависит от разности номинальных диаметров отверстий и болтов δ и от характера нагрузок – динамической

или только статической. Повышенная сдвигоустойчивость требуется для $\delta \geq 2$ мм при динамической и $\delta \geq 5$ мм при статической нагрузках, а нормальная сдвигоустойчивость для $\delta \leq 1$ мм при динамической и $\delta \leq 4$ мм при статической нагрузках.

Разность диаметров отверстий и болтов в значительной степени определяет величину смещений в центрах соединений после преодоления сил трения и общих перемещений в конструкции, а также перераспределение усилий в статически неопределимых конструкциях. Небольшие сдвиги могут нарушать геометрию конструкции и строительный подъем, и их следует рассматривать как предельное состояние II группы, характеризующееся затруднениями для нормальной эксплуатации. Значительный сдвиг устанавливает предел эксплуатационной пригодности конструкции и является критерием предельного состояния I группы.

Таблица 3.13

Коэффициенты трения μ и надежности γ_h

Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей	Способ регулирования натяжения болтов	Коэффициент трения μ	Коэффициенты γ_h при нагрузке и при разности номинальных диаметров отверстий и болтов δ , мм	
			динамической и при $\delta = 3-6$; статической и при $\delta = 5-6$	динамической и при $\delta = 1$; статической и при $\delta = 1-4$
1. Дробеметный или дробеструйный поверхности без консервации	По M	0,58	1,35	1,12
	« α	0,58	1,20	1,02
2. То же, с консервацией (металлизацией распылением цинка или алюминия)	« M	0,50	1,35	1,12
	« α	0,50	1,20	1,02
3. Дробью одной поверхности консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком, стальными щетками без консервации - другой поверхности	« M	0,50	1,35	1,12
	« α	0,50	1,20	1,02
4. Газопламенный поверхности без консервации	« M	0,42	1,35	1,12
	« α	0,42	1,20	1,02
5. Стальными щетками поверхностей без консервации	« M	0,35	1,35	1,17
	« α	0,35	1,25	1,06
6. Без обработки	« M	0,25	1,70	1,30
	« α	0,25	1,50	1,20

Примечания. 1. Способ регулирования натяжения болтов по M означает регулирование по моменту закручивания, а по α – по углу поворота гайки.

2. Допускаются другие способы обработки соединяемых поверхностей, обеспечивающие значения коэффициентов трения μ не ниже указанных в таблице.

Повышенная сдвигоустойчивость соединения гарантирует от появления предельного состояния I группы, а соответствующий коэффициент γ_h создает обеспеченность в три стандарта от наступления предельного состояния. Нормальная сдвигоустойчивость соединения гарантирует от предельного состояния II группы, а коэффициент γ_h создает обеспеченность в два стандарта от наступления предельного состояния.

Коэффициенты надежности γ_h зависят от способа регулирования усилия натяжения болтов. При регулировании по углу поворота гайки усилие натяжения болта получается в среднем на 20 % больше усилия P , соответствующего расчетному, т. е. примерно на 10 % больше, чем при регулировании по моменту закручивания. Обрывы болтов при этом исключаются вследствие эффекта саморегулирования. Соответственно при регулировании по углу поворота гайки коэффициент γ_h примерно на 10 % меньше, чем при регулировании по моменту закручивания.

В случае невозможности обеспечения натяжения болтов по углу поворота регулирование усилий допускается производить по моменту закручивания. При этом расчетный момент закручивания должен быть увеличен на 10 %.

Фрикционно-срезные соединения на высокопрочных болтах

Проверку прочности по условию предупреждения среза болтов для фрикционно-срезных соединений на высокопрочных болтах выполняют, как и для соединений на болтах без контролируемого натяжения, по формуле (127) СНиП II-23-81*. При попадании резьбы в плоскость среза в расчете следует учитывать площадь сечения болта “нетто”.

Проверку прочности по условию предупреждения чрезмерных перемещений сдвига и деформаций смятия в соединении выполняют исходя из условия

$$T \leq Q_{bn} = Q_{bh} m_p + \frac{1}{1,3} \alpha \gamma_p N_{bn} \cdot \quad (3.7)$$

Первый член этого условия отвечает трению, второй – смятию.

Расчет основан на использовании деформационных критериев предельного состояния. Способ обработки (очистки) контактных поверхностей принимается, как правило, стальными щетками без консервации, когда коэффициент трения $\mu = 0,35$.

В формуле (3.7):

T – сдвигающее усилие от учитываемых расчетных нагрузок, приходящееся на один болт, воспринимаемое трением и одновременно смятием соединяемых элементов. Между элементами стыка или узла усилия распределяют в предположении упругой работы стали, но с учетом податливости соединений в предельном состоянии;

Q_{bn} – расчетное сдвигающее усилие, воспринимаемое одним болтоконтактом;

Q_{bh} – расчетное сдвигающее усилие, которое может быть воспринято каждой контактной поверхностью соединяемых элементов, стянутых одним болтом;

m_p – коэффициент, учитывающий уменьшение начального натяжения болтов после общего сдвига в соединении и принимаемый по табл. 3.14;

Таблица 3.14

Коэффициент, учитывающий уменьшение начального натяжения болтов

Расчетное сопротивление стали соединяемых элементов, R_y , МПа (кгс/мм ²)	Значения m_p при нагрузке	
	динамической	статической
До 260 (27)	0,90	0,90
Св. 260 (27)	0,85	0,80

α – коэффициент использования нормативного усилия смятия при условии ограничения деформации смятия. Для соединений с предварительной выборкой зазоров $\alpha = 1$, без предварительной выборки α принимается по табл. 3.15;

γ_p – коэффициент условий работы, учитывающий изменение разности номинальных диаметров отверстий и болтов, неравномерность распределения усилий между болтами и принимаемый по табл. 3.15;

Таблица 3.15

Коэффициенты α и γ_p

Коэффициент	Нагрузка	Разность номинальных диаметров δ , мм	Число болтов в соединении		
			1-4	5-9	10 и более
α	Динамическая	1	1,00	1,00	1,00
		3	0,45	0,55	0,60
	Статическая	1	1,00	1,00	1,00
		3	0,60	0,65	0,70
γ_p	Любая	1	0,85	0,95	1,00
		3	0,75	0,90	1,00

N_{bn} – нормативное усилие смятия для рассматриваемого среза болта (болтоконтакта), вызывающее деформацию смятия сдвигаемых элементов, равную нормативной деформации смятия Δ_p , принимаемой равной 1 мм при динамических и 1,5 мм – при статических нагрузках, N_{bn} определяется по табл. 3.16 в зависимости от толщин t_1 и t_2 соединяемых элементов.

Таблица 3.16

Нормативное усилие смятия для рассматриваемого среза болта (болтоконтакта)

t_2 , мм	Значения N_{bn} , кН, для элементов из стали									
	углеродистой					низколегированной				
	при t_1 , мм									
	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25
5	<u>40</u>	<u>50</u>	<u>54</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>48</u>	<u>60</u>	<u>64</u>	<u>65</u>	<u>66</u>
	57	61	62	63	63	65	80	86	89	90
10	<u>50</u>	<u>75</u>	<u>85</u>	<u>89</u>	<u>90</u>	<u>60</u>	<u>86</u>	<u>103</u>	<u>110</u>	<u>112</u>
	61	98	110	114	118	80	115	125	133	137
15	<u>54</u>	<u>85</u>	<u>95</u>	<u>98</u>	<u>100</u>	<u>64</u>	<u>103</u>	<u>115</u>	<u>120</u>	<u>125</u>
	63	110	26	133	140	86	125	145	158	168
20	<u>55</u>	<u>89</u>	<u>98</u>	<u>107</u>	<u>110</u>	<u>65</u>	<u>110</u>	<u>120</u>	<u>135</u>	<u>138</u>
	63	114	133	145	152	89	133	158	175	180
25 и более	<u>55</u>	<u>90</u>	<u>100</u>	<u>110</u>	<u>115</u>	<u>66</u>	<u>112</u>	<u>125</u>	<u>138</u>	<u>140</u>
	63	118	140	152	153	90	137	168	180	182

Примечание. Значения над чертой – при динамической ($\Delta_p = 1$ мм), под чертой – при статической ($\Delta_p = 1,5$ мм) нагрузках. При промежуточных значениях t_1 и t_2 , N_{bn} определяют линейной интерполяцией.

В односрезном соединении t_1 и t_2 равны действительной толщине соединяемых элементов; в двухсрезном соединении t_1 – толщина накладки, t_2 – половина толщины стыкуемого листа.

Фрикционно-срезные соединения на высокопрочных болтах (с контролируемым натяжением), применяемые в конструкциях, в которых перемещения сдвига в соединениях не ограничены, допускается рассчитывать на смятие как соединение на высокопрочных болтах без контролируемого натяжения, если при таком расчете воспринимаемое сдвигающее усилие N_b получается больше, чем при расчете по деформационному критерию.

При расчетной оценке влияния перемещений сдвига в соединениях на распределение усилий в статически неопределимых системах расчетную величину перемещения (сдвига) Δ_s в каждом соединении допускается принимать равной:

для одноболтового соединения

$$\Delta_s = (\delta + 0,5\Delta_p)\alpha, \quad (3.8)$$

для соединения с числом болтов 10 и более

$$\Delta_s = 0,5(\delta + 0,5\Delta_p)\alpha. \quad (3.9)$$

При числе болтов свыше 1 до 10 допускается линейная интерполяция.

Предельные усилия фрикционно-срезных соединений на высокопрочных болтах М24 с $R_{bmin} = 1100$ МПа (110 кгс/мм²) при очистке контактных поверхностей стальными щетками, регулировании натяжения болтов по углу поворота гайки и отсутствии предварительной выборки зазоров приведены в табл.П.3.2 Приложения 3.

Расчет на выносливость

Расчет на выносливость соединений на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением выполняется в соответствии с п. 9.2* СНиП II-23-81*. При этом фрикционные соединения относят к 1-й, фрикционно-срезные соединения на высокопрочных болтах из низколегированной стали – к 2-й, из углеродистой стали – к 3-й группе элементов.

Учет ослаблений

Прочность соединяемых элементов, ослабленных отверстиями под высокопрочные болты в фрикционных соединениях, проверяют в предположении, что 50 % усилия, приходящегося на каждый болт в рассматриваемом сечении, уже передано силами трения:

$$\frac{N}{A_n} \left(1 - 0,5 \frac{n_i}{n} \right) \leq R_y, \quad (3.10)$$

где N – расчетное усилие в элементе; A_n – расчетная площадь сечения элемента, принимаемая в соответствии с п. 11.14 СНиП II-23-81*; n_i – число рабочих болтоконтактов в проверяемом сечении; n – число рабочих болтоконтактов в соединении, равное числу болтов, умноженному на число поверхностей трения; R_y – расчетное сопротивление стали.

Прочность элементов, ослабленных отверстиями во фрикционно-срезных соединениях на высокопрочных болтах и в соединениях без контролируемого натяжения болтов, проверяют с учетом полного ослабления сечений болтовыми отверстиями.

3.2.4. Расчет фланцевых соединений

Материалы по расчету и конструированию фланцевых соединений достаточно подробно изложены в [3, 4, 5, 12 и др.]. В настоящем параграфе содержатся данные, которые можно использовать при проектировании фланцевых соединений элементов открытого профиля (двутавров, тавров, швеллеров и т. п.), подверженных растяжению

и растяжению с изгибом при однозначной эпюре растягивающих напряжений ($\sigma_{min}/\sigma_{max} \geq 0,5$), а также действию местных поперечных усилий.

Фланцевые соединения выполняются только с предварительно напряженными высокопрочными болтами. При этом величина предварительного натяжения болтов B_o для расчетов вычисляется по формуле [12]:

$$B_o = 0,9B_p = 0,9R_{bh}A_{bn}, \quad (3.11)$$

где B_p – расчетное усилие растяжения болта.

При конструировании фланцевых соединений болты должны быть расположены безмоментно относительно центра тяжести сечения соединяемого элемента с учетом неравномерности распределения внешних усилий между болтами наружной и внутренней зон (рис.3.7) в соответствии с табл. 3.17 [4]. Предельное усилие на один болт внутренней зоны следует принимать $N_i = 0,9B_p$.

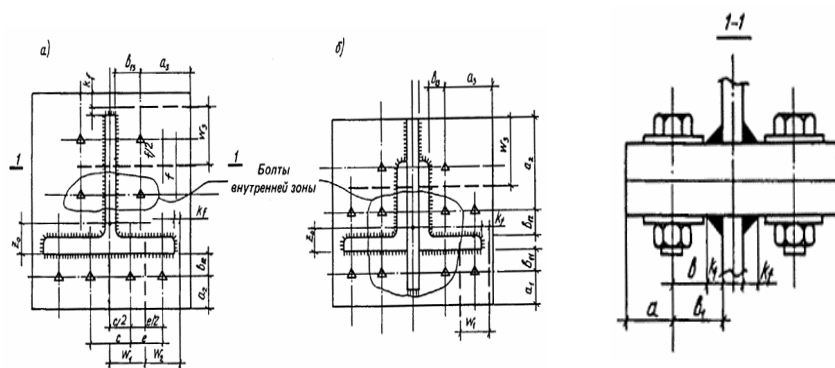


Рис. 3.7. Схема фланцевых соединений стропильных ферм с поясами а – из широкополочных тавров; б – из парных равнополочных уголков.

Таблица 3.17

Неравномерности распределения внешних усилий между болтами наружной и внутренней зон

Диаметр болта	Толщина фланца, мм	Отношение внешнего усилия на один болт внутренней зоны к внешнему усилию на один болт наружной зоны $k = N_i/N_e$
M24	20	2,6
	25	1,8
	30	1,5
	40	1,1
M27	25	2,1
	30	1,7
	40	1,2

Болты следует располагать как можно ближе к элементам присоединяемого профиля, при этом (см. рис. 3.7):

$$k_f + d_s/2 + 2 \leq b_l \leq 3,5d, \text{ мм}; \quad a \geq 0,8 d_s; \quad w \leq 4b, \quad (3.12)$$

где d_s – наружный диаметр шайбы, мм; d - наружный диаметр стержня болта, мм.

Число болтов внутренней зоны определяет конструктивная форма соединения, а наружной зоны - предварительно назначается из условия

$$n_e \geq k \left(\frac{N}{N_i} - n_i \right), \quad (3.13)$$

где n_e, n_i – число болтов соответственно наружной и внутренней зон; N – внешнее усилие на фланцевое соединение.

Фланцевые соединения растянутых элементов конструкций проверяют расчетом на прочность:

- болтов;
- фланцев на изгиб;
- соединения при воздействии поперечных усилий;
- сварного соединения фланца с профилем.

Прочность фланца и болтов, относящихся к внутренней зоне, считается обеспеченной, если толщина фланца находится в пределах от 20 до 40 мм, болты расположены в соответствии с рис.3.7 (формула 3.17), а нагрузка на болт от действия внешних усилий не превышает величины, равной $0,9B_p$.

При расчете на прочность болтов и фланца, относящихся к наружной зоне, выделяют участки фланца, которые рассматривают как Т-образные фланцевые соединения шириной w (см. рис. 3.7).

Прочность соединения следует считать обеспеченной, если

$$N \leq n_i N_i + \sum_{j=1}^{n_e} N_j, \quad (3.14)$$

где N_j – расчетное усилие на j -й болт наружной зоны, равное

$$N_j = \min(N_{bj}, N_{fj}), \quad (3.15)$$

здесь N_{bj} – расчетное усилие на j -й болт, определяемое из условия прочности соединения по болтам

$$N_{bj} = (\alpha - \beta l g X_j) B_p, \quad (3.16)$$

α, β – коэффициенты, принимаемые по табл. 3.18; X_j – параметр жесткости болта, определяемый по формуле

$$X_j = \frac{d^2}{w_j \left(t + \frac{d}{2} \right)} \left(\frac{b_j}{t} \right)^3; \quad (3.17)$$

b_j – расстояние от оси j -го болта до края сварного шва; w_j – ширина j -го участка фланца (см. рис. 3.7); t – толщина фланца;

Таблица 3.18

Коэффициенты α и β

Отношение толщины фланца к диаметру болта t/d	Коэффициенты	
	α	β
0,83	0,336	0,207
1,04	0,388	0,257
1,25	0,425	0,278
1,46	0,470	0,270
1,67	0,527	0,239

N_{fj} – расчетное усилие на j -й болт, определяемое из условия прочности фланца на изгиб:

$$N_{fj} = 1,3 \frac{1 + 1/\gamma_i}{\mu_i} B_p, \quad (3.18)$$

μ_i – параметр, определяемый по формуле

$$\mu_j = \frac{5,4B_p b_j}{R_y w_j t^2}, \quad (3.19)$$

γ_j – параметр, определяемый по табл. 3.19 или из уравнения:

$$1,4X_j(\gamma_j - 1)^3 - \gamma_j^2 + \mu_j \gamma_j(\gamma_j - 1) = 0,$$

R_y – расчетное сопротивление стали фланца.

Таблица 3.19

Параметр жесткости болта X	Параметр γ									
	Значения γ при μ , равном									
	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	4,0	5,0
0,02	3,252	2,593	2,221	1,986	1,826	1,710	1,586	1,499	1,333	1,250
0,06	2,960	2,481	2,171	1,962	1,812	1,702	1,582	1,497	1,333	1,250
0,1	2,782	2,398	2,130	1,939	1,799	1,694	1,578	1,494	1,332	1,249
0,5	2,186	2,036	1,908	1,776	1,711	1,636	1,545	1,475	1,327	1,248
1,0	1,949	1,860	1,780	1,707	1,643	1,586	1,514	1,454	1,321	1,246
2,0	1,757	1,704	1,653	1,607	1,564	1,524	1,470	1,424	1,312	1,242
3,0	1,660	1,621	1,584	1,548	1,515	1,483	1,440	1,402	1,303	1,238
4,0	1,599	1,568	1,537	1,508	1,480	1,454	1,417	1,384	1,296	1,235
5,0	1,555	1,529	1,503	1,478	1,454	1,431	1,399	1,370	1,289	1,232
6,0	1,522	1,498	1,476	1,454	1,433	1,413	1,384	1,357	1,283	1,230
8,0	1,473	1,454	1,436	1,418	1,401	1,384	1,360	1,337	1,273	1,224
10	1,438	1,422	1,406	1,391	1,377	1,362	1,341	1,322	1,264	1,219
15	1,381	1,369	1,358	1,346	1,335	1,324	1,308	1,293	1,247	1,210

Прочность фланцевого соединения на действие местной поперечной силы проверяется по формуле

$$Q_{loc} \leq \mu \sum_{j=1}^n R_j, \quad (3.20)$$

где n – число болтов наружной зоны для фланцевых соединений элементов открытого профиля или общее число болтов для соединений элементов замкнутого профиля; R_j – контактные усилия, принимаемые равными $0,1B_o$ для фланцевых соединений элементов замкнутого профиля, а для элементов открытого профиля, определяемые по формуле

$$R_j = B_p - 1,2N_{bj}; \quad (3.21)$$

μ – коэффициент трения соединяемых поверхностей фланцев, принимаемый в соответствии с указаниями п. 11.13 СНиП II-23-81*.

При отсутствии местной поперечной силы в расчет вводится условное значение

$$Q_{loc} = 0,1\mu N.$$

Расчет сварного соединения фланца с профилем производится в соответствии с рекомендациями раздела 3 настоящего пособия.

3.3. Конструирование болтовых соединений

Отверстия под болты в деталях стальных конструкций выполняются согласно требованиям СНиП по правилам производства и приемки работ для металлических конструкций.

Болты класса точности А применяются для соединений, в которых отверстия просверлены на проектный диаметр в собранных элементах либо по кондукторам в отдельных элементах и деталях, просверлены или продавлены на меньший диаметр в отдельных деталях с последующим рассверливанием до проектного диаметра в собранных элементах.

Болты класса точности В и С в многоболтовых соединениях рекомендуется применять для конструкций, изготавливаемых из стали с пределом текучести до 380 МПа (3900 кгс/см²).

Элементы в узле допускается крепить одним болтом.

Болты, имеющие по длине не нарезанной части участки с различными диаметрами, не допускается применять в соединениях, в которых эти болты работают на срез.

Под гайки болтов устанавливаются круглые шайбы по ГОСТ 11371-78*; под гайки и головки высокопрочных болтов шайбы по ГОСТ 22355-77*. Для высокопрочных болтов по ГОСТ 22353-77* с увеличенными размерами головок и гаек и при разности номинальных диаметров отверстия и болта, не превышающей 3 мм, а в конструкциях, изготовленных из стали с временным сопротивлением не ниже 440 МПа (4500 кгс/см²), не превышающей 4 мм, допускается установка одной шайбы под гайку.

Резьба болта, воспринимающего сдвигающее усилие, не должна находиться на глубине более половины толщины элемента, прилегающего к гайке, или свыше 5 мм, кроме структурных конструкций, опор линий электропередачи и открытых распределительных устройств и линий контактных сетей транспорта, где резьба должна находиться вне пакета соединяемых элементов.

Болты (в том числе высокопрочные) следует размещать в соответствии с табл. 3.20.

Таблица 3.20

Размещение болтов в соединении

Характеристика расстояния	Расстояния при размещении болтов
1. Расстояния между центрами болтов в любом направлении:	
а) минимальное	2,5 <i>d</i> *
б) максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии	8 <i>d</i> или 12 <i>t</i>
в) максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:	
при растяжении	16 <i>d</i> или 24 <i>t</i>
при сжатии	12 <i>d</i> или 18 <i>t</i>
2. Расстояния от центра болта до края элемента:	
а) минимальное вдоль усилия	2 <i>d</i>
б) то же, поперек усилия:	
при обрезных кромках	1,5 <i>d</i>
при прокатных	1,2 <i>d</i>
в) максимальное	4 <i>d</i> или 8 <i>t</i>
г) минимальное для высокопрочных болтов при любой кромке и любом направлении усилия	1,3 <i>d</i>

* В соединяемых элементах из стали с пределом текучести свыше 380 МПа (3900 кгс/см²) минимальное расстояние между болтами следует принимать равным 3*d*.

Обозначения, принятые в табл.3.20:

d – диаметр отверстия для болта;

t – толщина наиболее тонкого наружного элемента.

Примечание. В соединяемых элементах из стали с пределом текучести до 380 МПа (3900 кгс/см²) допускается уменьшение расстояния от центра болта до края

элемента вдоль усилия и минимального расстояния между центрами болтов в случаях расчета с учетом соответствующих коэффициентов условий работы соединений согласно табл.3.10 и п.п. 11.7* и 15.14*[1].

Соединительные болты должны размещаться, как правило, на максимальных расстояниях; в стыках и узлах следует размещать болты на минимальных расстояниях.

При размещении болтов в шахматном порядке расстояние между их центрами вдоль усилия следует принимать не менее $a + 1,5d$, где a – расстояние между рядами поперек усилия, d – диаметр отверстия для болта. При таком размещении сечение элемента A_n определяется с учетом ослабления его отверстиями, расположенными только в одном сечении поперек усилия (не по «зигзагу»).

При прикреплении уголка одной полкой отверстие, наиболее удаленное от его конца, следует размещать на риске, ближайшей к обушке.

В соединениях с болтами классов точности А, В и С (за исключением крепления второстепенных конструкций и соединений на высокопрочных болтах) должны быть предусмотрены меры против развинчивания гаек (постановка пружинных шайб или контргаек).

Примеры расчета болтовых соединений

Пример 3.1. Рассчитать и законструировать стык двух полос сечением 400x16 мм из стали марки 10Г2С1 ($R_y = 320$ МПа, $R_m = 480$ МПа), воспринимающих растягивающее усилие $P = 1600$ кН, на болтах нормальной точности. Коэффициенты условий работы $y_b = 0,9$ (см. табл.3.10), $y_c = 1$.

Стык проектируем симметричным с двусторонними накладками сечением 400x10 мм из стали марки 10Г2С1. Принимаем болты диаметром 20 мм ($A=3,14$ см²) из стали класса прочности 5.6 ($R_{bs} = 190$ МПа, $R_{bp} = 555$ МПа).

Несущая способность болта на срез при $n_s = 2$ (см. формулу 3.2):

$$N_b = 190 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9 \cdot 3,14 \cdot 2 = 107,4 \text{ кН.}$$

Несущая способность болта из условия смятия (см. формулу 3.3):

$$N_b = 555 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9 \cdot 3,14 \cdot 1,16 = 251 \text{ кН.}$$

Так как несущая способность болта по смятию больше, то расчет ведем по срезу. Требуемое количество болтов (см. формулу 3.5):

$$n \geq \frac{P}{y_c N_b} = \frac{1600}{1 \cdot 107,4} = 14,9 \text{ шт.}$$

Принимаем три ряда по пять болтов на полунакладке. Несущая способность листа ослаблена отверстиями диаметром 23 мм:

$$N = 1,6(40 - 5 \cdot 2,3) \cdot 320 \cdot 10^{-1} = 1460 \text{ кН} < 1600 \text{ кН.}$$

Для ослабленный отверстиями лист не может выдержать усилие 1600 кН, то принимаем пять рядов по три болта на полунакладке. Несущая способность листа:

$$N = 1,6(40 - 3 \cdot 2,3) \cdot 320 \cdot 10^{-1} = 1695 \text{ кН} > 1600 \text{ кН.}$$

Для уменьшения размеров накладки болты располагаем в шахматном порядке. В соответствии с конструктивными требованиями (см. табл. 3.20) назначаем расстояния вдоль усилия 50 мм $> 2d$, поперек усилия 60 мм $> 1,5d$; между центрами болтов поперек усилия:

$$(a + 1,5d) = (70 + 1,5 \cdot 23) = 104,5 \text{ мм.}$$

Принимаем 110 мм. Конструкция соединения показана на рис. 3.8.

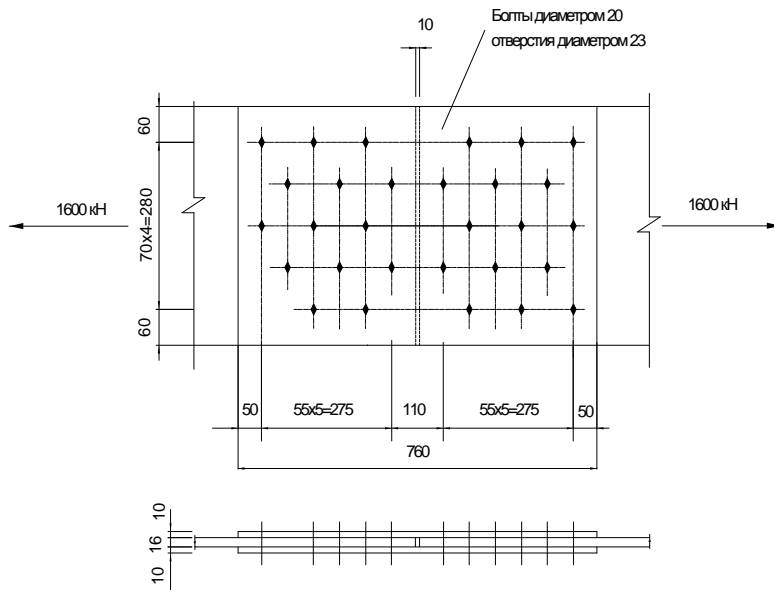


Рис. 3.8. К примеру 3.1.

Пример 3.2.

Рассчитать соединение из примера 3.1 на высокопрочных болтах диаметром 20 мм ($A_{bn} = 2,45 \text{ см}^2$) из стали 40Х «селект» ($R_{bn} = 110$ МПа).

Принимаем обработку поверхности газопламенным способом без консервации: $\mu = 0,42$ (табл. 3.13); контроль натяжения болта – по

моменту закручивания; $y_n = 1,12$ при разности диаметров отверстия и болта 3 мм.

Расчетное сопротивление высокопрочного болта растяжению (см. табл.3.11):

$$R_{bh} = 0,7 \cdot 1100 = 770 \text{ МПа.}$$

Несущая способность болта при двух поверхностях трения и $y_b = 1$:

$$Q_{bn} = 2 \cdot 770 \cdot 10^{-1} \cdot 2,45 \cdot 0,42 / 1,12 = 141,5 \text{ кН.}$$

Необходимое число болтов на полунакладке при $y_c = 1$:

$$n \geq \frac{P}{y_c Q_{bn}} = \frac{1600}{1 \cdot 141,5} = 11,3 \text{ шт.}$$

Принимаем 12 болтов, расположенных в три ряда по четыре болта см. рис. 3.9.

Проверим прочность листа в месте ослабления по формуле

$$A_n = 1,6(40 - 3 \cdot 2,3) = 52,96 \text{ см}^2 < 0,85 A = 0,85 \cdot 1,6 \cdot 40 = 54,4 \text{ см}^2.$$

Принимаем $A = A_c = 1,18 A_n = 1,18 \cdot 52,96 = 62,5 \text{ см}^2$

$$\sigma = \frac{P}{A} - (1 - 0,5 \frac{n_i}{n}) = \frac{1600 \cdot 10^{-1}}{62,5} (1 - 0,5 \cdot \frac{3}{12}) = 224 \text{ МПа} < R_y y_c = 320 \text{ МПа.}$$

Количество болтов в соединении уменьшилось по сравнению с приведенными в примере 3.1 на три, длина накладке – на 250 мм (см. рис.3.9).

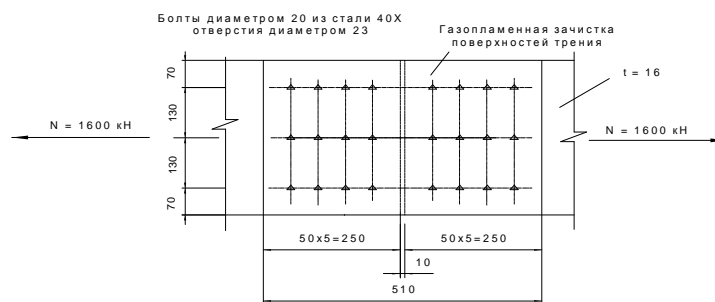


Рис. 3.9. К примеру 3.2.

Пример 3.3. Рассчитать присоединение консоли из двух швеллеров № 40 из стали марки ВСт3кп2 ($R_{yn} = 235$ МПа) к колонне (размер полки 400x20мм) на болтах нормальной точности.

К консоли приложена сила 80 кН на расстоянии 600 мм от оси колонны.

Изгибающий момент в консоли $M = 80 \cdot 0,6 = 48$ кНм. Приходящаяся на один швеллер поперечная сила N' и изгибающий момент M' соответственно равны $N' = 80/2 = 40$ кН; $M' = 48/2 = 24$ кНм.

Рекомендуемый диаметр отверстия в стенке швеллера 25 мм, т.е под болт диаметром 22 мм. Поскольку применение болтов этого диаметра не рекомендуется, принимаем болты диаметром 20 мм ($A = 3,14$ см²) стали класса 4,6 ($R_{bs} = 150$ МПа, $R_{bp} = 365$ МПа). Коэффициент условий работы $\gamma_b = 0,9$.

Несущая способность одного болта из условий среза ($n_s = 1$) и смятия:

$$N_b^{cp} = 150 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9 \cdot 3,14 \cdot 1 = 42,4 \text{ кН.}$$

$$N_b^{cm} = 365 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot 0,8 = 52,8 \text{ кН.}$$

Толщина стенки швеллера № 40 – $t_w = 0,8$ см. Расчетным является срез болта. Конструкция соединения с учетом расположения рисок швеллера приведена на рис.

3.10.

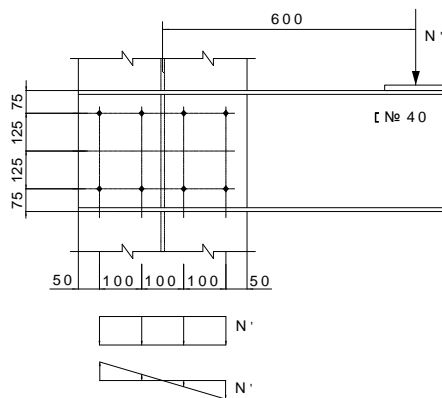


Рис. 3.10. К примеру 3.3

Общее количество болтов 8, количество рядов 2. Усилие, приходящееся на крайний болт, рассчитываем по формуле

$$N = \frac{40}{8} + \frac{2400 \cdot 30}{2(10^2 + 30^2)} = 41 \text{ кН} < 42,4 \text{ кН.}$$

Здесь принята сумма усилий от момента и поперечной силы, так как направление напряжений от этих силовых воздействий совпадают.

Глава 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ

К специальным видам соединений стальных строительных конструкций относятся дюбельные, на самонарезающих, самосверлящих болтах и комбинированных заклепках. Последний вид соединений встречается довольно редко и в настоящем пособии не рассматривается.

4.1. Соединения на дюбелях

4.1.1. Характеристика дюбельных соединений

Дюбель (дюбель-гвоздь) – специальная крепежная деталь с высокой конической головкой и рельефным стержнем, предназначенная для соединения элементов строительных металлических конструкций.

Соединение на дюбелях (рис.4.1) – жесткое крепление элементов в строительных металлических конструкциях, выполненное способом пристрелки пороховыми пистолетами или ударами пневмоимпульсного молотка. Для этой операции требуется энергия порядка 1 кДж. Толщина опорных элементов (t_0) в таких соединениях может быть от 4 до 20 мм, а минимальная толщина отдельного присоединяемого элемента (t) – 0,5 мм.

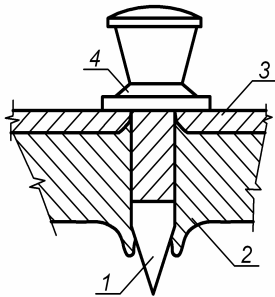


Рис. 4.1. Общий вид соединения на дюбелях:

1 – дюбель; 2 – опорный элемент;
3 – прикрепляемый элемент; 4 – шайба.

Дюбельные соединения рекомендуется применять при проектировании конструкций из стали с нормативным временным сопротивлением от 355 до 590 МПа (от 36 до 60 кгс/мм²), работающих в условиях статического нагружения и эксплуатируемых в районах с расчетной температурой до минус 65 °С.

Применение несущих конструкций с дюбельными соединениями без специального обоснования не допускается в сейсмических районах, а также в сильноагрессивных средах.

4.1.2. Материалы и расчетные характеристики дюбельных соединений

Для дюбельных соединений применяются дюбели по ТУ 14-4-1434-87, механические свойства которых приведены в табл.4.1 [3].

Таблица 4.1

Механические характеристики дюбелей

Номинальный диаметр стержня дюбеля d , мм	Марка стали	Технические условия	Нормативное временное сопротивление R_{dun} , МПа (кгс/мм ²)
4,5	70К-ПВ 70ПВ 70	ТУ 14-1-3747-86 ТУ 14-1-3746-86 ТУ 14-1-1881-76	2000 (205)

Суммарная толщина присоединяемых элементов t в зависимости от толщины опорного элемента t_0 и нормативного временного сопротивления стали R_{dun} опорного элемента не должна превышать значений, приведенных в табл. 2. Минимальная толщина отдельно присоединяемого элемента равна 0,5 мм.

Таблица 4.2

Толщина элементов, соединяемых дюбелями

Толщина опорного элемента t_0 , мм	Суммарная толщина присоединяемых элементов t , мм, при R_{dun} , МПа (кгс/мм ²)				
	до 370 (38)	св. 370 (38) до 430 (44)	св. 430 (44) до 450 (46)	св. 450 (46) до 510 (52)	св. 510 (52) до 590 (60)
От 4 до 6	4	4	4	4	4
Св. 6 " 8	6	6	4	4	4
" 8 " 10	6	4	4	4	4
" 10 " 12	4	4	4	4	-
" 12 " 16	4	4	4	4	-
" 16 " 20	4	4	4	-	-

Расчетные сопротивления дюбельных соединений принимаются по табл.4.3.

Таблица 4.3

Расчетные сопротивления элементов, соединяемых одним дюбелем

Напряженное состояние элементов соединения		Ограничение значения толщины присоединяемых элементов, мм	Условное обозначение	Расчетное сопротивление
Срез стержня дюбеля		$t \geq 1,5$	R_{ds}	$0,5R_{dun}$
Смятие присоединяемых элементов		$0,5 \leq t < 1,5$	R_{dp}	$2,0R_{un}$
Растяжение	Отрыв присоединяемых элементов	Нет	R_{dt1}	$0,3R_{un}$
	Выдергивание дюбеля из опорного элемента	Нет	R_{dt2}	$0,3R_{oun}$

4.1.3. Расчет и конструирование соединений на дюбелях

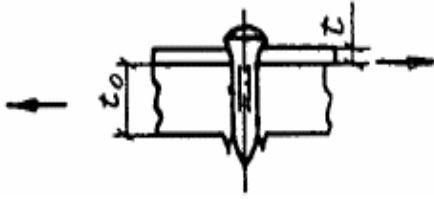


Рис.4.2. Расчетная схема дюбельного соединения при срезе и смятии.

В дюбельных соединениях при действии продольной силы N , проходящей через центр тяжести соединения, распределение ее между дюбелями принимается равномерным.

Расчетные усилия N_d , которые могут быть восприняты одним дюбелем, следует определять по формулам:

$$\text{на срез} \quad N_d = R_{ds} A_d n_s \gamma_i \gamma; \quad (4.1)$$

$$\text{на смятие} \quad N_d = R_{dp} d t \gamma_i; \quad (4.2)$$

$$\text{на отрыв} \quad N_d = R_{dt1} A_1; \quad (4.3)$$

$$\text{на выдергивание} \quad N_d = R_{dt2} A_2. \quad (4.4)$$

В формулах (4.1) – (4.4):

$A_d = \pi d^2 / 4$ – расчетная площадь сечения дюбеля; n_s – число расчетных срезов одного дюбеля; $A_1 = \pi D t$ – расчетная площадь отрыва присоединяемых элементов; D – диаметр шайбы; $A_2 = \pi D t_{oe}$ – расчетная площадь при выдергивании дюбеля;

t_{oe} – эффективная толщина опорного элемента, определяемая по формулам:

$$\left. \begin{aligned} t_{oe} &= 0,6t_o \text{ при } 4 \leq t_o \leq 10 \text{ мм;} \\ t_{oe} &= 0,9 - 0,3t_o \text{ при } 10 < t_o \leq 20 \text{ мм;} \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

γ_i – коэффициент, учитывающий вероятность потери несущей способности соединения по смятию, определяемый по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_i &= 1,0 \text{ при } t \geq 3,0; \\ \gamma_i &= 1 - 2(1 - N_{dp} / N_{ds})(1 - t/3) \\ &\text{при } 1,5 \leq t < 3,0; \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

γ_i – коэффициент, учитывающий тип соединения, определяемый по табл. 4.4.

Число дюбелей n_d в соединении при действии силы N определяется из условия

$$n_d \geq N / N_{min}, \quad (4.7)$$

где N_{min} – минимальное значение расчетного усилия для одного дюбеля, вычисленное по формулам 4.1 – 4.4.

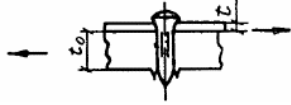
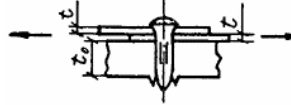
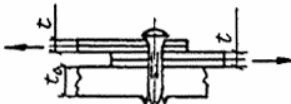
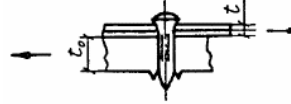
При действии на соединение момента, вызывающего сдвиг соединяемых элементов, распределение усилий на дюбели принимается пропорциональным расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого дюбеля.

Дюбели, работающие одновременно на сдвиг и растяжение, проверяются на равнодействующее усилие.

Расчетные сечения элементов при соединении их дюбелями определяются без учета отверстий, образуемых дюбелями.

Минимальные расстояния от центра дюбеля до края элемента и между центрами дюбелей независимо от направления усилий принимаются равными $2d$.

Таблица 4.4

Коэффициент, учитывающий тип соединения		
Тип соединения		
Коэффициент γ	1,0	0,8
Тип соединения		
Коэффициент γ	0,7	0,6

4.2. Соединения на самосверлящих самонарезающих винтах

4.2.1. Характеристика соединений

Соединение на самосверлящих, самонарезающих винтах – жесткое крепление элементов в строительных металлоконструкциях выполненное способом ввинчивания (рис.4.3).

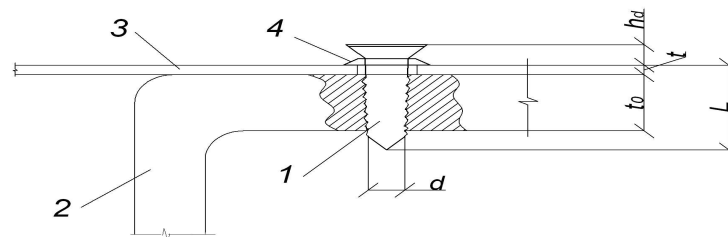


Рис.4.3. Соединение на самонарезающих, самосверлящих винтах: 1 – винт; 2, 3 – соединяемые элементы; 4 – шайба.

4.2.2. Метизы и расчетные характеристики материалов соединений

Основными метизами для расчетных соединений тонкостенных стальных профилей между собой и с ограждающими конструкциями являются самосверлящие, самонарезающие винты диаметром от 4,2 до 6,3 мм (рис.4.4) по ТУ 34-5815-70, а также поставляемые различными зарубежными фирмами (например, «SFS», «HILTI» и др.), (рис. 4.4) [14].



Рис.4.4. Самонарезающие самосверлящие винты.

Винты отличаются от обычных болтов и дюбелей наличием резьбы специального профиля на всей длине стержня, которая служит для завинчивания винта в заранее

образованные отверстия соединяемых деталей (в случае значительной толщины одного из соединяемых элементов). Если соединяются тонкостенные элементы, то используются специальные самосверлящие болты с наконечником. Материалом для винтов служит сталь Ст10кп, а также другие термоупрочненные стали. Применяются такие винты в основном для прикрепления профилированного настила к прогонам и элементам фахверка. В последние годы этот вид соединений широко применяется в узлах тонкостенных конструкций быстровозводимых зданий. Преимуществом соединений на самонарезающих винтах является возможность доступа к соединяемым элементам только с одной стороны.

Самосверлящие, самонарезающие винты (ССВ) должны соответствовать требованиям DIN 7504, выполняться методом холодной высадки на автоматах с последующей накаткой резьбы и после закалки и отпуска иметь твердость на поверхности и в сердцевине не менее 560 и 270HV (по Викерсу) и временное сопротивление не менее 50 кН/см².

Винты и другие метизы для крепления тонкостенных профилей должны иметь цинковое или кадмиевое покрытие толщиной не менее 10 мкм. Расчетные характеристики соединений профилей на самосверлящих, самонарезающих винтах (ССВ) в зависимости от толщины соединяемых элементов приводятся в таблицах 4.5 и 4.6 [14].

Таблица 4.5

Расчетные сопротивления одновинтового соединения профилей на выдергивание

Диаметр винта, мм	Шаг нарезки винта, мм	Расчётное сопротивление (кгс) при толщине профилей (мм)		
		1,0	1,5	2,0
4,2	1,4	72	108	144
4,8	1,6	82	123	164
5,5	1,8	95	142	190
6,3	2,5	112	168	224

Таблица 4.6

Расчетные сопротивления одновинтовых соединений профилей на срез (смятие)

Диаметр винта, мм	Расчетное сопротивление (кгс) при толщине профилей (мм)		
	1,0	1,5	2,0
4,2	180	270	360
4,8	190	285	380
5,5	205	307	410
6,3	225	337	450

Примечание: Значения сопротивлений, приведенные в таблицах 4.5 и 4.6, получены с учетом результатов испытаний [18].

4.2.3. Расчет и конструирование соединений на самосверлящих самонарезающих винтах

В винтовых соединениях профилей, также как в соединениях на дюбелях, распределение продольной силы N , проходящей через центр тяжести соединения, между метизами крепления принимается равномерным.

Соединения профилей на ССВ рассчитываются на срез, продавливание и выдергивание (отрыв).

Предельное срезающее усилие N_e , которое может быть воспринято одним винтом ССВ, рекомендуется определять по формуле

$$N_e = 0,8 \cdot a R_u \cdot d \cdot t, \quad (4.8)$$

где $a = 3.2\sqrt{t/d}$, t и d – толщина более тонкого из соединяемых профилей и диаметр винта; R_u – расчетное сопротивление стали профиля.

Предельное усилие N_p , которое может быть воспринято одним винтом ССВ, при растяжении рекомендуется определять по формулам:

на продавливание:

- при статической нагрузке $N_{pc} = 0,8 d_{uu} t R_u;$ (4.9)

- при повторной (ветровой) нагрузке $N_{pn} = 0,4 d_{uu} t R_u;$ (4.10)

при выдергивании (отрыв): $N_{pB} = 0,5 d_{uu} t R_u,$ (4.11)

где t – толщина более толстого из соединяемых профилей; d_{uu} – диаметр пресс-шайбы винта.

Расчетное количество n винтов в соединении при действии продольной силы N следует определять по формуле

$$n \leq \frac{N}{0.8 N_{\min}}, \quad (4.12)$$

где N_{\min} – меньшее из значений расчетного усилия для одного винта, вычисленных по формулам (4.9) – (4.11).

При действии на соединение момента, вызывающего сдвиг соединяемых профилей, распределение усилия на винты принимается пропорциональным расстоянию от центра тяжести соединения до рассматриваемого винта.

Винты, работающие одновременно на срез и растяжение, проверяются отдельно на срез и растяжение.

В креплениях одного профиля к другому через фасонки, прокладки или другие промежуточные элементы, а также в креплениях с односторонней накладкой, количество винтов должно быть увеличено на 15% по сравнению с расчетным.

Шаг винтов, соединяющих профили в единый элемент, определяется по условной поперечной силе Q_y , которая принимается постоянной по всей длине элемента и определяется по формуле [14]:

$$Q_y = 7.15 \times 10^{-6} \left(2330 - \frac{E}{R_y} \right) \frac{N}{\varphi}. \quad (4.13)$$

Сдвигающее усилие на 1 см длины элемента равно

$$T = \frac{Q S_{II}}{I_x}, \quad (4.14)$$

где S_{II} – статический момент профиля относительно нейтральной оси X-X сечения сжатого элемента.

Шаг винтов, соединяющих профили, равен

$$a \leq \frac{[N] \cdot e}{T} 0.8, \quad (4.15)$$

где $[N] \cdot e$ – предельное допустимое усилие на один винт по срезу или смятию (см. табл. 4.5 и 4.6 или результаты расчета по формулам (4.9) – (4.11)).

Прочность соединений элементов из профилей с опорными элементами при совместном действии среза и растяжения (отрыва) проверяется по формуле:

$$\left(\frac{\sqrt{N_x^2 + N_y^2}}{[N_1]} \right)^2 + \left(\frac{P}{[P_1]} \right)^2 \leq 1, \quad (4.16)$$

где N_x и N_y – расчетные срезающие усилия на один винт, направленные параллельно главным осям поперечного сечения; P – расчетное растягивающее (отрывающее) усилие на один винт; $[N_1]$ и $[P_1]$ – допускаемые усилия на один винт при срезе и растяжении, соответственно определяемые экспериментальным путем (см. табл. 4.5 – 4.6).

Прочность соединений элементов из профилей на опорах проверяется по формуле:

$$N \leq m \cdot n \cdot [N_1], \quad (4.17)$$

где $\gamma_c \cdot e = 0,8$ – коэффициент условия работы соединений на самонарезающих винтах.

Пример расчета

Рассчитать узел крепления между собой профилей верхнего и нижнего поясов треугольной стропильной фермы из тонкостенных гнутых профилей (рис. 4.5). Усилие $N=6400$ кН, диаметр винтов – 6,3 мм, толщина соединяемых элементов – 1,5 мм.

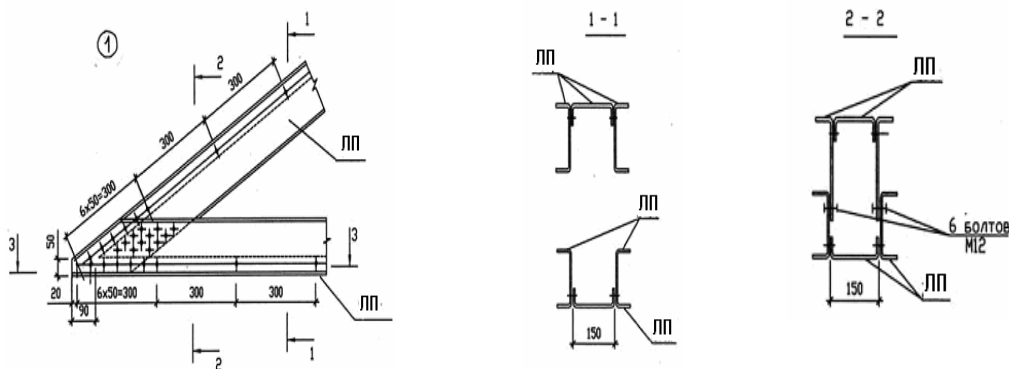
Требуемое количество винтов в узлах крепления элементов фермы определяем по формуле (4.12):

$$n > N / (0,8 \cdot N_{min}),$$

N_{min} – расчетное сопротивление одновинтового соединения профилей из стали толщиной 1,5 мм на срез при диаметре винта 6.3 мм принимаем по табл. 4.6 – $N_{min}=337$ кгс.

Тогда требуемое количество винтов для этого узла $n > 6400 / (0,8 \cdot 337) = 23,7$ шт., т.е. по 12 винтов для крепления каждой ветви.

Рис.4.5. Узел крепления тонкостенных гнутых профилей поясов треугольной стропильной фермы на самонарезающих, самосверлящих винтах.



Контрольные вопросы

1. Какие способы сварки применяются в строительстве?
2. Виды и классификация сварных швов и соединений.
3. Какие требования предъявляются к сварным швам и соединениям?
4. Что является расчетными характеристиками металла сварных соединений и швов?
5. Перечислите порядок расчета и конструирования соединений стыковыми швами.
6. Назовите порядок расчета и конструирования соединений, выполненных угловыми швами.
7. Какие сварные швы называют лобовыми и фланговыми?
8. Как назначается катет угловых сварных швов?
9. Как производится автоматическая и полуавтоматическая сварка?
10. Как выбирается тип электрода?
11. Каковы особенности расчета и конструирования сварных соединений «в угол» и «в тавр»?
12. Что такое комбинированное соединение и где оно применяется?
13. В каких конструкциях применяется электрошлаковая сварка?
14. В каких сварных соединениях требуется обработка кромок?
15. Расчетные сопротивления каких сварных швов приравниваются расчетному сопротивлению материала соединяемых элементов?
16. Область применения болтовых соединений.
17. Классификация болтовых соединений.
18. Характеристика высокопрочных болтов, применяемых в сдвигоустойчивых соединениях.
19. Особенности работы и расчета соединений на высокопрочных болтах.
20. Как работают болты в соединениях при действии продольного усилия?
21. Как выбираются тип болтов и их калибр?
22. Основные правила конструирования болтового соединения.
23. Как работает фрикционное соединение на высокопрочных болтах?
24. Как определить расчетное количество обычных болтов в соединении?
25. Как определить расчетное количество высокопрочных болтов в соединении?
26. От чего зависят расчетные характеристики и коэффициенты условия работы болтовых соединений?
27. Какие виды соединений стальных строительных конструкций относятся к специальным?
28. Где применяются соединения на дюбелях и на самосверлящих, самонарезающих винтах?
29. В чем особенность расчета соединений на дюбелях?
30. В чем особенность расчета и конструирования соединений на самосверлящих, самонарезающих винтах?

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ СВАРКИ

Виды сварки

- 1. Сварка** – Получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.
- 2. Ручная сварка** – Сварка, выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника.
- 3. Механизированная сварка** – Сварка, выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком.
- 4. Автоматическая сварка** – Сварка, выполняемая машиной, действующей по заданной программе, без непосредственного участия человека.
- 5. Сварка плавлением** – Сварка, осуществляемая местным сплавлением соединяемых частей без приложения давления.
- 6. Наплавка** – Нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия.
- 7. Дуговая сварка** – Сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой.
- 8. Дуговая сварка плавящимся электродом** – Дуговая сварка, выполняемая электродом, который, расплавляясь при сварке, служит присадочным металлом.
- 9. Дуговая сварка неплавящимся электродом** – Дуговая сварка, выполняемая не расплавляющимся при сварке электродом (сварка неплавящимся электродом).
- 10. Дуговая сварка под флюсом** – Дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.
- 11. Дуговая сварка в защитном газе (Газоэлектрическая сварка)** – Дуговая сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях и остывающий шов, находятся в облаке защитного газа, подаваемого в зону сварки с помощью специальных устройств.
- 12. Аргонодуговая сварка** – Дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон.
- 13. Дуговая сварка в углекислом газе** – Дуговая сварка, при которой в качестве защитного используется углекислый газ (сварка в углекислом газе).
- 14. Подводная дуговая сварка** – Подводная сварка.
- 15. Импульсно-дуговая сварка** – Дуговая сварка, при которой дугу дополнительно питают импульсами тока по заданной программе.
- 16. Ручная дуговая сварка** – Дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную.
- 17. Механизированная дуговая сварка** – Дуговая сварка, при которой подача плавящегося электрода или присадочного металла, или относительное перемещение дуги и изделия выполняются с помощью механизмов (*полуавтоматическая дуговая сварка*).
- 18. Автоматическая дуговая сварка** – Механизированная дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляются механизмами без непосредственного участия человека, в том числе и по заданной программе.

- 19. Двухдуговая сварка** – Дуговая сварка, при которой нагрев осуществляется одновременно двумя дугами с отдельным питанием их током.
- 20. Многодуговая сварка** – Дуговая сварка, при которой нагрев осуществляется одновременно более чем двумя дугами с отдельным питанием их током.
- 21. Двухэлектродная сварка** – Дуговая сварка, при которой нагрев осуществляется одновременно двумя электродами с общим подводом сварочного тока (*сварка расщепленным электродом*).
- 22. Многоэлектродная сварка** – Дуговая сварка, при которой нагрев осуществляется одновременно более чем двумя электродами с общим подводом сварочного тока.
- 23. Дуговая сварка по флюсу** – Дуговая сварка, при которой на свариваемые кромки наносится слой флюса, толщина которого меньше дугового промежутка.
- 24. Точечная дуговая сварка** – Дуговая сварка без перемещения электрода в плоскости, перпендикулярной его оси, в виде отдельных точек.
- 25. Вибродуговая сварка** – Дуговая сварка плавящимся электродом, который вибрирует, вследствие чего дуговые разряды чередуются с короткими замыканиями.
- 26. Сварка лежачим электродом** – дуговая сварка, при которой неподвижный покрытый электрод укладывается вдоль спариваемых кромок, а дуга перемещается по мере расплавления электрода.
- 27. Сварка наклонным электродом** – Дуговая сварка, при которой покрытый электрод располагается наклонно вдоль свариваемых кромок, опираясь на них, и по мере расплавления движется под действием силы тяжести или пружины, а дуга перемещается вдоль шва.
- 28. Плазменная сварка (плазменнодуговая сварка)** - Сварка плавлением, при которой нагрев проводится сжатой дугой.
- 29. Электрошлаковая сварка** – Сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак (*Шлаковая сварка*).
- 30. Электронно-лучевая сварка** – Сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия ускоренных электронов.
- 31. Лазерная сварка** - Сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия излучения лазера
- 32. Газовая сварка** – Сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки.
- 33. Термитная сварка** – Сварка, при которой для нагрева используется энергия горения термитной смеси.
- 34. Наварка** – Нанесение слоя металла на поверхность изделия посредством сварки с применением давления.
- 35. Контактная сварка** – Сварка с применением давления, при которой используется тепло, выделяющееся в контакте свариваемых частей при прохождении электрического тока.
- 36. Стыковая контактная сварка** – Контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов (стыковая сварка).
- 37. Стыковая сварка оплавлением** – Стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла сопровождается оплавлением стыкуемых торцов (сварка оплавлением).
- 38. Стыковая сварка сопротивлением** – Стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла осуществляется без оплавления стыкуемых торцов.
- 39. Точечная контактная сварка** - Контактная сварка, при которой сварное соединение получается между торцами электродов, передающих усилие сжатия

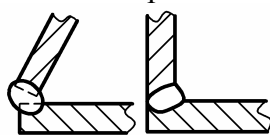
- 40. Рельефная сварка** – Контактная сварка, при которой сварное соединение получается на отдельных участках, обусловленных их геометрической формой, в том числе по выступам.
- 41. Шовная контактная сварка** – Контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит между вращающимися дисковыми электродами, передающими усилие сжатия (*шовная сварка, роликовая сварка*).
- 42. Шовно–стыковая сварка** – Контактная сварка с получением стыкового шва вращающимися дисковыми электродами, относительно которых перемещаются детали, собранные с небольшой нахлесткой или встык.
- 43. Высокочастотная сварка** – Сварка с применением давления, при которой нагрев осуществляется токами высокой частоты.
- 44. Сварка взрывом** – Сварка с применением давления, при которой соединение осуществляется в результате вызванного взрывом соударения свариваемых частей.
- 45. Магнитно-импульсная сварка** – Сварка с применением давления, при которой соединение осуществляется в результате соударения свариваемых частей, вызванного воздействием импульсного магнитного поля.
- 46. Сварка трением** – Сварка с применением давления, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным относительным перемещением свариваемых частей или инструмента.
- 47. Сварка давлением** – Сварка с применением давления, осуществляемая за счет пластической деформации свариваемых частей при температуре ниже температуры плавления.
- 48. Печная сварка** - Сварка давлением, при которой нагрев проводится в печах
- 49. Кузнечная сварка** – Печная сварка, при которой осадка выполняется ударами молота.
- 50. Сварка прокаткой** – Печная сварка, при которой пластическое деформирование осуществляется в прокатных валках.
- 51. Газопрессовая сварка** – Сварка давлением, при которой для нагрева используется тепло пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки.
- 52. Диффузионная сварка** – Сварка давлением, осуществляемая за счет взаимной диффузии атомов в тонких поверхностных слоях контактирующих частей.
Примечание. Диффузионная сварка осуществляется при относительно длительном воздействии повышенной температуры и незначительной пластической деформации.
- 53. Ультразвуковая сварка** – Сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний.
- 54. Холодная сварка** – Сварка давлением при значительной пластической деформации без нагрева свариваемых частей внешними источниками тепла.
- 55. Сварка в контролируемой атмосфере** – Сварка, осуществляемая в камере, заполненной газом определенного состава.

Сварные соединения и швы

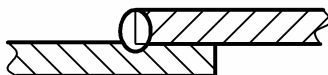
- 56. Сварное соединение** – Неразъемное соединение, выполненное сваркой.
- 57. Стыковое соединение** – Сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями



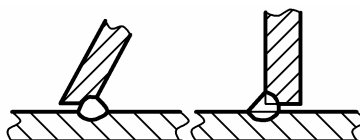
58. Угловое соединение – Сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев



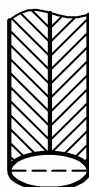
59. Нахлесточное соединение – Сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга



60. Тавровое соединение (соединение впритык) – Сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента



61. Торцовое соединение (боковое соединение) – Сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу



62. Сварная конструкция – Металлическая конструкция, изготовленная сваркой отдельных элементов (деталей).

63. Сварной узел – Часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы.

64. Сварной шов – Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

65. Стыковой шов – Сварной шов стыкового соединения.

66. Угловой шов – Сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединений.

67. Точечный шов – Сварной шов, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками.

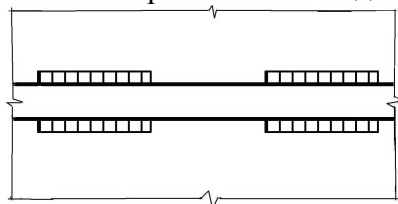
68. Сварная точка – Элемент точечного шва, представляющий собой в плане круг или эллипс.

69. Ядро точки – Зона сварной точки, металл которой подвергался расплавлению.

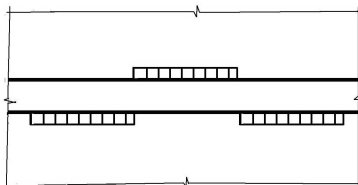
70. Непрерывный шов (сплошной шов) – Сварной шов без промежутков по длине.

71. Прерывистый шов – Сварной шов с промежутками по длине.

72. Цепной прерывистый шов – Двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого



73. Шахматный прерывистый шов – Двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны



74. Подварочный шов – Меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва.

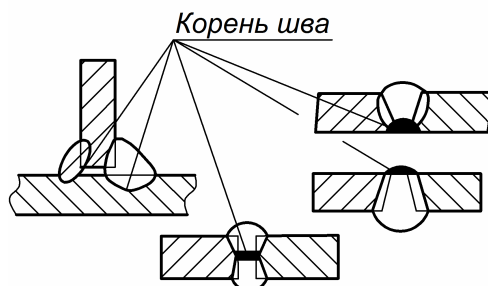
75. Прихватка – Короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей.

76. Монтажный шов – Сварной шов, выполняемый при монтаже конструкции.

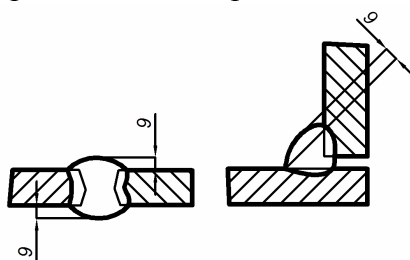
77. Валик – Металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

78. Слой сварного шва – Часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва.

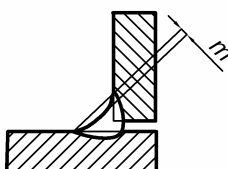
79. Корень шва – Часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности



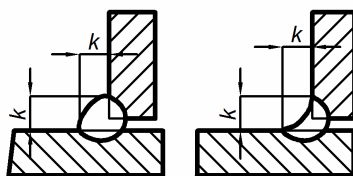
80. Выпуклость сварного шва – Выпуклость шва, определяемая расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости



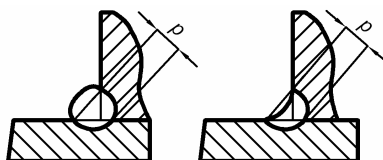
81. Вогнутость углового шва – Вогнутость, определяемая расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости



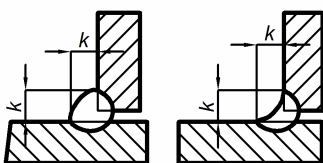
82. Толщина углового шва – Наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла



83. Расчетная высота углового шва – Длина перпендикуляра, опущенного из точки максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника



84. Катет углового шва – Кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части



85. Ширина сварного шва – Расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при сварке плавлением.

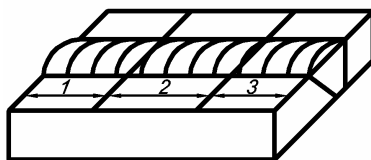
86. Коэффициент формы сварного шва – Коэффициент, выражаемый отношением ширины стыкового или углового шва к его толщине.

87. Механическая неоднородность сварного соединения – Различие механических свойств отдельных участков сварного соединения.

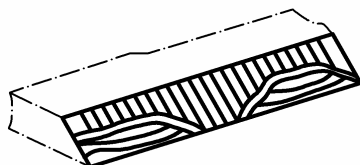
Технология сварки

88. Направление сварки – Направление движения источника тепла вдоль продольной оси сварного соединения.

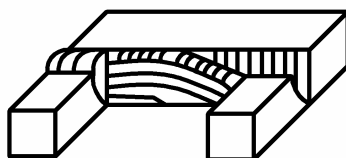
89. Обратноступенчатая сварка - Сварка, при которой сварной шов выполняется следующими один за другим участками в направлении, обратном общему приращению длины шва



90. Сварка блоками – Обратноступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них



91. Сварка каскадом – Сварка, при которой каждый последующий участок многослойного шва перекрывает весь предыдущий участок или его часть



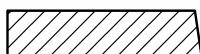
92. Проход при сварке – Однократное перемещение в одном направлении источника тепла при сварке и (или) наплавке.

93. Сварка сверху вниз – Сварка плавлением в вертикальном положении, при которой сварочная ванна перемещается сверху вниз.

94. Сварка снизу вверх – Сварка плавлением в вертикальном положении, при которой сварочная ванна перемещается снизу вверх.

95. Разделка кромок – Придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы.

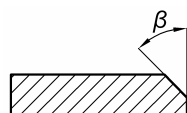
96. Скос кромки – Прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке



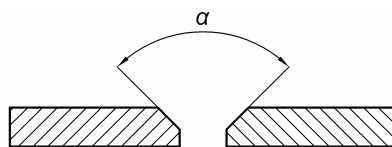
97. Притупление кромки – Нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке



98. Угол скоса кромки – Острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца



99. Угол разделки кромок – Угол между скошенными кромками свариваемых частей



100. Зазор – Кратчайшее расстояние между кромками собранных для сварки деталей.

101. Основной металл – Металл подвергающихся сварке соединяемых частей.

102. Глубина проплавления – Наибольшая глубина расплавления основного металла в сечении шва или наплавленного валика.

103. Сварочная ванна – Часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии.

104. Кратер – Углубление, образующееся в конце валика под действием давления дуги и объемной усадки металла шва.

105. Присадочный металл – Металл для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу.

106. Наплавленный металл – Переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл.

107. Металл шва – Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

108. Провар – сплошная металлическая связь между свариваемыми поверхностями основного металла, слоями и валиками сварного шва.

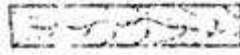
109. Зона сплавления при сварке – Зона частично сплавившихся зерен на границе основного металла и металла шва.

110. Зона термического влияния при сварке – Участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке.

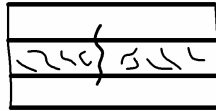
Дефекты сварных соединений

111. Трещина сварного соединения – Дефект сварного соединения в виде разрыва в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах.

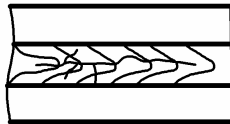
112. Продольная трещина сварного соединения – Трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва



113. Поперечная трещина сварного соединения – Трещина сварного соединения, ориентированная поперек оси сварного шва

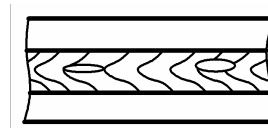


114. Разветвленная трещина сварного соединения – Трещина сварного соединения, имеющая ответвления в различных направлениях



115. Микротрещина сварного соединения – Трещина сварного соединения, обнаруженная при пятидесятикратном и более увеличении.

116. Усадочная раковина сварного шва – Дефект в виде полости или впадины, образованный при усадке металла шва в условиях отсутствия питания жидким металлом



117. Вогнутость корня шва – Дефект в виде углубления на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва

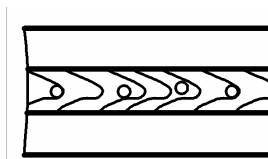


118. Свищ в сварном шве – Дефект в виде воронкообразного углубления в сварном шве



119. Пора в сварном шве – Дефект сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом.

120. Цепочка пор в сварном шве – Группа пор в сварном шве, расположенных в линию



121. Непровар - Дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва.

Приложение 2

Справочные материалы для расчета сварных соединений

Таблица П.2.1 (56).

Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с
угловыми швами

Сварочные материалы		R_{wun} , МПа (кгс/см ²)	R_{wf} , МПа (кгс/см ²)
тип электрода по ГОСТ 9467- 75	марки проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410 (4200)	180 (1850)
Э46, Э46А	Св-08ГА (Св-07ГС)	450 (4600)	200 (2050)
Э50, Э50А	Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3 (Св-07ГС ¹)	490 (5000)	215 (2200)
Э60	Св-08Г2С ² , Св-08Г2СЦ ² , Св-10НМА, Св-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ (Св-08Г2С) ³	685 (7000)	280 (2850)
Э85	-	835 (8500)	340 (3450)

¹ $R_{wf} = 215$ МПа (2200 кгс/см²) только для швов $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 305 МПа (3100 кгс/см²) и более (рекомендуется в дополнение к табл. 56 главы СНиП II-23-81*).

² $R_{wf} = 240$ МПа (2450 кгс/см²) только для швов $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см²).

³ $R_{wf} = 280$ МПа (2850 кгс/см²) только для швов $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 590 МПа (6000 кгс/см²), рекомендуется в дополнение к табл. 56 [1].

Таблица П.2.2

Расчетные сопротивления срезу (условному) металла границы сплавления сварных
соединений с угловыми швами

R_{un}	R_{wz}	R_{un}	R_{wz}	R_{un}	R_{wz}
МПа (кгс/см ²)		МПа (кгс/см ²)		МПа (кгс/см ²)	
345 (3500)	155 (1600)	430 (4400)	195 (2000)	500 (5100)	225 (2300)
355 (3600)	160 (1600)	440 (4500)	200 (2050)	510 (5200)	230 (2350)
365 (3700)	165 (1650)	450 (4600)	205 (2100)	520 (5300)	235 (2400)
370 (3800)	165 (1700)	460 (4700)	205 (2100)	540 (5500)	245 (2500)
380 (3900)	170 (1750)	470 (4800)	210 (2150)	570 (5800)	255 (2600)
390 (4000)	175 (1800)	480 (4900)	215 (2200)	590 (6000)	265 (2700)
410 (4200)	185 (1900)	490 (5000)	220 (2250)	685 (7000)	310 (3150)

Таблица П.2.3

Предельные усилия на сварные соединения с угловыми швами для конструкций во всех климатических районах, кроме I₁, I₂, II₂, III₃

Вид сварки, диаметр электрода, положение шва	Марка сварочной проволоки, тип электрода	R_{un} свариваемой стали, МПа	Предельные усилия, кН/см, на соединение при катете шва, мм									
			4	5	6	7	8	10	12	14	16	
Полуавтоматическая, диаметр 1,4-2 мм; нижнее, горизонтальное, вертикальное	Св-08Г2С	345	6,5	8,1	9,8	11,4	13	15,5	18,6	21,1	24,1	
		355	6,7	8,4	10	11,7	13,4	16	19,2	21,1	24,1	
		365	6,9	8,6	10,3	12,1	13,8	16,4	19,7	21,1	24,1	
		370	7	8,7	10,5	12,2	14	16,6	19,9	21,1	24,1	
		380	7,2	9	10,8	12,6	14,4	17,1	20,5	21,1	24,1	
		390	7,4	9,2	11,1	12,9	14,8	17,3	20,7	21,1	24,1	
		Св. 400 до 570	7,7	9,7	11,6	13,6	15,5	17,3	20,7	21,1	24,1	
Полуавтоматическая, диаметр проволоки сплошного сечения менее 1,4 мм; порошковой проволокой любого диаметра; во всех положениях	Св-08Г2С ПП-АН8, ПП-АНЗ	Св. 340 до 570	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1	
		То же										
Ручная; во всех положениях	Э46, Э46А Э50, Э50А Э60	Св. 340 до 390	5,5	6,9	8,3	9,7	11,1	13,9	16,6	19,4	22,2	
		Св. 340	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1	
		Св. 370	6,7	8,4	10,1	11,8	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9	
Автоматическая; диаметр 3-5 мм; в лодочку	Св-08, Св-08А, Св-08ГА	345	7,1	8,9	10,7	12,5	14,2	17,9	21,4	25,0	28,5	
		355	7,3	9,2	11	12,9	14,6	18,4	22,1	25,7	29,4	
		365	7,5	9,4	11,3	13,2	15	18,9	22,7	26,4	30,2	
		370	7,6	9,5	11,5	13,4	15,3	19,1	23	26,8	30,6	
		380	7,8	9,8	11,8	13,8	15,7	19,6	23,6	27,5	31,5	
	Св-08ГА	390	8	10	12,1	14,1	16,1	20,2	24,1	28,2	32,3	
		410	8,5	10,6	12,7	14,8	16,9	21,2	25,4	29,7	34	
		Св. 420	8,7	10,9	13,1	15,2	17,4	21,8	26,1	30,5	34,8	
	Св-10ГА	440	9,1	11,4	13,6	15,9	18,2	22,8	27,3	31,9	36,4	
		450	9,3	11,6	14	16,3	18,6	23,3	27,9	32,6	37,2	
		Св. 450	9,5	11,9	14,2	16,7	19	23,7	28,5	33,2	37,9	
	Св-10НМА, Св-10Г2	470	9,7	12,1	14,6	17	19,4	24,3	29,1	34	38,8	
		480	9,9	12,4	14,9	17,4	19,9	24,8	29,8	34,8	39,7	
		490	10,1	12,7	15,2	17,7	20,3	25,3	30,4	35,5	40,6	
500		10,3	12,9	15,5	18,1	20,7	25,9	31,1	36,2	41,4		
Св. 500		10,6	13,2	15,8	18,5	21,1	26,4	31,7	37	42,2		

Примечания к табл. П.2.1 и П. 2. В таблицах указаны предельные усилия для наиболее опасного сечения, установленного с помощью табл. 2.2 настоящего Пособия. Усилия рассчитаны по формулам (120) и (121) главы СНиП II-23-81*, в которых значения R_{wf} , R_{wz} , β_f , β_z приняты соответственно по табл. 3 и 34 главы СНиП II-23-81*; в табл. 7 принято: $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = \gamma_c = 1$; в табл. 8 принято: $\gamma_{wf} = 0,85$ для металла шва с $R_{wun} = 410$ МПа, $\gamma_{wz} = 0,85$ для всех сталей, $\gamma_c = 1$.

Таблица П.2.4

Предельные усилия на сварные соединения с угловыми швами для конструкций
в климатических районах I₁, I₂, II₂, II₃

Вид сварки, диаметр электрода, положение шва	Марка сварочной проволоки, тип электрода	$R_{ин}$ свариваемой стали, МПа	Предельные усилия, кН/см, на соединение при катете шва, мм									
			4	5	6	7	8	10	12	14	16	
Полуавтоматическая; диаметр 1,4-2 мм; нижнее, горизонтальное, вертикальное	СВ-08Г2С	345	5,5	6,9	8,3	9,7	11,1	13,2	15,8	18,5	21,1	
		355	5,7	7,1	8,6	10	11,4	13,6	16,3	19	21,7	
		365	5,9	7,3	8,8	10,3	11,7	13,9	16,7	19,5	22,3	
		370	5,9	7,5	8,9	10,5	11,9	14,1	17	19,8	22,6	
		380	6,1	7,7	9,2	10,7	12,2	14,5	17,4	20,3	23,6	
		390	6,3	7,9	9,5	11	12,5	14,9	17,9	20,9	23,5	
		410	6,6	8,2	9,9	11,5	13,2	15,7	18,8	21,1	24,1	
		430	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	16,4	19,7	21,1	24,1	
		440	7,1	8,8	10,5	12,3	14,1	16,8	20,2	21,1	24,1	
		450	7,2	9	10,8	12,7	14,5	17,3	20,7	21,1	24,1	
		460	7,4	9,3	11,1	12,9	14,8	17,3	20,7	21,1	24,1	
		470	7,5	9,4	11,3	13,2	15,1	17,3	20,7	21,1	24,1	
		480	7,7	9,6	11,6	13,5	15,4	17,3	20,7	21,1	24,1	
	Св. 480 до 570	7,7	9,7	11,6	13,6	15,5	17,3	20,7	21,1	24,1		
Полуавтоматическая; диаметр проволоки сплошного сечения менее 1,4 мм; порошковой проволокой любого диаметра; во всех положениях	Св-08Г2С, ПП-АН8, ПП-АНЗ	345	5,3	6,6	7,9	9,2	10,5	13,2	15,8	18,5	21,1	
		355	5,4	6,8	8,1	9,5	10,9	13,6	16,3	19	21,7	
		365	5,6	7	8,4	9,8	11,2	14	16,7	19,5	22,3	
		370	5,7	7,1	8,5	9,9	11,3	14,1	17	19,8	22,6	
		380	5,8	7,3	8,7	10,2	11,6	14,5	17,4	20,3	23,2	
		390	6	7,5	9	10,4	12	14,9	17,9	20,9	23,9	
		Св. 400 до 570	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1	
Ручная; во всех положениях	Э46А	345	5,3	6,6	7,9	9,2	10,5	13,2	15,8	18,5	21,1	
		355	5,4	6,8	8,1	9,5	10,9	13,6	16,3	19	21,7	
		Св. 355	5,6	7	8,4	9,8	11,2	14	16,7	19,5	22,3	
	Э50А	370	5,7	7,1	8,5	9,9	11,3	14,1	17	19,8	22,6	
		380	5,8	7,3	8,7	10,2	11,6	14,5	17,4	20,3	23,2	
		390	6	7,5	9	10,4	12	14,9	17,9	20,9	23,9	
		Св. 400	6	7,5	9	10,5	12,1	15,1	18,1	21,1	24,1	
	Э60	410	6,3	7,8	9,4	11	12,5	15,7	18,8	22	25,1	
		430	6,6	8,2	9,9	11,5	13,2	16,4	19,7	23	26,3	
		Св. 430	6,7	8,4	10,1	11,8	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9	
	Автоматическая; диаметр 3-5 мм; в лодочку	Св-08А	345	6,1	7,6	9,1	10,6	12,1	15,2	18,2	21,2	24,3
			355	6,2	7,8	9,4	10,9	12,5	15,6	18,7	21,9	25
365			6,4	8	9,6	11,2	12,8	16	19,3	22,5	25,7	
370			6,5	8,1	9,8	11,4	13	16,3	19,5	22,8	26	
380			6,7	8,3	10	11,7	13,4	16,7	20,1	23,4	26,7	
Св. 380			6,8	8,4	10,1	11,8	13,5	16,9	20,3	23,7	27	

Вид сварки, диаметр электрода, положение шва	Марка сварочной проволоки, тип электрода	$R_{ин}$ свариваемой стали, МПа	Предельные усилия, кН/см, на соединение при катете шва, мм									
			4	5	6	7	8	10	12	14	16	
	Св-08ГА	390	6,9	8,6	10,3	12	13,7	17,2	20,5	24,1	27,5	
		410	7,2	9	10,8	12,6	14,4	18	21,6	25,2	28,8	
		430	7,6	9,5	11,3	13,2	15,1	18,9	22,7	26,5	30,3	
		440	7,7	9,7	11,6	13,5	15,5	19,3	23,2	27,1	31	
		450	7,9	9,9	11,9	13,9	15,8	19,8	23,8	27,7	31,7	
		460	8,1	10,1	12,1	14,2	16,2	20,2	24,3	28,3	32,4	
		470	8,3	10,3	12,4	14,5	16,5	20,7	24,8	28,9	33,1	
		480	8,4	10,6	12,7	14,8	16,9	21,1	25,3	29,6	33,8	
		490	8,6	10,8	12,9	15,1	17,2	21,5	25,9	30,2	34,5	
		Св. 490	8,7	10,9	13,1	15,3	17,4	21,8	26,2	30,5	34,9	
	Св-10НМА	510	9	11,2	13,5	15,7	17,9	22,4	26,9	31,4	35,9	
		520	9,1	11,4	13,7	16	18,3	22,9	27,4	32	36,6	
		530	9,3	11,6	14	16,3	18,6	23,3	28	32,6	37,3	
		540	9,5	11,9	14,2	16,6	19	23,7	28,5	33,2	38	
		570	10	12,5	15	17,5	20	25,1	30,1	35,1	40,1	
		590	10,4	13	15,6	18,2	20,8	26	31,1	36,3	41,5	

Приложение 3

Справочные материалы для расчета болтовых соединений

Таблица П.3.1

Предельное усилие, кН, одного болта на срез

Класс прочности болта	Напряженное состояние	Временное сопротивление стали, МПа (кгс/мм ²)	Предельное усилие, кН, одного болта (на срез - на одну плоскость) диаметром, мм									
			16	20	22	24	27	30	36	42	48	
5.6	Растяжение	-	33,0	51,4	-	73,9	-	-	-	-	-	
	Срез	-	34,4	53,7	-	77,3	-	-	-	-	-	
5.8	Растяжение	-	31,4	49,0	-	70,4	-	-	-	-	-	
	Срез	-	36,2	56,5	-	81,3	-	-	-	-	-	
8.8	Растяжение	-	62,8	98,0	-	141	-	-	-	-	-	
	Срез	-	57,9	90,4	-	130	-	-	-	-	-	
10.9	Растяжение	-	78,5	122	151	176	-	-	-	-	-	
	Срез	-	72,4	113	137	163	-	-	-	-	-	
110 (по ГОСТ 22353-77*)	Растяжение	-	-	135	167	194	252	308	454	616	809	
	Срез	-	-	124	150	179	226	280	402	548	717	
110 (по ТУ 14-4-1345-85)	Растяжение	-	-	135	167	194	252	308	454	616	809	
	Срез	-	-	97,0	117	141	180	224	321	441	582	
Все	Смятие с	345 (35)	58,3	72,9	80,2	87,5	98,4	110	131	153	175	

классы прочности	учетом $\gamma_b = 0,9$, рассчитан- ное по фор- муле (128) СНиП II-23-81*) ($\sum t = 10$ мм)	355 (36)	60,5	75,6	83,2	90,7	102	113	136	159	181
		365 (37)	63,4	79,2	87,1	95,0	107	119	143	166	190
		370 (38)	64,8	81,0	89,1	97,2	109	122	146	170	194
		380 (39)	67,7	84,6	93,1	102	114	127	152	178	203
		390 (40)	69,8	87,3	96,0	105	118	131	157	183	210
		400 (41)	73,9	90,9	100	109	123	136	164	191	218
		410 (42)	75,6	94,5	104	113	128	142	170	198	227
		420 (43)	78,3	97,9	108	118	132	147	176	206	235
		430 (44)	81,4	102	112	122	137	153	183	214	244
		440 (45)	84,4	105	116	127	142	158	190	222	253
		450 (46)	87,3	109	120	131	147	164	196	229	262
		460 (47)	90,2	113	124	135	152	169	203	237	271
		470 (48)	93,4	117	129	140	158	175	210	245	280
		480 (49)	96,5	121	133	145	163	181	214	253	289
		490 (50)	99,5	124	137	149	168	187	224	261	295
		500 (51)	103	127	142	154	174	193	232	270	302
		510 (52)	106	133	146	159	179	199	239	279	319
		520 (53)	110	137	151	164	185	205	247	288	329
		530 (54)	113	141	155	169	191	212	254	296	339
		540 (55)	116	145	160	175	196	218	262	305	349
550 (56)	120	150	165	180	202	225	270	314	359		
560 (57)	123	154	170	185	208	231	278	324	370		
570 (58)	127	159	174	190	214	238	285	333	381		
580 (59)	130	163	179	196	220	245	294	342	391		

Таблица П.3.2

Предельные усилия Q_{bh} фрикционных соединений на высокопрочных болтах М24

Способ		Усилие, кН (тс), на один болтоконтакт при диаметре болта 24 мм $R_{bun} = 1100$ МПа (110 кгс/мм ²) и числе болтов в соединении					
обработки (очистки) соединяемых поверхностей	регулирован ия натяжения болтов	$n \leq 4$		$n = 5-9$		$n \geq 10$	
		Q_{bh1}	Q_{bh2}	Q_{bh1}	Q_{bh2}	Q_{bh1}	Q_{bh2}
Пескоструйный, дробеструй- ный или дробеметный двух поверхностей кварцевым песком или дробью без консервации	По моменту закручивани я M	93 (9,3)	112 (11,2)	104 (10,4)	126 (12,6)	116 (11,6)	140 (14,0)
	По углу поворота α	105 (10,5)	123 (12,3)	118 (11,8)	139 (13,9)	131 (13,1)	154 (15,4)
То же, с консервацией, металлизацией распылением цинка или алюминия	По моменту закручивани я M	80 (8,0)	97 (9,7)	90 (9,0)	109 (10,9)	100 (10,0)	121 (12,1)
	По углу поворота α	90 (9,0)	106 (10,6)	102 (10,2)	120 (12,0)	113 (11,3)	133 (13,3)
Кварцевым песком или дробью одной поверхности с	По моменту закручивани	80 (8,0)	97 (9,7)	90 (9,0)	109 (10,9)	100 (10,0)	121 (12,1)

консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком, стальными щетками без консервации другой поверхности	я M						
	По углу поворота α	90 (9,0)	106 (10,6)	102 (10,2)	120 (12,0)	113 (11,3)	133 (13,3)
Газопламенный двух поверхностей без консервации	По моменту закручивания я M	67 (6,7)	82 (8,2)	76 (7,6)	92 (9,2)	84 (8,4)	102 (10,2)
	По углу поворота α	76 (7,6)	90 (9,0)	86 (8,6)	101 (10,1)	95 (9,5)	112 (11,2)
Стальными щетками двух поверхностей без консервации	По моменту закручивания я M	56 (5,6)	65 (6,5)	63 (6,3)	73 (7,3)	70 (7,0)	81 (8,1)
	По углу поворота α	61 (6,1)	72 (7,2)	68 (6,8)	81 (8,1)	76 (7,6)	90 (9,0)
Без обработки	По моменту закручивания я	32 (3,2)	42 (4,2)	36 (3,6)	47 (4,7)	40 (4,0)	52 (5,2)
	По углу поворота α	36 (3,6)	45 (4,5)	41 (4,1)	50 (5,0)	45 (4,5)	56 (5,6)

Обозначения, принятые в таблице:

Q_{bh1} – усилие на один болтоконтакт при действии динамических нагрузок и $\delta = 3-6$ мм, статических нагрузок и $\delta = 5-6$ мм;

Q_{bh2} – усилие на один болтоконтакт при действии динамических нагрузок и $\delta = 1$ мм, статических нагрузок и $\delta = 1-4$ мм;

δ – разность номинальных диаметров отверстий и болтов.

СОДЕРЖАНИЕ

Основные буквенные обозначения	3
Предисловие	5
Глава 1. Виды соединений строительных стальных конструкций и предъявляемые к ним требования	6
Глава 2. Сварные соединения	8
2.1. Классификация способов сварки в строительстве. Материалы для сварки	8
2.2. Виды сварных соединений, классификация швов и их характеристики	12
2.2.1. Сварные соединения	12
2.2.2. Сварные швы	12
2.2.3. Требования к сварным швам и соединениям	16
2.2.4. Расчетные характеристики металла сварных соединений и швов	16
2.3. Работа и расчет сварных соединений при различных силовых воздействиях	19
2.3.1. Работа и расчет соединений, выполненных стыковыми швами	19
2.3.2. Работа и расчет соединений, выполненных угловыми швами	20
2.4. Конструирование сварных соединений	27
2.4.1. Общие положения	27
2.4.2. Конструкции сварных соединений в балках	28
2.4.3. Конструкции сварных соединений в колоннах	29
2.4.4. Конструкции сварных соединений в фермах	31
Примеры расчета сварных соединений	32
Глава 3. Болтовые соединения	34
3.1. Характеристика, материалы и область применения болтовых соединений	34
3.1.1. Виды болтовых соединений	34
3.1.2. Материалы для болтовых соединений	35
3.1.3. Область применения болтовых соединений	38
3.2. Расчет болтовых соединений	40
3.2.1. Расчетные характеристики, коэффициенты условий работы	41
3.2.2. Расчет болтовых соединений без контролируемого натяжения	44
3.2.3. Расчет болтовых соединений с контролируемым натяжением	45
3.2.4. Расчет фланцевых соединений	50
3.3. Конструирование болтовых соединений	53
Примеры расчета болтовых соединений	55
Глава 4. Специальные виды соединений	58
4.1. Соединения на дюбелях	58
4.1.1. Характеристика дюбельных соединений	58
4.1.2. Материалы и расчетные характеристики дюбельных соединений	58
4.1.3. Расчет и конструирование соединений на дюбелях	60
4.2. Соединения на самосверлящих самонарезающих винтах	61
4.2.1. Характеристика соединений	61
4.2.2. Метизы и расчетные характеристики материалов и соединений	61
4.2.3. Расчет и конструирование соединений на самосверлящих, самонарезающих винтах	63
Пример расчета	64
Контрольные вопросы	65
Приложения: 1. Основные термины сварки	66
2. Справочные материалы для расчета сварных соединений	74
3. Справочные материалы для расчета болтовых соединений	77

В.С.Семенов, Р.Х.Каримова

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ
СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно - методическое пособие

Редактор *Т.П.Вязьмина*
Компьютерная верстка *Ю.Ю.Юдаковой*

Подписано в печать 13.03.08. Формат 60×84¹/₈
Офсетная печать. Объем 10,25 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ 282.

Отпечатано в типографии КРСУ
720000, г. Бишкек, ул. Шопокова, 68