

ЛЕКЦИЯ 12 СОЕДИНЕНИЯ СО СВЯЗЯМИ, РАБОТАЮЩИМИ НА РАСТЯЖЕНИЕ. СОЕДИНЕНИЯ СО СВЯЗЯМИ, РАБОТАЮЩИМИ НА СДВИГ

Цель лекции: освоение студентами компетенций по изучению способов соединения деревянных элементов и способов их расчета

Вопросы к лекции:

12.1 Соединения со связями, работающими на растяжение

12.1.1 Соединения с растянутыми болтами

12.1.2 Соединения с выдерживаемыми гвоздями

12.1.3 Соединения с выдерживаемыми винтами

12.1.4 Соединения с хомутами

12.1.5 Соединения со скобами

12.2 Соединения со связями, работающими на сдвиг. Клеевые соединения.

Вопросы к экзамену

35. Соединения со связями, работающими на растяжение. Соединения с растянутыми болтами. Принципы их расчета

36 Соединения со связями, работающими на растяжение. Соединения с выдерживаемыми гвоздями, с выдерживаемыми винтами Принципы их расчета

37. Соединения со связями, работающими на растяжение Соединения с хомутами, со скобами

38. Соединения со связями, работающими на сдвиг. Клеевые соединения, их классификация. Поперечные, продольные и угловые клеевые стыки.

39 Соединения со связями, работающими на сдвиг.Клееметаллические соединения

12.1 Соединения со связями, работающими на растяжение

12.1.1 Соединения с растянутыми болтами применяются при анкерном креплении деревянных конструкций к опорам, при подвеске к конструкциям перекрытий и оборудования и в узловых соединениях. Они воспринимают действующие в соединениях растягивающие усилия, N .

Болт работает и рассчитывается на растяжение по площади сечения ослабленной нарезкой, F .

Расчетное сопротивление стали принимается уменьшенным на 20% с учетом концентрации растягивающих напряжений α в зоне нарезки. Расчет производят по формуле

$$\sigma = N / F \leq 0,8R, \quad (12.1)$$

По этой же формуле, переписанной относительно требуемой площади сечения болта, F_{mp} , с помощью табличных данных можно подобрать сечение болта.

Древесина под шайбами болта работает и рассчитывается на местное

смятие. Расчетное сопротивление смятию под шайбами при углах смятия от 90 до 60° принимается с учетом малой площади смятия и значительного поддерживающего действия окружающих участков древесины, с повышенным коэффициентом условий работы, $m_{см3} = 2,2$ и составляет $R_{ск90} = 18 \cdot 2,2 = 4 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление смятию под шайбами под углом, α , к волокнам определяют по формуле, которая после подстановки числовых значений расчетных сопротивлений имеет вид:

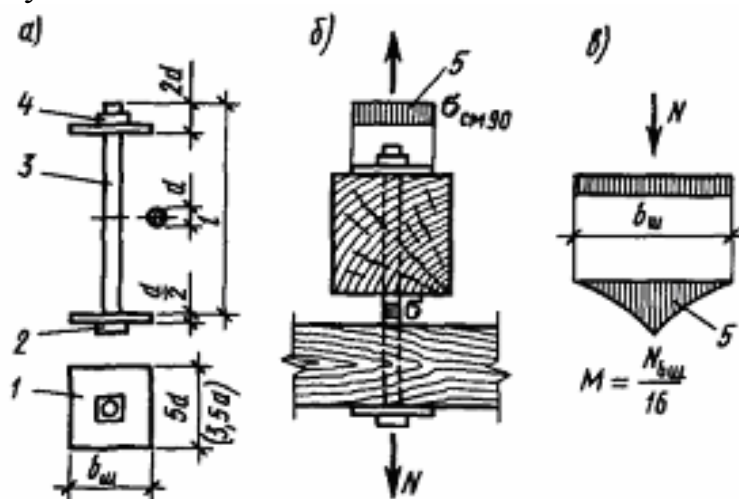
$$R_{см\alpha} = \frac{13}{1 - 2,25 \cdot \sin^3 \alpha}. \quad (12.2)$$

Шайбы болтов работают и рассчитываются на изгиб от реактивного давления сминаемой древесины как квадратные пластинки шириной b , опертые в центре на гайку болта. Наибольший изгибающий момент, M , в среднем сечении шайбы, ослабленном отверстием диаметром, d , и требуемую толщину шайбы, δ_{mp} , можно приближенно определить из выражений:

$$M = \frac{N \cdot b}{16}. \quad (12.3)$$

$$\delta_{mp} = \sqrt{\frac{6M}{(b-d) \cdot R}}. \quad (12.4)$$

Аналогично рассчитывают растянутые стержни сквозных конструкций круглого сечения с шайбами и гайками на концах. Их максимальная гибкость не должна превышать 400. Если в соединении применен ряд болтов, расчетное сопротивление снижается на 0,85, учитывая возможную неравномерность его распределения между болтами.



а - общий вид; б - схема работы болта и древесины; в - схема работы шайбы; 1 - гайка; 2 - стержень; 3 - головка; 4 - гайка; 5 - эпюра напряжений.

Рисунок 12.1 – Соединения с растянутыми болтами.

12.1.2 Соединения с выдергиваемыми гвоздями (см. рис. 12.2) относятся к классу соединений с растянутыми связями. Они применяются для крепления досок подшивок потолков, щитов перекрытий и опалубки. От действия нагрузок в этих соединениях возникают растягивающие усилия N , стремящиеся выдернуть гвозди из древесины элемента, к которому прибиты

доски. Этому усилию сопротивляются силы трения между поверхностью гвоздей и окружающей древесиной.

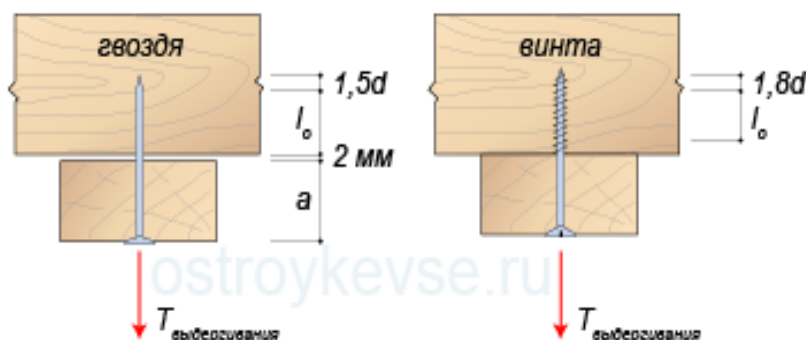


Рисунок 12.2 - Определение расчетной рабочей длины стального нагеля, работающего на выдергивание

Расчетное сопротивление выдергиванию гвоздя, забитого в сухую древесину поперек волокон, составляет $R_{г.з.} = 0,3 \text{ МПа}$, в сырую, учитывая опасность появления трещин усушки в зоне гвоздевого отверстия после высыхания древесины элементов, $R_{г.з.} = 0,1 \text{ МПа}$.

Несущую способность гвоздя диаметром, d , на выдергивание, T_z , определяют по формуле, как произведение расчетного сопротивления на площадь поверхности трения, при этом рабочую длину гвоздя, l_1 , находят по его общей длине, из которой исключается толщина прибиваемых досок, а также длина острия гвоздя, равная $1,5d$, и возможная щель между элементами шириной $0,002 \text{ м}$, не участвующие в работе на трение:

$$T_z = R_{г.з.} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 \quad (12.5)$$

Требуемое количество выдергиваемых гвоздей, необходимых для восприятия растягивающего усилия, находят из выражения

$$n = N / T_z. \quad (12.6)$$

Размеры выдергиваемых гвоздей подбирают из условий, чтобы расчетная длина гвоздя, l_1 , была не меньше $10d$ и не меньше двойной толщины прибиваемых досок среднего элемента, разрешается сохранять одинаковую разметку гвоздей с каждой стороны соединения.

Шурупы и глухари относятся к глухим нагелям, заземленным в деревянном элементе частью его толщины. Шурупы и глухари устанавливаются в отверстия, диаметр которых равен $0,8d_{ш}$ ($d_{ш}$ — диаметр ненарезанной части, в см). Поэтому расстояния между осями шурупов и глухарей принимаются несколько большими. Несущая способность шурупов и глухарей определяется аналогично стальным цилиндрическим нагелям.

12.1.3 Соединения с выдергиваемыми винтами относятся к классу соединений с растянутыми связями.

Винты сопротивляются отрыву от древесины накладок или деталей, в которых действуют растягивающие усилия. Выдергиванию винта

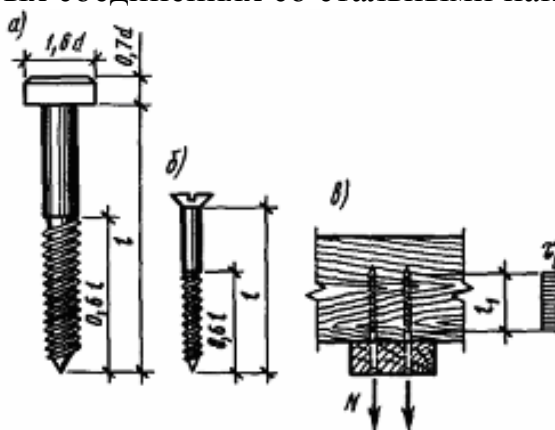
сопротивляется, в основном, древесина винтовых желобков нарезанной части длиной, l_1 , работающая на смятие, благодаря чему расчетное сопротивление выдергиванию винтов выше, чем гвоздей, и составляет $R_{в.в.} = 1,0 \text{ МПа}$. Несущую способность винта на выдергивание определяют по формуле:

$$T_{в.ш.} = R_{в.ш.} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 \quad (12.7)$$

Соединения с изгибаемыми винтами относятся к классу нагельных соединений.

Винты сопротивляются смещению накладок по поверхности древесины от действия сдвигающих усилий.

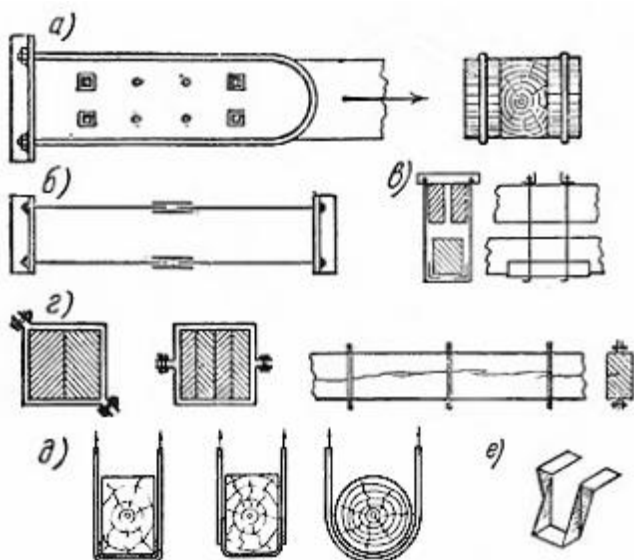
Винты работают на изгиб, а окружающая древесина — на смятие, как в несимметричных болтовых соединениях со стальными накладками (рис. 12.3).



а – глухарь; б – шуруп; в – схема работы винтов на выдергивание.

Рисунок 12.3 - Соединения на винтах.

3.1.4 Соединения с хомутами относятся к классу соединений с растянутыми связями. Они соединяют элементы, в которых действуют поперечные растягивающие силы N . Хомуты бываю проволочными, полосовыми со стяжными болтами и болтовыми с подкладками из листовой или профильной стали. По форме хомуты бываю круговыми в бревенчатых конструкциях и прямоугольными в конструкциях из пиломатериалов. Хомуты работают и рассчитываются на растяжение, а древесина — на местное смятие.



а – криволинейный; б – прямолинейный с муфтами; в, д – хомуты для подвески балок; г – стяжные хомуты; е – стальной карман для опирания прогонов при примыкании к балкам.

Рисунок 12.4 - Стальные хомуты.

12.1.5 Соединения со скобами относятся к классу конструктивных соединений. Скобы изготовляют из арматурной стали класса А240 диаметром 10—16 мм и имеют образную форму с заостренными и зазубренными концами. Они забиваются в цельную древесину и обеспечивают проектное положение соединяемых элементов при построечном изготовлении деревянных конструкций из бревен и брусьев.

При длине шипа скобы $(6...7)d_{ск}$ несущая способность скобы примерно равна несущей способности нагеля диаметром 15 мм.

При забивке скоб следует соблюдать конструктивные требования.

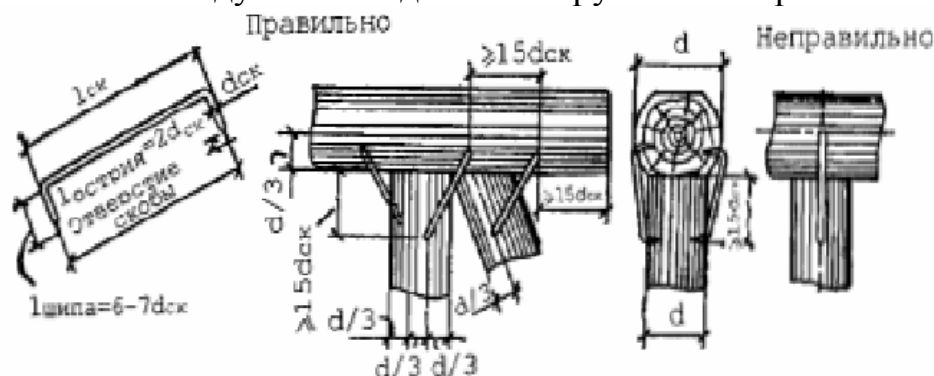


Рисунок 12.5 - Расстановка скоб в соединении

12.2 Соединения со связями, работающими на сдвиг. Клеевые соединения

Клеевые конструкции могут быть прямыми, изогнутыми, постоянного, переменного, профильного сечений, длиной до десятков метров и высотой поперечного сечения, измеряемой метрами (рисунок 12.6).

Клеевые соединения прочны и монолитны, их податливость так мала, что ее не учитывают, поэтому клееные элементы рассчитывают как элементы цельного сечения.

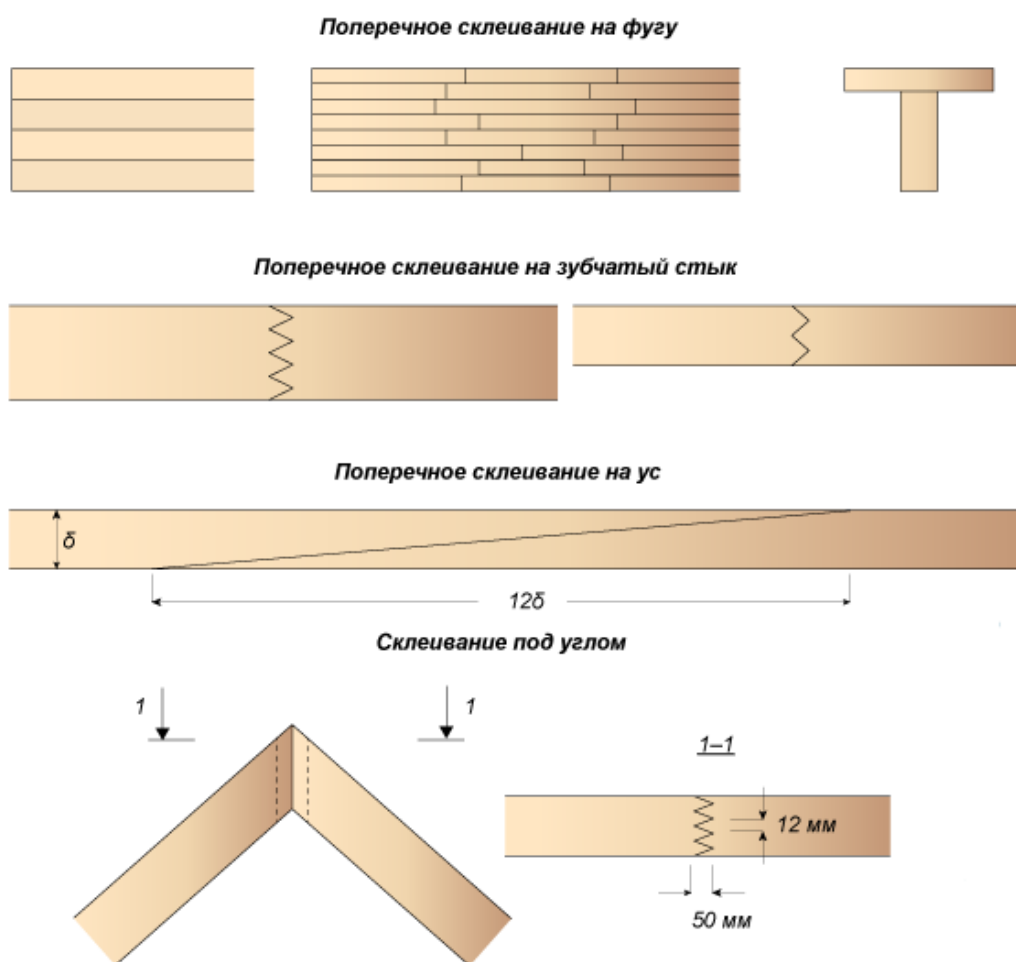
Эти соединения водостойкие, стойки против загнивания и в химически агрессивных средах, что обеспечивает их надежность и долговечность.

Для склеивания используются доски толщиной не более 50 мм и шириной по пласту не более 180 мм. Доски с большими размерами при усушке и разбухании коробятся. При этом возникают растягивающие поперек волокон напряжения, которые разрушают клеевые швы. Доски должны иметь влажность не более $10\pm 2\%$. Перед склеиванием доски остругивают. Причем глубина острожки должна быть не менее 3 мм так, чтобы клеевой шов получился максимально тонким (не более 0,1 мм).

При склеивании соединений во избежание коробления конструкции, учитывают направление волокон и годичных слоев древесины склеиваемых деталей. Для склеивания досок применяются клеи на основе терморезистивных смол. Для склеивания древесины с металлом применяется эпоксидный клей ЭПЦ-1. После склеивания досок на боковых поверхностях элементов образуются провесы, которые удаляют фрезерованием.

Предел прочности клеевых швов на растяжение невелик, он примерно соответствует прочности древесины растяжению поперек волокон.

Склеивание допускается только в специально оборудованных отапливаемых цехах с приточно-вытяжной вентиляцией для удаления вредных веществ и под строгим лабораторным контролем. Клеевые соединения являются безметалльными. Это оправдывает экономическую целесообразность применения склеивания и является причиной быстрого роста объемов производства клееных деревянных конструкций.



a — поперечные; *б* — продольные; *в* — фанеры; *г* — под углом; / — по пластям; 2 — по кромкам; 3 — по пластм и кромке; 4 и 5 — зубчатый с выходом зубьев на кромки и пласти; 6 — усовое соединение фанеры; 7 — клееный элемент.

Рисунок 12.6 – Клеевые соединения

Клееные элементы после склеивания должны быть остроганы по кромкам для получения гладкой поверхности. Клеевые соединения применяют также для продольного склеивания цельных клееных элементов и для склеивания досок с фанерой и со стальными деталями.

Для клеевых соединений применяют конструктивные синтетические клеи на основе термореактивных смол: для склеивания древесины и фанеры - фенолоформальдегидный клей КБ-3 и резорциновый клей РФ-12; для склеивания древесины с металлом — эпоксидный клей ЭПЦ-1. Клеевые швы

должны иметь минимальную толщину, измеряемую долями миллиметров, и высокую прочность, превосходящую прочность древесины на сжатие и скалывание вдоль волокон. Прочность швов на растяжение ввиду их хрупкости невелика и соответствует примерно прочности древесины на растяжение поперек волокон.

Клеевые стыки по их расположению и особенностям работы: *поперечные, продольные и угловые.*

1 Поперечные стыки досок служат для создания клееных элементов с поперечными сечениями требуемых размеров и форм и придания им изогнутой формы по длине. В их число входят *стык по пласти, стык по кромке и стык по пласти и кромке:*

- **стык по пласти** - применяется для создания клееных элементов требуемой высоты сечения и для обеспечения их изогнутой формы по длине, поскольку он препятствует распрямлению, изогнутых досок в клееном элементе. В изгибаемых и сжато-изгибаемых элементах стыки по пласти работают и рассчитываются на скалывание при изгибе по формуле:

$$\tau = \frac{QS}{jbm_{ск}} \leq R_{ск} \quad (12.8)$$

где $m_{ск}$ - коэффициент условий работы, равный 0,6, учитывающий возможное возникновение непрочных, уменьшающих расчетную ширину шва b .

- **стык по кромке** - применяют для создания клееных элементов с шириной сечения, большей ширины отдельных досок. По высоте сечения эти стыки в соседних досках располагаются вразбежку в плоскости изгиба. В этих стыках обычно не возникают скалывающие напряжения, и они не требуют расчетных проверок.

- **стык по пласти и кромке** - клеевое соединение пласти одной доски с кромкой другой. Его применяют для создания клееных элементов тавровой, двутавровой и рельсовидной формы со стенками из досок на ребро. Работает и рассчитывается стык на скалывание при изгибе по формуле.

2 Продольные стыки служат для создания клееных элементов требуемой длины. В число продольных стыков входят *зубчатое и усовое* соединения.

- **зубчатое соединение** применяют для стыкования досок концами по длине вдоль волокон, оно является основным видом продольного стыка и представляет собой соединение концов досок " клеевыми швами по зубчатой поверхности ряда острых клиньев, которые могут выходить на пласти или на кромки досок. Такая форма придается концам досок механически специальной зубчатой фрезой на станке.

Зубчатое соединение характеризуется тремя параметрами— длиной зубьев l , шириной их у основания t и шириной у вершины b (затуплением). Длина зубьев обычно не превышает толщины досок, а параметры обеспечивают необходимый уклон плоскостей зубьев к оси доски — не больше 1:8 и затупление не больше 1 мм.

Зубчатое соединение экономично, поскольку имеет малую длину и дает возможность стыковать короткие доски, и технологично, так как изготавливается механически и не расходится при изготовлении до затвердевания клея.

От действия продольных усилий в клеевых швах зубчатого соединения возникают основные скалывающие и незначительные растягивающие напряжения. Поэтому зубчатое соединение считается равнопрочным с цельной древесиной в элементах всех категорий качества при всех видах напряженного состояния и расчета не требует. В некоторых случаях это соединение применяют и для продольного стыкования цельных клееных элементов.

- усовое соединение - клеевое соединение концов досок по поверхности, образованной их срезкой с уклоном к поверхности 1:10, и применяют его для продольного стыкования досок.

Клеевой шов работает здесь аналогично швам зубчатого соединения, и усовое соединение считается тоже равнопрочным с древесиной элементов независимо от их категории качества. Этот стык менее экономичен, поскольку имеет значительную длину и не рационален для стыкования коротких досок.

3 Угловые стыки - клеевые соединения досок и клееных элементов, расположенных друг к другу под углом.

Зубчатое соединение под углом применяют для соединения концов клееных элементов рам в жестких узлах, расположенных под углами более 120° . Зубья этого соединения должны выходить только на верхние и нижние кромки элементов в зоне упора их срезанных под углом концов. Это соединение работает на усилия сжатия с изгибом и рассчитывается как цельное наклонное сечение по прочности на нормальные напряжения с учетом того, что они действуют под углом к волокнам, и расчетные сопротивления древесины имеют, соответствующие пониженные значения.

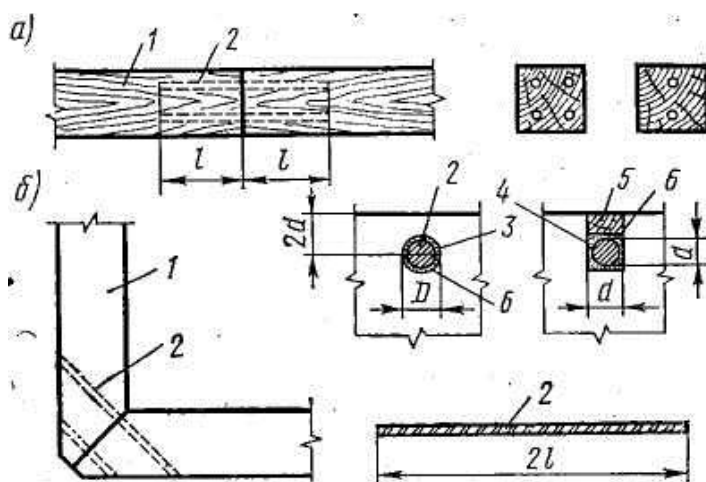
Соединение досок по пласти под углом - клеевое соединение досок по площади их пересечения. Так могут соединяться доски шириной до 100 мм при угле 90° и шириной 150 мм при углах $30\text{—}45^\circ$ между ними. От продольных усилий в клеевом шве возникают скалывающие и поперечные растягивающие напряжения ввиду эксцентричного действия усилий. Они рассчитываются на скалывание под углом к волокнам, а растягивающие усилия рекомендуется воспринимать болтами или шурупами.

Усовое соединение фанеры с фанерой имеет ту же конструкцию и уклон склеиваемых кромок 1:12, и применяют его для соединения фанерных листов кромками по длине и по ширине.

Соединение имеет пониженную прочность ввиду неполного совпадения соответствующих слоев листов фанеры при склеивании и рассчитывается на растяжение по площади сечения, уменьшенной коэффициентом условий работы $m=0,6$. В некоторых случаях применяют также соединение фанерных листов с фанерными накладками шириной не менее 30 толщин соединяемых листов.

Стык фанеры с досками по пласти и кромкам применяют в клеефанерных конструкциях. При расположении волокон досок под углом 90° к наружным волокнам фанеры ширина досок должна быть не более 100 мм. При большей ширине досок возникает опасность перенапряжения клеевых швов в результате коробления древесины. Стык работает на скалывание при изгибе и рассчитывается по прочности ближайших к стыку клеевых швов между наружным и соседним слоями фанеры по формуле без учета непроклеек.

4 **Клееметаллические соединения** представляют собой соединения деревянных клееных элементов при помощи вклеенных или наклеенных стальных деталей (рис. 10.7).



a — продольное соединение; *б* — соединение под углом;
 1 — соединяемые элементы; 2 — стержни из стальной арматуры, 3 — отверстия; 4 — пазы; 5 — рейка; 6 — клей

Рисунок 12.7 - Соединения с вклеенными стержнями.

Соединения на вклеенных стержнях состоят из коротких стержней из арматуры классов А-П или А-Ш диаметром 12—32 мм, вклеенных в прямоугольные пазы или круглые отверстия клеем, обеспечивающим надежное соединение древесины с металлом, например эпоксидно-цементным.

Глубина вклеивания l должна быть не менее 10 и не более 30 диаметров стержня, ширина паза или отверстия на 5 мм больше диаметра стержня,

расстояние между стержнями не менее $3d$, а до края сечения — $2d$. Вклеенные стержни применяют для продольного и углового соединения клееных элементов, работающих на продольные силы или изгибающие моменты. Они воспринимают продольные силы, N при растяжении (выдергивание) или сжатии (вдавливание). Скрытые в толще древесины стержни защищены от химически агрессивной среды и быстрого нагрева при пожаре, что повышает стойкость против коррозии и огнестойкость конструкции. Клеевые соединения стержней работают на скалывание по площади, равной произведению глубины вклеивания l на периметр отверстия $\pi(d+0,5)$ см.

Напряжения скалывания распределяются по длине вклеивания неравномерно, уменьшаясь к концам стержней.

Расчет соединения на скалывание, производят с учетом коэффициента неравномерности (концентрации) распределения скалывающих напряжений $K_{ск}$, определяемого в зависимости от диаметра стержня и глубины вклеивания.

Расчетная несущая способность стержня определяется по скалыванию клеевых соединений по формуле:

$$T = \pi d(d + 0.5)R_{ск}K_c, \quad (12.9)$$

где $K_c = 1,2 - 0,02l / d$; $R_{ск} = 1,2 \text{ МПа}$ — расчетное сопротивление скалыванию.

Соединения с клеестальными шайбами применяют для соединения стержней сборно-разборных ферм в узлах. Они состоят из стальных пластинок — стальных накладок, болтов, а также шайб, приклеенных к пластям элементов фенолоформальдегидным по слою БФ или эпоксидным клеем. Болты пропускаются при сборке соединения через отверстия соответствующего диаметра в накладках и шайбах и через отверстие большего диаметра в древесине элементов. Соединение воспринимает растягивающие и сжимающие усилия. Клеевые швы шайб работают и рассчитываются на скалывание по формуле (12.9). Болты рассчитываются на смятие и срез между шайбами и накладками, как в стальных соединениях, без учета древесины и имеют повышенную несущую способность. Стальные накладки рассчитываются на растяжение или сжатие. Для беспрепятственной сборки соединение должно быть изготовлено с высокой точностью.

Клеевые соединения арматуры клееных армированных балок с древесиной выполняются путем вклеивания ее в пазы в крайних зонах сечений эпоксидно-цементным клеем. Они работают на скалывание с избыточными запасами прочности.

Соединения с пластмассовыми связями имеют значительные перспективы применения в деревянных конструкциях, особенно предназначенных для эксплуатации в средах, химически агрессивных по отношению к металлу. В настоящее время проводятся экспериментальные и теоретические исследования соединений в деревянных элементах с цилиндрическими нагелями из высокопрочного стеклопластика типа АГ-4с.