

Лекция 15

4. Энергоэффективные материалы ограждающих конструкций

Древесина

Древесина – это сравнительно твердый и прочный волокнистый материал, скрытая корой основная часть стволов, ветвей и корней деревьев и кустарника. Состоит из бесчисленных трубковидных клеток с оболочками в основном из целлюлозы. В природном виде используется в качестве строительного материала и топлива, а в размельченном и химически обработанном виде – как сырье для производства бумаги, древесноволокнистых плит, искусственного волокна. Древесина была одним из главных факторов развития цивилизации и даже в наши дни остается одним из важнейших для человека видов сырья, без которого не могли бы обойтись многие отрасли промышленности.

Хотя древесная ткань имеется и у папоротников, почти всю древесину люди получают из деревьев двух главных отделов царства высших растений – голосеменных и покрытосеменных. Голосеменные растения – очень древняя форма, представленная исключительно древесными видами, к которым относятся хвойные деревья («мягкие породы»), а именно сосна, ель, кедр, поставляющие основную часть древесины, используемой человечеством. Отдел же покрытосеменных отличается большим разнообразием и делится на два класса – однодольные и двудольные. Лишь некоторые из однодольных (бамбук, пальмы, юкка) дают древесную ткань, которая имеет ограниченное, в основном местное значение. Что же касается двудольных, то к этому классу относятся важные лиственные («твердые») породы – дуб, эвкалипт, клен, древесина которых особенно ценна для мебели, отделки интерьеров и пр.

Строение и химический состав

Строение дерева. Растущее дерево состоит из трех основных частей: корней, ствола и кроны. Корни дерева всасывают воду из почвы вместе с растворенными в ней минеральными питательными веществами. Толстые корни разветвляются на более тонкие и капилляры, которые часто простираются в почве за пределы кроны (рис. 15.1).



Рис. 15.1. Строение дерева и схема его питания

Ствол проводит воду и минеральные питательные вещества от корней к ветвям и листьям. Такое перемещение называют восходящим потоком сокодвижения.

Крона состоит из ветвей и листьев или хвои. Часть воды, поступившей от корневой системы, испаряется через листья. Остальная вода с растворенными в ней минеральными питательными веществами под воздействием солнечного света и тепла образует органические питательные вещества, необходимые для роста дерева. Листья усваивают из воздуха углекислый газ, распадающийся на углерод и кислород. Кислород выделяется в воздух, поэтому лиственные породы деревьев в городах называют "легкими города". Органические питательные вещества, образовавшиеся в листьях, по внутренней части коры, называемой лубом, поступают вниз и распространяются по всему дереву. Это так называемый нисходящий поток сокодвижения.

Ствол - это основная и наиболее ценная часть дерева, дающая 60...90 % деловой древесины. Тонкую часть ствола называют вершиной, толстую - комлем. Строение ствола дерева, видимое невооруженным глазом, называют макроструктурой. Она хорошо видна на трех основных разрезах ствола.

Различают торцевой разрез, перпендикулярный продольной оси ствола (рис. 15.2), радиальный разрез, перпендикулярный торцевому разрезу и проходящий через сердцевину ствола; тангентальный разрез, проходящий по касательной к годовым слоям на некотором расстоянии от сердцевины.

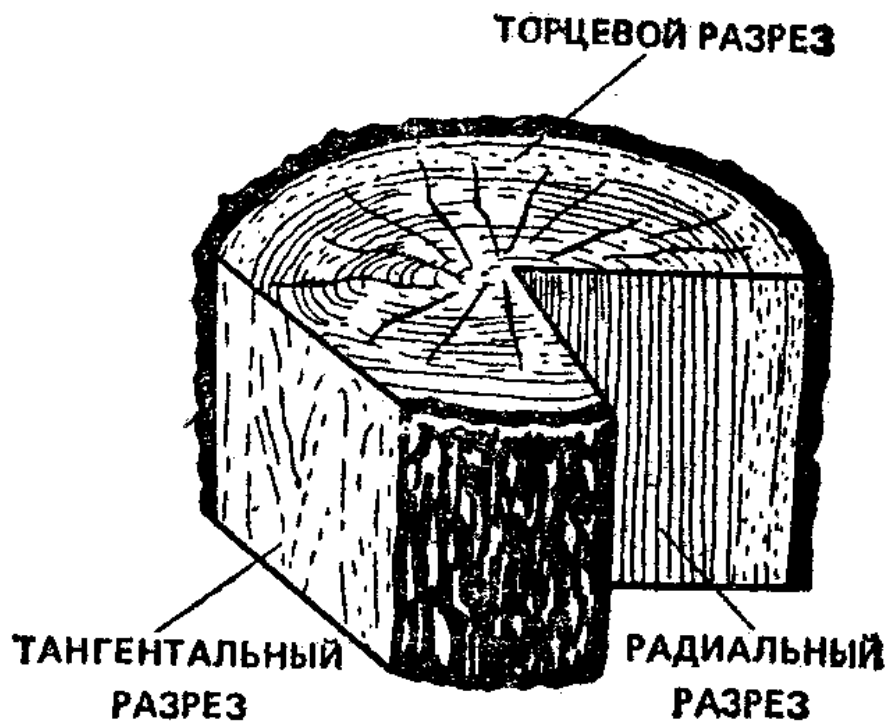


Рис. 15.2. Основные разрезы ствола

Строение и свойства, древесины неодинаковы по различным разрезам. На поперечном разрезе ствола различают кору, ее пробковый и лубяной слои, камбий; видна древесина, ее заболонь и ядро, где различны годовые слои, сердцевинные лучи и сердцевина (рис. 15.3).

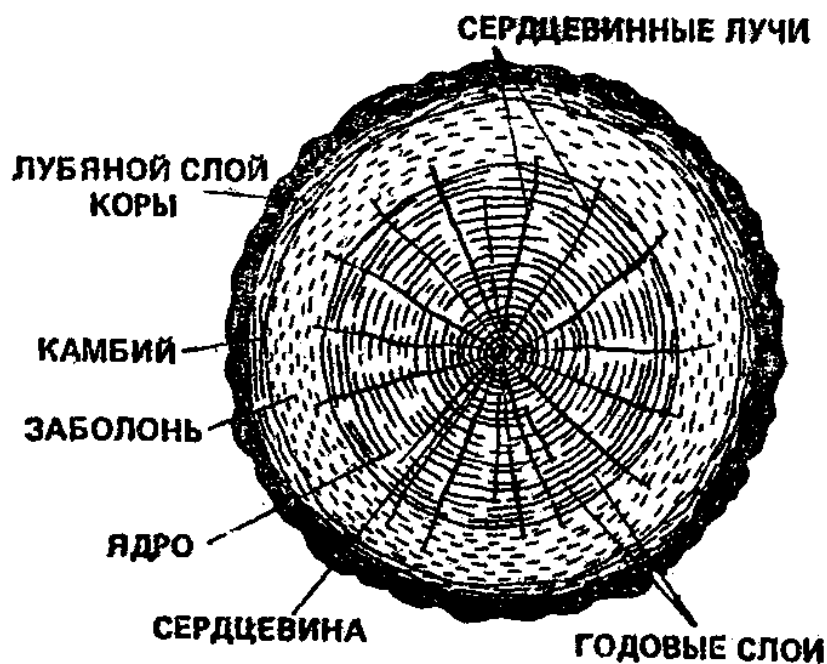


Рис. 15.3. Поперечный разрез ствола и его составные части

Сердцевина расположена в центре ствола дерева по всей его длине. Она имеет рыхлое строение, непрочна и подвержена быстрому загниванию. У хвойных пород диаметр сердцевины равен 3...4 см, а у лиственных несколько больше. Ежегодно прирост древесины происходит на одно годовое кольцо, образуемое камбием под корой.

При росте дерева древесина сердцевины разрушается, поэтому диаметр ее по направлению к кроне постепенно увеличивается. У некоторых пород, например сосны, лиственницы, дуба, ясеня и кедра, часть древесины, расположенная ближе к сердцевине, имеет более темную окраску и пониженную влажность. Эту наиболее ценную часть древесины называют ядром, а остальную часть, расположенную в сторону коры, заболонью. Существуют породы, у которых отсутствует ядро, у них одинаковый цвет древесины по всему сечению.

Древесина ядра отличается прочностью, плотностью и твердостью, а также большой сопротивляемостью к загниванию, чем заболонь, которая состоит из молодых клеток, отличающихся меньшей плотностью древесины. Сокодвижение - перемещение воды с растворенными в ней питательными веществами - происходит по заболони. Толщина заболони зависит от породы дерева, его возраста и условий роста. Рост ядра с отмиранием клеток заболони превращается в древесину ядра.

У березы, бука, клена, осины и ольхи центр ствола имеет темную окраску, свидетельствующую о начальной стадии загнивания. Эту часть ствола называют ложным ядром.

Между заболонью и корой располагается тонкий слой живых клеток - камбий. В вегетационный период деление камбиальных клеток образует новые клетки древесины и коры. При этом дерево растет как в толщину, так и в длину. Кора состоит из наружного пробкового слоя и внутреннего лубяного .

Наружный слой защищает дерево от атмосферных влияний и механических повреждений, внутренний передает вниз по стволу органические питательные вещества, выработанные в листьях кроны.

У большинства хвойных пород в поперечном разрезе ствола различны годовые слои в виде концентрических, окружностей. Ежегодно при нормальном росте образуется один годовой слой. Его толщина (в направлении радиуса) у разных древесных пород различна. Ранняя древесина годового слоя сердцевины отличается от поздней древесины, находящейся ближе к коре. Это объясняется ростом ранней древесины годового слоя весной и в начале лета. В это время в почве мало влаги и клетки ранней древесины рыхлые и светлые, обеспечивающие сокодвижение. Поздняя древесина годового слоя растет в конце лета и осенью.

У лиственных пород клетки поздней древесины (годового слоя) состоят из опорных тканей, а у хвойных пород - из толстостенных трахеид, более темных по цвету и отличающихся плотностью и прочностью.

Ширина годовых слоев зависит от возраста дерева, от породы и условий роста. У молодых деревьев годовые слои обычно более широкие, кроме ивы, имеющей только узкие годовые слои. У сосны, растущей на севере, годовые слои более узкие, чем у сосны, растущей в южных широтах. Свойства древесины характеризует ширина годовых слоев. Хвойные породы с узкими годовыми слоями отличаются большей прочностью и смолистостью.

Сосна с узкими годовыми слоями красно-бурого цвета более ценна, чем с широкими годовыми слоями. Древесина хвойных пород, на торцевом разрезе которой в радиальном направлении в 1 см насчитывается не менее трех и не более 25 годичных слоев, считается лучшей. У лиственных древесных пород наоборот, чем шире годовые слои, тем плотнее, тверже и более прочная древесина. Это характерно для дуба, каштана, ильма, ясеня, вяза. У этих пород в весенний период независимо от климатических, почвенных и других условий образуется 2...3 ряда крупной проводящей ткани (трахеид), а затем - поздняя древесина годового слоя, состоящая из механически прочных тканей.

У березы, бука, граба, клена, липы, ольхи, осины древесина не имеет ярко выраженных годовых слоев и ширина годового слоя не влияет на качество древесины.

Сердцевинные лучи располагаются в стволе в радиальном направлении. Различают первичные и вторичные лучи. Первичные сердцевинные лучи начинаются от сердцевины и доходят до коры, вторичные начинаются недалеко от сердцевины и продолжаются до коры. По сердцевинным лучам в горизонтальном направлении перемещаются вода, питательные вещества и воздух. На поперечном разрезе ствола крупные сердцевинные лучи различимы в виде блестящих полосок, на радиальном разрезе - в виде полосок или пятен, а на тангентальном разрезе - в виде точек или полосок. Древесина хорошо раскалывается по направлению сердцевинных лучей. Сердцевинные лучи встречаются у большинства древесных пород, но их размер, вид и количество зависят от породы и условий роста. У деревьев, выросших на солнце, больше сердцевинных лучей, чем у тех, что росли в тени.

Клетки древесины. Клетки, являющиеся структурными элементами древесины, разнообразны по размерам и форме. Они тесно срастаются между собой. Полости клеток сухой древесины могут быть пустыми или частично заполненными камедями, смолами и тиллами. Большинство клеток значительно удлинены и заострены на концах. Их обычно называют волокнами или трахеидами. Длина древесных волокон сильно колеблется как у

одного и того же дерева, так и у деревьев разных пород. Длина волокон лиственных пород в среднем 1 мм, а длина трахеид хвойных пород 3-8 мм.

Кроме волокон в древесине лиственных пород имеются клетки сравнительно большого диаметра, называемые сосудами. Это основные сокопроводящие артерии. У хвойных пород нет специальных сосудов для проведения сока по высоте дерева, эта функция выполняется трахеидами.

Как у хвойных, так и у лиственных пород имеются паренхимные клетки (обычно сгруппированные в структуре), расположенные горизонтально в направлении от сердцевины к коре. Эти структуры проводят сок поперек волокон в радиальном направлении и называются сердцевинными лучами. Лучи наиболее отчетливо видны на древесине, распиленной в радиальном направлении. Размеры лучей сильно колеблются у разных древесных пород. У дуба и платана сердцевинные лучи резко выделяются и создают красивую текстуру.

В древесине также имеются и другие паренхимные клетки, известные как продольная или осевая паренхима, служащие в основном для хранения питательных веществ.

Химический состав древесины

Древесина в сухом состоянии состоит в основном из следующих веществ, которые по их количеству в древесине можно расположить в таком порядке: целлюлоза, лигнин, гемицеллюлозы, экстрактивные и золаобразующие минеральные вещества.

Целлюлоза (основной компонент) по массе составляет почти 50% древесинного вещества. Это высокомолекулярный линейный полимер (полисахарид), при химическом разложении которого с помощью минеральных кислот образуется простой сахар - глюкоза. Во время роста дерева линейные молекулы целлюлозы собираются в высокоупорядоченные нити, называемые фибриллами, которые в свою очередь организованы в более крупные структурные элементы, составляющие клеточные стенки. Тесная физическая и, вероятно, частично химическая связь целлюлозы с лигнином и гемицеллюлозами обеспечивает древесине ее полезные физические свойства. Древесные волокна, из которых удален лигнин, представляют собой полуфабрикат при производстве бумаги. Более того, их можно изменить химическим путем для получения синтетических тканей, пленок, лаков и взрывчатых веществ.

Лигнин в древесине хвойных пород занимает 23-33%, а в лиственных 16-25%. Он встречается главным образом в виде межклеточного вещества. Как и целлюлоза, лигнин имеет макромолекулярную химическую структуру, но она гораздо сложнее и полностью

не исследована. Как химическое вещество лигнин довольно трудно растворимый материал, вероятно, крайне слабо связанный с целлюлозой. Для выделения лигнина из древесины в промышленных масштабах требуются сильные реагенты, высокие температуры и давление. Молекула лигнина сильно видоизменяется в таких условиях, образуя сложную смесь высокомолекулярных фенольных соединений.

Лигнин - нежелательный побочный продукт в бумажной промышленности. Теоретически его можно превратить в разнообразные химические продукты. Однако большое количество лигнина, выделенного из древесины при получении целлюлозы, используют в качестве топлива для регенерации варочных растворов. Значительное промышленное применение лигнин находит в качестве добавки к глинистому раствору, применяемому при бурении нефтяных скважин. Лигнин также используют в резиновой и цементной промышленности. В меньших количествах лигнин применяют для получения ванилина и растворителей (например, диметилсульфида и диметилсуль-фоксида).

По природе гемицеллюлозы близки к целлюлозе и так же, как целлюлоза, представляют собой полимерные соединения, состоящие из простых молекул сахара. Однако в отличие от целлюлозы гемицеллюлозы производят более чем одну разновидность сахара при гидролизе. Кроме того, относительные количества этих Сахаров заметно колеблются у различных пород, листовые породы содержат в среднем 20-30% гемицеллюлоз с ксилозой качестве основного сахара. К основной полимерной цепи также присоединяются, но в меньших количествах, арабиноза, манноза и другие вещества, хвойные породы содержат в среднем от 15 до 20% гемицеллюлозы, в основном маннозы. Ксилоза, арабиноза и другие вещества присутствуют в небольших количествах. В производстве бумаги гемицеллюлозы играют важную роль для сцепления волокон. Сложные сахара гемицеллюлозы имеют потенциальное значение для превращения их в химические продукты.

Экстрактивные вещества определяют цвет, запах, вкус, биостойкость, прочность, плотность, гигроскопичность и огнестойкость древесины. Они включают таннины и другие полифенолы, красящие вещества, эфирные масла, жиры, смолы, воск, камеди, крахмал и простые метаболические промежуточные вещества. Их можно извлечь из древесины с помощью экстракции такими инертными нейтральными растворителями, как вода, спирт, ацетон, бензин и другими растворителями. В различных породах и в зависимости от таких факторов, как условия произрастания, рубки количество экстрактивных веществ может колебаться приблизительно от 5 до 30%.

Химические свойства древесины

Древесина состоит преимущественно из органических веществ (99% общей массы). Элементный химический состав древесины разных пород практически одинаков. Абсолютно сухая древесина в среднем содержит 49% углерода, 44% кислорода, 6% водорода, 0,1-0,3% азота. При сжигании древесины остаётся её неорганическая часть - зола. В состав золы входят кальций, калий, натрий, магний и другие элементы.

Перечисленные химические элементы образуют основные органические вещества: целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы.

Целлюлоза - природный полимер, полисахарид с длинной цепной молекулой. Формула целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n - степень полимеризации, равная 6000-14000. Это очень стойкое вещество, нерастворимое в воде и обычных органических растворителях (спирте, эфире и др.), белого цвета. Пучки макромолекул целлюлозы - тончайшие волокна называются микрофибриллами. Они образуют целлюлозный каркас стенки клетки. Микрофибриллы ориентированы преимущественно вдоль длинной оси клетки, между ними находится лигнин, гемицеллюлозы, а также вода.

Лигнин - полимер ароматической природы (полифенол) сложного строения; содержит больше углерода и меньше кислорода, чем целлюлоза. Именно с этим веществом связан процесс одревеснения молодой клеточной стенки. Лигнин химически нестойк, легко окисляется, взаимодействует с хлором, растворяется при нагревании в щелочах, водных растворах сернистой кислоты и её кислых солей.

Гемицеллюлозы - группа полисахаридов, в которую входят пентозаны $(C_5H_8O_4)_n$ и гексозаны $(C_6H_{10}O_5)_n$. Формула гексозанов на первый взгляд идентична формуле целлюлозы. Однако степень полимеризации у всех гемицеллюлоз гораздо меньше и составляет 60-200. Это свидетельствует о более коротких цепочках молекул и меньшей стойкости этих веществ по сравнению с целлюлозой.

Кроме основных органических веществ, в древесине содержится сравнительно небольшое количество *экстрактивных веществ* (таннидов, смол, камедей, пектинов, жиров и др.), растворимых в воде, спирте или эфире.

В качестве сырья древесину потребляют три отрасли химической промышленности: целлюлозно-бумажная, гидролизная и лесохимическая.

Целлюлозно-бумажная промышленность вырабатывает целлюлозу для изготовления бумаги, картона и целого ряда целлюлозных материалов (производных целлюлозы), а также древесноволокнистых плит.

Основываясь на высокой химической стойкости целлюлозы, путём воздействия различных агентов на древесину переводят в раствор сопровождающие её менее стойкие

вещества. Различают три группы способов промышленного получения целлюлозы: кислотные, щёлочные и нейтральные. Выбор того или иного способа зависит в основном от породного состава перерабатываемого древесного сырья.

К группе *кислотных* способов относятся сульфитный и бисульфитный. При *сульфитном* способе в качестве сырья используется древесина малосмолистых хвойных (ели, пихты) и ряда лиственных пород. *Бисульфитный* способ позволяет использовать для получения целлюлозы древесину практически любых пород.

К группе **щёлочных способов** относятся *сульфатный* и *нейтральный*. Наибольшее распространение получил сульфатный метод. Варка щепы ведется в растворе едкого натра и сернистого натрия. Сульфатный способ позволяет получать более прочные волокна. К достоинствам этого способа относится меньшая продолжительность варки, а также возможность осуществлять процесс по замкнутой схеме (путем регенерации щелока), что уменьшает опасность загрязнения водоемов. Этим способом получают более половины производимой в мире целлюлозы, так как он позволяет использовать древесину любых пород.

Нейтральный - способ получения целлюлозы из древесины лиственных пород, при котором варочный раствор содержит вещества (моносульфиты), имеющие реакцию, близкую к нейтральной.

Широкое применение находят производные целлюлозы. При взаимодействии целлюлозы с растворами едкого натра, азотной и серной кислот или уксусным ангидридом можно получить искусственные ткани (штапель, вискозный и ацетатный шёлк), кордонное волокно для изготовления автомобильных и авиационных шин, целлофан, целлулоид, кино- и фотоплёнки, нитролаки, нитроклеи и другие продукты.

При взаимодействии водных растворов кислот с древесиной происходит гидролиз целлюлозы и гемицеллюлоз, которые превращаются в простые сахара (глюкозу, ксилозу и др.) Эти сахара можно подвергать химической переработке, получая ксилит, сорбит и другие продукты. Однако гидролизная промышленность в основном ориентируется на последующую биохимическую переработку сахаров.

Реакция гидролиза происходит при довольно высокой температуре (150-190°C). При охлаждении гидролизата (водного раствора простых сахаров) образуются пары, из конденсата которых получают фурфурол. Он применяется в производстве пластмасс, синтетических волокон (нейлона), смол, изготовления медицинских препаратов (фурацилина и др.), красителей и других продуктов.

При дальнейшей переработке гидролизата получают кормовые дрожжи, этиловый спирт (этанол), углекислый газ. Этанол получают только из хвойной древесины, используют как растворитель и, всё больше, как топливо.

При нагревании древесины без доступа воздуха происходит пиролиз. В результате пиролиза образуется уголь, жижка и газы.

Древесный уголь, отличающийся высокой сорбционной способностью, применяют для очистки промышленных растворов, сточных вод, в производстве сахара, при выплавке цветных металлов, при изготовлении медицинских препаратов, полупроводников, электродов и для многих других целей.

Жижка - раствор продуктов разложения, используется в производстве антисептиков, фенолов, уксусной кислоты, метилового спирта, ацетона. Газы, образующиеся при пиролизе древесины, используют в качестве топлива.

Сырьём для лесохимической промышленности помимо низкокачественной древесины являются экстрактивные вещества. Добыча смолы (живицы) из хвойных пород достигается путём подсочки. Для этого на поверхности стволов сосны или кедра осенью наносят специальную рану (карру), из которой живица вытекает в конический приёмник. Переработка живицы осуществляется на лесохимических предприятиях, где происходит отгонка с водяным паром летучей части - скипидара и уваривание канифоли.

Скипидар широко применяется как растворитель в лакокрасочной промышленности для производства синтетической камфары. Камфара используется в производстве целлюлозы, лаков и киноплёнки. Канифоль применяют в производстве каучука, бумаги, нитролаков, электроизоляционных материалов и др.

Дубильные вещества (таниды), используемые при выделке кож получают из коры ивы, ели, лиственницы, пихты, а также из древесины дуба и каштана.

Физические и механические свойства

Свойства древесины, обнаруживаемые при испытаниях, не приводящих к изменению химического состава, называются физическими. К ним относятся внешний вид древесины, ее влажность и свойства, связанные с её изменением, а также тепловые, электрические и звуковые свойства и свойства, проявляющиеся под воздействием электромагнитных излучений

Внешний вид древесины характеризуется следующими свойствами: цветом, блеском, текстурой и макроструктурой.

Под *цветом* древесины понимают определённое зрительное ощущение, которое зависит, в основном, от спектрального состава отражённого ею светового потока. Цвет - одна из важнейших характеристик внешнего вида древесины. Его учитывают при выборе пород для внутренней отделки помещений, изготовлении мебели, музыкальных инструментов, художественных поделок и т.д.

Окраска древесины зависит от породы, возраста дерева, климата района произрастания. Древесина может изменять цвет при выдержке под влиянием воздуха и света, при поражении грибами, а так же при длительном нахождении под водой. Тем не менее, цвет многих пород настолько характерен, что может служить одним из признаков при их распознавании.

Блеск - это способность древесины направленно отражать световой поток. Наибольшим блеском из отечественных пород отличается древесина дуба, бука, белой акации, бархатного дерева; из иноземных - древесина атласного дерева и махагони (красного дерева).

Текстурой называется рисунок, образующийся на поверхности древесины вследствие перерезания анатомических элементов (годичных слоёв, сердцевинных лучей, сосудов).

Для оценки качества древесины по внешнему виду используют такие характеристики, как ширина годичных слоёв и содержание поздней древесины.

Ширина годичных слоёв - число слоёв, приходящихся на 1 см отрезка, отмеренного по радиальному направлению на торцевой поверхности образца.

Содержание поздней древесины определяется соотношением (в процентах) между суммарной шириной зон поздней древесины и общей протяжённостью (в радиальном направлении) участка измерения, включающего целое число слоёв.

Влажность древесины и свойства, связанные с её изменением. Для количественной характеристики содержания воды в древесине используют показатель - влажность. Под влажностью древесины понимают выраженное в процентах отношение массы воды к массе сухой древесины: $W = (m - m_0) / m_0 * 100$, где m - начальная масса образца древесины, г, а m_0 - масса образца абсолютно сухой древесины, г.

Измерение влажности осуществляется прямыми или косвенными методами. Прямые методы основаны на выделении тем или иным способом воды из древесины, например **высушиванием**. Эти методы простые, надёжные и точные, но имеют недостаток - довольно продолжительную процедуру. Этому недостатка лишены косвенные методы, основанные на измерении показателей других физических свойств, которые зависят от содержания воды в древесине. Наибольшее распространение получили

кондуктометрические электровлагомеры, измеряющие электропроводность древесины. Однако и эти способы имеют свои недостатки: дают надёжные показания в диапазоне от 7 до 30% и лишь только в месте введения игольчатых контактов.

Различают две формы воды, содержащейся в древесине: **связанную** и **свободную**. Связанная вода находится в клеточных стенках, а свободная содержится в полостях клеток и межклеточных пространствах. Связанная вода удерживается в основном физико-химическими связями, изменение её содержания существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная вода, удерживаемая только механическими связями, удаляется легче, чем связанная вода, и оказывает меньшее влияние на свойства древесины.

При испытаниях с целью определения показателей физико-механических свойств древесины её кондиционируют, приводя к нормализованной влажности. Если нет особых примечаний, то показатель равен 12%.

На практике по степени влажности различают древесину:

- мокрую, $W > 100\%$, длительное время находившуюся в воде;
- свежесрубленную, $W = 50-100\%$, сохранившую влажность растущего дерева;
- воздушно-сухую, $W = 15-20\%$, выдержанную на открытом воздухе;
- комнатно-сухую, $W = 8-12\%$, долгое время находившуюся в отапливаемом помещении;
- абсолютно-сухую, $W = 0$, высушенную при температуре $t=103\pm 2^\circ\text{C}$.

Усушка. Уменьшение линейных размеров и объёма древесины при удалении из неё связанной воды называется усушкой. Удаление свободной воды не вызывает усушки. Чем больше клеточных стенок в единице объёма древесины, тем больше в ней связанной воды и выше усушка.

Усушка древесины не одинакова в разных направлениях: в тангенциальном направлении в 1,5 - 2 раза больше, чем в радиальном.

Под полной усушкой, или максимальной усушкой V_{\max} понимают уменьшение линейных размеров и объёма древесины при удалении всего количества связанной воды.

Формула для вычисления полной усушки, %, имеет вид:

$$V_{\max} = (a_{\max} - a_{\min}) / a_{\max} * 100,$$

где a_{\max} и a_{\min} - размер (объём) образца соответственно при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок и в абсолютно-сухом состоянии, мм (мм^3).

Полная линейная усушка древесины наиболее распространённых отечественных пород в тангенциальном направлении составляет 8-10 %, в радиальном 3-7 %, а вдоль волокон 0,1-0,3 %. Полная объёмная усушка находится в пределах 11-17 %.

Усушка древесины учитывается при распиловке брёвен на доски (припуски на усадку), при сушке пиломатериалов и т.д.

Внутренние напряжения возникают в древесине без участия внешних нагрузок. Они образуются в результате неодинаковых изменений объёма тела при сушке - сушильные напряжения, пропитке и в процессе роста дерева.

Полные сушильные напряжения удобно как совокупность двух составляющих - влажностных и остаточных напряжений.

Влажностные напряжения вызваны неоднородной усушкой материала. В поверхностных зонах доски, где влажность ниже, чем в центре, из-за стеснения свободной усушки возникают растягивающие напряжения, а внутри доски - сжимающие. Остаточные напряжения обусловлены появлением в древесине неоднородных остаточных деформаций. Остаточные напряжения в отличие от влажностных не исчезают при выравнивании влажности в доске и наблюдаются как во время сушки, так и после её полного завершения.

Если растягивающие напряжения достигают предела прочности древесины на растяжение поперёк волокон, появляются трещины. Так появляются поверхностные трещины в начале сушки и внутренние в конце сушки.

Коробление. Изменение формы пиломатериалов и заготовок при сушке, а также выпилке и неправильном хранении называется короблением. Чаще всего коробление происходит из-за различия усушки по разным структурным направлениям. Различают поперечную и продольную покоробленность. Продольная покоробленность бывает: бывает по кромке, по пласти и крыловатость.

На рисунке 4 изображены виды покоробленности: А - поперечная: а - желобчатая, б - трапециевидная, в - ромбовидная, г - овальная; Б - продольная: д - по кромке, е - по пласти, ж - крыловатость.

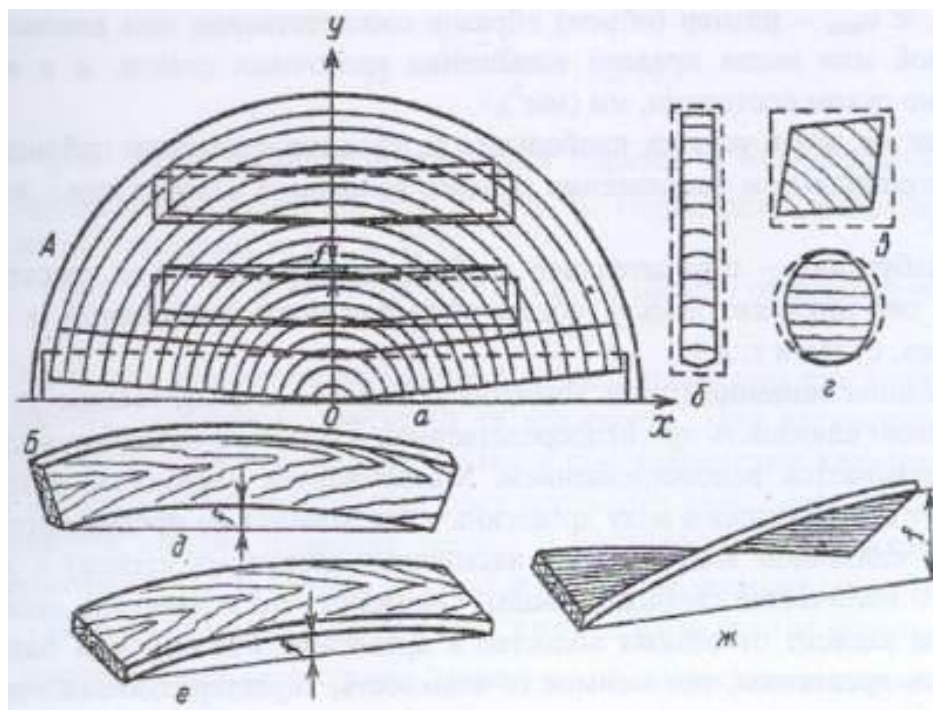


Рис. 15.4. Виды покоробленности

Коробление может возникать при механической обработке сухих пиломатериалов: при несимметричном строгании, ребровом делении из-за нарушения равновесия остаточных напряжений.

Влагопоглощение. Способность древесины вследствие её гигроскопичности поглощать влагу (пары воды) из окружающего воздуха называется влагопоглощением. Влагопоглощение практически не зависит от породы. Способность к поглощению влаги является отрицательным свойством древесины. Сухая древесина, помещённая в очень влажную среду, сильно увлажняется, что ухудшает её физико-механические характеристики, снижает биостойкость и т.д. Чтобы защитить древесину от влияния влажного воздуха, поверхность деревянных деталей и изделий покрывают различными лакокрасочными и плёночными материалами.

Разбухание. Увеличение линейных размеров и объёма древесины при повышении в ней содержания связанной воды называется разбуханием. Разбухание происходит при выдерживании древесины во влажном воздухе или воде. Это - свойство, обратное усушке, и подчиняется, в основном, тем же закономерностям. Полное разбухание, %, вычисляют по формуле: $a_{\max} = (a_{\max} - a_{\min}) / a_{\min} * 100$, где a_{\max} и a_{\min} - размер (объём) образца соответственно при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок, и в абсолютно сухом состоянии, мм (мм³). Так же, как и усушка, наибольшее разбухание

древесины наблюдается в тангенциальном направлении поперёк волокон, а наименьшее - вдоль волокон.

Разбухание - отрицательное свойство древесины, но в некоторых случаях оно приносит пользу, обеспечивая плотность соединений (в бочках, чанах, судах и т.д.).

Водопоглощение. Способность древесины увеличивать свою влажность при непосредственном контакте с капельножидкой водой называется водопоглощением. Максимальная влажность, которой достигает погруженная в воду древесина, складывается из предельного количества связанной воды и наибольшего количества свободной воды. Очевидно, что количество свободной воды зависит от объёма полостей в древесине, поэтому, чем больше плотность древесины, тем меньше её влажность, характеризующая максимальное водопоглощение.

Способность древесины поглощать воду, а также другие жидкости имеет значение в процессах варки древесины для получения целлюлозы, при пропитке её растворами антисептиков и антипиренов, при сплаве лесоматериалов и в других случаях.

Плотность. Это свойство характеризуется массой единицы объёма материала, и имеет размерность в $\text{кг}/\text{м}^3$ или $\text{г}/\text{см}^3$.

а) *Плотность древесинного вещества* $\rho_{\text{д.в.}}$, $\text{г}/\text{см}^3$, т.е. плотность материала клеточных стенок, равна: $\rho_{\text{д.в.}} = m_{\text{д.в.}} / v_{\text{д.в.}}$, где $m_{\text{д.в.}}$ и $v_{\text{д.в.}}$ - соответственно масса, г, и объём, см^3 , древесинного вещества.

Этот показатель равен для всех пород $1,53 \text{ г}/\text{см}^3$, поскольку одинаков химический состав клеточных стенок древесины.

б) *Плотность абсолютно сухой древесины* ρ_0 равна: $\rho_0 = m_0 / v_0$, где m_0 , v_0 - соответственно масса и объём древесины при $W=0\%$.

Плотность древесины меньше плотности древесинного вещества, так как она включает пустоты (полости клеток и межклеточные пространства, заполненные воздухом).

Относительный объём полостей, заполненных воздухом, характеризует *пористость* древесины Π : $\Pi = (v_0 - v_{\text{д.в.}}) / v_0 * 100$, где v_0 и $v_{\text{д.в.}}$ - соответственно объём образца и содержащегося в нём древесинного вещества при $W=0\%$. Пористость древесины колеблется в пределах от 40 до 80%.

в) *Плотность влажной древесины*: $\rho_w = m_w / v_w$, где m_w и v_w - соответственно масса и объём древесины при влажности W . Плотность древесины зависит от её влажности. При влажности $W < W_{\text{пн}}$ плотность изменяется незначительно, а при увеличении влажности выше $W_{\text{пн}}$ наблюдается значительный рост плотности древесины.

г) *Парциальная влажность древесины* ρ_w характеризует содержание (массу) сухой древесины в единице объёма влажной древесины: $\rho_w = m_0 / v_w$, где m_0 - масса абсолютно сухой древесины, г или кг; v_w - объём, см³ или м³, древесины при данной влажности W .

д) *Базисная плотность древесины* выражается отношением массы абсолютно сухого образца m_0 к его объёму при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок V_{\max} : $\rho_B = m_0 / v_{\max}$. Этот основной показатель плотности, который не зависит от влажности, широко используется для оценки качества сырья в деревообработке, целлюлозно-бумажной промышленности и в других случаях.

Величина плотности древесины изменяется в очень широких пределах. Среди пород России и ближнего зарубежья древесину с очень малой плотностью имеет пихта сибирская (345), ива белая (415), а наиболее плотную - самшит (1040), ядро фисташка (1100). Диапазон изменения плотности древесины иноземных пород шире: от 100-130 (бальза) до 1300 (бакаут). Значения плотности здесь и ниже даны в килограммах на метр кубический (кг/м³).

По плотности древесины при 12% влажности породы делят на 3 группы: с малой ($P_{12} < 540$), средней ($550 < P_{12} < 740$) и высокой ($P_{12} > 740$) плотностью древесины.

Проницаемость характеризует способность древесины пропускать жидкости или газы под давлением.

Водопроницаемость древесины вдоль волокон значительно больше, чем поперёк волокон, при этом у древесины лиственных пород она в несколько раз больше, чем у хвойных.

Тепловые свойства

К тепловым свойствам относятся теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность и тепловое расширение.

Теплоёмкость. Показателем способности древесины аккумулировать тепло является удельная теплоёмкость C , представляющая собой количество теплоты, необходимое для того чтобы нагреть 1 кг массы древесины на 1 (0) С. Удельная теплоёмкость для всех пород одинакова. С увеличением влажности теплоёмкость увеличивается.

Теплопроводность - свойство, характеризующее интенсивность переноса тепла в материале.

Температуропроводность характеризует способность древесины выравнивать температуру по объёму.

Тепловое расширение - способность древесины увеличивать линейные размеры и объём при нагревании. Коэффициент теплового расширения древесины в 3-10 раз меньше, чем у металла, бетона, стекла.

Электрические свойства

Электропроводность - способность древесины проводить электрический ток, которая находится в обратной зависимости от **электрического сопротивления**.

Сухая древесина относится к диэлектрикам. С повышением влажности древесины сопротивление уменьшается. Особенно резкое снижение (в десятки миллионов раз) сопротивления наблюдается при увеличении содержания связанной воды. Дальнейшее увеличение влажности вызывает падение сопротивления лишь в десятки или сотни раз. Этим объясняется снижение точности определения влажности электровлагомерами в области, выше $W_{\text{пн}}$.

Электрическая прочность - способность древесины противостоять пробою, т.е. снижению сопротивления при больших напряжениях.

Диэлектрические свойства характеризуют поведение древесины в переменном электрическом поле. Показатели: диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь.

Диэлектрическая проницаемость равна отношению ёмкости конденсатора с прокладкой из древесины к ёмкости конденсатора с воздушным зазором между электродами. Этот показатель для сухой древесины равен 2-3.

Тангенс угла диэлектрических потерь характеризует долю подведённой мощности тока, которая поглощается древесиной и превращается в тепло.

Пьезоэлектрические свойства проявляются в том, что под действием механических усилий на поверхности древесины возникают электрические заряды.

Звуковые свойства

Одно из этих свойств - звукопроводность, показателем которой являются *скорость звука*. Скорость звука C , м/с, в древесине можно определить по формуле: $C = (E/\rho)^{1/2}$, где E - динамический модуль упругости, Н/м²; ρ - плотность древесины, кг/м³.

Другой важный показатель, характеризующий способность древесины отражать и проводить звук, - *акустическое сопротивление*, Па·с/м: $R = \rho \cdot C$.

Свойства древесины, проявляющиеся под воздействием электромагнитных излучений

Поверхностные зоны древесины могут эффективно прогреваться с помощью невидимых инфракрасных лучей. Значительно глубже - до 10-15 см - проникают в древесину лучи видимого света. По характеру отражения световых лучей можно оценивать наличие видимых пороков древесины. Световое лазерное излучение прожигает древесину и в последнее время успешно используется для выжигания деталей сложной конфигурации.

Ультрафиолетовые лучи проникают гораздо хуже в древесину, но вызывают свечение - люминесценцию, которое может быть использовано для определения качества древесины.

Рентгеновские лучи используются для определения особенностей тонкого строения древесины, выявления скрытых пороков и в других случаях.

Из ядерных излучений можно отметить бета-излучения, которые используются при денсиметрии растущего дерева. Гораздо шире могут применяться гамма-излучения, которые глубже проникают в древесину и используются при определении её плотности, обнаружении гнилей в рудничной стойке, конструкциях и т.д.

Механические свойства древесины

Применение древесины в качестве конструкционного материала обусловлено способностью сопротивляться действию усилий, т.е. механическими свойствами.

Различают следующие свойства древесины, проявляющиеся под воздействием механических нагрузок:

- *прочность* - способность сопротивляться разрушению,
- *деформативность* - способность сопротивляться изменению размеров и формы,
- *технологические и эксплуатационные свойства*.

Показатели механических свойств древесины определяют обычно при следующих видах испытаний: растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге. Поскольку древесина - анизотропный материал, т.е. материал с различными свойствами в разных направлениях, указывают направление действия нагрузок: вдоль или поперек волокон (в радиальном или тангенциальном направлении).

Из-за сопротивления древесины внешним нагрузкам в ней возникают внутренние силы. Эти силы, отнесённые к единице площади сечения (1 см^2) называются напряжениями. Максимальное напряжение, предшествующее разрушению тела, называют пределом прочности.

Предел прочности определяют на малых, чистых и не имеющих пороках образцах в лабораториях на испытательных машинах. Эти образцы имеют базисное сечение с размерами $20 \times 20 \text{ мм}$ и должны включать не менее 4-5 годичных слоёв. Некоторые виды испытаний производят на образцах, сечение которых отличается от указанного.

Прочность при сжатии определяется на образцах призматической формы.

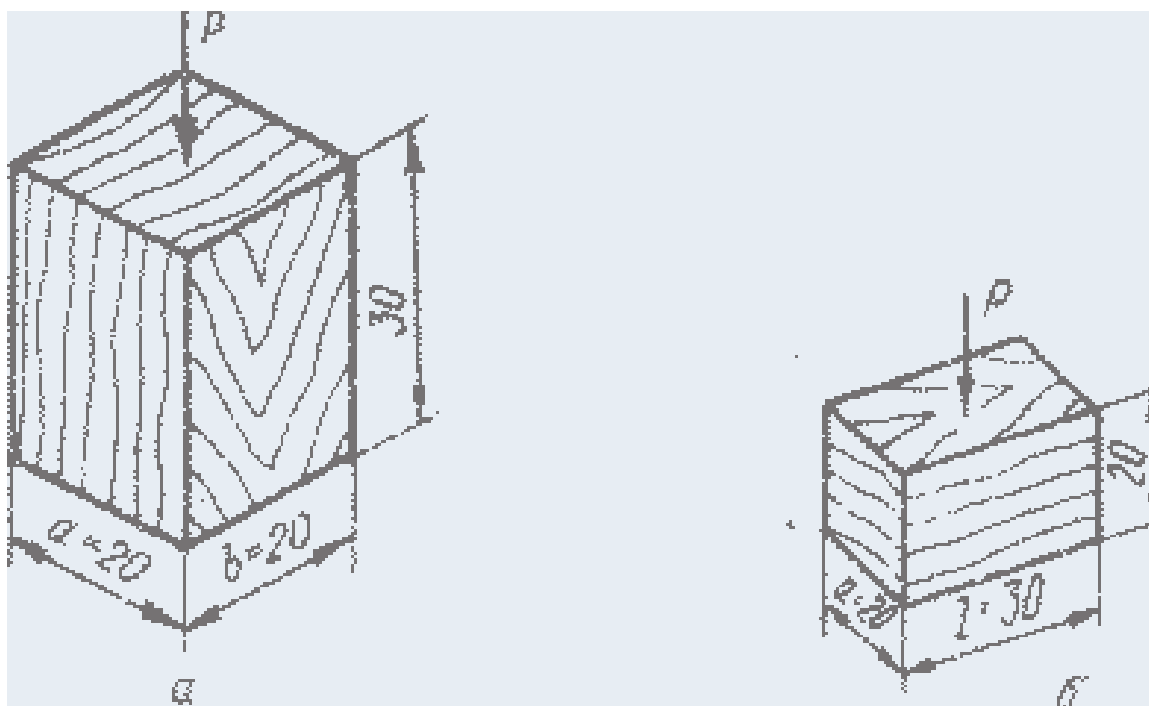


Рис. 15.5. Схема испытания на прочность при сжатии вдоль волокон и размер образца.

Образец постепенно нагружают до разрушения. Затем по силоизмерителю испытательной машины отсчитывают максимальную нагрузку P_{max} , Н. Предел прочности σ , МПа, вычисляют по формуле: $\sigma_w = P_{\text{max}} / (a \cdot b)$, где $(a \cdot b)$ - площадь сечения образца, мм^2 .

В среднем для всех отечественных пород при влажности древесины 12% предел прочности на сжатие вдоль волокон составляет около 50 МПа.

Прочность при сжатии поперёк волокон определяется по схеме на рисунке. Здесь указана равнодействующая сил, которые либо равномерно распределены по всей поверхности образца, либо по всей ширине, но на части длины его (местное сжатие). И в том, и в другом случаях определяют условный предел прочности. В качестве этого

показателя используют предел пропорциональности, т.е. величину напряжений, до которых наблюдают линейную зависимость между напряжениями и деформациями. В среднем для всех пород он составляет 1/10 предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Испытания на прочность при растяжении проводятся на образцах другого вида:

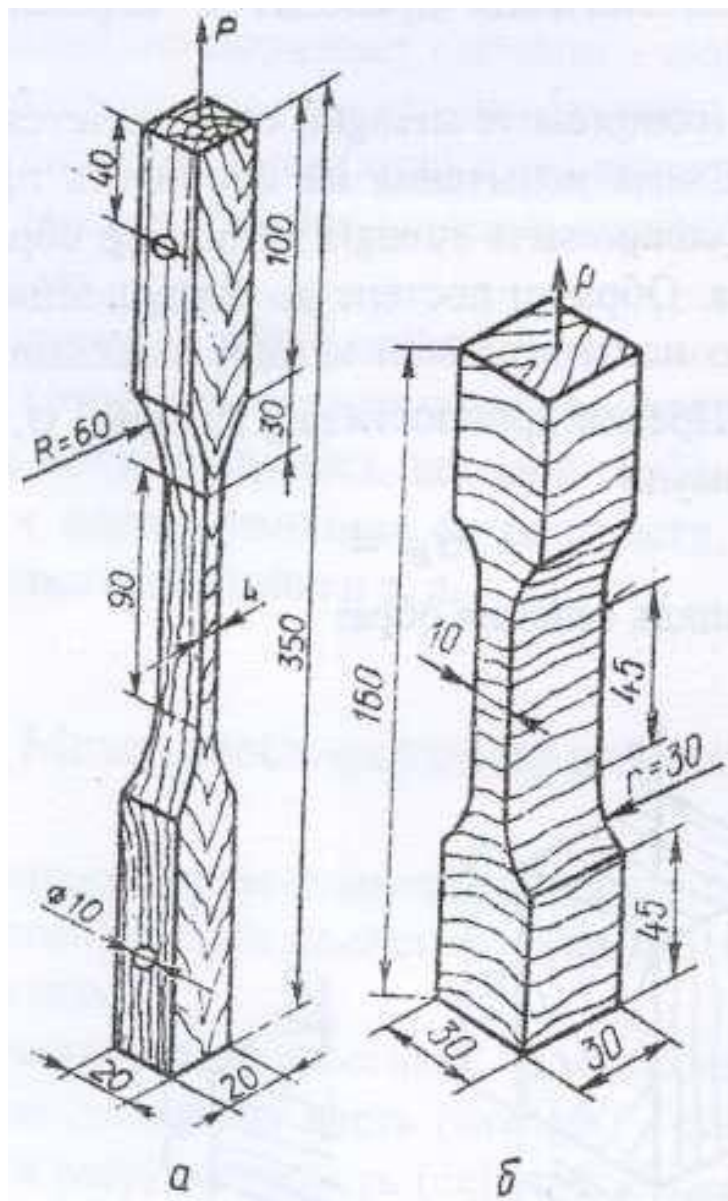


Рис. 15.6. Испытания на прочность при растяжении.

Такая форма образцов обусловлена стремлением обеспечить разрушение в тонкой рабочей части, а не в месте закрепления, под воздействием именно растягивающих напряжений.

В среднем для всех пород предел прочности при растяжении вдоль волокон равен 130 МПа, а предел прочности при растяжении поперёк волокон в 20 раз ниже. Поэтому

при конструировании изделий из древесины избегают растягивающих нагрузок, направленных поперёк волокон.

Для испытания древесины на статический изгиб (рис. 15.7) применяют образцы в форме бруска размерами 20·20·300 мм:

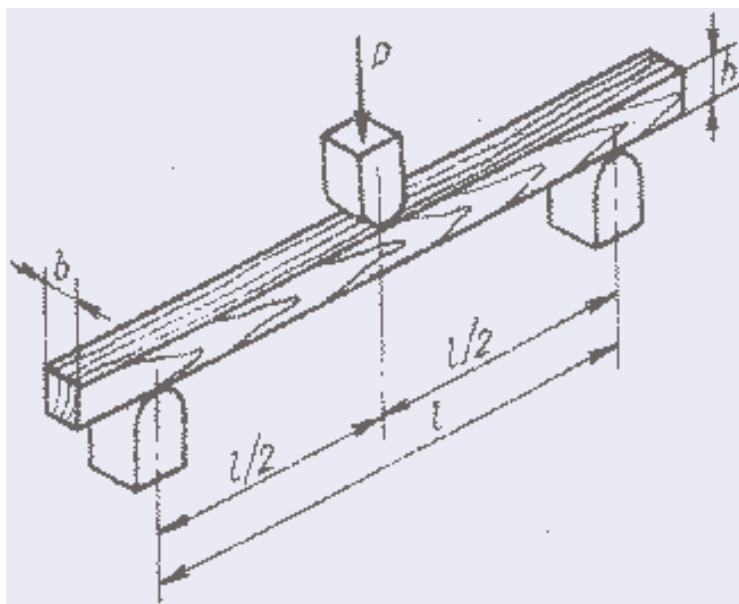


Рис. 15.7. Испытание древесины на статический изгиб

Предел прочности при статическом изгибе, МПа, вычисляют по формуле: $\sigma_w = (3/2) * ((P_{max} \cdot l) / (b \cdot h^2))$, где P_{max} - максимальная нагрузка, Н; l - пролет, т.е. расстояние между центрами опор, равный 240 мм; b и h - ширина (в радиальном) и высота (в тангенциальном) направлениях, мм.

В среднем предел прочности при статическом изгибе составляет 100 МПа.

При испытаниях к образцу прикладывают две равные и противоположно направленные силы, вызывающие разрушение в параллельной им плоскости, происходит сдвиг. Различают три вида испытаний на сдвиг: скалывание вдоль волокон, скалывание поперёк волокон и перерезание древесины поперёк волокон. Схемы действия сил при этих испытаниях показаны на рисунке 15.8.

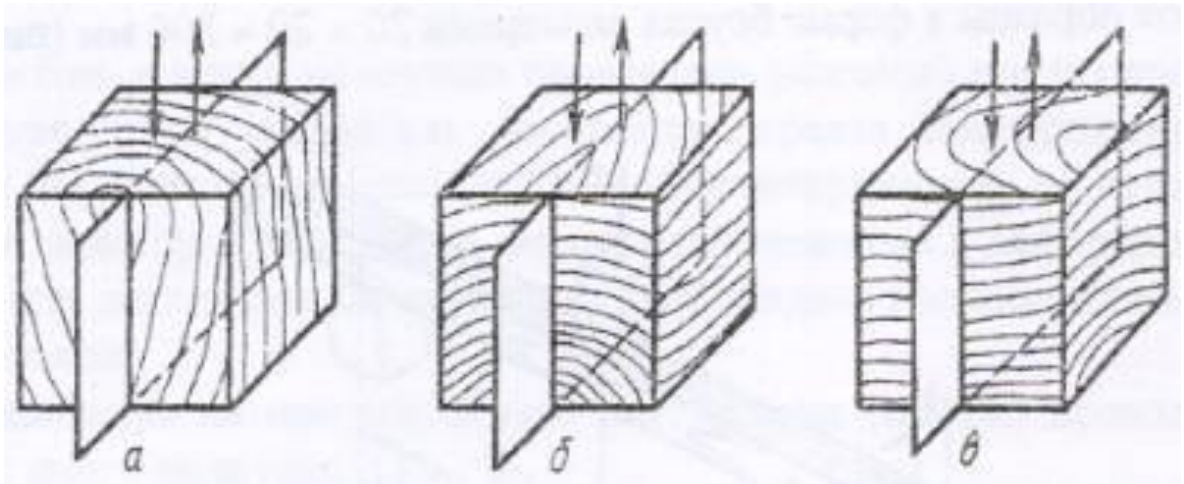


Рис. 15.8. Виды испытаний на сдвиг.

Для испытания на скалывание вдоль волокон применяют образец, форма и размеры которого показаны на рисунке 15.9.

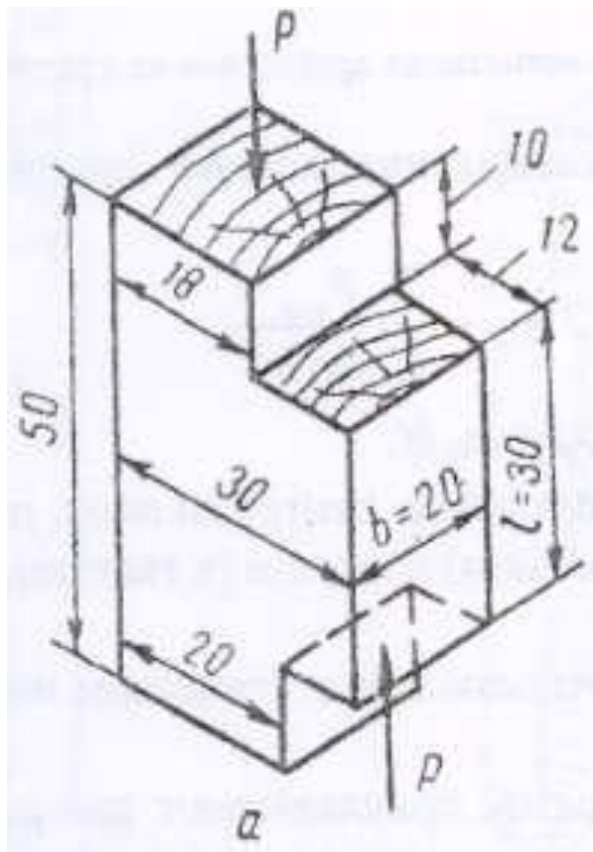


Рис. 15.9. Испытание на скалывание вдоль волокон.

Предел прочности при скалывании вдоль волокон определяют по формуле: $T_w = P_{\max} / (b \cdot l)$, где $(b \cdot l)$ - площадка скалывания, мм^2 .

Величина предела прочности - касательных максимальных напряжений при скалывании вдоль волокон в среднем для всех пород составляет примерно 1/5 от предела прочности при сжатии вдоль волокон. Предел прочности при скалывании поперёк волокон в 2 раза меньше, а предел прочности при перерезании поперёк волокон в 4 раза больше, чем предел прочности при скалывании вдоль волокон.

Деформативность. При кратковременных нагрузках в древесине возникают преимущественно упругие деформации, которые после нагрузки исчезают. До определённого предела зависимость между напряжениями и деформациями близка к линейной (закон Гука). Основным показателем деформативности служит коэффициент пропорциональности - модуль упругости.

Модуль упругости вдоль волокон $E = 12-16$ ГПа, что в 20 раз больше, чем поперёк волокон. Чем больше модуль упругости, тем более жесткая древесина.

С увеличением содержания связанной воды и температуры древесины, жесткость её снижается. В нагруженной древесине при высыхании или охлаждении часть упругих деформаций преобразуется в "замороженные" остаточные деформации. Они исчезают при нагревании или увлажнении.

Поскольку древесина состоит в основном из полимеров с длинными гибкими цепными молекулами, её деформативность зависит от продолжительности воздействия нагрузок. Механические свойства древесины, как и других полимеров, изучаются на базе общей науки реологии. Эта наука рассматривает общие законы деформирования материалов под воздействием нагрузки с учётом фактора времени.

Эксплуатационные и технологические свойства. Прочность древесины при длительных постоянных нагрузках важно знать в связи с применением её в строительных конструкциях. Показателем этого свойства является *предел длительного сопротивления* $\sigma_{д.с.}$, который в среднем для всех видов нагрузки составляет примерно 0,5 - 0,6 величины предела прочности при кратковременных статических испытаниях.

Показателем прочности при переменных нагрузках является *предел выносливости*, средняя величина которого составляет примерно 0,2 от статического предела прочности.

При проектировании деревянных конструкций в расчётах используют не пределы прочности малых образцов древесины, а в несколько раз меньшие показатели - *расчётные сопротивления*. Они учитывают большие размеры элементов конструкций, наличие пороков древесины, длительность действия нагрузки, влажность, температуру и другие факторы.

Удельная вязкость характеризует способность древесины поглощать работу при ударе без разрушения и определяется при испытаниях на изгиб. Ударная вязкость у древесины лиственных пород в среднем в 2 раза больше, чем у древесины хвойных пород.

Твёрдость характеризует способность древесины сопротивляться вдавливанию более твёрдого тела. Испытания на статическую твёрдость проводят по схеме, показанной на рисунке 10:

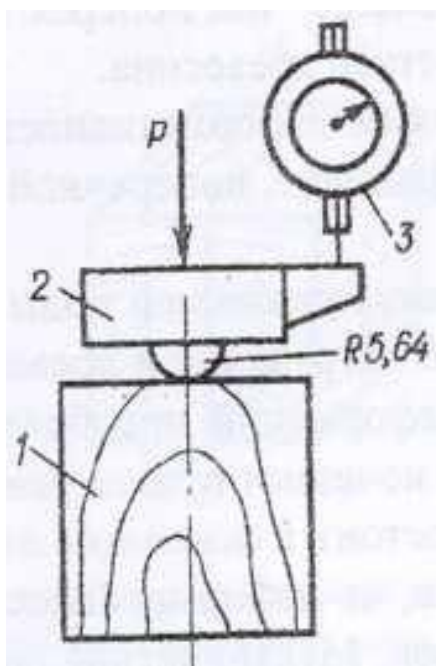


Рис. 15. 10. Испытание на статическую твердость

Для испытания на твёрдость используют приспособление, которое имеет пуансон с полусферическим наконечником. Его вдавливают на глубину радиуса. После испытания в древесине остаётся отпечаток, площадь проекции которого при указанном радиусе полусферы составляет 100 мм^2 . Показателем статической твёрдости образца, Н/мм^2 , является усилие, отнесенное к этой площади. Статическая твёрдость торцевой поверхности выше, чем боковых поверхностей.

Все отечественные породы по твёрдости торцевой поверхности при влажности 12% делят на 3 группы: мягкие (твёрдость 40 Н/мм^2 и менее), твёрдые (41-80) и очень твёрдые (более 80 Н/мм^2).

Ударную твёрдость определяют, сбрасывая стальной шарик диаметром 25 мм с высоты 0,5 м на поверхность образца, величина которого тем больше, чем меньше твёрдость древесины.

Износостойкость - способность древесины сопротивляться износу, т.е. постепенному разрушению её поверхностных зон при трении. Испытания на

износостойкость древесины показали, что износ с боковых поверхностей значительно больше, чем с поверхности торцевого разреза. С повышением плотности и твёрдости древесины износ уменьшился. У влажной древесины износ больше, чем у сухой.

Уникальным свойством древесины является *способность удерживать крепления*: гвозди, шурупы, скобы, костыли и др. При забивании гвоздя в древесину возникают упругие деформации, которые обеспечивают достаточную силу трения, препятствующую выдёргиванию гвоздя. Усилие, необходимое для выдёргивания гвоздя, забитого в торец образца, меньше усилия, прилагаемого к гвоздю, забитому поперёк волокон. С повышением плотности сопротивление древесины выдергиванию гвоздя или шурупа увеличивается. Усилия, необходимые для выдёргивания шурупов (при прочих равных условиях), больше, чем для выдёргивания гвоздей, так как в этом случае к трению присоединяется сопротивление волокон перерезанию и разрыву.

Технологическая операция гнутья древесины основана на её способности сравнительно легко деформироваться при действии избегающих усилий. **Способность гнутья** выше у кольцесосудистых пород - дуба, ясеня и др., а из рассеянно-сосудистых - бука; хвойные породы обладают меньшей способностью к загибу. Гнутью подвергают древесину, находящуюся в нагретом и влажном состоянии. Это увеличивает податливость древесины и позволяет вследствие образования замороженных деформаций при последующем охлаждении и сушке под нагрузкой зафиксировать новую форму детали.

Для сравнительной оценки качества древесины используют так называемые *удельные характеристики механических свойств*, т.е. показатели ее механических свойств, отнесенные к единице плотности.

Удельная прочность при сжатии и статическом изгибе у хвойных пород выше, чем у лиственных. Значительно выше у хвойных пород и удельная жесткость. По остальным свойствам удельные характеристики у древесины лиственных пород выше, чем у хвойных.

Удельные характеристики древесины имеют особое значение, когда от изделия или конструкции требуется высокая прочность при малом весе. Это важно для транспортного машиностроения, авиастроения, судостроения и в других случаях.

Применение древесины

Применение в строительстве. Древесина применяется в строительстве в таких формах, как пиломатериалы прямоугольного сечения (брус, доски), шпон, фанера, железнодорожные шпалы, столбы, сваи, стойки, гонт и древесноволокнистые плиты.

Больше всего потребляется пиломатериалов прямоугольного сечения. Их производят распиловкой бревен, затем отделяют до стандартной ширины и длины, сортируют по качеству, сушат и поставляют потребителям в необработанном с поверхности, обработанном или формованном виде. Фанеру изготавливают, склеивая нечетное число тонких слоев древесины (шпона) так, чтобы волокна соседних слоев были взаимно перпендикулярны. Фанерные панели отличаются от обычных пиломатериалов тем, что (наряду с отсутствием ограничений по ширине) их прочность более равномерна в разных направлениях, они лучше сопротивляются раскалыванию, а их размеры меньше изменяются в условиях переменной влажности.

Топливо и древесная масса. Применение древесины как топлива в масштабах всего мира имеет все еще очень важное значение. В высокоразвитых промышленных странах топливное потребление древесины на протяжении последних десятилетий непрерывно уменьшалось в связи с переходом на уголь, газ, нефть и электричество. Такая тенденция, по-видимому, сохранится и в будущем по мере того, как с дальнейшим развитием техники будут все более доступны другие виды топлива и источники тепла. Применение же древесины в виде древесной массы в последнее время, наоборот, непрерывно увеличивалось и, по прогнозам, будет продолжать увеличиваться в обозримом будущем. Древесина превращается в древесную массу механическим истиранием с применением воды или путем обработки химикатами, разрушающими лигниновую связь и освобождающими волокна. Затем древесная масса переделывается в различные виды бумаги, коробочный картон, древесноволокнистые плиты. После специальной обработки она используется как целлюлозное сырье для изготовления синтетических тканей и пластиков.

Усовершенствования технологии. Благодаря новым технологическим разработкам древесина стала шире использоваться в традиционных областях и нашла новые области применения. К таким достижениям относятся усовершенствования в технологии сушки, противогнилостная и противопожарная обработка, слоистые конструкции, сборные конструкции заводского изготовления, высокоэффективные столярные клеи. Достигнуты большие успехи в целлюлозно-бумажной промышленности, а также в производстве таких материалов на основе химической переработки древесины, как синтетическое волокно, целлофан, спирт, дрожжи, древесноволокнистые плиты, древесина с полимерной пропиткой, древесный слоистый пластик и различные формованные изделия. Прогресс в области переработки и применения древесины явился стимулом к дальнейшему развитию лесного хозяйства.