

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию РФ

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса

Л.А. ЧЕРНЯВИНА

КОНСТРУИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ СРЕДЫ

Учебное пособие
по специальности «Дизайн» 070601

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2009

Рецензенты: В.А. Вольтер, главный архитектор
ООО ДВ ПромстройНИИпроект;
А.А. Ковалевский, директор ООО
НВФ «ТЭРУС», засл. строитель РФ,
канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник

Чернявина Л.А.

Ч 49 **КОНСТРУИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ СРЕДЫ:**
учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС,
2009. – 244 с.

Учебное пособие по дисциплине «Конструирование в дизайне среды» составлено в соответствии с требованиями государственного стандарта России и программой курса к учебной дисциплине «Конструирование в дизайне среды». Данное пособие учит студентов грамотно применять конструкционные и декоративные материалы в проектировании средового пространства и методике конструирования элементов конструкций в современных и традиционных системах.

Предназначено студентам специальности 070601 «Дизайн».

ББК 85.110-2я73

Печатается по решению РИСО ВГУЭС

© Издательство Владивостокский
государственный университет
экономики и сервиса, 2009

ВВЕДЕНИЕ

В большой Советской энциклопедии слово «Дизайн» определяют как художественное конструирование. Этот термин обозначает различные виды проектировочной деятельности, имеющей целью формирование эстетических и функциональных качеств предметной среды. Цель данного пособия дать возможность студентам охватить основную методику расчета элементов в различной конструктивной форме.

Пособие дает основные рекомендации по конструкционным материалам и основные методы расчета конструктивных элементов при реализации дизайнерских замыслов, поскольку любое проектное решение необходимо реализовать. Первой ступенью для этого решения является грамотный выбор материала, поэтому в пособии рассматриваются основные конструкционные материалы, их физико-механические свойства и основные направления применения. Необходимо иметь определенные знания, чтобы материализовать свое проектное решение, грамотно применить материал в конкретном изделии. Каждый материал по-разному ведет себя в том или ином изделии, поэтому важно выбрать для конструкции материал, который будет работать именно в данной конструктивной форме. Помимо основных материалов дана методика расчета того или иного конструктивного элемента в конкретной расчетной схеме, приведены примеры расчета основных конструктивных форм.

Они должны обладать высокими эксплуатационными и технико-экономическими показателями и, прежде всего, соответствовать своему функциональному назначению: высокие эстетические качества, прочность, долговечность, технологичность, малая материалоемкость и по возможности малая себестоимость.

Требования полного соответствия изделий их назначению также разнообразны, как и их функции. Для мебели, например, это удобство пользования ею, согласованность размеров мебели с анатомической особенностью строения и размерами (антропометрией) человеческого тела, размерами предметов, хранящихся в мебели, согласованность с высотой и планировкой помещений и так далее. Для оконных блоков это высокий процент световой поверхности от всей площади оконного проема, малая воздухопроницаемость и теплопроводность. Для музыкальных инструментов кроме согласованности с антропометрией еще большее значение должно иметь качество звучания инструмента, для чертежных досок точность и стабильность их формы равномерная и невысокая плотность древесины, допускающая легкое закрепление листов бумаги кнопками.

Все эти требования, как правило, обуславливаются в технических условиях на изделие или стандартах. Известно, что обстановка, окру-

жающая человека, удобство и красота вещей, их расположение, условия освещенности, наличие или отсутствие шумов и запахов – все это оказывает непосредственное влияние на психику человека, уменьшает или повышает его работоспособность, располагает или не располагает к отдыху. Все это относится к любым изделиям, которые формируют нашу среду, в которой человек находится на работе, в быту и на отдыхе. Требования к эстетическим качествам современных изделий решаются на научной основе.

В промышленном изделии красота и полезность неразрывно связаны между собой. Изделие не может быть признано хорошим, если оно красиво, но неудобно в пользовании. Удобство в эксплуатации является первым условием эстетически полноценного промышленного изделия. Конструкция и форма изделия должны органически сочетаться и обуславливаться его назначением, учитывать свойства материала и рациональную технологию изготовления изделия. Привлекательность и красота изделия должны достигаться за счет органичного сочетания формы и назначения пропорциональности размеров, правильного сочетания цветов, выявления фактуры материала и назначения изделия. Изделие должно гармонично согласовываться с другими изделиями, с которыми оно будет совместно находиться в эксплуатации. Изделие должно отвечать действующим санитарным и гигиеническим требованиям. В промышленном изделии красота и полезность неразрывно связаны.

Прежде чем материализовать свой творческий замысел, дизайнер должен выбрать необходимый материал. Выбор материала основывается на его физико-механических свойствах.

Новизна данного пособия заключается в том, что в пособии впервые объединены необходимые знания по материалам и работе материала в различных конструктивных формах. Такие знания необходимы дизайнерам в их творческой деятельности, что и обуславливает актуальность данного пособия.

Тема 1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

1.1. Физико-механические свойства материалов

1.1.1. Физические свойства материалов

Плотность – есть масса единицы объема вещества.

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{г}{см^3}; \frac{кг}{м^3} \right)$$

Пористость – количество не заполненного веществом объема.

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду под давлением. Величина водопроницаемости характеризуется количеством воды, прошедшей за час через 1 см² поверхности материала при постоянном (заданном) давлении.

Водопоглощение – степень заполнения объема материала водой, его определяют по разности масс образца материала в сухом и насыщенном водой состоянии в %.

Влагоотдача – свойство материала отдавать воду окружающей среде. Характеризуется скоростью высыхания материала.

Гигроскопичность – способность материала поглощать воду из воздуха. Она свойственна пористым материалам.

Влажность – содержание воды в порах материала.

Морозостойкость – способность материала в состоянии насыщения водой выдерживать многократное переменное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и без значительного снижения прочности. Обозначается Мрз5, 10, 15, 25, 200. Цифры обозначают количество циклов замораживания и оттаивания образцов в лабораторных условиях без признаков разрушения и внешних изменений.

1.1.2. Механические свойства

1. Прочность – способность материала сопротивляться разрушению под действием напряжения, возникающего от действия нагрузки.

Предел прочности – напряжение, соответствующее нагрузке, вызывающей разрушения материала.

2. Твердость – способность сопротивляться проникновению в материал другого более прочного материала.

3. Истираемость – способность материала уменьшаться в весе и объеме под действием истирающих усилий. Она зависит от твердости.

4. Сопротивление удару – способность материала сопротивляться ударным воздействиям.

5. Упругость – способность материала восстанавливать свою первоначальную форму и объем после снятия нагрузки.

6. Пластичность – способность изменять свою форму и объем без образования трещин и сохранять их после снятия нагрузки.

7. Хрупкость – способность материала разрушаться сразу без предварительных деформаций, как только нагрузки достигнут разрушающих величин.

Начинаем знакомство с основными материалами с древесины – наиболее распространенного и экологически чистого материала.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные физические свойства материалов.
2. Назовите основные механические свойства материалов.
3. Что такое гигроскопичность, как избежать ее неприятных проявлений?
4. Каким способом определяют твердость материалов?
5. Назовите величину, характеризующую водопроницаемость.
6. Что является единицей теплопроводности?
7. Что обозначают цифры в обозначении морозостойкости?

1.2. Древесина

С древних времен человек пользуется изделиями из древесины. Древесина древнейший конструкционный материал.

В большинстве стран, особенно в странах, богатых лесом, развитие материальной культуры человеческого общества было теснейшим образом связано с все расширяющимся применением древесины в строительстве, быту, технике и искусстве, с развитием и совершенствованием ее обработки и переработки. Из древесины строили жилища и хозяйственные постройки, сооружали мосты и суда, изготавливали орудия труда, охоты и рыболовства, разнообразный хозяйственный инвентарь, мебель, посуду, транспортные средства, всевозможные емкости, музыкальные инструменты. Древесина применялась для изготовления орудий труда в сельском и домашнем хозяйстве, а с появлением ремесел стала одним из первых конструктивных материалов для изготовления прядильных, ткацких, мельничных, гончарных и других станков. С развитием промышленного производства древесина применялась в качестве одного из основных конструкционных материалов во многих отраслях машиностроения особенно транспортного. Еще в первой четверти нашего столетия древесина широко применялась в вагоностроении, судостроении, автомобилестроении и авиастроении. Начиная со второй четверти текущего столетия развитие производства высокопрочных сталей, а также успехи химической промышленности привели к постепенному вытеснению древесины из основ-

ных отраслей транспортного машиностроения (авиа, вагоностроение, крупнотоннажное судостроение и др.).

Тем не менее, большое значение древесины и изделий из нее в народном хозяйстве не снизилось и, несомненно, сохранится в будущем.

Объясняется это многими причинами, и прежде всего рядом ценных свойств древесины как конструкционного материала, а также тем обстоятельством, что успехи химии и химической промышленности приводят не только к созданию новых синтетических материалов, но и расширяют возможности переработки древесины за счет лучшего ее использования в сочетании с другими материалами и использования отходов древесины. В настоящее время из древесины изготавливаются изделия тысячи наименований, сюда относится, прежде всего, мебель всевозможных видов и назначений, разнообразные детали зданий и сооружений, детали и части машин, футляры точных приборов, разнообразный хозяйственный материал, чертежные и канцелярские принадлежности, спортивный инвентарь, музыкальные инструменты, игрушки, украшения и другое.

Мебель, изготавливаемая для имущих классов, отличалась роскошью отделки, разнообразием форм и украшений и подразделялась на две группы: парадную мебель для дворцов, украшенную резьбой, золотом, бронзой, инкрустацией и бытовую мебель для помещичьих усадеб и городских домов. Мебель простых людей не имела дорогостоящей и трудоемкой отделки. Основными предметами, составляющими обстановку жилья простого человека, были лавка, скамья, табурет, стол и шкаф. Однако народные умельцы нередко создавали, пользуясь простыми материалами и несложными способами их обработки, высокохудожественные предметы мебели, ярко отражающие национальные особенности быта и художественные вкусы народных масс.

Особенно высокого расцвета мебельное искусство достигло в России в конце XVIII – начале XIX века. Усадебные дома, дворцы, особняки обставлялись высокохудожественной мебелью, выполненной искусными мастерами-крепостными. Выдающиеся зодчие того времени начинают принимать активное участие в нахождении пропорций гладких поверхностей, умелого сочетания отделки, подбора шпона. Большое внимание уделяется разнообразной по рисунку и цвету лицевой фурнитуре.

В зависимости от применения древесины в той или иной области к ней предъявляются самые разнообразные требования.

Все изделия должны обладать высокими эксплуатационными и технико-экономическими показателями и в то же время соответствовать своему функциональному назначению.

Высокие эстетические качества, прочность, долговечность, технологичность, малая материалоемкость и по возможности малая себестоимость.

По лесным богатствам наша страна занимает первое место в мире. Площадь, занимаемая лесами, около 1073 млн га. Лиственных лесов втрое меньше, чем хвойных, они занимают около 24% всех лесов. Лиственные леса расположены ближе к постройкам.

Все леса нашей страны разделены на три зоны: защитную (вблизи городов) – 3%, водоохранную (обеспечивающую питание рек) – 8%, промышленную (сырьевая база) – 87%. В нашей стране все породы деревьев делятся на хвойные и лиственные. В хвойных породах деления на твердые породы и мягкие нет.

Лиственные породы разделяются на кольцесосудистые и рассеянносудистые, которые в свою очередь подразделяются на породы с твердой и мягкой древесиной.

К кольцесосудистым относятся только породы с твердой древесиной: дуб, ясень, вяз гладкий, ильм, карагач (вид ильма), каштан съедобный, бархатное дерево или бархат амурский, диморфант или белый орех.

Рассеянносудистые породы делятся на породы с мягкой древесиной (береза, ольха, осина, липа, тополь, ива) и породы с твердой древесиной (бук, орех грецкий и орех маньчжурский, граб обыкновенный, клен, платан или чинара, груша, самшит).

1.2.1. Породы древесины

1.2.1.1. Хвойные породы

Хвойные породы относят к мягкой древесине. Мягкая древесина заготавливается из деревьев, достигающих зрелости, как правило, за 20–25 лет роста.

1. Ель.

Места произрастания. Занимает 16,5% всей лесной площади страны. На Севере, склоны Алтайских, Саянских и Кавказских гор. Наиболее крупные леса в Карелии. Известно около 40 видов, главным образом в умеренном поясе Северного полушария. В нашей стране известно 7–8 видов.

Область применения: строительство, производство целлюлозы, музыкальных инструментов, речное судостроительство, смола, бондарная тара, шелк (1 м³ еловой древесины – 1500 метров ткани, что соответствует количеству хлопка, собранному с 0,5 га).

Блеск: слабый.

Основной цвет ядра: белый.

Дополнительный цвет ядра: желтоватый.

Рисунок разреза слабо выраженный, наиболее красивый тангентальный разрез.

2. Сосна.

Наиболее плодовитое дерево из семейства хвойных. Сосна встречается почти повсеместно (за исключением районов Средней Азии) и от-

носителем недорого. Известно всего около 100 видов. В нашей стране известно 12 видов. Деревья вырастают высокими и прямыми, что когда-то позволяло изготавливать из них мачты для парусников, а в наше время из нее делают крупные строительные детали. Благодаря длинным древесным слоям, сосна – превосходное сырье для изготовления мебели.

Древесина сосны мягкая, лёгкая, механически прочная, стойкая к загниванию, легко поддается обработке, но часто поражается синевой и теряет натуральный цвет.

Область применения: строевая древесина, судостроение. Можно получить пиломатериалы любых габаритов, но качественно прочные доски достать нелегко. Когда выбираете сосну для изготовления мебели, остерегайтесь сучков, которые обладают не только декоративными достоинствами. «Мертвые» сучки могут вывалиться из доски, тогда как «живые» при окончательной отделке выглядят весьма привлекательно. Основной цвет ядра: розовый.

Дополнительный цвет ядра: бурый, желтый, красный.

Рисунок разреза заметно выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

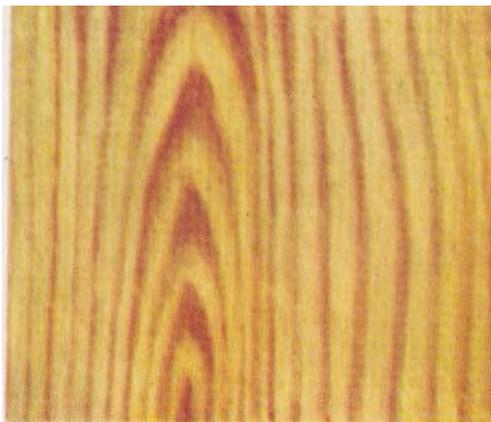


Рис. 1.1. Тангентальный разрез сосны

Орегонская сосна наиболее популярна у изготовителей мебели стиля кантри. Ее легко обрабатывать, у нее прямослойная структура и красивая желтовато-коричневая окраска. При обработке источает приятный аромат.

3. Лиственница.

Лиственница произрастает в основном в Северном полушарии. Всего известно около 15 видов. В России известны 4–5 видов.

Древесина тяжёлая, умеренно мягкая порода, высокая стойкость к загниванию.

Область применения: мебельное производство, гидротехнические сооружения, сваи, столбы, шпалы, полы.

Блеска нет.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра красноватый.

Рисунок разреза ярко выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

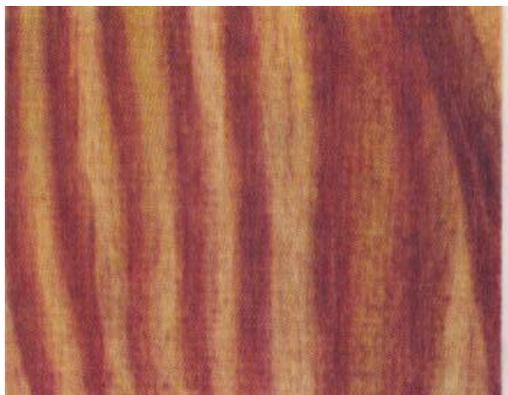


Рис. 1.2. Тангентальный разрез лиственницы

4. Пихта (очень высокие деревья).

К 60–80 годам рост достигает 25 м, диаметр ствола 50–60 см. Произрастает в горах Северного полушария. Известно около 50 видов, в нашей стране известно 9 видов (окультуренных 15 видов).

Мягкая порода.

Применяется как конструкционный материал в мебельном и фанерном производстве, в производстве музыкальных инструментов.

Блеска нет.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра желтоватый.

Рисунок разреза заметно выраженный, наиболее декоративного разреза нет.

5. Кедр.

Всего в мире известны 4 вида, произрастает в горах Малой и Юго-Западной Азии, Западных Гималаях, на Северо-западе Африки.

Занимает 4,2% площади всех лесов, в нашей стране произрастает на Камчатке, Курильских островах, известны 3 вида.

Порода мягкая, лёгкая, прочная.

Область применения: изготовление лестниц, оконных рам, карандашей, тары.

Блеск шелковистый. Древесина преимущественно цвета жидкого меда, отличается ароматом. Большинство разновидностей имеют прямослойную структуру. Западный красный кедр нередко используют в строительстве домов, а ливанский кедр идет на изготовление шкафов, поскольку его запах отпугивает насекомых. Многие разновидности семейства кедровых не слишком крепки, но очень долговечны. Австралийский красный кедр в отличие от других разновидностей имеет твердую древесину. Она более красновата, чем другие кедры, и по текстуре напоминает оregonскую сосну после полировки. Обычно ее применяют в столярно-мебельном производстве для изготовления небольших шкафов.

Основной цвет ядра розовый, со временем становится серым.

Дополнительный цвет ядра желтоватый.

Рисунок разреза заметно выраженный, декоративный разрез – тангентальный.



Рис. 1.3. Тангентальный разрез кедра

6. Тис (редкая порода, растёт медленно, живёт до 2–3 тыс. лет, запасы ничтожны).

Известны около 10 видов в Евразии, Северной Америке, в нашей стране 2 вида на Кавказе, в Крыму, на Дальнем Востоке и Южном Сахалине.

Порода тяжёлая, имеет очень высокие механические свойства.

Ценный материал для облицовки мебели и токарных изделий.

Блеск разреза слабый.

Основной цвет ядра бурый.
Дополнительный цвет ядра красновато-жёлтый, оранжевый.
Рисунок разреза заметно выраженный, декоративный разрез – тангентальный.



Рис. 1.4. Тангентальный разрез тиса

7. Кипарис (высотой более 30 м).

Произрастает в умеренно-тёплом поясе Евразии, Северной Америке и Северной Африке, известно около 15–20 видов. В нашей стране только на Чёрном Море (Кавказ, Крым) известны несколько видов – обыкновенный, болотный и Левзония. Растёт медленно, к 80–100 годам достигает высоты 20 м.

Порода мягкая, лёгкая, изделия долго сохраняют приятный запах.

Область применения: столярные и токарные изделия, мебель, сувениры (приятный запах).

Блеск слабый.

Основной цвет ядра жёлтый.

Дополнительный цвет ядра розовый.

Рисунок разреза заметно выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

8. Туя.

Произрастает в Восточной Азии и Северной Америке, известны 5 видов. В нашей стране известны 4 вида.

Красивая, легкая, мягкая, стойкая к загниванию древесина с приятным запахом.

Область применения: токарные изделия, облицовка мебели.

Блеска нет.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра светло-оранжевый, желтый.

Рисунок разреза красивый, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

9. Секвойя (самое крупное дерево на земле, живет до 5 тысяч лет, достигает высоты 140 м, диаметр ствола до 8,5 м).

Произрастает в прибрежных лесах Калифорнии, в штате Южная Орегона (США). Акклиматизируется на Черноморском побережье Кавказа. Порода средне твердая, имеет высокие технические и декоративные свойства.

Область применения: мебель, внутренняя отделка вагонов и кают, подводные сооружения, карандаши.

Блеска нет.

Основной цвет ядра красный.

Дополнительный цвет ядра желтоватый, светло-коричневый.

Рисунок разреза заметно-выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

10. Крптомерия (быстро-растущее дерево).

Произрастает в Японии и Китае, В нашей стране – леса и парки на Черноморском побережье Кавказа и Крыма.

Декоративная порода легкая мягкая.

Блеска нет.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра красноватый.

Рисунок разреза заметно-выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

11. Можжевельник (вечнозеленое, морозоустойчивое, неприхотливое дерево).

Произрастает около 60 видов в умеренном поясе Северного полушария, в нашей стране около – 20 видов, в средней Азии можжевельник называют арчой.

Твердая порода, чисто обрабатывается, хорошо шлифуется и полируется.

Применяется в резных и токарных изделиях, в столярном производстве, получают из можжевельника эфирное масло, лучше других хвойных пород переносит засуху.

Блеск матовый.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра серовато-бурый.

Рисунок разреза слабовыраженный, наиболее декоративного разреза нет.

12. Гинкго (предок хвойных деревьев, условно отнесено к хвойным породам).

В диком виде растет только в немногих местах Южного Китая, акклиматизируется на Черноморском побережье Кавказа и Крыма.

Древесина мягкая, легкая, хорошо обрабатывается и отделяется.

Применяется только в местах произрастания.

Блеск шелковистый.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра красноватый, желтоватый.

Рисунок разреза заметно выраженный, наиболее декоративный разрез – радиальный.

13. Гемлок (быстро растущее дерево).

Произрастает на Черноморском побережье Кавказа.

Порода легкая, мягкая.

Блеска нет.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра светло-коричневый.

Рисунок разреза заметно выраженный, наиболее декоративный разрез – радиальный.

1.2.2. Лиственные породы

Лиственные породы делятся на рассеянососудистые (твердые и мягкие) и кольцесосудистые.

1.2.2.1. Рассеянососудистые породы

14. Липа.

Известно около 50 видов, произрастает в Северном полушарии, к 50 годам вырастает до 20 м, в диаметре достигает 60 см. Леса почти полностью истреблены, остались только по берегам реки Белой. В нашей стране известны около 17 видов липы. Порода с мягкой древесиной, объемный вес 510 кг/м³. При сушке почти не растрескивается. Лучшее сырье для производства деревянной посуды, бочек для меда и икры, из луба делают мочала и рогожи.

Блеска нет.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра розовато-красноватый.

Рисунок разреза слабовыраженный, наиболее декоративного разреза нет.

Липа американская.

Порода твердая. Идет на изготовление футляров, игрушек, некоторых видов мебели, для изготовления токарных и резных изделий. Текстура невыразительная.

15. Ясень.

Встречается в виде единичных деревьев. Известно свыше 60 видов. Произрастает в Евразии, Северной Америке и Африке. В нашей стране известны 11 видов. Ясень обыкновенный произрастает в средней полосе

Европейской части России, на Кавказе. Маньчжурский ясень произрастает на Дальнем Востоке. Порода прочная и твердая. Идет на изготовление рукояток инструментов, спортивного инвентаря, для токарных работ.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра светло-коричневый, зеленоватый, красноватый.

Особенно красивая текстура искривленных стволов и криволинейных срезов, такую древесину называют венгерским ясенем, рисунок резко выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

Ясень американский.

Применяется в парковых насаждениях, имеет очень красивые пестрые листья. Порода вязкая, гибкая, более светлая, чем дуб.



Рис. 1.5. Тангентальный разрез ясеня

16. Дуб.

Произрастает целыми лесами, известны около 450 видов дуба. В нашей стране известны около 20 видов. Летний дуб растет на юге европейской части, на Кавказе, в Крыму, монгольский дуб растет на Дальнем Востоке, зимний дуб на Кавказе и в Крыму, пробковый произрастает в Закавказье, но его очень мало, из него делают пробки. Это удивительно твердый, очень прочный и долговечный материал, из которого в древности строили корабли. Дуб распиливали на массивные брусья для архитектурных сооружений (в елизаветинский период), их и по сей день можно видеть в Англии – свидетельство завидного долголетия.

Применяют в строительных работах, и идет на изготовление мебели для гостиных и столовых, в кораблестроении, для подводных сооружений, паркет, мебель, винные бочки, дубильные вещества, строганую фанеру. Качество древесины зависит от места произрастания. Со временем его древесина темнеет.

Блеск игристый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра желтый.

Рисунок разреза резко выраженный, наиболее декоративный разрез – радиальный.

Американский красный дуб.

Его твердая долговечная и очень прочная древесина похожа на американский белый дуб, однако отличается красноватым оттенком и более интересной текстурой.

Американский белый дуб.

Внешне его древесина близка к другим разновидностям дуба, но у нее желтовато-красный цвет и менее выразительная текстура. Белый дуб относится к твердым и долговечным породам.



Рис. 1.6. Радиальный разрез дуба

17. Тик (порода почти полностью истреблена).

Произрастает в лесах Азии от Индии до Индонезии, на о. Ява.

Порода твердая, тяжелая ($\gamma=590 \text{ кг/м}^3$) древесина прямослойная и долговечная, слегка маслянистая на ощупь, не разрушается термитами и морскими червями. Ее используют для изготовления садовой мебели, а также в качестве досок для настила и в кораблестроении, хотя маслянистость усложняет склеивание узлов. Идет на изготовление химической аппаратуры, применяют в столярно-мебельном производстве. Тик – традиционный, удобный материал для работы, он хорошо шлифуется, но слишком тверд для режущих инструментов.

Блеск слабый и только на радиальном разрезе.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра темно-желтый.

Рисунок разреза заметно выраженный, наиболее декоративный разрез – радиальный.

18. Бук (вырастает высотой до 50 м).

Произрастает в Западной Украине, на Кавказе и в Крыму.

Известны около 10 видов, в нашей стране – 3 вида, занимает третье место после березы и осины.

Порода твердая, мелковолоконистая, тяжелая ($\gamma=650\text{кг/м}^3$), хорошо обрабатывается, прекрасно гнется, обладает высокой механической прочностью, но малоустойчивая к загниванию.

Применяют для производства гнутой мебели, паркета, токарных работ, игрушек, музыкальных инструментов, но не для работы на открытом воздухе. Готовят фанеру и применяют в бондарном производстве, идет для изготовления чертежных инструментов.

Это еще один распространенный вид материала для столярных работ, поскольку древесина бука легкая, крепкая и твердая. Чем светлее древесина, тем моложе дерево и тем больше оно подходит для обработки. Избегайте темных и тусклых материалов из бука, так как это признак того, что древесина старая и может легко раскалываться. Дерево имеет превосходную структуру, что дает возможность легко строгать, делать узлы, соединения, а также полировать. Бук легко выдерживает бытовые нагрузки, сопротивляется вмятинам и царапинам. Из него делают рукоятки для инструментов.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра розовый.

Дополнительный цвет ядра желтоватый, красноватый.

Текстура однообразная, рисунок крапчатый, декоративные разрезы – тангентальный, радиальный.

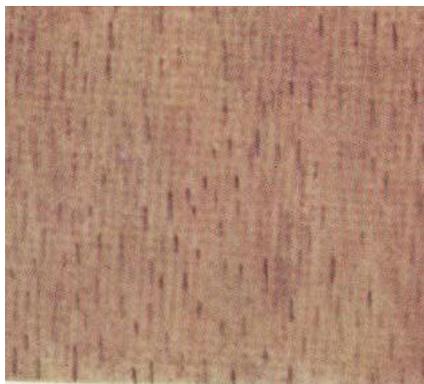


Рис. 1.7. Тангентальный разрез ствола бука

19. Каштан.

Известны 14 видов. Произрастает в Северной Америке, Японии, Средиземноморье, один вид известен на побережье Кавказа.

Древесина твердая.

Применяют в столярном и бочарном производстве, идет на изготовление облицовочной фанеры.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра серый.

Рисунок разреза резко выраженный, напоминает рисунок дуба, декоративные разрезы – радиальный, тангентальный.

20. Орех.

За 80–100 лет вырастает до 20–25 м, диаметр ствола достигает 45–50 см.

Известны 14–15 видов в горах Южной Европы, Азии и Америке.

Грецкий орех растет в Киргизии, на Кавказе, в Закавказье.

Маньчжурский орех растет на Дальнем Востоке.

Прекрасная твердая порода, умеренно тяжелая, $\gamma=600 \text{ кг/м}^3$.

Работать с орехом – одно удовольствие. К сожалению, его древесина становится все дороже. Идет на производство мебели, токарных изделий для мебели (отличный материал) тонкой фанеры, планок для облицовки столярных изделий.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра серый, поры черного цвета.

Рисунок разреза богатый, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

Самая богатая текстура у серого ореха, очень декоративная.



Рис. 1.8. Тангентальный разрез ствола ореха

21. Береза.

К 50–60 годам достигает высоты 25 м, диаметр ствола достигает 60 см.

Всего известно около 120 видов березы. В нашей стране известно около 50 видов. Отличается по цвету коры – белая, черная, желтая; по виду листьев – бородавчатая, пушистая; по роду произрастания – карельская, даурская; по твердости древесины – каменная, железная; и в зависимости от вида и условий произрастания имеет различные технические и декоративные свойства. 2/3 лиственных лесов нашей страны заняты пушистой и бородавчатой березой.

Умеренно твердая порода, среднетяжелая, $\gamma = 640\text{--}650 \text{ кг/м}^3$.

Применяется в столярно-мебельном производстве.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра красновато-желтый.

Слабовыраженный рисунок, наиболее декоративный разрез – тангентальный.



Рис. 1.9. Тангентальный разрез ствола березы

Желтая береза.

Произрастает на Дальнем Востоке, порода тяжелая, $\gamma=670 \text{ кг/м}^3$, нестойкая к загниванию, применяют только для внутренней отделки. Сечение ствола имеет форму многоугольника.

Каменная береза.

Произрастает в Забайкалье и Якутии, очень твердая и тяжелая порода, $\gamma=980 \text{ кг/м}^3$.

Черная (даурская) береза.

Произрастает в Восточной Сибири, нестойкая к загниванию древесина, близка к древесине желтой и каменной березы, применяется только для внутренней отделки.

Железная береза.

Произрастает на Дальнем Востоке, близка к древесине желтой и каменной березы.

Карельская береза.

Вырастает до 3,5 м высотой.

Места произрастания: Карелия, Прибалтика, Белоруссия.

Порода твердая, тяжелая $\gamma = 680\text{--}740 \text{ кг/м}^3$.

Область применения: столярно-мебельное производство, фанера, лыжи, высоко ценится в мебельном производстве, производстве художественных изделий.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра коричневый.

Рисунок разреза резко-выраженный, все разрезы декоративные.

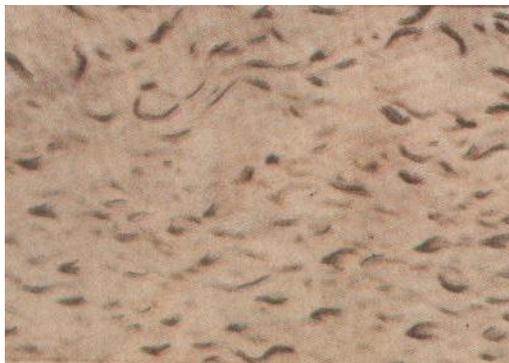


Рис. 1.10. Тангентальный разрез ствола березы

22. Рябина.

Произрастает в лесной зоне.

Древесина тяжёлая, вязкая, твердая, гибкая, упругая, обладает высокой механической прочностью.

Применяется для ручек инструментов, для токарных и столярных изделий.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра красноватый.

Рисунок разреза заметно-выраженный, наиболее декоративный разрез тангентальный.

23. Черёмуха.

На Дальнем Востоке произрастает черёмуха маакия

Древесина среднетяжелая $\gamma = 520 \text{ кг/м}^3$, вязкая, гибкая, мало коробится, хорошо прокрашивается и полируется.

Применяют для ручек инструментов, гнутых деталей, лыжи из черёмухи не надо смазывать.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра желтый.

Дополнительный цвет ядра бурый.

Рисунок разреза слабо-выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

24. Клен.

Известны около 150 видов в Евразии, Северной Африке, Северной и Центральной Америке, в нашей стране известны около 30 видов, запасы клёна невелики. Наиболее распространены полевой, остролистный, мелколистный, явор (горный), маньчжурский виды клена. Сахарный (американский) клен имеет много недоразвитых побегов под корой, которые при срезе имеют вид глазков, такую древесину называют «птичий глаз».

Древесина твердая, тяжелая, $\gamma = 690\text{--}720 \text{ кг/м}^3$, имеет высокие механические свойства, но нестойкая к загниванию.

Часть древесины клёна с отметинами от недоразвитых веток используют в виде шпона для мебели и музыкальных инструментов, применяют в авиа- и машиностроении. Универсальная древесина для многих столярных работ. Клен «птичий глаз» с регулярно повторяющимися темно-коричневыми метками, похожими на глаза птицы, часто применяют для изготовления небольших столярных изделий, например сувенирных шкапулок, а также для облицовочного шпона. Древесина хорошо обрабатывается, прекрасно полируется, мало усыхает, но плохо прокрашивается.

Блеск серебристый.

Наиболее декоративный разрез – радиальный.



Рис. 1.11. Радиальный разрез ствола клена

25. Платан.

Произрастает в Северной Америке и от Восточного Средиземноморья до Индокитая, на Кавказе, в Средней Азии, в Украине. Известны около 10 видов.

Древесина среднетвердая, среднетяжёлая, $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$, обладает высокими механическими свойствами, прекрасно полируется.

Применяют для облицовки мебели в виде тонких фанер, токарных и художественных изделиях.

Блеск игристый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра светло-красный.

Древесина с богатой текстурой, декоративные разрезы – тангентальный, радиальный.



Рис. 1.12. Тангентальный разрез ствола платана

26. Платан восточный, или чинар.

Вырастает высотой до 50 м, диаметр ствола 18 м, живет свыше 2000 лет.

Древесина твердая белого цвета.

Область применения: мебель, мелкие детали (токарные изделия), фанера, паркет.

Блеск игристый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра светло-красный.

Древесина с богатой текстурой, декоративные разрезы – тангентальный, радиальный.

27. Ива древовидная.

Белая (ветла), ломкая (верба), козья и пирамидальная. Пирамидальная ива растет на Дальнем Востоке.

Произрастает около 300 видов в умеренном поясе Евразии и Северной Америки. В нашей стране – 120 видов. Ботаники насчитывают 800 видов, в большинстве случаев – кустарники.

Порода мягкая, лёгкая, $\gamma = 420 \text{ кг/м}^3$, есть более твердые и тяжелые виды.

Область применения: дуги, корыта, деревянная посуда, кору применяют для дубления кожи.

Блеска нет.

Основной цвет ядра розовый.

Дополнительный цвет ядра желтоватый.

Рисунок разреза слабо-выраженный, декоративного разреза нет.

28. Тополь.

Произрастает в Северном полушарии, насчитывают 100 видов, в нашей стране около 30 видов.

Черный тополь (осокорь).

К 40 годам вырастает высотой 30 м, диаметр ствола 1 м, растет по берегам рек, на влажной почве. Произрастает в средней и южной Европейской части России и на Дальнем Востоке. Белый (серебристый), душистый тополь, пирамидальный (итальянский) тополь и тополь Максимова растут в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Наиболее распространённый трепещущий тополь – осина. Канадский тополь (гибрид черного и бальзамического тополей) выведен в Европе в XVIII веке, растет высотой до 40 м, диаметр ствола до 2 м – в Европейской части России южнее 55° восточной долготы. К северу от Москвы и к востоку от Волги не встречается.

Порода мягкая, лёгкая, $\gamma = 400\text{--}560 \text{ кг/м}^3$, имеет однородное строение, почти не растрескивается при сушке.

Применяют для изготовления деревянной посуды, корыт, токарных изделий, фанеруемых мебельных деталей. Толстая кора применяется для поплавков к сетям, что послужило одной из причин истребления. Имеет большое промышленное значение. Используется в виде тонких фанер для облицовки мебели и художественных изделий.

Блеска нет.

Основной цвет ядра кремовый.

Дополнительный цвет ядра: сероватый.

Рисунок разреза слабо-выраженный, текстура невыразительная.

29. Осина.

Занимает второе место после берёзы.

Древесина белого цвета с зеленоватым оттенком, толстоволокнистая, лёгкая, $\gamma = 420\text{--}500 \text{ кг/м}^3$, мягкая, сухая обладает достаточной стойкостью к загниванию.

Область применения: сырьё для спичечного производства, для газетной бумаги, кровельные гонты, лопаты.

Блеска нет.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра розовато-красноватый.

Текстура невыразительная, рисунок слабовыраженный, декоративного разреза нет.

30. Ликвидамбар.

Произрастает на Черноморском побережье Кавказа.

Древесина среднетвёрдая, среднелёгкая, $\gamma = 490 \text{ кг/м}^3$.

Область применения: облицовочная фанера, мебель, бочки, ящики, детали кузовов машин.

Блеска нет.

Основной цвет ядра серый.

Дополнительный цвет ядра красновато-бурый.

Рисунок разреза заметно-выраженный, наиболее декоративный разрез тангентальный.

31. Тюльпановое дерево.

Произрастает на влажных почвах Закавказья.

Древесина среднетвёрдая, лёгкая, $\gamma = 410 \text{ кг/м}^3$, по физическим и механическим свойствам напоминает древесину тополя.

Область применения: фанера в вагоностроении, музыкальные инструменты, столярные изделия, столики швейных машин.

Блеска нет.

Основной цвет ядра жёлтый.

Дополнительный цвет ядра красноватый, коричневатый.

Декоративного разреза нет.

32. Эводия.

Растёт быстро, к 10 годам достигает высоты 8 м, диаметр ствола 25 см.

Произрастает на поливных землях Средней Азии.

Порода плотная, среднетвёрдая, хорошо отделяется и полируется.

Область применения: столярные изделия в местах произрастания

Блеска нет.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра светло-жёлтый.

Рисунок разреза рябоватый, точечный, декоративный разрез – тангентальный.

33. Граб (белый бук).

Известны около 50 видов в Северном полушарии, в нашей стране известны 5 видов.

Древесина серовато-белая, с желтоватым оттенком, плотная, твёрдая, тяжёлая, $\gamma = 820 \text{ кг/м}^3$, сильно растрескивается при сушке.

Область применения: токарные детали, паркет, рукоятки инструментов, в производстве мебели и инструментов часто заменяет чёрное дерево.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра сероватый.

Рисунок разреза не заметен, декоративный разрез – торцевой.

34. Груша.

Произрастает в диком состоянии на Кавказе и в Крыму.

Древесина чисто режется во всех направлениях, хорошо полируется, обладает высокой механической прочностью.

Область применения: идет на изготовление облицовочной фанеры, чертёжные принадлежности, детали музыкальных инструментов, оправа для оптических и других приборов, протравленная древесина заменяет чёрное дерево.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра розовый.

Дополнительный цвет ядра красноватый, бурый.

Рисунок разреза слабовыраженный, все разрезы декоративные.

35. Эвкалипт.

Вырастает высотой до 100 м, вечнозелёное дерево, очень быстро растёт, в год вырастает до 5 метров.

Известны свыше 325 видов в Австралии и на прилегающих островах вырастает высотой до 150 м, диаметр ствола 12 м. В нашей стране известны свыше 30 видов на побережье Кавказа и в Колхидской низменности.

Древесина твёрдая, тяжёлая, $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$, обладает высокой механической прочностью, стойкая к загниванию.

Область применения: для подводных сооружений, ответственные стройдетали, кораблестроение.

Блеска нет.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра светло-коричневый.

Рисунок разреза слабовыраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

36. Железное дерево.

Самое тяжелое и твердое дерево $\gamma = 1420 \text{ кг/м}^3$ произрастает во Флориде США. Древесина стойкая к загниванию и обладает большой механической прочностью.

Имеется несколько видов.

На Юго-западном побережье Каспийского моря встречается один вид – агач $\gamma = 770 \text{ кг/м}^3$.

Стойкое к загниванию дерево.

Область применения: ручки инструментов, токарные изделия

Блеск: матовый.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра розоватый.

Рисунок разреза не заметен, декоративного разреза нет.

37. Саксаул.

Достигает высоты до 12 м.

10 видов произрастает в полупустынях и пустынях Азии.

Порода очень твёрдая, тяжёлая, $\gamma = 1060 \text{ кг/м}^3$.

Область применения: топливо, озеленение, закрепление песков.

38. Самшит.

По внешнему виду самшит похож на древесную пальму, запасы очень невелики, самшитовые рощи считают заповедниками.

Произрастает на Черноморском побережье Кавказа, Дальнем Востоке (в районе р. Уссури) в небольшом количестве и очень медленно растёт. К 50 годам достигает 5–6 м, диаметр ствола 5–8 см, за 300–400 лет вырастает 20 м, диаметр ствола 25–30 см.

По внешнему виду и твёрдости древесина напоминает кость.

Область применения: флейты, кларнеты, трости, пуговицы, клише для печатания рисунков.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра кремовый.

Рисунок разреза незаметный, декоративного разреза нет.

39. Ольха.

Известны свыше 40 видов в Северном полушарии континента, в нашей стране известны 15 видов. Чёрная ольха растёт в смешанных и лиственных лесах, белая и серая повсеместно растёт в виде кустарника, сибирская ольха растёт на берегах Енисея.

Древесина ольхи мягкая, среднелёгкая $\gamma = 520 \text{ кг/м}^3$, легко режется во всех направлениях, при сушке не растрескивается, плохо гнётся, хрупкая, быстро загнивает.

Область применения: мебельное производство, фанера, стройматериал, чертёжные доски. Из древесины ольхи не делают конструктивные элементы стульев.

Блеска нет.

Основной цвет ядра розовый.

Дополнительный цвет ядра красноватый.

Рисунок разреза слабовыраженный, декоративного разреза нет.

40. Хурма.

Произрастает в Закавказье.

Область применения: токарные и столярные изделия.

Блеска нет.

Основной цвет ядра серый.

Дополнительный цвет ядра жёлтый.

Рисунок разреза заметно-выраженный, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

41. Слива, яблоня.

Растет в диком виде в лесах средней и южной полосы.

Область применения: облицовочная фанера.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра красный.

Рисунок разреза слабовыраженный, декоративный разрез – радиальный.

42. Черешня.

Растет в южных районах.

Область применения: облицовочная фанера.

Блеск слабый, шелковистый.

Основной цвет ядра жёлтый.

Дополнительный цвет ядра коричневатый, сероватый.

Рисунок разреза красивый, декоративный разрез – тангентальный.

1.2.2.2. Кольцесосудистая древесина

43. Ильм.

Ильм часто является спутником дуба, к 60 годам высота достигает 20 м, диаметр ствола 50–60 см.

Известны свыше 30 видов ильма в умеренном поясе северного полушария, реже встречается в тропическом поясе. В нашей стране известны 10 видов в средне-южной полосе европейской части, на Дальнем Востоке, на Кавказе.

Порода тяжёлая, прочная, с твердой древесиной.

Область применения: облицовочная фанера, судостроение, мебельное производство.

Блеск сильный.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра светло-коричневый.

Рисунок разреза резко выраженный, наиболее декоративный разрез радиальный.

44. Вяз (вид ильма).

В нашей стране растёт только в европейской части.

Порода твердая, гибкая, вязкая.

Эта красивая порода применяется для изготовления крупных деталей мебели, в судостроении, применяется как конструкционный материал, для токарных работ, делают дуги, ободья.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра жёлтый.

Рисунок разреза заметно выраженный, но однообразный, наиболее декоративный разрез – радиальный.

Некоторые виды вяза (такие, как европейский вяз) радуют глаз прекрасной текстурой.

45. Карагач (берест).

Вид ильма, в переводе с узбекского обозначает чёрное дерево, так его называют за тенистую раскидистую крону, растёт быстро, к 30–35 годам достигает 20 м, диаметр ствола 40–45 см.

Места произрастания: юг европейской части России, Кавказ, Средняя Азия.

Длина деловой части невелика 3–5 м, древесина твёрдая, тяжёлая.

Область применения: столярные изделия, облицовочная фанера, шпалы.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра красноватый.

Рисунок разреза резко выраженный, декоративные разрезы – радиальный, тангентальный, особенно красива текстура наплывов, масса которых достигает тонны.



Рис. 1.13. Радиальный разрез ствола карагача

46. Акация.

Известны около 750 видов в тропических лесах и субтропиках, более половины видов растет в Австралии и Африке. Хорошо переносит засоленность почвы и недостаток влаги. Ценная декоративная древесина. В нашей стране, в Украине, на Кавказе, в Крыму, в Средней Азии растет белая акация. Рощи белой акации в том числе и под Херсоном истреблены.

Древесина твёрдая, тяжёлая, $\gamma = 830 \text{ кг/м}^3$, хорошо полируется, при сушке почти не растрескивается, по механической прочности превосходит дуб.

Область применения: ценная, декоративная древесина, детали машин, паркет, мебель.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра зеленоватый.

Рисунок разреза резко выраженный, декоративный разрез – тангентальный.

47. Бархатное дерево, амурский бархат, или пробковое дерево.

Места произрастания: около 10 видов в Восточной Азии, в России 2 вида по среднему течению Амура и в бассейне реки Уссури, встречается на Сахалине.

Среднетвёрдая порода, лёгкая, $\gamma = 490 \text{ кг/м}^3$, по внешнему виду напоминает древесину ясеня.

Область применения: серая толстая кора имеет вид бархата, из неё делают пробковые изделия, идет на изготовление облицовочной фанеры, гнутой мебели.

Блеск золотистый.

Основной цвет ядра светло-жёлтый.

Дополнительный цвет ядра коричневый.

Рисунок разреза резко выраженный, напоминает структуру дуба, наиболее декоративные разрезы – тангентальный, радиальный.

48. Шелковица (тутовое дерево).

Известны свыше 20 видов шелковицы в Восточной и Юго-Восточной Азии, Африке, Америке, в Средней Азии и Закавказье. В России известны 4 вида этой породы.

Порода твердая, среднетяжелая, декоративная хорошо сопротивляется гниению, окрашивается и полируется.

Область применения: для выкармливания шелкопрядов, в столярном и бочарном производстве.

Блеск переливчатый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра красновато-желтый.

Рисунок разреза резко выраженный, радиальный.

49. Гледичия.

Стволы и ветки гледичии с колючками. Известны 12 видов в Азии, Америке, тропиках Африки, 1 вид в Восточном Закавказье, росла в Крыму.

По механической прочности равноценна белой акации, по декоративным свойствам превосходит, тяжелая, $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$, хорошо колется, полируется, не подвержена заболеваниям и червоточине.

Область применения: столярное и токарное производство.

Блеск сильный.

Основной цвет ядра розовый.

Дополнительный цвет ядра желтый.

Рисунок разреза красивый, наиболее декоративные разрезы – тангентальный, радиальный.

50. Маклюра.

Вырастает до 5–15 м, ствол кривой, обычно со свилеватым расположением волокон, короткий.

Места произрастания на Кавказе и орошаемых землях средней Азии.

Порода твердая, тяжелая, $\gamma = 860 \text{ кг/м}^3$, хорошо полируется.

Область применения: строганая фанера для облицовки столярных изделий, из отходов вырабатывают желтый краситель – сандал.

Блеск золотистый, атласный.

Основной цвет ядра красный.

Дополнительный цвет ядра желтый.

Рисунок разреза слабо выраженный, наиболее декоративные разрезы – радиальный, тангентальный.

51. Айлант.

Места произрастания: Средняя Азия, Кавказ, выдерживает слабое засоление почвы.

Порода твердая, тяжелая, прочная, декоративная, хорошо строгается, легко колется, но плохо точится и полируется.

Область применения столярные и токарные изделия.

Блеска нет.

Основной цвет ядра светло-желтый.

Рисунок разреза выразительный, наиболее декоративный разрез тангентальный.

52. Гикори.

Кария или американский орех. Известны около 20 видов в Северной Америке и Азии, в Китае, в России известны 5 видов на Черноморском побережье.

Порода твердая, тяжелая, декоративная, обладает высокой механической прочностью.

Область применения: столярные и токарные изделия.

Блеска нет.

Основной цвет ядра коричневый.

Рисунок разреза красивый, напоминает текстуру ореха, наиболее декоративный разрез – тангентальный.

53. Лох (напоминает древесину карагача).

Известны свыше 50 видов в Северной Америке, Южной Европе, Азии и Австралии, в России известны 5 видов, наибольшее количество произрастает в южной полосе, на Дальнем Востоке, в Средней Азии.

Порода твердая, среднетяжелая, $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$, прочная.

Область применения: столярные изделия, строганая облицовочная фанера.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра желтый.

Рисунок разреза резко выраженный, наиболее декоративные разрезы – тангентальный, радиальный.



Рис. 1.14. Радиальный разрез ствола лоха

54. Фисташковое дерево.

Порода долговечная, растет около 1000 лет, известно еще как кедровое дерево.

Известны около 20 видов, главным образом в субтропиках, в России 6 видов, из них 4 вида окультуренных, которые растут в Италии, Испании, Греции, в Крыму, в Средней Азии, на Кавказе.

Порода очень твердая, тяжелая, $\gamma = 1120 \text{ кг/м}^3$, хорошо обрабатывается и полируется.

Область применения: токарное производство, машиностроение, судостроение.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра зеленоватый, коричневый.

Рисунок разреза бедный, декоративного разреза нет.

55. Каркас (каменное дерево).

Известны около 50 видов этой породы в умеренном поясе и в тропиках, 2 вида известны на Кавказе, в Крыму и в Средней Азии.

Порода плотная, тяжелая, прочная, мало деформируется при сушке, деловая часть ствола короткая.

Область применения: мебельное и токарное производство.

Блеска нет.

Основной цвет ядра белый.

Дополнительный цвет ядра коричневатый.

Рисунок разреза заметно выраженный, декоративный разрез – тангентальный.

56. Катальпа.

Листопадная порода редко встречается, вечнозеленое дерево, плод – сильно удлиненная до 45 см коробочка с многочисленными сплюснутыми семенами.

Известны около 10 видов, главным образом в восточной Азии и Северной Америке и 4 вида на поливных землях Средней Азии.

Порода очень твердая, тяжелая, $\gamma = 1120 \text{ кг/м}^3$, хорошо обрабатывается и полируется.

Область применения: токарное производство, машиностроение, судостроение.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра серый, фиолетовый.

Рисунок разреза бледный, декоративного разреза нет.

57. Красное дерево (макаре, дубинга, мовинга, падук, махагони, сапрановое дерево).

Растет в Гондурасе, Африке.

Порода твердая, древесина тяжелая по сравнению с другими видами, но очень прочная и долговечная. Отлично отделяется и обрабатывается.

Область применения: широко используется в мебельном производстве, обычно в виде шпона и при изготовлении столярных инструментов.

Блеск слабый, цвет матовый, шелковый.

Основной цвет ядра у макаре, мовинга, падука, махагони и сапранового дерева красный, у дубинга фиолетовый.

Дополнительный цвет ядра бурый, розовый, оранжевый, коричневый.

Рисунок разреза заметно выраженный, у мовинга резко выраженный, декоративные разрезы – радиальный и тангентальный.

58. Розовое дерево.

Древесина свежесрубленного дерева источает запах роз, высушенная запаха не имеет.

Порода твердая, тяжелая, превосходно шлифуется.

Применяется в отделке мебели, для облицовки шпоном и вытачивания кубков и чаш. Канарское розовое дерево используется в рецептах для приготовления духов.

Блеск слабый.

Основной цвет ядра бурый.

Дополнительный цвет ядра розовый.

Рисунок разреза заметно выраженный, декоративный разрез – тангентальный.

59. Окуме.

Произрастает в Японии.

Древесина нежно-розовая.

Порода легкая, мягкая.

Блеск атласный.

Основной цвет ядра розовый.
Дополнительный цвет ядра коричневый.
Рисунок разреза слабовыраженный.

60. Эбеновое дерево.

Черное дерево из этого семейства.
Порода экзотическая, растет в Африке.
Древесина твердая, тяжелая, $\gamma = 1160 \text{ кг/м}^3$, дорогая.
Область применения: декоративная мебель, шпон, клавиши, шахматы.

Блеск матовый.

Основной цвет ядра черный.

Дополнительный цвет ядра коричневый.

Рисунок разреза незаметен, декоративные разрезы – радиальный, тангентальный.

61. Павлония.

К 40 годам достигает в высоту 15–18 м, диаметр ствола 50 см.

Места произрастания: Китай, Япония, разводится на Черноморском побережье Кавказа и Средней Азии.

Крупная древесина, мягкая, $\gamma = 320\text{--}350 \text{ кг/м}^3$, прочная, декоративная.

Область применения: мебель, самолетостроение.

Блеск шелковистый.

Основной цвет ядра коричневый.

Дополнительный цвет ядра светло-серый.

Рисунок разреза заметно выраженный, декоративные разрезы – радиальный, тангентальный.

62. Энтан-дрофрагма.

Места произрастания: Африка.

Широкослойная древесина.

Область применения: мебельное производство.

63. Афромозия.

Места произрастания: Западная Африка.

Твердая порода.

Область применения: мебель, иногда морится под красное дерево.

64. Палисандр (ввозят).

Напоминает древесину ореха.

65. Бакаут.

Растет в тропической зоне.

Имеет неприятный запах.

Твердая, тяжелая, $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$, прочная, прекрасно сопротивляется истиранию.

Смолу используют в медицине.

66. Бальза.

К 5 годам вырастает в диаметре 50–60 см.

Растет в тропиках, акклиматизируется в Аджарии.

Древесина прочная, легкая, легче пробки, $\gamma = 110\text{--}115 \text{ кг/м}^3$.

Область применения: самолетостроение, судостроение, тара, предельный возраст 12–15 лет.

67. Вишня.

Известны 150 видов в Европе, Центральной Азии, США. В России известен 21 вид, в том числе черешня.

Древесина вишни очень ценится столярами-краснодеревщиками, но редко бывает в продаже и стоит очень дорого. Вишню сложно обрабатывать не имея определенного навыка, поскольку слои древесины легко разрываются, однако при правильном обращении можно получить прекрасную отделку. Два наиболее распространенных вида из этого семейства – английская и американская вишня.

68. Ироко.

В основном имеет золотисто-коричневый цвет. При механической обработке выделяет едкий, раздражающий запах. Похоже по внешнему виду и долговечности на тик, но менее маслянистое дерево. Отличный материал для садовой мебели.

69. Желутонг.

Древесина желутонга светло-желтого оттенка часто используется вместо южноафриканского желтого дерева, поскольку их свойства схожи, но желутонг намного дешевле.

Это прочный и долговечный материал, тем не менее, доски следует выбирать как можно тщательнее, так как в них часто попадаются повреждения, которые наносят древесные паразиты.

70. Меранти.

Древесина меранти очень похожа на древесину красного дерева. Это твердая порода красноватого цвета, с незамысловатой, но приятной текстурой. Поэтому ее чаще всего используют в строительстве домов для изготовления плинтусов, а также оконных и дверных рам. Когда работаете с этой древесиной, всегда имейте под рукой пинцет: ни одно дерево не оставит на руках столько заноз, как меранти.

71. Сикомор.

Древесина сикомора отлично полируется, хотя работать с ней довольно трудно, так как она чутко реагирует на изменения погоды и климатических условий. Древесина плотная, с прекрасной текстурой, легко поддается механической обработке. Древесина обычно от светло-кремового до белого цветов, но с годами цвет темнеет. Из древесины сикомора изготавливают скрипки и мебель.

1.2.3. Строение древесины

Макроструктура древесины – строение древесины, видимое невооруженным глазом или с помощью лупы на плоскостях трех разрезов ствола: торцового (поперек ствола), радиального (вдоль ствола через сердцевину), тангентального (вдоль ствола на некотором расстоянии от сердцевины) (рис. 1.15).

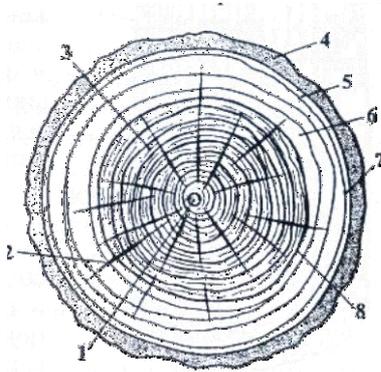


Рис. 1.15. Торцовый разрез ствола: 1 – сердцевина, 2 – сердцевинные лучи, 3 – ядро, 4 – пробковый слой, 5 – слой луба, 6 – заболонь, 7 – камбий, 8 – годовичные слои

На торцовом разрезе от периферии к центру можно видеть кору и собственно древесину, состоящую из кольцевых наслоений, называемых годовичными слоями.

Кора состоит из наружной пробковой ткани, называемой коркой, и внутренней грубоволокнистой ткани, именуемой лубом.

Между лубом и древесиной находится тонкий слизистый слой камбия, видимый лишь через лупу. Камбий состоит из живых растительных клеток, способных расти и размножаться путем деления. Весной камбий откладывает более крупные и рыхлые клетки, летом более мелкие и плотные. Слоистое строение древесины и наличие годовичных колец объясняется количеством этих клеток, которые образуют две зоны – раннюю и позднюю, различающиеся между собой по плотности и цвету. Непосредственно к камбию прилегает заболонь – молодая древесина, ближе к середине находится ядровая древесина – ядро. Древесина заболони мягче. Породы деревьев, у которых ядро отличается по свету от заболони, называются ядровыми. Лиственные породы делятся на кольце-сосудистые (поровые) и рассеянно-сосудистые (поровые).

Кольцепоровая древесина лучше гнется, рассеянно-поровая лучше поддается отделке.

Микроструктура – клеточное строение древесины, которое можно видеть лишь в микроскоп. Живая клетка древесины состоит из оболочки и протопласта, содержащего протоплазму, ядро и пластиды. Мертвая клетка имеет утолщенные стенки (оболочки) и не содержит протопласта.

В древесине различают три вида клеток: проводящие – имеют вид тонкостенных члеников. Они образуют сосудистую ткань. Длина сосудов в среднем равна 100 мм диаметром от сотых долей до 0,5 мм. В древесине дуба длина сосудов доходит до 2 м.

Сосудистая ткань пористая, довольно стойкая к загниванию.

Запасающие клетки (древесная паренхима) самые мелкие по размеру (0,001–0,1 мм), преимущественно круглой или многогранной формы. В этих клетках откладываются питательные вещества. Ткань паренхимы рыхлая, легко загнивающая. Из тонкостенных клеток паренхимы, состоят сердцевидные лучи.

Опорные клетки обычно имеют веретенообразную форму и имеют относительно толстые стенки и узкие полости. Длина этих клеток 0,7–1,6 мм, ширина 0,02–0,05 мм. Эти клетки, соединяясь между собой, образуют древесные волокна. Ткань этих клеток прочная, устойчивая к загниванию.

Древесина хвойных пород состоит из особых замкнутых клеток, называемых трахеидами. Длина их 2–10 мм, толщина 0,02–0,05 мм. Трахеиды бывают тонкостенными и толстостенными, образуют древесную золу, количество которой колеблется от десятых долей до 8%.

1.2.3.1. Химическое строение древесины

Клеточные оболочки древесины состоят из органических соединений углерода, водорода, кислорода и азота. Содержание первых трех элементов в древесине различных пород примерно одинаково (около 50% углерода, 6% водорода, 44% кислорода). Количество азота колеблется в пределах 0,01–0,1%. Кроме органических веществ древесина содержит минеральные соли, которые при сжигании образуют древесную золу.

Перечисленные химические элементы образуют целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин, а также содержащиеся в полостях клеток и каналах смолы, дубильные и красящие вещества, эфирные масла.

Целлюлоза

В древесине хвойных пород содержится около 54% целлюлозы, в древесине лиственных около 44%.

Химический состав целлюлозы:

углерод – 44,34%,
кислород – 49,28%,
водород – 6,38%.

Целлюлоза имеет тонкое волокнистое строение и служит для изготовления лучших сортов бумаги. Воздействуя на целлюлозу 17–25% раствором едкого натра, получают мерсеризованную целлюлозу, отличающуюся блеском, прочностью и способностью окрашиваться. Эфиры целлюлозы, полученные при переработке древесины, широко используют в производстве кинофотопленок, лаков, пластмасс, искусственного шелка.

Гемицеллюлозы делятся на пентозаны и гексозаны. В древесине лиственных пород содержится до 35% гемицеллюлозы, в хвойных породах до 26%.

Лигнин по химическому составу отличается от целлюлозы большим содержанием углерода 64,4% и меньшим содержанием кислорода 29,7%, водорода 5,9%.

Клеточные оболочки древесины хвойных пород содержат 26–29% лигнина, лиственных пород – 19–26%. Лигнин химически мало стоек, легко переходит в раствор под действием серной кислоты и горячих щелочей.

Смолы различают: жидкие – живица, получают из древесины сосны путем подсечки. Из нее получают скипидар, канифоль. Твердые – канифоль, янтарь, копалы, шеллак. Последние два вида являются продуктами деревьев тропического пояса. Особую группу веществ, близких к смолам, составляют млечные соки, из которых вырабатывают каучук и гуттаперч. Такие соки содержатся в древесине гуттаперчевого дерева, бересклета. В древесине лиственницы и вишни содержится водорастворимая смола – камедь, которую применяют для приготовления клеев, в кондитерской и текстильной промышленности, медицине.

Дубильные вещества. В древесине и коре дуба, каштана, бука, ореха, в коре ивы содержатся дубильные кислоты – таниды. Применяют их для выделки кожи, при крашении древесины и тканей.

Эфирные масла.

Из эфирных масел известны скипидар, камфарное масло, пихтовый бальзам. В лакокрасочной промышленности и медицине применяют масло из семян тунгового дерева. В Китае и Закавказье изготавливают тунговое масло.

1.2.3.2. Физические свойства древесины

Внешний вид древесины характеризуется цветом, блеском, текстурой. Цвет меняется от белого до черного. Древесина южных пород обычно темнее древесины северных пород. Один и тот же кусок древесины имеет различные оттенки. Древесина разных пород окрашена в разные цвета. Древесина, обладающая насыщенным цветом, высоко ценится в мебельном производстве и производстве музыкальных инструментов (красное дерево, орех, черное дерево). Изменение натурально-

го цвета может свидетельствовать о понижении прочности древесины (например загнивание древесины). Блеск зависит от ее плотности, количества, размеров и расположения сердцевинных лучей, гладкости обработки поверхности. Плотная древесина обладает большим блеском. Загнивая, древесина теряет блеск. Древесина, обладающая блеском, высоко ценится в мебельном производстве. Ей можно придать искусственный блеск путем полирования, лакирования, оклейки прозрачными пленками.

Текстура – рисунок (внешний вид) разреза древесины, определяемый ее строением и направлением разреза. Она зависит от сочетания видимых элементов структуры древесины, годичных слоев, волокон, сосудов, сердцевидных лучей, неразвившихся спящих почек. Она зависит от породы дерева, а также от того, в какой части ствола и под каким углом был сделан разрез. Текстура комлевой части богаче текстуры вершинной части. Так как годичные слои почти параллельны между собой, на радиальном разрезе ствола виден ленточный рисунок. На тангентальном разрезе древесины видна текстура в виде нарастающих конусов. На поперечном (торцовом) разрезе текстура в виде концентрических колец кругов. Более богатая текстура на полоторцовом (косом), волнистом и коническом срезах.

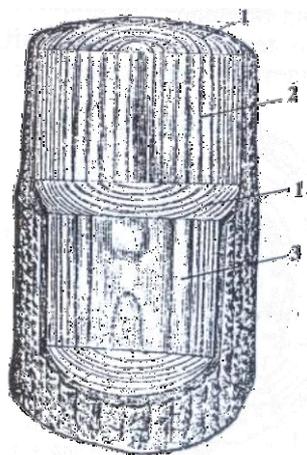


Рис. 1.16. Главные разрезы ствола дерева: 1 – поперечный (торцовый), 2 – радиальный, 3 – тангентальный

Особенно красивая текстура у древесины, волокна которой расположены волнообразно (свилевато) или перепутано. Такой текстурой отличается древесина ореха, карагача. Всевозможные наросты на стволах и наплывы на корнях или древесина с множеством спящих почек

дают очень красивую текстуру. Такая текстура у клена (птичий глаз), карельской березы, тополя. Различают древесину с богатой текстурой: орех, платан, карельская береза, с выразительной текстурой: дуб, ясень, бук, лиственница, сосна. Древесина со слабовыраженной текстурой: береза ольха. Бестекстурная древесина: липа, самшит. Древесина с богатой текстурой высоко ценится в мебельном производстве.

Запах древесины

Древесина, содержащая в себе смолы, эфирные масла и дубильные вещества обладает характерным запахом. Здоровая древесина сосны пахнет скипидаром, дуба – танином, можжевельника – перцем. При загнивании древесина теряет свойственный ей запах, приобретая запах гнили и плесени. По запаху часто определяют качество древесины. Древесина с приятным запахом применяется во внутренних помещениях и для сувениров.

Влажность

Влажность древесины определяется количеством содержащейся в ней воды, выражается в процентах от веса сухой древесины. Растущее дерево содержит большое количество воды (от 35 до 120% к весу абсолютно сухой древесины). Наибольшее количество воды содержится в заболони, наименьшее – в ядре. При сплаве леса по реке влажность древесины увеличивается до 200%. Различают свободную влагу, которая располагается в межклеточных и внутриклеточных пространствах. Она быстро испаряется при сушке, причем форма и объем древесины не меняется. Связанная (гигроскопическая) влага пропитывает стенки клеток (в древесине ее содержится до 30%), она испаряется медленнее и вызывает изменение размеров древесины (коробление, растрескивание). При увлажнении сухой древесины происходит обратное явление – разбухание. Древесина содержит также химически связанную воду, не более 1%, которую удалить невозможно. Чтобы древесина не растрескивалась и не коробилась, ее высушивают до равновесной (эксплуатационной влажности). Эксплуатационная влажность на открытом воздухе 15–18%, в отапливаемых помещениях эксплуатационная влажность 8–12%. В первом случае влажность воздушно-сухая, во втором – комнатно-сухая. Чем дальше от сердцевины, тем больше древесина усыхает. При правильной сушке можно избежать коробления досок и брусков.

Для примера приведем табличные данные значений коэффициентов усушки некоторых пород древесины (табл. 1.1).

Коэффициент усушки в тангентальном направлении примерно в полтора-два раза больше, чем в радиальном направлении.

Коэффициент усушки вдоль волокон очень мал, т.е. менее 0,01%. Принято считать, что вдоль волокон древесина при изменении влажности практически не изменяет свои размеры.

Таблица 1.1

Коэффициенты усушки некоторых пород древесины

Порода древесины	Коэффициент усушки %, на 1% изменения влажности в зависимости от разреза	
	В радиальном направлении	В тангентальном направлении
Ель	0,17	0,31
Сосна	0,18	0,31
Лиственница	0,20	0,39
Береза	0,28	0,34
Бук	0,18	0,35
Дуб	0,19	0,29

Вес и плотность древесины

Объемный вес древесины зависит от ее влажности и плотности. Показателями объемного веса пользуются при ее влажности 15%.

По объемному весу древесина различается:

1. Очень тяжелая – $\gamma =$ более 800 кг/м^3 . Самой тяжелой считается древесина железного дерева, произрастающего в штате Флорида, ее объемный вес $\gamma = 1420 \text{ кг/м}^3$. У древесины бакаута $\gamma = 1350 \text{ кг/м}^3$, сюда же относится древесина кизила, самшита, черного дерева.

2. Тяжелая – $\gamma = 800\text{--}700 \text{ кг/м}^3$ (груша, дуб, белая акация).

3. Умеренно-тяжелая – $\gamma = 700\text{--}610 \text{ кг/м}^3$ (граб, бук, ясень, клен, береза, лиственница, можжевельник).

4. Умеренно-легкая – $\gamma = 600\text{--}510 \text{ кг/м}^3$ (вяз, каштан).

5. Легкая древесина – $\gamma = 500\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ (сосна, ель, тополь, осина, липа, ольха, кедр).

6. Очень легкая – $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ и менее (пихта, криптомерия).

Наиболее легкой является древесина бальзы с $\gamma = 130\text{--}100 \text{ кг/м}^3$.

Плотность древесины зависит от объемного веса и расположения внутренних пустот (пор). Наиболее плотной является древесина тяжелая. Она обладает высокой абсолютной плотностью (груша, граб, клен, самшит). Плотность древесины оказывает большое влияние на теплопроводность. Она учитывается при выборе отделки. Для полирования наиболее пригодная абсолютно-плотная древесина, для восковой отделки – неравномерно плотная с крупными порами (дуб, ясень).

Теплопроводность древесины

Наименьшей теплопроводностью обладает сухая пористая древесина, наибольшей – сырая, плотная. Теплопроводность сухой древесины в 25 раз меньше теплопроводности воды. Сухая древесина с малой теплопроводностью применяется для полов, мебели и внутренней отделки помещений. Теплопроводность древесины поперек волокон меньше, чем вдоль волокон.

Звукопроводность древесины

Звукопроводность воздуха равна 330,7 м/сек, звукопроводность древесины в продольном направлении в 16 раз, а в поперечном – в 4 раза больше, чем воздуха. Мелкослойная сухая древесина ели и сосны (без сучков) способна резонировать (т.е. усиливать) звук, не искажая его. Сырая и загнившая древесина хуже проводит звук и не усиливает его. Если доска или бревно звенит при ударе, то древесина сухая и здоровая. Деки всех музыкальных инструментов делают из древесины ели и пихты.

Светопроводность древесины

Тонкие листы древесины проницаемы для света. Для определения дефектов древесины в фанерном производстве пользуются просвечиванием. Круглый лес и толстые доски можно просвечивать рентгеном, чтобы определить пороки древесины.

Газопроницаемость древесины

Способностью древесины пропускать через свою толщу газы пользуются при антисептировании, для борьбы с вредителями (мебельный жучок), а также для глубокого протравного крашения парами аммиака и азотной кислоты.

1.2.3.3. Механические свойства древесины

Прочность

Одно из главных механических свойств – прочность – определяется строением древесины и характеризуется значительными колебаниями в зависимости от породы, расположения в составе ствола и процентного содержания поздней древесины. Тяжелая древесина обладает большей механической прочностью. В процессе обработки, эксплуатации древесина испытывает напряжения растяжения, сжатия, изгиба, сдвига (скалывания или среза). Механическая прочность определяется при статических нагрузках с помощью универсальной испытательной машины. При динамических нагрузках прочность определяется с помощью маятникового копра. Испытанию подвергаются образцы строго определенной формы и размеров, изготовленные из здоровой древесины, не имеющей сучьев и пороков. Полученные в результате испытаний показатели механической прочности являются предельными (максимальными). В расчетах используют расчетные сопротивления, установленные

нормами и правилами, с запасом в 3–10 раз. На растяжение вдоль волокон для пихты напряжение 71,6 МПа, для сосны 100 МПа, для ясеня 165,6 МПа. На сжатие вдоль волокон напряжение для пихты 31,7 МПа, для сосны 40 МПа, для ясеня 51 МПа, для лиственницы 61,5 МПа. Растяжение поперек волокон невелико, около 3% от растяжения вдоль волокон (2–5 МПа). Сжатие поперек волокон в 5–10 раз меньше сжатия вдоль волокон. Прочность на скалывание невелика, вдоль волокон для пихты 5 МПа, для граба до 21 МПа. Прочность поперек волокон в два раза меньше, чем вдоль. При изгибе наружные волокна элемента растягиваются, внутренние – сжимаются. При статическом изгибе прочность пихты 57 МПа, сосны 100 МПа, ясеня 115 МПа.

Таблица 1.2

Предел прочности пород древесины в МПа

Породы	При растяжении		При сжатии		При скалывании				При статическом изгибе
	Направление								
	Вдоль волокон	Поперек волокон		Вдоль волокон	Поперек волокон		радиальное	тангентальное	
радиальное		тангентальное	радиальное		тангентальное				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лиственница	120	5,4	4,8	57	4,4	6,3	8,5	7,8	99
Кедр	78	4,1	2,6	36	2,7	4,3	5,3	5,7	66,6
Ель	106	4,8	3,0	42,5	3,1	4,7	5,3	5,2	77,5
Сосна	115	5,2	3,3	46,5	3,4	5,1	6,8	6,6	87,5
Пихта	71,5	3,9	2,7	32,5	2,9	4,6	5,0	5,8	54,5
Береза	145,5	10,8	6,0	46,5	6,5	4,1	8,5	11,0	92,5
Бук	129	12,1	7,9	46	7,8	5,9	9,9	13,1	94
Дуб	129	7,7	6,0	52	7,6	5,8	8,5	10,4	95
Клен	132	12,8	8,5	54	11,2	7,3	8,7	12,4	109
Липа	116	8,0	4,6	36,5	4,1	3,3	7,3	8,0	56
Ольха	94,5	7,0	5,5	35	3,8	3,1	6,2	8,3	69

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Осина	116	6,9	4,3	37	3,6	2,9	5,7	7,7	67
Ясень	165,5	8,7	6,7	51	9,0	9,9	13,8	13,3	113,5

Упругая древесина восстанавливает форму после снятия нагрузки.

К упругой древесине относится древесина ясеня, молодого дуба, березы, лиственницы, ели и сосны.

Пластичная древесина не восстанавливает форму при гнутье и прессовании после снятия нагрузки. К такой древесине относится древесина бука, вяза, ивы, черемухи.

Хрупкая древесина ломается при гнутье, разбивается от сильного удара. К такой древесине относится древесина саксаула, самшита, ольхи.

Сопротивление древесины ударным нагрузкам невелико, около 0,011–0,049 МПа.

Твердость древесины

Твердость древесины относительно невелика, шарик вдавливается на 5,64 мм. Площадь проекции при этом равна 1 см². Показателем твердости является вес груза в Н. Торцовая твердость древесины выше, чем боковая на 15–50%.

По твердости древесину делят на три группы.

К первой группе относятся породы с мягкой древесиной, имеющей торцовую твердость менее 40 МПа (сосна, кедр, ель, пихта, тополь, ива, осина, ольха, платан и др.).

Ко второй группе относятся породы с твердой древесиной, имеющей торцовую твердость 40 до 80 МПа, (береза, кроме железной, бук, вяз, дуб, ильм, карагач, ясень, рябина, грецкий орех).

К третьей группе относятся породы с очень твердой древесиной, имеющей торцовую твердость более 80 МПа (граб, груша, самшит, железная береза, белая акация, сирень, хурма).

На твердость древесины влияют ряд факторов:

- влажная древесина мягче сухой,
- легкая древесина мягче тяжелой,
- смолистая древесина мягче бессмольной,
- заболонная древесина мягче ядровой,
- древесина вершинной части мягче комлевой.

Сопротивление трению

Сопротивление трению прямо пропорционально ее твердости. Детали и изделия, подвергающиеся трению (полы, ступени, лыжи, крышки кухонных столов и т.п.) целесообразно делать из твердых пород древесины. А корпусную фанерованную мебель (шкафы, комоды, письмен-

ные столы и т.п.) из мягких пород древесины, которые легче обрабатываются.

Сопротивление выдергиванию гвоздей и шурупов

Чем тверже древесина, тем она лучше удерживает гвозди и шурупы. Чтобы в твердую древесину вбить гвоздь или ввернуть шуруп предварительно высверливают отверстие не менее 0,7 диаметра гвоздя и шурупа и половины их длины, с тем, чтобы гвоздь не согнулся при забивке, а шуруп не расколол древесину. Вбитые поперек волокон гвозди и ввернутые шурупы удерживаются лучше, чем гвозди, вбитые в торец.

Пороки древесины

Неизбежный порок древесины – сучки, они обусловлены биологическим ростом дерева. Сучки различают по размерам (крупные, мелкие); по степени срастания (сросшиеся, частично сросшиеся, несросшиеся); по форме (округло-овальные, шпильные, лапчатые); по состоянию и цвету их древесины (здоровые, твердые, роговые, окрашенные, рыхлые, табачные, смоляные). Сортность материала не зависит от сучков диаметром менее 5 мм.

Трещины в древесине

Различают трещины в растущем дереве и трещины, получившиеся в результате усушки. Они бывают боковыми или торцовыми. В лесоматериалах и плотницких изделиях они допускаются в ограниченном количестве. В столярных изделиях трещины не допускаются.

Червоточина

Различают поверхностную червоточину, глубиной до 5 мм, неглубокую – до 5 см, глубокую или трухлявую. Последний вид червоточины допускается лишь в низших сортах древесных материалов. Способ борьбы с этим пороком – химическая обработка лесонасаждений (с самолета), дезинфекция складов и пропитка древесины ядовитыми жидкостями и окучивание газами.

Гниль

Гниль образуется при поражении древесины паразитирующими грибами. Различают повреждения поверхностные и глубокие, которые не допускаются в древесных изделиях и удаляются при раскросе. В лесоматериалах допускаются в ограниченных размерах, но при этом снижается сортность материала.

Пороки формы ствола

Наиболее высокосортные лесоматериалы получают из прямых стволов, сечение которых приближается к кругу и сбег не превышает 1 см на 1 м длины ствола. Отклонения от этих условий называют пороками ствола. К ним относятся: кривизна ствола, эксцентричное расположение годичных слоев, значительная разница в плотности и твердости волокон, расположенных с одной и другой стороны ствола, двойная сердцевина, резкое утолщение комля, сбежитость. К порокам ствола

относятся также всевозможные углубления в нижней части ствола, так называемые ройки, и наросты на стволе. Эти пороки снижают выход высших сортов древесины, но улучшают текстуру фанеры.

Пороки строения древесины

К этому виду пороков относится непараллельное расположение волокон древесины относительно направления годовичных слоев или искривление самих годовичных слоев, так называемый косослой, свилеватость, перепутанность волокон. В косослойной древесине расположение волокон винтообразное, в свилеватой – волнистое. Косослой в досках и брусках резко снижает прочность материала, поэтому допускается в ограниченных пределах, в строительных бревнах косослой допускается без ограничений. Свилеватая древесина очень декоративная, поэтому ее используют для получения облицовочной фанеры.

Раны древесины

К ним относятся различные механические повреждения древесины, они являются поверхностными и не влияют на качество. К ранам относятся ненормальные отложения внутри древесины смолы или воды. В таких местах образуются пороки, которые снижают качество и сорность древесины.

Смоляной рак

В верхней части ствола сосны образуется смоляной рак, который также влияет на качество.

Ненормальная окраска

Ненормальную окраску порождают окрашивающие грибы. К ней относится синева, плесень, кофейная темнина, которая образуется в заболони, усики, челноки, пятнистость. Изменение натурального цвета не всегда говорит о поражении грибами, иногда она является следствием химической реакции под воздействием кислот и щелочей или лучей света. При этом механическая прочность древесины сохраняется.

Защита древесины

1. Сушка древесины необходима для доведения ее до нужной влажности:

а) сушка на складах (получают влажность 15%, чтобы получить древесину воздушно-сухую, необходимо несколько месяцев или даже несколько лет);

б) сушка в сушильных камерах (получают влажность 17%, необходимы особые условия);

в) сушка в жидкостях;

г) сушка токами высокой частоты.

2. Нанесение стойких покрытий.

3. Пропитка древесины.

4. Окучивание газами.

1.2.4. Древесные материалы

От 50 до 90% древесины содержится в стволе, поэтому ствол считается наиболее ценной частью древесины. Нижняя часть ствола называется комлем, верхняя – вершиной. Ствол имеет форму удлиненного конуса. Разницу в размерах нижнего и верхнего сечения ствола называют сбегом. Ствол может быть разработан на бревна, кряжи, чураки.

Древесные материалы.

Круглый лес (очищенный от сучьев, иногда и от коры) разрезают на отдельные отрезки различной длины и получают:

Бревна хвойных пород длиной от 4 м до 9 м с диаметром сечения в верхнем срезе 12 см и более.

Бревна лиственных пород длиной не менее 3 м и с диаметром сечения в верхнем срезе не менее 12 см.

Кряжи и чураки для выработки лущеного шпона. Если длина отрезка более 2-х метров, то это кряж, если менее 2-х метров, то это чурак.

Подтоварник длиной от 3 до 9 метров, с диаметром сечения в верхнем срезе 8–11 см.

Жерди – очищенные от сучьев стволы тонкого леса длиной 3–9 м с диаметром сечения в верхнем срезе 3–7 см. Применяется в сельском строительстве.

Кол и прут. Если диаметр сечения в верхнем срезе до 3 см, то это прут, более толстые – кол. Применяют для изготовления плетеной мебели и тары, обручей для бочек и кадок.

Пиломатериалы.

Выпускают пиломатериалы необрезные и обрезные, строганные. К ним относятся доски, бруски, брусья.

1.2.5. Основные конструктивные элементы

Любое изделие из древесины формируется из деталей и сборочных единиц. Детали отличаются от сборочных единиц тем, что они изготавливаются из исходного материала в процессе осуществления технологических операций по достижению требуемой формы и размера без сборки (механическая обработка, штамповка, литье). Детали изделий из древесины могут иметь форму бруска, щита или рамки, если эти формы получены из одного цельного куска полуфабриката. Сборочные единицы тоже могут иметь эти формы, они образуются соединением отдельных деталей. Таким образом, основные конструктивные элементы изделий из древесины могут быть в виде деталей или сборочных единиц. Эти же элементы могут представлять собой готовое изделие (лекало, вырезанное из тонкой пластины древесины бука).

Одним из простейших конструктивных элементов является брусок. Бруски различают по размерам сечения, форме и конструкции. Харак-

терным и определяющим признаком бруса является соотношение его размеров сечения и длины.

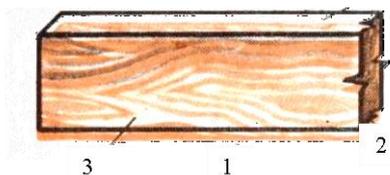


Рис. 1.17. Брус: 1 – кромка, 2 – торец, 3 – пласт

Длина и ширина отличаются не более чем в 2 раза. Если размеры сечения более 100 мм, а длина во много раз превосходит размеры сечения, то такой элемент брус.

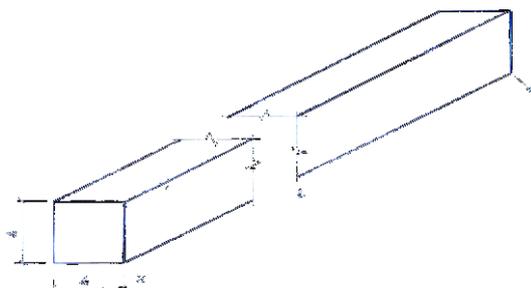


Рис. 1.18. Брус

Щитом принято называть такую деталь, у которой ширина во много раз превосходит толщину, а длина и ширина примерно равны друг другу или в соотношении 1:3.

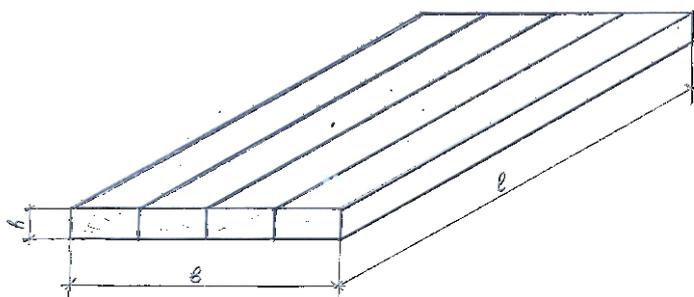


Рис. 1.19. Щит

Промежуточной между щитом и бруском является доска, у которой размеры сечения соответствуют соотношению у щита, а соотношение длины и ширины, как у брусков.

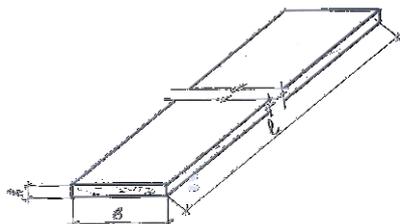


Рис. 1.20. Доска

Доска применяется в качестве конструктивных элементов в производстве клееных строительных конструкций и строительстве (подоконники и паркетные доски).

Бруски из цельной древесины как детали изделия готовят ограниченных размеров (сечение не более 100 мм, длина до 2 м). Ограничение размеров детали в форме бруска обусловлено по сечению правилами конструирования изделий, а по длине – особенностью исходного пиломатериала. Природные пороки древесины, которые ограничены техническими условиями на изделие, часто располагаются в пиломатериале ближе 2 м. Поэтому при выпиливании заготовок для брусков длиной свыше 2 м потребуется пиломатериал высших сортов, количество которого в сырьевых ресурсах ограничено. По этой причине длинные бруски целесообразно изготавливать как сборочные единицы путем склеивания из заготовок небольших длин, выпиленных из низких сортов пиломатериалов. При этом склеенные бруски более устойчивы по форме и стабильнее по прочности.

1.2.6. Соединения деталей

Изделия из древесины имеют различные конструктивные формы и образуются соединением между собой отдельных деталей и сборных единиц. До изобретения гвоздей, клея и других средств современных соединений детали из древесины соединяли между собой таким образом, что часть одной детали плотно входила в углубление другой, образуя столярную вязку. Такие соединения широко использовались в деревянном домостроении. Преображенский собор в Кяхтах сооружен в 1714 году без применения металлических и клееных средств соединения деталей. Все детали собора связаны между собой столярными вязками

таким образом, что снеговые и ветровые нагрузки, колебания температуры и влажности до сих пор не нарушали целостности сложного сооружения.

С развитием техники и технологии соединения деталей совершенствуются. В настоящее время в производстве изделий используется большое разнообразие сравнительно новых соединений. Наиболее широкий круг соединений используется в мебельном производстве. Другие производства используют ограниченный круг соединений. Типы и размеры соединений стандартизированы, имеются соответствующие стандарты. Характеристика элементов шиповых соединений включает основные понятия.

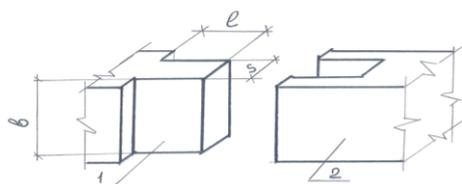


Рис. 1.21. Шиповое соединение: 1 – шип, 2 – проушина, l – длина шипа, b – ширина шипа, s – толщина шипа

Шиповые соединения брусков различают по основным признакам. Для описания однозначной характеристики шипового соединения необходимо указать все эти шесть признаков.

1. По конструкции шипа.

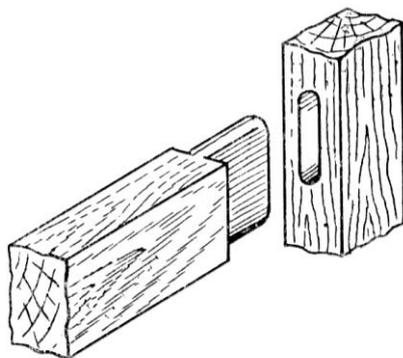


Рис. 1.22. Цельный шип

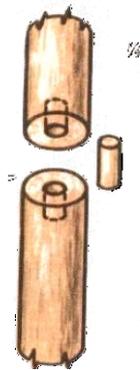


Рис. 1.23. Вставной шип

2. По количеству шипов

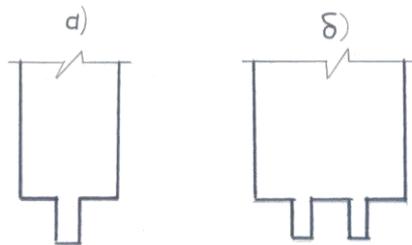


Рис. 1.24. Шипы: а) одинарный, б) двойной

3. По направлению оси шипа.

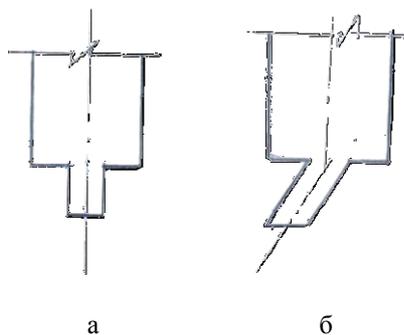


Рис. 1.25. Виды шипа: а) прямой, б) косой

4. По форме шипа.

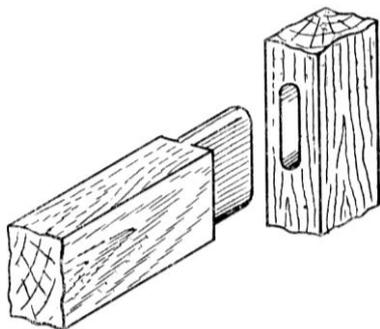


Рис. 1.26. Плоский шип

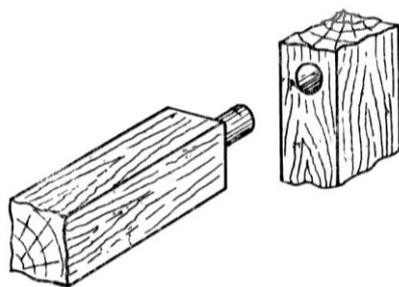


Рис. 1.27. Круглый шип

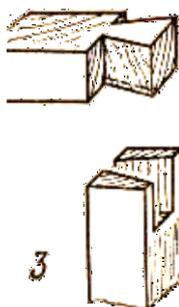


Рис. 1.28. «Ласточкин хвост»

5. Концевые угловые соединения:

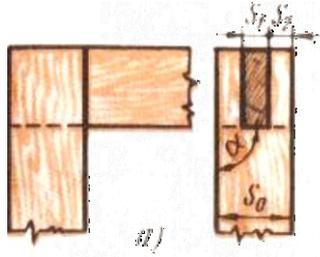


Рис. 1.29. Угловое концевое соединение на шип открытый сквозной
 одинарный: $S_1 = 0,4S_0$; $S_2 = 0,5(S_0 - S_1) = 0,3$; S_0 – при симметричном
 расположении шипов

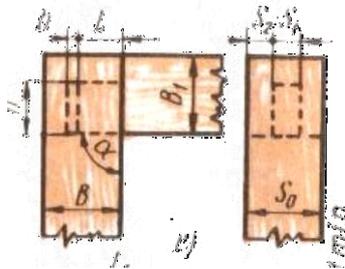


Рис. 1.30. Угловое концевое соединение на шип одинарный несквозной:
 $S_1 = 0,4 S_0$; $l = (0,5 \dots 0,8) B$; $S_2 = 0,5 (S_0 - S_1) = 0,3S_0$. Зазор не менее 2 мм

6. Серединные соединения

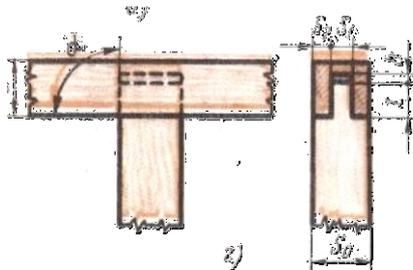


Рис. 1.31. Угловое серединное соединение на несквозной одинарный
 шип: $S_1 = 0,4S_0$; $S_2 = 0,5(S_0 - S_1) = 0,3$; $S_0, b =$ не менее 2 мм;
 $l = (0,3 \dots 0,8)b$

Допускается двойной шип, при этом $S_1 = 0,2S_0$.

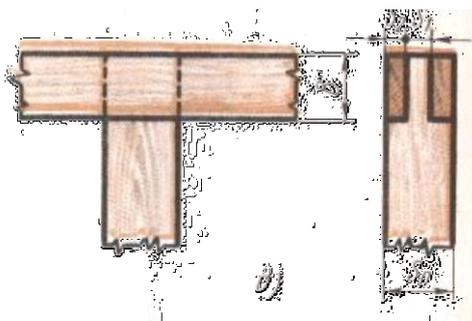


Рис. 1.32. Угловое срединное соединение на сквозной шип:
 $S_1 = 0,4S_0$; $S_2 = 0,5(S_0 - S_1) = 0,3S_0$

Для осуществления соединений с помощью шипов требуются специализированные станки, формирующие шип и отверстие (паз), которые обслуживают квалифицированные рабочие. Кроме того, при изготовлении соединений на цельных шипах теряется до 10% древесины. По этой причине в настоящее время широко используются соединения на круглых вставных шипах. Круглые вставные шипы готовят из отходов древесины основного производства или пластмассы.

Все неразъемные соединения осуществляются с клеем. Прочность шиповых соединений является основным фактором, определяющим их качества. Она зависит от размеров шипов и соотношения их с размерами гнезда, прочности склеивания, условий работы шипового соединения. Соединения брусков на круглых вставных шипах слабее, чем достигаемая прочность на цельных плоских, но достаточна для нагрузок, которые и испытывают мебельные изделия. Соединения с помощью шипов в современном производстве изделий заменяются склеиванием, обеспечивающим достаточную прочность и способствующим получению более формоустойчивых конструкций. Процесс склеивания может быть механизирован. Наличие большого разнообразия клеевых веществ дает возможность использовать процесс склеивания в любых условиях. Применяя склеивания, можно использовать древесину для изготовления сложных изделий любых размеров.

Это является реальной основой для организации безотходного производства в деревообработке. Оно дает возможность эффективно использовать ценные и дефицитные породы древесины для облицовывания поверхностей деталей из дешевых и малоценных пород.

Виды клеевых соединений

1) Пластовое

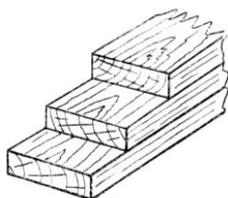


Рис. 1.33. Пластовое соединение

2) Кромочное

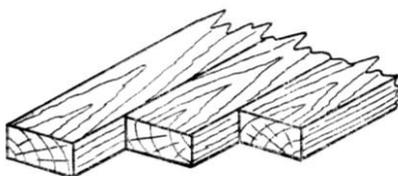


Рис. 1.34. Кромочное соединение

3) При облицовывании

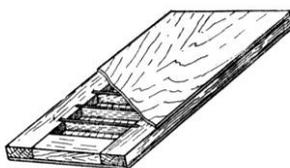


Рис. 1.35. Соединение при облицовывании

4) С гнущем



Рис. 1.36. Соединение с гнущем

5) Угловое соединение на шипах



Рис. 1.37. Угловое соединение на шипах

Качество склеивания предопределяет прочность и надежность готового изделия. Соединения на гвоздях широко применяются для изготовления тары, строительных изделий в производстве домов. В производстве мебели, музыкальных инструментов и строительных деталей гвозди используются редко, только как вспомогательные соединения при склеивании. Прочность соединений на гвоздях зависит от размеров гвоздя, его длины, диаметра и плотности древесины. Для продления сроков службы гвоздевых соединений гвозди покрывают нейлоном, цинком, цементируют. Гвозди различают по материалам: стальные, медные, алюминиевые, закаленные и т.д. По форме шляпки гвозди бывают с плоской, овальной и потайной шляпкой.

Длина гвоздя должна быть более суммы толщин соединяемых деталей на 10–15 мм для загиба, который повышает сопротивление гвоздя выдергиванию на 60–70%. Диаметр гвоздя не должен превышать 0,25 толщины пробиваемой детали. Длина гвоздя должна быть не менее трех толщин прибиваемой детали при глубокой забивке. Длина части гвоздя в удерживающей его детали должна быть не менее десяти диаметров гвоздя. Гвозди диаметром больше 6 мм прибивают сквозь просверленные отверстия диаметром 0,9 диаметра гвоздя. На прибиваемой детали гвозди должны располагаться не ближе 15 диаметров гвоздя от торца и от кромки с забивкой их под небольшим углом друг к другу и размещением в шахматном порядке с шагом не менее 5 диаметров гвоздя по длине прибиваемой детали. Плохо забиваются гвозди в слоистые материалы и клееные. Прочность соединений на гвоздях у клееных материалов примерно на 50% ниже, чем у материалов из цельной древесины. Для повышения прочности гвоздя перед забивкой его иногда смазывают синтетическим клеем с последующим прогревом их. Это увеличивает сопротивление гвоздя на выдергивание в 10 раз.

Соединения на скобках применяют аналогично гвоздевым соединениям. Прикрепление тонких листовых материалов, тканей с помощью скоб более технологично, чем гвоздями. Соединение скобами легко автоматизируется с помощью автоматов, предназначенных для производства тары. Это необходимо в судостроении, авто- и вагоностроении. Длина нарезанной части шурупа должна быть не более 5 диаметров,

чтобы не произошел разрыв шурупа при его закручивании. Размеры крепежных изделий нормированы ГОСТами. Соединения с помощью шурупов и винтов являются трудоемкими.

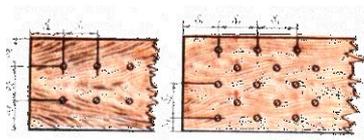


Рис. 1.38. Схема расстановки шурупов при соединении элементов деревянных конструкций: а) продольными рядами, б) в шахматном порядке. $S_1 = 10d$, $S_2 = S_3 = 5d$, где D – диаметр шурупа

В сборно-разборных изделиях широко используют всевозможные стяжки воздействиям, все клеевые соединения дополнительно усиливают шурупами или винтами.

Имеется большое количество разнообразных конструктивных решений стяжек. Основные требования к стяжкам заключаются в обеспечении требуемой прочности и плотности соединения при минимальных затратах труда, времени и усилий на их установку. Примером стяжки может служить сбор шифоньеров, кроватей. Это пример жестких соединений. Петли обеспечивают перемещение вокруг оси, они нормируются ГОСТом. Подвижные соединения, обеспечивающие поворот и перемещение детали в плоскости, используются при установке встроенного оборудования, которое убирается в емкость после пользования (хлеборезки, складные двери и т.п.).

При долевом склеивании заготовок используют клеевое соединение на зубчатый шип. Если брусок готовят склеенным по пласту и кромке, то в долевом направлении целесообразно использовать клеевое соединение впритык. Такое соединение возможно при условии смещения мест соединения впритык в отдельных слоях по длине бруска.



Рис. 1.39. Смещение мест соединения

По форме бруски могут быть в долевом направлении прямоугольными и криволинейными, по сечению – прямоугольными или сложного

профиля, по характеру поверхности – облицованными и необлицованными. По технологии изготовления бруски могут быть выпиленными, гнутыми, гнуто-клееными, прессованными и гнуто-пропиленными. Выпиленные, гнутые и гнуто-пропиленные бруски могут быть таких размеров, которые вписываются в стандартные размеры пиломатериалов. Гнуто-клееные бруски готовят любых размеров (свыше 80 мм и толщиной до 2 м). Размеры сечения брусков из цельной древесины должны быть увязаны со стандартными размерами пиломатериалов и заготовок с учетом необходимых припусков на обработку. Имеется система унификации брусков для производства мебели, в которой даны нормализованные размеры сечений брусков из хвойных и лиственных пород. В таблице этой системы указаны конкретные размеры сечений прямоугольных брусков. Применение таких сечений в конструкции изделия позволяет рационально использовать пиломатериалы. Кроме унификации размеров имеются рекомендации по нормализации профилей сечения брусков для изделий мебели, оконных блоков и т.д. Из брусков можно получить любые конструктивные элементы и изготовить любые изделия из древесины. Брусok является простейшим исходным элементом из древесины для конструирования изделий.

Склеиванием брусков по кромке получают щиты. Щиты для уменьшения их коробления желателно склеивать из узких заготовок шириной, не превышающей 60–70 мм. Пиленые заготовки выпускают влажностью до 22%. Склеиванием брусков по кромке получают рамки. Таким образом, можно получить коробку и каркас изделия.

Рамки имеют широкое применение при изготовлении строительных и мебельных изделий. Их различают по конструкции и форме. Рамки могут быть собраны из брусков, рамки могут быть изготовлены монолитными из плитных материалов или выполнены прессованными из измельченной древесины. При изготовлении рамки из брусков необходимо их соединение при сборке. В таком конструктивном решении рамка представляет собой сборочную единицу изделия или самостоятельное изделие. Образующие рамку бруски обычно называют соответственно их положению в изделии, а именно, вертикально расположенные бруски называют стоечными, горизонтально расположенные бруски называют поперечными, средние бруски называют средниками.

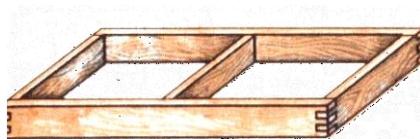


Рис. 1.40. Рамка

Если рамку собирают из брусков профильного сечения, то необходимо учитывать это при изготовлении шиповых соединений. В изделиях рамки часто закрывают щитом, вставленным внутрь рамки с соответствующим закреплением его. Такой щит называют филенкой, а рамку называют обвязкой или фризом (фриз – выступ, кайма). Полученную таким образом конструкцию называют филенчатой. Рамки часто используют при конструировании мебели и тары.

Под древесными материалами понимают фанеру, фанерные плиты, столярные плиты, древесностружечные плиты ДСП и древесноволокнистые плиты ДВП и другие материалы, изготовленные путем предварительного деления древесины (на шпон, мелкие древесные частицы) и последующего их склеивания.

Шпон в зависимости от способа получения различают лущеный и строганый. Лущеный шпон получают срезом по спирали относительно оси вращения чурака на специальной установке. Способ среза определяет характер текстуры поверхности шпона. Лущеный шпон предназначен для изготовления фанеры, гнuto-клееных заготовок, слоистых пластиков, облицовки столярных плит и других древесных материалов. Лущеный шпон выпускают листами длиной вдоль волокон от 800 до 2500 мм и шириной от 150 до 2500 мм. Получают его из березы, реже из сосны, на юге его иногда получают из древесины бука. Строганный шпон предназначен в качестве облицовочного материала. Толщина строганого шпона имеет большое технико-экономическое значение. Строганный шпон получают из древесины бука, ореха, чинары, груши, яблони, каштана, черешни, березы, тополя, дуба, ильма, вяза, ясеня, бархатного дерева, акации, тиса сосны, лиственницы. Влажность шпона должна быть 8–2, толщина 0,4; 0,6; 0,8; 1 мм.

У древесных плит и фанеры значительно меньшая анизотропия, поэтому у них не наблюдается усушки и набухания в двух направлениях (по длине и ширине). Для них характерны одинаковые механические свойства в этих направлениях.

Фанера общего назначения может быть изготовлена из древесины разных пород (березы, ольхи, липы, осины, бука, сосны), даже в одном листе, например, средний слой из древесины одной породы, а наружные слои из древесины другой породы. Фанера общего назначения делится на пять сортов: А/АВ, АВ/В, ВВВ, ВВ/С, и С/С. Внутренние слои фанеры изготавливают из шпона 1, 2, 3 сорта. Механические свойства фанеры общего назначения не нормируются, за исключением водостойкости.

Фанера декоративная представляет собой фанеру с декоративными покрытиями. Покрытия могут быть прозрачными и непрозрачными, имитирующими текстуры ценных пород древесины, глянцевые и матовые. В зависимости от качества поверхности фанеру выпускают двух сортов – 1 и 2.

Фанеру бакелизированной изготавливают из березового лущеного шпона на основе фенол- или крезолформальдегидных клеев. Она пред-

назначается для нужд машиностроения и строительства. В зависимости от атмосферостойкости фанера подразделяется на марки ФБС и ФБС-1 и ФБВ и ФБВ-1.

ФБС и ФБС-1 работает в атмосферных условиях, ФБВ и ФБВ-1 – в помещениях.

ФБС-А и ФБСА-1 предназначена для автомобилестроения.

Фанеру марки ФБС можно применять в условиях тропического климата.

Фанеру авиационную изготавливают из тонкого высококачественного березового шпона с применением фенолформальдегидных смол. В зависимости от показателей предела прочности вдоль волокон и качества шпона фанера делится на два сорта 1 и 2.

Плиты фанерные представляют собой слоистый материал, склеенный из семи и более слоев лущеного шпона синтетическими клеями. Отличаются они от клееной фанеры большей толщиной и порядком набора слоев шпона. Плиты бывают следующих марок:

ПФ-А выпускают облицованные строганным шпоном и необлицованные, смежные слои шпона имеют взаимоперпендикулярное направление волокон древесины;

ПФ-Б – у которых пять слоев шпона с направлениями волокон, чередуется с одним слоем шпона, имеющим перпендикулярное направление волокон.

ПФ-Х – у которых все слои имеют параллельное направление волокон. Выпускают их толщиной 13,29 и 33 мм. Предназначены для изготовления хоккейных клюшек.

ПФ-Л – плиты, у которых все слои имеют параллельное направление волокон. Они имеют большую длину, чем плиты ПФ-Х – и толщину 14, 16, 20 и 22 мм, предназначены для изготовления шин.

В зависимости от качества древесины и дефектов обработки наружных слоев шпона фанерные плиты разделяются на сорта. Плиты – щиты. Плиты столярные представляют собой реечные плиты, оклеенные с обеих сторон двумя слоями лущеного шпона (наружный слой и подслой) общей толщиной не менее 3 мм (с каждой стороны плиты) так, чтобы направление волокон во всех четырех слоях шпона было одинаково и перпендикулярно к направлению волокон в рейках. Столярные плиты выпускают облицовочные и необлицовочные. Облицовочные шпоном с одной или двух сторон строганным.

Древесно-стружечные плиты находятся на первом месте среди других древесных материалов. В основном такие плиты готовят методом горячего плоского прессования. Показатели прочности зависят от плотности и технологии изготовления.

Модуль упругости и предел прочности при изгибе одинаковы по длине и ширине, но меньше чем у натуральной древесины вдоль воло-

кон. Для лучшей работы их часто облицовывают древесным шпоном. Они обладают невысокой прочностью на растяжении перпендикулярно пласта плиты 0,3–0,6 МПа, что необходимо учитывать при проектировании их соединений. Плиты делятся на три вида:

П-1 применяют для изготовления деталей мебели, радио и телевизионных приемников и панелей, отделяемых лакокрасочными материалами и тонкими пленками. Плиты могут быть трехслойными и многослойными, т.е. с постепенным переходом от мелких фракций древесных частиц, почти пыли, на поверхности плиты до крупных в середине.

Плиты марки П-2 предназначены для деталей мебели, корпусов приборов, непищевой тары, стеллажей и других изделий, к поверхности которых не предъявляется высоких требований. Они могут быть облицованными или облицованными жесткими материалами, натуральным шпоном или бумажно-слоистым пластиком (ДБСП).

Плиты марки П-3 предназначаются в основном для деталей строительных и транспортных конструкций (полы, кровли, стеновые панели, перегородки вагонов, кузова автофургонов). Они должны обладать повышенной прочностью, поэтому плотность этих плит установлена в пределах 750–850 кг/м³.

Древесно-волокнистые плиты в зависимости от плотности разделяются на мягкие марок (М-4, М-12, М-20), полутвердые (ПТ-100); твердые (Т-350 и Т-400) и сверхтвердые (СТ-500).

Числа в обозначениях марок указывают минимально-допустимую по ГОСТу величину прочности плит этой марок при изгибе в кг/см².

Мягкие плиты имеют малую плотность (не выше 350 кг/м³), низкую прочность и применяются как теплоизоляционные материалы.

Полутвердые плиты (плотностью от 400 до 800 кг/м³) находят применения в строительстве, например для подвесных потолков.

Твердые и сверхтвердые плиты находят широкое применение как конструкционный материал в строительстве (обшивки потолков, щитовых дверей и перегородок, настилы полов под линолеум), в производстве мебели (доньшки ящиков, задние стенки корпусной мебели). Такие плиты заменяют фанеру толщиной 3 и 5 мм.

В зависимости от способа производства древесноволокнистые плиты могут иметь одну гладкую лицевую и рифленую нелицевую поверхности (плиты мокрого способа формования) или обе гладкие поверхности (плиты сухого способа прессования).

Клеи в производстве изделий из древесины

Склеивание широко применяется в деревообрабатывающей промышленности. По происхождению клеи делят на природные и синтетические – искусственные.

В производстве изделий из древесины склеивание применяется для соединений заготовок по толщине, ширине и длине, для получения де-

талей крупных сечений и повышенной формоустойчивости, для облицовки заготовок древесины шпоном и различными пленками, для приклеивания к древесине тканей и деталей из пластмассы и т.п.

До сравнительно недавнего времени в производстве изделий из древесины применялись природные клеи животного происхождения – казеиновый и глютиновые, которые были известны как столярные клеи.

Сейчас они уступили место синтетическим клеям.

В зависимости от механизма проявления склеивания синтетические клеи можно разделить на три основные группы: термореактивные, термопластичные, дисперсионные.

Процесс склеивания у термореактивных клеев происходит благодаря протеканию химических взаимодействий между компонентами клея под действием тепла.

У термопластичных клеев процесс склеивания осуществляется благодаря плавлению и отверждению клея, без химических реакций.

Дисперсионные клеи склеивают при удалении из них жидкой фазы. Для применения термореактивного клея необходим отвердитель; для применения термопластичного клея необходимо сделать его плавким; для применения дисперсионного клея необходимо сделать его растворимым.

Наибольшее применение в термообработке получили термореактивные клеи, позволяющие проводить процесс склеивания нагревом.

Преобладающее применение для склеивания древесины имеют карбамидные и фенольные клеи. В производстве изделий для склеивания древесины с другими материалами (металлом, керамикой) используют термореактивные клеи, получаемые из эпоксидных и полиэфирных смол. К ним относятся эпоксидные, полиэфирные и полиуретановые клеи. Термореактивный клей может быть в виде жидкости, порошка или пленки. Термопластичный клей может быть в виде порошка, стержня или нити. Из дисперсионных клеев широко используются поливинилацетатные дисперсии, каучуковые латексы и растворы термопластов: перхлорвинила, полиамида, полиакрилата. Поливинилацетатные дисперсии используются для склеивания древесины. А остальные для приклеивания к древесине пластмасс.

1.2.7. Основы конструирования изделий из древесины

Соединение деталей.

Досок и брусьев небольшой длины:

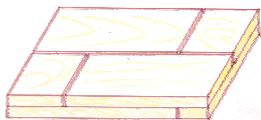


Рис. 1.41. Соединение деталей впритык

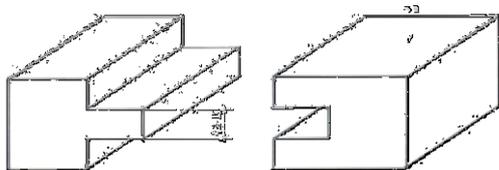


Рис. 1.42. Соединение «в паз и гребень»

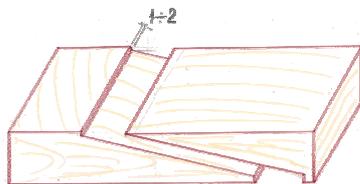


Рис. 1.43. Соединение «на ус»



Рис. 1.44. На зубчатое клеевое соединение

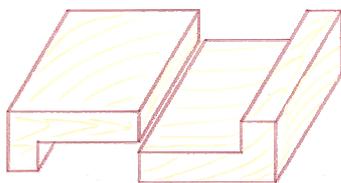


Рис. 1.45. Соединение вполдерева

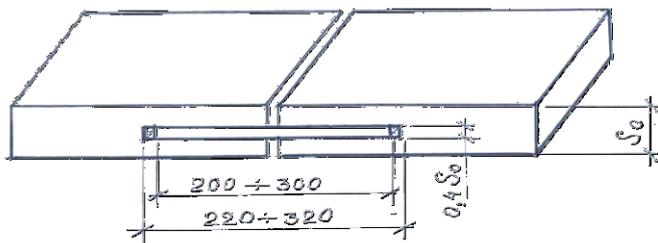


Рис. 1.46. Соединение на рейку

Основные положения для конструирования мебели

Для изготовления корпусной мебели наиболее экономичные материалы из хвойных пород толщиной 16–32 мм, брусковой мебели – пиломатериалы толщиной 40–60 мм.

Пиломатериалы твердых лиственных пород (дуба, бука, клена, карагача, березы) целесообразно использовать для изготовления брусковой мебели (стульев). Из пиломатериалов легких лиственных пород для изготовления лицевых деталей мебели с прозрачной отделкой применяют древесину ольхи.

Древесину липы и осины применяют в основном для внутренних деталей мебели. Для изготовления мебели рекомендуют пиломатериалы не ниже второго сорта.

На лицевых поверхностях мебели из массива (дерева) древесины не должно быть темных, табачных и загнивающих сучков, трещин, смоляных кармашков, ложного ядра, заболонной гнили, грибных поражений, червоточин и других пороков древесины, ухудшающих качество и внешний вид изделий.

Техническими условиями на мебель, изготавливаемую промышленными предприятиями, установлена влажность деталей из массивной древесины в пределах $8 + 2\%$. Древесину такой влажности можно получить в условиях камерной или комнатной сушки.

В разборных изделиях используют разъемные соединения в виде различных стяжек.

При компоновке корпуса важным элементом является задняя стенка, закрывающая проем. Она придает корпусу жесткость и прочность, если плотно соединена со стенками корпуса. Если размеры задней стенки значительны, ее можно делать составной. Для увеличения жесткости иногда используют рамки или устанавливают бруски жесткости с пазами, в которые плотно входит задняя стенка, изготавливаемая обычно из плотных древесных материалов (фанеры, древесноволокнистых плит).

Двери являются ответственным подвижным элементом изделия. Конструкция дверей в изделиях в значительной степени предопределяет их качество, надежность, технологичность, внешний вид и удобство пользования. По способу установки двери различают на распашные, вращающиеся вокруг оси, раздвижные, перемещающиеся в плоскости, складные, состоящие из мелких отдельных частей, каждая из которых способна перемещаться в плоскости и вокруг своей оси. Двери могут быть комбинированными, вначале распашными, а потом раздвижными; съёмными или несъёмными. Характер соединения дверей с корпусом и между собой положено называть притвором двери.

По положению относительно стенок корпуса двери различают на накладные, вкладные и комбинированные. Накладные двери закрывают кромки стенок корпуса, входные – входят в проем корпуса, оставляя

кромки открытыми. Если некоторые кромки закрываются, а другие не закрываются, двери называются комбинированными.

Разновидностью распашных дверей являются откидные, которые вращаются вокруг горизонтальной оси (дверки баров). Распашные двери навешивают с помощью специальных петель, ограничивающих их перемещение, или ставят специальные ограничители-фиксаторы. Количество петель при установке двери зависит от ее размера, массы, но петля должно быть не менее двух.

Накладные двери технологичнее вкладных дверей. Они проще при установке, закрывают кромки щитов корпуса, что более экономично, создают впечатление монолитности изделия. Вкладные двери более герметичны, удобнее при транспортировании изделия в собранном виде и блокировке изделия в комплекте. Они требуют более точного изготовления и тщательной установки. Для повышения технологичности изделий могут использоваться стеклянные двери, приобретенные в готовом виде. Дверь из куска полированного стекла навешивается на специальных петлях или используется как раздвижная в специальных направляющих – полозках из пластических масс.

Раздвижные и складные двери имеют преимущество перед распашными в том, что они не требуют свободного пространства перед изделием для их открывания. Для закрепления положения открытых или закрытых дверей применяют фиксаторы и замки. В качестве фиксаторов используют простейшие задвижки, пружинки и магнитные зацепки либо специальные устройства или шарниры с пружинками.

Петли, фиксаторы, замки, ручки и другие приспособления и изделия, обеспечивающие функциональные возможности изделия в мебельном производстве, обобщаются единым термином – фурнитура, в производстве строительных изделий – метизы.

Функциональное назначение корпусного изделия расширяется применением специальных элементов, приспособлений и устройств.

В изделиях мебели широко используются ящики, полужащички, полки, вешалки и специальные емкости, зеркала и т.п.

Эти элементы часто изготавливаются на специализированных предприятиях и поставляются на предприятия, вырабатывающие изделия из древесины в форме полуфабрикатов (погонаж для ящиков) или комплектующих изделий. Они устанавливаются в готовое изделие. Крепление этих устройств зависит от конструкции изделия.

Многие изделия из древесины (мебель, музыкальные инструменты) при эксплуатации должны устанавливаться в определенном месте на опорах. В качестве опор могут использоваться конструктивные элементы, образующие корпус изделия, или применяют специальные опорные устройства. Вертикальные проходные боковые стенки щитового корпуса могут быть опорой изделия. В качестве специальных опор для изде-

лий применяют опорные коробки (плинтусные коробки), скамейки различных конструкций, подставные ножки. Опорные коробки являются более технологичными. Они могут изготавливаться из древесины хвойных пород или из полос древесностружечных плит, остающихся при раскрое их на основные заготовки изделия.

Лицевые поверхности опорных коробок облицовываются или окрашиваются. Для обеспечения устойчивости на опорных поверхностях коробки в средней части ее стенок на $\frac{3}{5}$ длины делают выборку глубиной не менее 5 мм, которая обеспечивает устойчивость изделия при возможных неровностях пола. Вместо выборки в кромках коробки фрезеруют паз, куда вкладывают эластичный материал (губчатая резина, поролон), который компенсирует неровности пола, обеспечивая устойчивое положение изделия.

Опорные скамейки состоят из ножек и связывающих их брусков – царг. Скамейки могут изготавливаться из древесины, металла или могут быть комбинированными: некоторые части изготавливаются из древесины, другие из металла или пластмассы. Металлические опорные скамейки изготавливаются из профильных труб, сваренных между собой или соединенных винтами, заклепками.

Концы труб закрываются пробками. На опоры металлических скамеек можно прикрепить рамки или шаровые опоры для перемещения изделия или устройства, позволяющие регулировать высоту опор и т.д.

Подсадные ножки прикрепляются независимо друг от друга к корпусу. Их изготавливают из древесины, металла или пластмассы. Они могут быть съемными или стационарными. Деревянные ножки крепятся с помощью шипов, винтов и стяжек к нижнему щиту основания корпуса, который иногда усиливают приклеиванием рамки или отдельных брусков. Металлические или пластмассовые ножки крепят с помощью фланцев, присоединяемых к основанию винтами. Для изделий массового производства наиболее технологичными являются ножки из пластмассы или цельноспрессованные из измельченной древесины. Для высокохудожественных изделий мебели ножки изготавливают точением или резьбой из ценных пород древесины или литьем из цветных сплавов.

Для удовлетворения эстетических требований используют средство архитектурно-художественного оформления изделий. Распространенными элементами украшения (декорирования) современных изделий корпусной мебели массового производства являются раскладки, пилястры, иногда карнизы и плинтуса. Раскладка представляет собой рейку сложного профиля относительно малых размеров по сечению. Раскладки могут изготавливаться из древесины, металла или пластических масс. Их прикрепляют к поверхности деталей для повышения эстетических свойств изделия. Пилястры – архитектурная деталь изделия в форме вертикального выступа полуколонны. Изготавливаются из древесины

различной формы сечения, могут иметь резьбу или каннелюры – вертикальные желобки.

Карниз – горизонтальный выступ, завершающий изделие сверху. Карнизы могут иметь сложный профиль сечения, иногда украшаются резьбой. Сложные профили карнизов формируют путем склеивания брусков простых форм сечения. Плинтус завершает изделие снизу, оформляется, как и карниз, часто является опорной коробкой изделия. Карнизы, пилястры и плинтуса сложных форм с резьбой применяют для оформления высокохудожественных изделий.

В современном производстве мебели для художественного оформления при серийном проектировании широко используют различные декоративные элементы сложных форм, изготавливаемые прессованием древесины или литьем пластических масс в специальные формы. Детали декора приклеивают к поверхностям изделия или прикрепляют петельками.

Применение декора позволяет расширить разнообразие изделий в условиях массового производства при высокой степени унификации в условиях серийного проектирования изделий.

Современные достижения электроники и возможности ЭВМ позволяют создать способы автоматизированного проектирования изделий.

На основе предварительной унификации и серийного проектирования конструктивные элементы изделий и их технология кодируются в программы ЭВМ, которые способны решать задачи по компоновке изделий и оптимизации их технологии. Результаты решения этих задач предоставляются в форме необходимых проектных документов: чертежей, графиков и печатного текста.

Основа рационального конструирования изделий

Стоимость изделия определяется затратами на его проектирование и изготовление.

На основе анализа функциональных характеристик затраты на изготовление изделия можно разбить на две части: связанные с формированием необходимых функциональных характеристик и не связанные с формированием необходимых характеристик. Первая часть затрат обоснована, вторая может быть сокращена без ущерба для функциональной характеристики изделия. Причины появления этих затрат различны: завышены показатели прочности, использованы дорогие материалы, применимы малоэффективные технологические процессы и т.п. Стоимость материалов в производстве изделий из древесины составляет от 50 до 83%. Стоимость конструкционных материалов, обеспечивающих прочность и надежность изделий составляет только 30–60% стоимости материалов, используемых для изготовления изделий. Применение прочностных расчетов и установление обоснованных расчетами конст-

руктивных решений и размеров сечений деталей изделий из древесины позволяет снизить затраты на конструкционные материалы в 1,5–2 раза. Это существенный резерв повышения эффективности производства и качества изделий.

Технологичность изделий

Взаимосвязь конструктивных решений изделия с его производством выражается сложной функцией, именуемой комплексным понятием – технологичность.

Качество изделия оценивается многими показателями, которые указываются в его характеристике. Технологичность объединяет часть этих показателей, связанных только с конструктивными и производственными характеристиками изделия. Технические характеристики изделия, такие как прочность, надежность, жесткость и другие, имеют конкретное теоретическое обоснование по результатам расчета, соответственно и правильность их можно проверить экспериментально.

Технологичность – сложная комплексная характеристика изделия, выявляемая в затратах труда, средств, материалов, времени и общей эффективности организации процесса производства изделия на всех его этапах.

Для современного механизированного и массового производства технологичность имеет важное практическое значение.

Технологичность можно оценить качественно и количественно. Качественная оценка характеризует технологичность изделия обобщенно на основании производственного опыта. Качественная оценка обычно предшествует количественной и определяет ее целесообразность. Часто качественная оценка определяется экспертным опросом и выражается в баллах.

Количественная оценка технологичности выражается численными показателями, которые отражают степень удовлетворения предъявляемых требований к технологичности.

Количественная оценка технологичности целесообразна только по тем свойствам и признакам изделия, которые существенно влияют на удовлетворение конкретных требований к изделию со стороны интересов народного хозяйства и изготовителя изделия.

Количественная оценка технологичности более определена, позволяет конкретно выразить технологические свойства изделия и оптимизировать пути их обеспечения. Технологичность изделия может проявляться в производстве и эксплуатации.

Производственная технологичность изделия обуславливает эффект при конструкторской и технологической подготовке производства и контроля качества проектируемого изделия.

При эксплуатации технологичность проявляется в сокращении затрат времени и средств на технологическое обслуживание и ремонт готового изделия. При оценке технологичности изделий используется множество показателей, количественно отражающих технологические свойства изделия. Показатели технологичности изделия можно классифицировать по следующим признакам: области проявления, области анализа, системе оценки, значимости, количеству характеризующих признаков и способу выражения. По области проявления показатели могут быть связаны с производством или эксплуатацией изделия. По области анализа они могут быть технологическими и технико-экономическими. К техническим показателям относятся такие, как надежность, прочность, масса, материалоемкость, унификация и др. К технико-экономическим показателям относятся себестоимость, трудоемкость и т.д. По системе оценки показатели технологичности разбиваются на три вида: базовые, проектируемого изделия, уровня технологичности. Базовые показатели технологичности регламентируются соответствующей отраслевой организацией в документации на изделие или принимается из характеристик аналогичных изделий, аттестованных по высшей категории качества. Показатели проектируемого изделия характеризуют квалифицированность решения проблемы технологичности при проектировании конкретного изделия.

Показатели уровня технологичности регламентируются директивной документацией, обуславливающей технологический уровень производства. Приведенные показатели уровня технологичности для конкретного изделия могут определяться как отношение достигнутых показателей к базовым показателям. По значимости показатели могут быть основными и дополнительными. Основными показателями часто являются трудоемкость, технологическая себестоимость. Дополнительными могут быть относительная трудоемкость по отдельным видам работ, унификация конструкции и применяемых технологических процессов.

Общие требования по технологичности изделий сводятся к следующим положениям:

1. Конструкция изделия должна быть из стандартных и унифицированных элементов.
2. Детали должны изготавливаться из стандартных заготовок или форматов, иметь оптимальную точность и шероховатость, которые обеспечиваются типовыми технологическими процессами.
3. Методы изготовления деталей должны быть прогрессивными с высокой производительностью, простотой контроля и минимальными потерями материала.
4. Используемые в конструкции материалы не должны быть дефицитными, их следует ограничить по видам, типам и массе.

5. Конструкция сборочной единицы изделия должна допускать возможность компоновки ее из стандартных и унифицированных частей.

6. Сборка и применяемые соединения должны быть простыми, позволяющими использовать базовую часть изделия, механизацию и автоматизацию.

7. Базовая часть изделия должна формироваться на основе использования конструктивных сборочных баз в качестве технологических и измерительных.

8. Количество мест и поверхностей соединений должно быть минимальными, они должны быть доступны механизации сборки и контролю качества.

Контрольные вопросы

1. Какие породы древесины применяют в производстве мебели?
2. Какие породы древесины относят к твердым?
3. Каким образом классифицируют породы древесины?
4. Что такое гигроскопичность, как избежать ее неприятных проявлений?
5. Какие пороки древесины вы знаете?
6. Какие способы борьбы с пороками вам знакомы?
7. Какие изделия из древесины вам знакомы?
8. Что вам известно о применении лесоматериалов в промышленности?
9. Расскажите о физико-механических свойствах древесины.
10. Какие способы соединений деталей из древесины вам знакомы?

1.3. Металлы

Первые железные изделия в виде орудий для обработки камня и дерева применялись еще в 1500 году до н.э.

В 280 году до н.э. строится одно «из семи чудес света» – маяк-башня высотой 150 м на острове Фарос. В Риме в 125 году до н.э. сооружается Пантеон с куполом диаметром 43 м, в котором применено железо. Благодаря применению металлических конструкций, стало возможно сооружение таких мостов-гигантов, как Фортский, пролетом 521,8 м и Квебекский пролетом 548,64 м. Крупнейшим событием XIX века было возведение Бруклинского моста пролетом 488 м. Уникальное по красоте сооружение в Париже – Эйфелева башня высотой 300 м, тоже была выполнена из металла в 1899 году. Перекрытие Александрийского театра (ныне театра имени Пушкина) в Петербурге в 1832 году выполнено с применением металла. Хрустальный дворец в Лондоне, каркас которого выполнен из металла, построен в 1852 году. XVIII век – период господства чугуна. Россия выходит на первое место в мире.

Ломоносов определял металлы как «светлые тела, которые ковать можно». Это простейшее определение не потеряло своего значения и сейчас. Однако более типичными характерными свойствами металлов и их сплавов являются высокие тепло- и электропроводность, увеличивающиеся с понижением температуры. Под металлическими сплавами понимают вещества, состоящие из нескольких металлов, часто с примесями неметаллов, и получаемые обычно сплавлением. Так как металлические сплавы по свойствам имеют много общего с металлами, под металлами будем иногда подразумевать и их сплавы.

Отмеченные свойства металлов обусловлены их электронным строением. В металлах электроны, находящиеся на внешних оболочках (валентные электроны), не связаны с определенными атомами, а оторваны от них и принадлежат всему куску металла в целом. Такие электроны называют обычно электронами проводимости, так как они способны легко ускоряться во внешнем электрическом поле, и их упорядоченное движение обуславливает проникание электрического тока, т.е. электропроводность.

1.3.1. Классификация металлов

Каждый металл отличается строением и свойствами от другого металла, тем не менее, по некоторым признакам их можно объединить в группы. Прежде всего, металлы можно разделить на две большие группы – черные и цветные металлы.

Черные металлы имеют темно-серый цвет, большую плотность (кроме щелочноземельных металлов), высокую температуру плавления, относительно высокую твердость. Типичным представителем черных металлов является железо.

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления. Наиболее типичным представителем является медь.

Черные металлы, в свою очередь, можно разделить следующим образом:

1. Железные металлы – железо, кобальт, никель (так называемые ферромагнетики) и близкий к ним по свойствам марганец. Кобальт, никель и марганец часто применяют как добавки к сплавам железа, а также в качестве основы для соответствующих сплавов, похожих по своим свойствам на высоколегированные стали.

2. Тугоплавкие металлы, температура плавления которых выше, чем температура плавления железа (т.е. выше 1539°C). Применяют их как добавки к легированным сталям, а также в качестве основы для соответствующих сплавов.

3. Урановые металлы – актиниды, применяются преимущественно в сплавах для атомной энергетики.

4. Редкоземельные металлы (РЗМ) – лантан, церий, неодим, празеодим и другие, объединяемые под названием лантаноидов, и сходные с ними по свойствам иттрий и скандий. Эти металлы обладают весьма близкими химическими свойствами, но различными физическими (температура плавления и др.). Их применяют как присадки к сплавам других элементов. В природных условиях они встречаются вместе и вследствие трудностей разделения на отдельные элементы для присадки обычно применяют «смешанный» сплав, так называемый мишметалл, содержащий 40–45% Се (церий) и 45–50% всех других редкоземельных элементов. К таким смешанным сплавам РЗМ относят феррацерий (сплав церия и железа с заметными количествами других РЗМ), диодим (сплав неодима и празеодима преимущественно) и др.

5. Щелочноземельные металлы – в свободном металлическом состоянии не применяются за исключением редких случаев.

Цветные металлы:

1. Легкие металлы – бериллий, магний, алюминий, обладающие малой плотностью.

2. благородные металлы – серебро, золото, металлы платиновой группы. К металлам платиновой группы относят платину, палладий, иридий, родий, осмий, рутений. К ним может быть отнесена и «полублагородная» медь. Эти металлы обладают высокой устойчивостью против коррозии.

3. Легкоплавкие металлы – цинк, кадмий, ртуть, олово, свинец, висмут, таллий, сурьма и элементы с ослабленными металлическими свойствами – галлий, германий.

По строению электронных оболочек металлы принято разделять на нормальные и переходные. У нормальных металлов внутренние электронные оболочки (уровни) полностью заполнены. К таким металлам относят Cu (медь), Na (натрий), Mg (марганец), Al (алюминий), Pb (свинец). У переходных металлов внутренние оболочки не достроены. Наиболее характерные представления переходных металлов Fe (железо), Rb (рубидий), Pt (платина) и им подобные.

Применение металлов определяется их распространенностью в природе, а в историческом аспекте – развитием техники.

Применение металлов началось с меди, серебра и золота. Человечество еще не было знакомо с металлургией, способом получения металла из руд, а эти металлы, в отличие от других, встречаются в природе в чистом самородном виде.

Затем начали применять металлы, которые относительно легко восстанавливаются (олово, свинец) или их достаточно много в природе (железо). Большинство металлов было открыто в XIX веке. Золото на-

чали применять 1 млн лет до нашей эры, серебро открыли в IV тысячелетии до нашей эры, медь применяют с VI тысячелетия до нашей эры, олово тоже применяют с IV тысячелетия до нашей эры, а свинец начали применять в V тысячелетии до нашей эры. Железо известно с III тысячелетия до нашей эры. Ртуть, мышьяк, сурьма, висмут были открыты в средние века.

Содержание металлических элементов очень различно в земной коре. На первом месте по содержанию в земной коре стоит алюминий Al, затем железо Fe. И совсем незначительное содержание золота, висмута. Основная доля в изготовлении и применении приходится на железо (в виде его сплава с углеродом – стали), что связано с рядом причин: малой стоимостью (если взять стоимость железа за 1, то стоимость серебра 500, золота 11000, платины 27000, алюминия 6). Данные по стоимости приблизительные, так как не учтены конъюнктурные данные (движение цен, различные сложившиеся обстоятельства, вид полуфабриката, степень чистоты металла и ряд других факторов). Вторая причина – наилучшие механические свойства, возможность массового изготовления и большая распространенность руд в природе. Сталь производится в мире больше, чем всех остальных металлов (сплавов) взятых вместе. Так, если в 1970 г. изготовлено приблизительно 600 млн т металла во всем мире, то на долю стали приходится свыше 550 млн т (т.е. более 90%), а на долю всех остальных металлов менее 50 млн т (т.е. меньше 10%). Если в 1964 году мировой показатель производства железа был 437 000 млн тонн, то золота 1,2 млн т. Объем производства стали – важный показатель технической и экономической мощи страны. Без обеспечения в необходимом количестве сталью не может развиваться ни одна отрасль промышленности. Поэтому такие мощные державы, как СССР, Япония и США, всегда занимали первые места в производстве стали на мировом рынке. Но сейчас СССР распался и поэтому первое место занимает Япония.

Кристаллические решетки металлов

Как вы знаете, все вещества могут находиться в природе в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Четвертым агрегатным состоянием часто называют плазму, сильно ионизированный газ (т.е. газ заряженных частиц – ионов, электронов), образующихся при высоких температурах. Однако это утверждение неточно, так как между плазмой и газом нет фазового перехода. Тем не менее, плазма резко отличается от газа прежде всего сильным электрическим взаимодействием ионов и электронов, проявляющимся на больших расстояниях. Реализация того или иного агрегатного состояния вещества зависит, главным образом, от температуры и давления, при которых оно находится. В газах межмолекулярные расстояния большие (атомы в газах объединены в

молекулы – O_2 , N_2), молекулы практически не взаимодействуют друг с другом и, свободно двигаясь, заполняют весь свободный объем. Таким образом, для газа характерно отсутствие собственного объема и формы.

Жидкости и твердые тела относят к конденсированному состоянию вещества. В отличие от газообразного состояния у вещества в конденсированном состоянии атомы расположены ближе друг к другу, что приводит к их более сильному взаимодействию и, как следствие этого, жидкости и твердые тела имеют постоянный собственный объем.

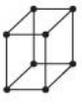
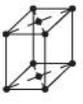
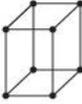
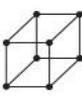
Атомы в твердом теле, для которого характерна стабильная постоянная собственная форма, совершают только малые колебания около своих равновесных положений. Это приводит к правильному чередованию атомов на одинаковых расстояниях для сколь угодно далеко удаленных атомов. Такое правильное, регулярное расположение атомов в твердом теле, характеризующееся периодической повторяемостью в трех измерениях, образует кристаллическую решетку, а тела, имеющие кристаллическую решетку, называют твердыми телами. Силы притяжения (силы связи) в твердых телах существенно отличаются по своей природе. Обычно рассматривают четыре основных типа связи в твердых телах: металлическую, ионную, ковалентную и связь Ван-дер-Ваальса. В большинстве случаев связи в твердых телах носят смешанный характер. В металлах и сплавах определяющее значение имеет металлический тип связи. Связь в металлах обусловлена взаимодействием положительных ионов с коллективизированными электронами. Свободные электроны проводимости, находясь между ионами, как бы «стягивают» их, компенсируя силы отталкивания. У ряда металлов (например переходных) определенный вклад вносит также ковалентная связь, при которой объединяются два атома, временно передающие друг другу валентный электрон и удерживаемые поэтому силами электростатического притяжения. При ионной связи соседние атомы уже обменивались электронами.

Атомы в кристаллическом твердом теле располагаются в пространстве закономерно, периодически повторяясь в трех измерениях через строго определенные расстояния, т.е. образуют кристаллическую решетку. Кристаллическую решетку можно построить, выбрав для этого определенный «строительный блок» (аналогично постройке стены из кирпичей) и многократно смещая этот блок по трем непараллельным направлениям. Такая «строительная единица» имеет форму параллелепипеда и называется элементарной ячейкой. Все элементарные ячейки, составляющие кристаллическую решетку, имеют одинаковую форму и объемы. Атомы могут располагаться как в вершинах элементарной ячейки, так и в других ее точках (в узлах кристаллической решетки). В первом случае элементарные ячейки называются простыми, во втором – сложными. Если форма элементарной ячейки определена и известно расположение всех атомов внутри нее, то имеется полное геометриче-

ское описание кристалла, т.е. известна его атомно-кристаллическая структура. В кристаллографии рассматривают 14 типов элементарных ячеек. Их называют пространственными решетками Бравэ. Для характеристики элементарной ячейки задают шесть величин: три ребра ячейки (a , b , c) и три угла между ними (α , β , γ). Эти величины называются параметрами элементарной ячейки кристаллической решетки.

Таблица 1.3

Кристаллизация решетки металлов

системы и примеры	Типы решетки			
	примитивная	базоцентрированная	объемно-центрированная	гранецентрированная
триклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ K_2CrO_7				
моноклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ S_β				
ромбическая $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $S_\alpha; Fe_3C$				
тригональная $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ $As; Bi$				
тетрагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $Sn; TiO_2$				
гексагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$ $Zn; Cd$				
кубическая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $Cu; Fe; NaCl$				

Наиболее распространенными среди металлов являются гексагональная плотноупакованная решетка (г.п.у.) – Mg, Zn, Hf (гафний); гранецентрированная кубическая (г.ц.к.) – Cu, Al, Pt (платина); объемно-

центрированная кубическая (о.ц.к.) – Na, V (ванадий), Nb (ниобий). Ряд металлов (например Fe железо) в зависимости от температуры и давления может существовать в состояниях с различными кристаллическими решетками – это явление называется полиморфизмом. Обычно кусок металла состоит из скопления большого числа маленьких кристаллов неправильной формы, называемых зернами. Кристаллические решетки в отдельных зернах ориентированы относительно друг друга случайным образом (в некоторых случаях, при холодной прокатке, наблюдается преимущественная ориентировка зерен – текстуры). Поверхности раздела зерен называют границами зерен.

Часто не все зерна одинаково ориентированы. Оценивают это обстоятельство степень текстурованности (в процентах), которая показывает долю зерен, одинаково ориентированных. Кусок металла с ярко выраженными границами зерен называется поликристаллом. При определенных условиях, обычно при очень медленном контролируемом отводе тепла при кристаллизации (затвердении металла), может быть получен кусок металла, представляющий собой один кристалл, его называют монокристаллом. В настоящее время в лабораториях выращивают монокристаллы массой несколько сот грамм и более.

Встречающиеся в природе кристаллы, как монокристаллы, так и зерна в поликристаллах, никогда не обладают такой строгой периодичностью в расположении атомов, о которой говорилось выше, т.е. не являются идеальными кристаллами. В действительности «реальные» кристаллы содержат те или иные несовершенства (дефекты) кристаллического строения.

Свойства отдельно взятого кристалла (монокристалла) по одному направлению отличаются от свойств кристалла в другом направлении.

Три состояния вещества

Как мы уже с вами говорили, любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком, твердом. В иных металлах при определенных температурах происходят изменения определенного состояния: твердое состояние сменяется жидким при температуре кипения. Температуры перехода зависят от давления, но при постоянном давлении они вполне определены. Температуры перехода наиболее распространенных в технике металлов для давления 0,1 Мпа даны в табл. 1.4.

Температура плавления – особенно важная константа свойств металла. Она колеблется для различных металлов в весьма широких пределах – от минус 38,9°С для ртути – самого легкоплавкого металла, который при комнатной температуре находится в жидком состоянии, до 3410°С для самого тугоплавкого металла – вольфрама.

Низкая прочность (твердость) при комнатной температуре легкоплавких металлов (олова, свинца) является следствием главным образом того, что комнатная температура для этих металлов менее «удалена» от температуры плавления, чем тугоплавких металлов.

Таблица 1.4

Свойства металлов

Элемент	Номер в периодической системе	Плотность при 20 ⁰ С г/см ³	Температура, ⁰ С		Коеф. расширения при 20 ⁰ С а*1/1000000	Твердость НВ
			плавления	кипения		
1	2	3	4	5	6	7
Ве (бериллий)	4	1,82	1284	2970	12,2	140
Мг (магний)	12	1,14	651	1110	25,7	30
Al (алюминий)	13	2,10	660	2500	23,1	20
Ti (титан)	22	4,50	1660	3260	7,14	80
V (ванадий)	23	5,96	1100	3000	8,3	260
Cr (хром)	24	7,14	1550	2410	6,2	100
Mn (марганец)	25	7,46	1244	2150	22,1	200
Fe (железо)	26	7,86	1539	2880	11,5	70
Co (кобальт)	27	8,9	1480	3135	12,5	50
Ni (никель)	28	8,90	1455	3080	13,5	60
Cu (медь)	29	8,92	1083	2300	16,5	35
Zn (цинк)	30	7,14	419	907	32,5	35
Zr (цирконий)	40	6,52	1860	3580	6,23	100
Nb (ниобий)	41	8,5	2450	3100	7,2	80
Mo (молибден)	42	10,2	2625	4800	4,9	150

1	2	3	4	5	6	7
Ag (серебро)	47	10,5	960	1950	18,9	25
Sn (олово)	50	7,29	232	2430	46,6	5
W (вольфрам)	14	19,3	3410	5500	4,3	300
Au (золото)	19	19,3	1063	2600	14,2	19
Hg (ртуть)	80	13,51	-38,9	357	-	-
Pb (свинец)	82	11,3	327	1750	28,1	4
U (уран)	92	19,0	1133	3927	23	240

1.3.2. Энергетические условия процесса кристаллизации

При переходе из жидкого состояния в твердое образуется кристаллическая решетка, возникают кристаллы. Такой процесс называется кристаллизацией. Чем объясняется существование при одних температурах жидкого, а при других температурах твердого состояния вещества и почему превращение происходит при строго определенных температурах?

В природе все самопроизвольно протекающие превращения, а следовательно, кристаллизация и плавление обусловлены тем, что новое состояние в новых условиях является энергетически более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.



Рис. 1.47. Пример перехода из неустойчивого положения в устойчивое

Тяжелый шарик из положения 1 стремится попасть в более устойчивое положение 2, так как потенциальная энергия в положении 2 меньше, чем в положении 1.

Энергетическое состояние системы, имеющей огромное число охваченных тепловым движением частиц (атомов, молекул), характеризуется особой термодинамической функцией F , называемой свободной энергией.

$$F = V - T \times S,$$

где V – внутренняя энергия системы;

T – абсолютная температура;

S – энтропия.

Энтропия (от греческого *entropia* – поворот, превращение) – однозначная функция состояния термодинамической системы. Неравновесные процессы в изолированной системе сопровождаются ростом энтропии, они приближают систему к состоянию равновесия, в котором S (энтропия) максимальна. Энтропия введена в 1865 году Клаузиусом.

Чем больше свободная энергия системы, тем система менее устойчива, и если имеется возможность, то система переходит в состояние, где свободная энергия меньше, «подобно» шарик, который скатывается из положения 1 в положение 2, если нет препятствий на пути. С изменением внешних условий, например температуры, свободная энергия системы изменяется по сложному закону, но различно для жидкого и кристаллического состояний.

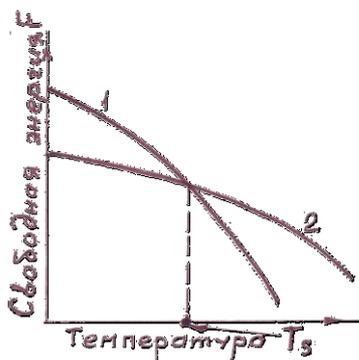


Рис. 1.48. График зависимости между температурой и свободной энергией: 1 – изменение свободной энергии жидкого состояния; 2 – изменение свободной энергии кристаллического состояния в зависимости от температуры

Если температура T_S выше, меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии, ниже T_S – вещество в твердом состоянии. Следовательно, выше T_S вещество должно находиться в жидком

состоянии, а ниже T_S – в твердом, кристаллическом состоянии. Очевидно, что при температуре, равной T_S , свободные энергии жидкого и твердого состояний равны, металл в обоих состояниях находится в равновесии. Эта температура и есть равновесная или теоретическая температура кристаллизации. Однако при температуре T_S не может происходить процесс кристаллизации (плавления), так как при данной температуре энергия $F_{пл} = F_{кр}$ и процесс кристаллизации (плавления) не может идти, так как при равенстве обеих фаз это не будет сопровождаться уменьшением свободной энергии. Для начала кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно только тогда, когда жидкость будет охлаждена ниже T_S . Температура, при которой практически начинается кристаллизация, может быть названа фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры называется переохлаждением.

Указанные причины обуславливают и то, что обратное превращение из кристаллического состояния в жидкое может произойти только выше температуры T_S ; это явление называется перенагреванием.

Величиной или степенью переохлаждения называется разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации. Если, например, теоретическая температура кристаллизации сурьмы равна 631°C , а до начала процесса кристаллизации жидкая сурьма была переохлаждена до 590°C и при этой температуре произошел процесс кристаллизации, то степень переохлаждения определяется разностью $631 - 590 = 41^\circ\text{C}$.

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры и может быть названо простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния. Чем больше скорость охлаждения, тем больше величина переохлаждения. Для того, чтобы полностью переохладить металл в жидком состоянии требуется больше скорости охлаждения (миллионы и даже миллиарды градусов в секунду), охлаждение жидкого металла до комнатной температуры следует проводить так, чтобы получить переохлажденный жидкий металл (т.е. металл, не имеющий кристаллического строения) за ничтожную долю секунды. Такой металл называется аморфным или металлическим стеклом, который применяется на практике, но еще очень мало.

Механизм процесса кристаллизации

Еще в 1878 году Д.К. Чернов, изучая структуру литой стали, указал, что процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов. Первый процесс заключается в зарождении мельчайших частиц кристаллов, которые Чернов назвал «зачатками», а теперь их называют за-

родышами, или центрами кристаллизации. Второй процесс состоит в росте кристаллов из этих центров.

1. По мере развития процесса кристаллизации в нем участвуют все большее и большее число кристаллов. Поэтому процесс вначале ускоряется, пока в какой-то момент (обычно, когда закристаллизовалось 50% жидкости) взаимное столкновение растущих кристаллов не начинает заметно препятствовать их росту, затем рост кристаллов замедляется, тем более, что и жидкости, в которой образуются новые кристаллы, становится все меньше.

2. В процессе кристаллизации пока кристалл окружен жидкостью, он часто имеет правильную форму, но при столкновении и срастании кристаллов их правильная форма нарушается, внешняя форма кристалла оказывается зависимой от условий соприкосновения растущих кристаллов. Вот почему кристаллы металла не имеют правильной формы зерна.

Скорость всего процесса кристаллизации количественно определяется двумя величинами: скоростью зарождения центров кристаллизации и скоростью роста кристаллов.

Число зарождающихся в единицу времени кристаллов, которые в дальнейшем мы будем называть буквами ч. ц., имеет размерность $1/\text{мм}^3$ (число центров кристаллизации, возникших в 1 мм^3 за одну секунду).

Скорость роста кристаллов, обозначаемая в дальнейшем через с.к., есть скорость увеличения линейных размеров кристалла, выраженная в миллиметрах в единицу времени.

Размерность этой величины – мм/сек; мм/мин.

Каждой температуре кристаллизации (степени переохлаждения) отвечает определенный размер устойчивого «зародыша»; более мелкие, если они и возникнут, тут же растворяются в жидкости, а более крупные растут, превращаются в зерна – кристаллы.

Чем меньше температура (ниже) – больше степень переохлаждения, тем меньший размер имеет устойчивый зародыш, тем больше число центров кристаллизации образуется в единицу времени, тем быстрее протекает процесс кристаллизации. Таким образом, с увеличением степени переохлаждения быстро возрастают величина ч.ц. (число центров кристаллизации в 1 мм^3 за 1 сек) и общая скорость кристаллизации.

Жидкий металл имеет больший объем, чем закристаллизовавшийся, поэтому залитый в форму металл в процессе кристаллизации сокращается в объеме, что приводит к образованию пустот, называемых усадочными раковинами; усадочные раковины могут быть сконцентрированы в одном месте, либо рассеяны по всему объему слитка или по его части. Они могут быть заложены газами, растворимыми в жидком металле, но выделяющимися при кристаллизации. В хорошо раскисленной, так называемой, спокойной стали, отлитой в изложницу с утепленной наставкой, усадочная раковина образуется в верхней части слитка. И в

объеме всего слитка содержится малое количество газовых пузырей и раковин. Недостаточно раскисленная сталь, так называемая кипящая, содержит раковины и пузырьки во всем объеме. Спокойный металл поэтому более плотный, чем кипящий. Форма первых кристаллов (дендритов) после горячей механической обработки давлением (ковка, прессовка, прокатка) видоизменяется. Дендриты вытягиваются вдоль направления течения металла и превращаются в волокна. В результате возникает различие в свойствах вдоль проката (волокон) и поперек. Следует стремиться к тому, чтобы расположение волокон совпадало с направлением главных усилий в деталях при работе.

1.3.3. Превращения в твердом состоянии

Полиморфизм

Атомы данного элемента могут образовать, если исходить только из геометрических соображений, любую кристаллическую решетку. Однако устойчивой, а следовательно, реально существующей является решетка, обладающая наиболее низким запасом свободной энергии. В твердом состоянии литий, натрий, калий, рубидий, цезий, молибден, вольфрам имеют объемно-центрированную кубическую решетку. Алюминий, кальций, медь, серебро, золото, платина – гранецентрированную. А бериллий, магний, цирконий, гафний и некоторые другие – гексагональную решетку.

Однако в ряде случаев при изменении температуры или давления может оказаться, что для того же металла более устойчивой будет другая решетка, чем та, которая была при другой температуре или давлении. Так, например, существует железо с решетками объемно-центрированного и гранецентрированного кубов; обнаружен кобальт с гранецентрированной и гексагональной решетками. В различных решетках кристаллизуются также олово, марганец, титан и некоторые другие металлы.

Существование одного металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название полиморфизма, или аллотропии. Различные кристаллические формы одного вещества называются полиморфными, или аллотропическими модификациями.

Небольшие изменения давления, которые могут возникнуть в практике, обычно не приведут к полиморфным превращениям. Поэтому для практического металловедения важна главным образом температурная аллотропия.

Аллотропические формы обозначаются греческими буквами α , β , γ и т.д., которые в виде индексов добавляются к символу, обозначающему элемент. Аллотропическая форма, существующая при самой низкой температуре, обозначается через α , следующая через β и т.д.

Превращение одной аллотропической формы в другую при нагреве чистого металла сопровождается поглощением тепла и происходит при

постоянной температуре. Температура, при которой осуществляется переход из одной модификации в другую, носит название температуры полиморфного (аллотропического) превращения.

Так, железо имеет две температуры полиморфного превращения 911 и 1392°C.

Новые аллотропические формы образуются в результате зарождения центров и роста кристаллов аналогично кристаллизации из жидкого состояния.

Таблица 1.5

Кристаллические решетки элементов

Металл (элемент)	Аллотропическая форма	Интервал температур устойчивого состояния, °C	Кристаллическая решетка
Fe	α γ	<911 1392–1539 911 – 1392	Кубическая объемно-центрированная Кубическая гранецентрированная
Co	α β	<450 450–1480	Гексагональная Кубическая гранецентрированная
Sn	α β	<18 18–232	Решётка алмаза Тетрагональная объемно-центрированная
Mn	α β γ δ	<700 700–1079 1079–1143 1143–1244	Кубическая сложная (многоатомная) Тетрагональная гранецентрированная Кубическая объемно-центрированная
Ti	α β	<882 882–1660	Гексагональная Кубическая объемно-центрированная
Zr	α β	<867 867–1860	Гексагональная Кубическая объемно-центрированная
U	α β γ	<668 668–720 720–1132	Орторомбическая Тетрагональная Кубическая объемно-центрированная

Магнитные превращения

Некоторые металлы (железо, кобальт, никель) отличаются специфическими магнитными свойствами, например способностью хорошо намагничиваться. Эти свойства называются ферромагнитными. Однако при нагревании ферромагнитные свойства металла постепенно теряются. П. Кюри показал, что полная потеря ферромагнитных свойств получается при определенной температуре, названной в дальнейшем точкой Кюри.

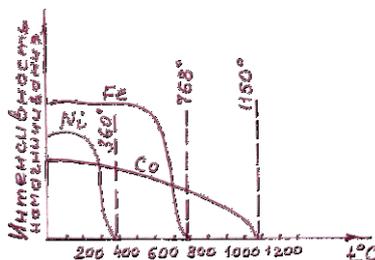


Рис. 1.49. График изменения магнитных свойств железа, никеля, кобальта в зависимости от температуры

Магнитное превращение имеет ряд особенностей, отличающих его от аллотропического превращения:

- во-первых, магнитные свойства постепенно падают по мере приближения к точке превращения,
- самое важное, магнитное превращение не сопровождается перекристаллизацией — образованием новых зерен и изменением решетки. При магнитных превращениях происходят изменения не в кристаллической структуре металла, а во взаимодействии внешних и внутренних электронных оболочек атомов.

1.3.4. Аморфное состояние

Аморфное состояние получают при большой скорости охлаждения, охлаждая тонкие струйки металла или распыляя мелкие капли на металлическую подложку. Достижимые при этом скорости охлаждения оцениваются величиной 10^6 – 10^7 °C/сек. Теоретически считается, что если будут найдены скорости охлаждения 10^9 – 10^{10} °C/сек, то любой металл можно будет получить в аморфном состоянии.

Для указания вышедших скоростей охлаждения аморфное состояние получено на сплавах, содержащих так называемые аморфизирующие компоненты: бор, кремний. Наиболее склонный к аморфному состоянию сплав палладия с кремнием. Для получения этого состояния, достаточная скорость охлаждения 10^3 °C/сек.

Подбором соответствующего состава и технологии охлаждения получают или тонкую ленту (несколько микрон) или частицу (чешуйчатой формы), не имеющие кристаллической структуры. Атомы при таком структурном состоянии не расположены в определенном порядке, зерен-кристаллов нет.

Сплавы в аморфном состоянии обладают высокой твердостью. Металл полностью изотропен, свойства во всех направлениях совершенно одинаковы. Эти аморфные материалы пока только используют в приборостроении, поскольку пока еще не научились получать изделия обычной формы. Аморфное состояние неустойчиво к нагреву, когда тепловая подвижность атомов достигает определенного предела, происходит образование кристаллов. Таким образом, кристаллизация в этом случае происходит при нагреве и смесь аморфной основы и выделившихся кристаллов может привести к структуре с уникальными свойствами.

1.3.5. Механические свойства металлов и неметаллов

Из свойств, которыми могут обладать материалы, механические свойства в большинстве случаев являются важнейшими, и поэтому им уделяется особое внимание.

Все наиболее ответственные детали и изделия изготавливаются из металлов, а не из стекла, пластмасс или камня, чтобы обеспечить им необходимую надежность.

Для металлов характерна металлическая связь, когда в узлах кристаллической решетки расположены положительно заряженные ионы, окруженные электронным газом. Наличие металлической связи придает металлу способность к пластической деформации и к самоупрочнению в результате пластической деформации. Поэтому, если внутри материала есть дефект, или форма детали такова, что имеются концентраторы напряжений, то в этих местах напряжения достигают большей величины и могут возникнуть даже трещины. Но так как пластичность металла высока, то в этом месте, в том числе в устье трещины, металл пластически продеформируется, упрочнится и процесс разрушения приостановится.

У неметаллов этого не наблюдается. У них не будет пластической деформации и самоупрочнения – произойдет разрушение, как только в устье дефекта напряжения превзойдут предел прочности данного материала.

Этими обстоятельствами и обусловлено то, что металлы являются надежными конструкционными материалами, которыми никогда не смогут быть неметаллические материалы в силу своей природы.

Упругая и пластическая деформация

Как мы говорили на первых занятиях, приложение к материалу напряжения вызывает деформацию. Деформация может быть упругой,

исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки.

Сколько бы ни было мало приложенное напряжение, оно вызывает деформацию, причем начальные деформации являются всегда упругими и величина их находится в прямой зависимости от напряжения.

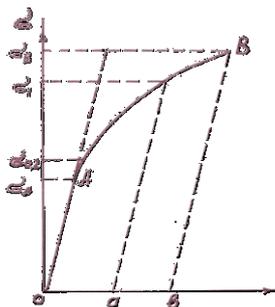


Рис. 1.50. Диаграмма растяжения пластичного материала

На кривой, приведённой на диаграмме, упругая деформация характеризуется линией OA и ее продолжением (штриховая линия). Выше точки A нарушается пропорциональность между напряжением и деформацией. Напряжения вызывают уже не только упругую, но и пластическую деформацию остаточную. Величина ее равна горизонтальному отрезку от штриховой линии до сплошной кривой.

Рассмотрим несколько подробнее физический смысл упругой и пластической деформации.

При упругом деформировании под действием внешней нагрузки изменяется расстояние между атомами в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места и деформация исчезает.

Пластическое деформирование представляет собой совершенно другой, значительно более сложный процесс.

При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой. Если нагрузку снять, то перемещенная часть кристалла не возвратится на старое место, деформация сохранится. Эти сдвиги обнаруживаются при многоструктурном исследовании. Кроме того, пластическое деформирование сопровождается дроблением блоков мозаики, внутри зерен, а при значительных снижениях деформации наблюдается также заметное изменение форм зерен и их расположения в пространстве, причем между зернами (иногда и внутри зерен) возникают пустоты (поры).

Представленная зависимость ОАВ между приложенным извне напряжением (σ) и вызванной им относительной деформацией (ϵ) характеризуется механическим свойством металлов:

Наклон прямой ОА показывает жесткость металла, или характеристику того, как нагрузка, приложенная извне, изменяет межатомные расстояния, что в первом приближении характеризуют силы межатомного притяжения. Тангенс угла наклона прямой ОА пропорционален модулю упругости (E), который численно равен частному от деления напряжения на относительную упругую деформацию (ϵ), а именно $E = \sigma / \epsilon$: напряжение σ_A соответствует моменту появления пластической деформации. Чем точнее метод измерения деформации, тем ниже лежит точка А. В технических измерениях принята характеристика, именуемая пределом текучести $\sigma_{0,2}$ (напряжение, вызывающее остаточную деформацию, равную 0,2% от длины (или другого размера) образца, изделия).

Максимальное напряжение σ_B соответствует напряжению, достигнутому при растяжении. Величина пластической деформации, предшествующая разрушению, и определяемое относительное изменение длины (или поперечного сечения) – так называемое относительное удлинение (или относительное сужение ϵ'), характеризуют пластичность металла, площадь под кривой ОАВ пропорциональна работе, которую нужно затратить, чтобы разрушить металл.

Этот показатель, определяемый различными способами (главным образом путем удара по надрезанному образцу), характеризует вязкость металла.

Кривая деформации в зависимости от многих факторов (природа испытуемого материала, напряженное состояние, скорость и температура испытания и др.) имеет разный вид.

Рассмотрим некоторые типичные виды кривых деформации для растяжения.

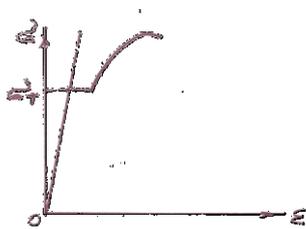


Рис. 1.51. Кривая деформаций при наличии площадки текучести:
 σ_T – предел текучести

Для некоторых мягких металлов характерно наличие площадки (и зуба) текучести.

Когда есть площадка текучести, σ_T имеет физическую величину, когда ее нет, то применяют условный предел текучести $\sigma_{0.2}$.

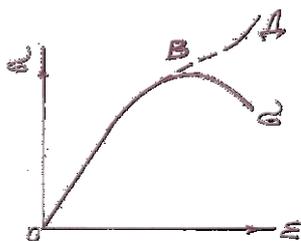


Рис. 1.52. Пример растяжения без выраженной площадки текучести

Появление местного сужения при растяжении образца (шейки) приводит к уменьшению условного напряжения

$$\sigma = F / A_0,$$

где A_0 – начальная площадь поперечного сечения (на диаграмме – сплошная линия).

Но к росту действительного напряжения

$$\sigma_d = F / A_x,$$

где A_x – поперечное сечение образца в данный момент (обозначено штриховой линией).

Максимальная точка В на кривой $\sigma - \epsilon$ называется временным сопротивлением или пределом прочности σ_B (ПР).

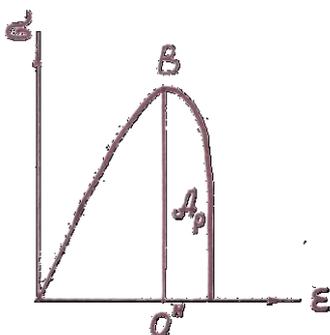


Рис. 1.53. Кривая деформации с точкой появления трещины В

Всю кривую можно разделить на два участка, разделенные точкой В, которая характеризует момент появления трещины, способной разви-

ваться, что поведет к разрушению (разделению на две части) образца. Площадь под кривой напряжения – деформация, пропорциональная работе разрушения.

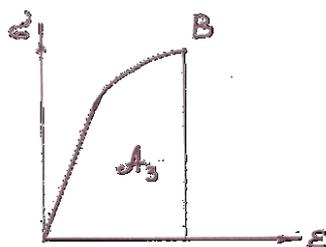


Рис. 1.54. Кривая деформации растяжения с обозначением работы

Если из точки B (момент образования трещины) опустить вертикаль, то левая часть этой площади пропорциональна работе, которая была необходима для зарождения трещины (работа зарождения трещины – A_3), а правая часть – работе, необходимой, чтобы распространить трещину на все сечение (работа распространения трещины A_p). Таким образом, вся затраченная работа равна $A_{\text{полн.}} = A_3 + A_p$.

В поведении металла после точки B возможны два принципиально различных случая. Если после зарождения трещины ее распространение требует некоторой работы, такое разрушение называется вязким разрушением, характеризуемым определенным видом излома.

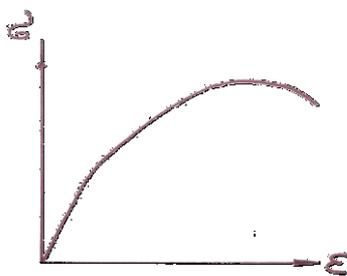


Рис. 1.55. Пример вязкого разрушения

Если же в точке B наблюдается срыв кривой, то $A_p \approx 0$, что характеризует хрупкое разрушение. Возможен промежуточный случай – вначале вязкое, а потом хрупкое разрушение.

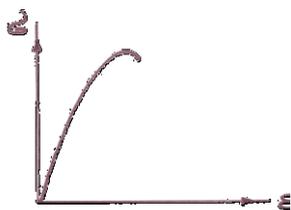


Рис. 1.56. Пример графика хрупкого разрушения

Ярко выраженная площадка текучести присуща только сталям, содержащим 0,1–0,3% углерода, латуни и некоторым видам бронзы. Для большинства металлов и сплавов характерен постепенный переход в пластическую стадию. Отсутствие площадки текучести затрудняет лишь выявление предела текучести – характеристики, которая важна чрезвычайно для таких материалов, как сталь и алюминиевые сплавы, поскольку она ограничивает их несущую способность.

При нагрузке, соответствующей пределу текучести, материал в большинстве случаев не может считаться работоспособным с эксплуатационной точки зрения.

Пластичность – это положительное свойство материалов. Она играет большую роль в обеспечении безопасности и надежности конструкций. Чем длительнее развитие пластических деформаций, тем больше предел несущей способности (начало пластического деформирования) отдален от предела прочности (фактического разрушения материала). Работа материала в пластической стадии предоставляет огромный резерв прочности, благодаря которому конструкция, как правило, не разрушается в прямом смысле (нарушение целостности), а теряет несущую способность из-за больших остаточных деформаций.

Хрупкостью называют свойство материала, противоположное пластичности, то есть склонность к разрушению при весьма малых остаточных деформациях, выражаемых в ряде случаев долями процента. К хрупким материалам относятся чугун (общее название железоуглеродистых сплавов, имеющих в своем составе 2,2–6,7% углерода, обычно 3–4,5%. Если содержание углерода не превышает 2%, то сплавы объединяются общим названием сталь). К примеру, высокоуглеродистая (инструментальная) сталь содержит 0,6–1,2% углерода.

Хрупкое разрушение принципиально отличается от вязкого разрушения. Оно является следствием чрезмерного развития упругих деформаций при отсутствии или затрудненности пластических. Хрупкие материалы, как правило, плохо сопротивляются разрушению. Опасность

хрупкого разрушения заключается в том, что оно происходит быстро, почти внезапно, без образования шейки.

Упругая деформация – есть изменение расстояний между атомами под действием внешних сил. Поэтому напряжение – есть изменение в межатомных расстояниях и может измеряться рентгеновским методом. Очевидно, что если исключить причины, вызывающие смещение атомов, т.е. нагрузку, то они возвращаются на прежние места.

Другими словами, упругая деформация не вызывает никаких последствий в материале. Чем меньшую деформацию вызывает напряжение, тем жестче материал.

Следовательно, модуль упругости характеризует жесткость материала. Различают два вида модуля упругости: модуль нормальной упругости (модуль Юнга) и модуль касательной упругости (Гука). В первом случае силы стремятся оторвать атомы друг от друга, во втором – сдвинуть. Модуль Юнга (E) в 2,5–3 раза больше модуля Гука (G). В частности, для железа $E = 206$ ГПа, а $G = 80$ ГПа.

Значения модулей упругости определяются силами межатомного взаимодействия и являются константами материала. Например, нормальный модуль упругости для алюминия $0,8 \times 10^5$ МПа, для железа $2,06 \times 10^5$ МПа, для молибдена 3×10^5 МПа. Наименее жестким материалом является резина $E = 0,00007 \times 10^5$ МПа, а наиболее жестким алмаз $E = 12 \times 10^5$ МПа. Эта механическая характеристика структурно нечувствительна, т.е. термическая обработка или другие способы изменения структуры металла практически не изменяют модуля упругости.

Вместе с тем повышение температуры, изменяющее (увеличивающее) межатомные расстояния, изменяет (снижает) модуль упругости.

Каков же механизм пластического сдвига? Естественно предположить, что этот процесс протекает, как показано на рисунке, т.е. все атомы кристалла выше плоскости скольжения AA смещаются одновременно под действием силы F . И из положения a переходят в положение b , а потом в $в$.

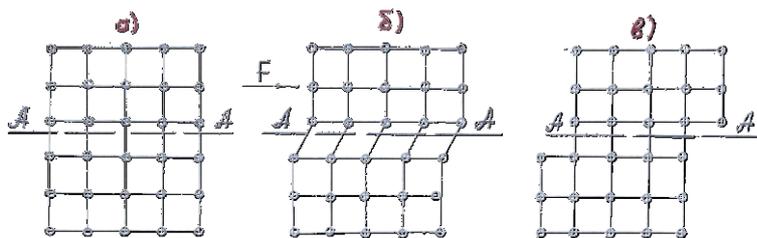


Рис. 1.57. Пример пластического сдвига

Усилие ($\sigma_{\text{сдвига}}$), которое надо приложить, чтобы осуществить такой сдвиг, можно теоретически подсчитать.

$$\sigma_{\text{сдвига}} = (a \times G) / (b \times 2\pi),$$

где G – модуль сдвига;

a – межатомное расстояние в направлении скольжения;

b – межатомное расстояние.

Для плотных металлических решеток дробь a/b близка к единице. Отсюда теоретическое усилие (теоретическая прочность) для осуществления сдвига (пластической деформации) примерно в шесть раз меньше модуля сдвига. Часто теоретическую прочность принимают равной $1/10$ модуля Юнга. Однако эта формула справедлива для металлов, у которых отсутствует дефект дислокации.

Дислокации – линии, вдоль и вблизи которых нарушено правильное периодическое расположение атомных плоскостей кристалла.

Процесс сдвига в кристалле будет происходить тем четче, чем больше дислокаций будет в металле. Опыт показывает, что способность реального металла пластически деформироваться является его важнейшим и полезнейшим свойством. Это свойство используют при различных технологических процессах – при протяжке проволоки, операциях гибки, высадки, вытяжки, штамповки. Если металл хрупкий, то он в изделиях склонен к внезапным, так называемым, хрупким разрушениям, которые происходят даже при пониженных нагрузках на изделие.

В свое время (1934 г.) английский ученый Д. Пирсон обнаружил у некоторых легкоплавких цветных металлов в некоторых условиях способность значительно деформироваться. Образец у него удлинился в 20 раз при растяжении. В 1945 г. советский ученый А.А. Бочвар обнаружил огромную пластичность у сплава $Zn - Al$ и высказал предположение, что если создать определенные условия, то большинство сплавов можно продеформировать на значительную величину, назвав это явление сверхпластичностью. В общем случае сверхпластичностью следует назвать способность металла к значительной равномерной деформации без деформационного уплотнения (наклепа).

Обычно сопротивление деформации объединяют в общее понятие прочность, а сопротивление разрушению – надежность.

Если разрушение происходит не за один, а за многие акты нагружения, причем за каждый акт происходит микроразрушение (износ, усталость, коррозия, ползучесть), то это характеризует долговечность материала.

Очевидно, что высококачественный конструкционный материал должен быть одновременно прочным, надежным и долговечным.

Каждый металл испытывают в специальных лабораториях на растяжение, это испытание является основным.

Твердость материала – сопротивление материала проникновению в него другого более твердого материала, довольно часто испытывают методом Бринелля.

Определение надежности – испытание на удар.

Долговечность материала определяют испытанием на усталость, ползучесть, износ, коррозию и другими методами.

1.3.6. Сплавы

Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом.

Строение металлического сплава более сложное, чем чистого металла, и зависит главным образом от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав.

Железоуглеродистые сплавы

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Если в сплаве более 2% углерода – чугун; менее 2% – сталь.

Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит – Fe_3C (карбид железа).

Температура плавления цементита около – $1250^{\circ}C$. Аллотропических превращений цементит не испытывает, но при низких температурах он слабо ферритмагнитен. Магнитные свойства цементит теряет при $217^{\circ}C$. Он имеет высокую твердость (>800 НВ), царапает стекло, но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение главным образом для высокоуглеродистых сталей и чугунов.

Углеродистые стали

Основной продукцией черной металлургии является сталь, причем приблизительно 90% выпускается углеродистой стали и 10% легированной.

Углеродистая сталь промышленного производства – сложный по химическому составу сплав. Кроме основы – железа (содержание которого может колебаться в пределах 97,0–99,5%), в ней имеется много элементов, наличие которых обусловлено технологическими особенностями производства (марганец, кремний), либо невозможностью полно-

го удаления их из металла (сера, фосфор, кислород, азот, водород), либо случайными примесями (хром, никель, медь и др.).

В зависимости от способа выплавки (мартеновский, конвертерный и др.) стали разных производств различаются главным образом по содержанию этих примесей. Однако один элемент, а именно углерод, вводится в простую углеродистую сталь специально.

Углерод сильно влияет на свойства стали, даже при незначительном изменении его содержания. Поэтому при малом содержании всех прочих возможных примесей основным элементом, при помощи которого изменяются свойства сплава железа, является углерод. Естественно, что эти сплавы называются углеродистыми сталями.

Твердость и прочность стали могут быть увеличены в два-три раза за счет термической обработки. В большинстве случаев от изделия требуется жесткость. Для придания изделию необходимой жесткости конструктор выбирает надлежащую площадь и форму поперечного сечения детали. В таком случае нет необходимости в термической обработке.

К стали, подвергаемой термической обработке, предъявляют некоторые повышенные требования (например, более узкие пределы по содержанию углерода и др.). Такая сталь называется сталью повышенного качества.

С увеличением содержания углерода в стали повышается ее прочность, но понижается пластичность. Существенно влияет содержание углерода на вязкие свойства стали. Увеличение содержания углерода уменьшает ударную вязкость.

Постоянными примесями стали являются марганец, кремний, фосфор, сера, а также газы: водород, азот, кислород.

Обычное содержание этих элементов ограничивается следующими верхними пределами, %: 0,8 *Mn* (марганец); 0,5 *Si* (кремний); 0,05 *P* (фосфор); 0,05 *S* (сера).

При большом содержании их сталь следует отнести к сорту легированных, когда эти элементы введены специально (отсюда и название легированные стали, или специальные).

Рассмотрим влияние этих примесей.

Марганец (Mn).

Этот элемент вводят в любую сталь для раскисления.

$FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$, т.е. для устроения вредных примесей закиси железа. Марганец устраняет также вредные сернистые соединения железа.

Марганец заметно влияет на свойства стали, повышая прочность в горячекатаных изделиях, изменяя и некоторые другие свойства. Но так как во всех сталях содержание марганца примерно одинаково, то его влияние на сталь разного состава остается неощутимым.

Кремний (Si).

Кремний раскисляет сталь по реакции: $2FeO + Si \rightarrow 2Fe + SiO_2$, он влияет аналогично марганцу. Кремний структурно не обнаруживается, так как полностью растворим, кроме той части кремния, которая в виде окиси кремния не успела всплыть в шлак и осталась в металле в виде силикатных включений.

Фосфор (P).

Руды железа, а также топливо и флюсы содержат какое-то количество фосфора, которое в процессе производства чугуна остается в нем в той или иной степени, а затем переходит в сталь.

При выплавке стали в основных мартеновских печах из металла удаляется большая часть фосфора. Сталь, выплавленная в основном в мартеновской печи, содержит немного фосфора (0,02–0,04%), а в электропечи менее 0,02%. Фосфор резко повышает температуру перехода в хрупкое состояние, т.е. вызывает хладноломкость стали. Фосфор является вредным элементом. Однако в отдельных случаях фосфор желательный элемент, так как он, создавая хрупкость, облегчает обрабатываемость стали режущим элементом, а в присутствии меди повышает сопротивление коррозии.

Сера (S).

Так же как и фосфор, сера попадает в металл из руд, а также из печных газов – продукт горения топлива (SO_2). В основном мартеновском процессе и при выплавке стали в основной электрической печи сера удаляется из стали. Обычно содержание серы для высококачественной стали не должно превышать 0,02–0,03%. Для стали обычного качества допускают более высокое содержание серы: 0,03–0,04%. Обработкой жидкого металла синтетическими шлаками можно уменьшить содержание серы до 0,005%. Сера нерастворима в железе и любое ее количество образует с железом сернистое соединение – сульфид железа FeS , который является вредным включением, так как при горячей обработке давлением получают надрывы и трещины. Введение марганца в сталь уменьшает вредное влияние серы, так как протекает реакция замещения:



Сульфид марганца MnS появляется при температуре 1620⁰С, т.е. при температурах значительно более высоких, чем температура горячей обработки (800–1200⁰С). Сульфид марганца пластичен и под действием внешних сил вытягивается в продолговатые линзы, которые не влияют на свойства стали в направлении вдоль проката, но снижает вязкие свойства стали поперек прокатки.

Наличие водорода, азота, кислорода в металле ухудшает его свойства. Радикальным средством уменьшения указанных элементов неметаллических включений в металл является выплавка или разливка ме-

талла в вакууме. Вакуумированный металл обладает более высокими свойствами вследствие высокой чистоты по неметаллическим включениям и отсутствия (практически) растворенных атомов водорода, азота и кислорода.

Перековка бытового и машиностроительного лома, приводит к загрязнению стали примесями цветных металлов *Cu* (медь), *Pb* (свинец), *Zn* (цинк), *Sb* (сурьма), *Sn* (олово). Обычно содержание этих элементов невелико, сотые и даже тысячные доли процента (кроме меди, содержание которой достигает 0,1–0,2%). При таком количестве влияние их на механические свойства невелико, практически не сказывается, однако тщательно поставленные опыты показывают, что все цветные примеси повышают порог хладноломкости.

Как известно, сталь выплавляют в различных печах.

В соответствии с этим подразделяют сталь на бессемеровскую, мартеновскую, кислородно-конвертерную и электросталь.

В зависимости от способа раскисления сталь бывает спокойной (раскисленная марганцем, кремнием и алюминием) и кипящей (раскисленная только марганцем). Кипящая сталь, так как она хуже раскислена, уступает по качеству спокойной стали. Промежуточное положение по качеству занимает полуспокойная сталь – раскисленная марганцем и алюминием, которую применяют вместо кипящей и спокойной стали. Самая чистая сталь получается при электростальном способе, а самая «грязная» получается при бессемерской выплавке. Поэтому свойства стали зависят от способа ее производства, так как от последнего зависит содержание разных примесей в металле и их распределение. Это обстоятельство должно быть учтено соответствующим образом.

Углеродистая сталь общего назначения.

Горячекатаная сталь, поступающая с металлургических заводов в виде проката: прутки различного сечения, балки, листы, трубы – наиболее применяемый материал для производства станков, машин, строительных металлоконструкций, предметов широкого потребления. Сталь в соответствии с ГОСТом должна отвечать определенным требованиям. В соответствии с ГОСТом 380-88 сталь поставляется трех групп.

Группа А – с гарантируемыми механическими свойствами (сталь не подвергается горячей обработке),

Группа Б – с гарантируемыми химическими свойствами (сталь подвергается горячей обработке),

Группа В – с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом (для сварных конструкций).

Сталь группы А маркируется буквами СТ и номером 1, 2, 3, 4, 5, 6. Чем больше номер, тем выше прочность, но ниже пластичность.

Если после марочного обозначения стоит «КП», значит сталь кипящая; если «ПС» – сталь полуспокойная, если «СП» – спокойная. Например СТ 3КП.

Более подробно можно ознакомиться со свойствами сталей в ГОСТах и в различных стандартах.

Во многих северных районах страны температура зимой опускается ниже – 40⁰С.

В этих случаях хладноломкость металла, т.е. отсутствие склонности к хрупкому разрушению при понижении температуры, является важнейшим качеством.

Самой распространенной сталью является СТ 3 из нее изготавливают строительные и мостовые формы, экскаваторы и другие сооружения, эксплуатируемые в северных условиях.

Нагартованная сталь

Широкое применение в народном хозяйстве имеет проволока, а также другие виды изделий тонких сечений (тонкий лист, лента, цельнотянутые трубы). Эти виды изделий изготавливают на металлургических заводах прокаткой, прессованием, волочением в холодном состоянии. В результате такой обработки металл получает наклеп, который может быть снят последующим рекристаллизационным отжигом. Для нагартованного состояния свойства будут сильно зависеть от степени наклепа (степени обжатия). При максимальном наклепе (обжатие 96–97%) высокоуглеродистой стали достигается прочность, превышающая 400 МПа. Очевидно, что после такой степени обжатия, проволока получается очень тонкой. Нагартованную проволоку тонких сечений после значительных степеней обжатия используют для изготовления канатов и тросов.

Листовая сталь для холодной штамповки

Наряду с изделиями из прочных нагартованных сталей приходится изготавливать изделия из мягкой малоуглеродистой стали, например проволоку для обвязки, тонкий лист для глубокой штамповки или вытяжки. Особый интерес представляет лист, предназначенный для крыльев и кузовов автомобилей. Сталь для глубокой вытяжки должна отличаться большой пластичностью. Поэтому для этих целей применяют сталь с минимальным содержанием углерода.

1.3.7. Обработка резанием

Большинство деталей, за исключением получаемых из листа, тонкой проволоки или калиброванных прутков, изготавливают обработкой резанием. На любом машиностроительном заводе механические цехи

являются основными по количеству рабочих, занимаемой площади, потребляемой энергии, числу станков.

Естественно, что улучшение обрабатываемости стали – основного машиностроительного материала – имеет большое практическое значение. Относительно влияния состава стали следует отметить, что увеличение содержания углерода в стали для упрочнения приводит к снижению обрабатываемости. Очень низкоуглеродистые стали и техническое железо обрабатываются плохо вследствие их большой вязкости и пластичности, кроме того, при их обработке получается длинная трудноудаляемая стружка.

Особое внимание следует уделить влиянию фосфора и серы. Оба эти элемента не только повышают стойкость инструмента, но и способствуют получению обработанной поверхности лучшего качества.

Поэтому для изготовления малоответственных деталей применяют так называемые автоматные стали – низкоуглеродистые стали с повышенным содержанием серы и фосфора. К недостаткам серофосфористых сталей относятся не только пониженная пластичность и вязкость, но и повышенная склонность к коррозии. Это следует учитывать при назначении автоматных сталей для изготовления деталей, подвергающихся механическим воздействиям, работающих в условиях повышенной влажности.

В целях улучшения обрабатываемости в сталь, кроме серы и фосфора, вводят свинец, селен, теллур. Такие автоматные стали (или повышенной обрабатываемости) позволяют в 2-3 раза сократить расход режущего инструмента. Правда, во всех случаях механические свойства (пластичность, вязкость) ухудшаются, что необходимо иметь в виду.

Марки автоматных сталей А11, А12, А20, А30, А40г, АС14, А35Е.

Лучше всего обрабатывается серофосфористая сталь А12. Из нее резанием изготавливают неответственные детали массового производства. Другие стали предназначаются для изготовления более ответственных деталей, которые затем подвергаются термической обработке.

1.3.8. Чугун

Чугун отличается от стали по составу более высоким содержанием углерода; по техническим свойствам – лучшими литейными качествами, малой способностью к пластическим деформациям (в обычных условиях не поддается ковке). Чугун дешевле стали. В зависимости от содержания углерода в чугуне различают:

- белый чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида;
- серый чугун, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме пластинчатого гра-

фита. Пластинчатая форма графита ухудшает свойства чугуна, поэтому разработаны методы плавки или последующей обработки, при которой изменяется форма графита и улучшаются его свойства. В настоящее время получают серый чугун с волокнистой (червеобразной) формой графита;

– высокопрочный чугун, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме шаровидного графита;

– ковкий чугун, получающийся в результате отжига отливок из белого чугуна. В ковком чугуне весь углерод или значительная его часть находится в свободном состоянии в форме хлопьевидного графита (углерода обжига).

Таким образом, чугун (кроме белого) отличается от стали наличием в структуре графитовых включений, а между собой чугуны отличаются формой этих включений.

Углерод может существовать в двух аллотропических формах – алмаз и графит. Алмаз – редкая форма существования углерода и в сплавах не встречается. В железоуглеродистых сплавах в свободном виде углерод находится в форме графита. Кристаллическая структура графита слоистая.

Белый чугун свое название получил по виду излома, который имеет матово-белый цвет. Белый чугун обладает высокой твердостью, практически не поддается обработке режущим инструментом. Графита в белом чугуне нет.

У серого чугуна излом имеет серый цвет. В структуре серого чугуна имеется графит. Графит по сравнению со сталью обладает низкими механическими свойствами, и поэтому графитные включения в первом приближении можно считать просто пустотами, трещинами. Чем больший объем занимает графит, тем ниже механические свойства чугуна. Самые низкие механические свойства получаются тогда, когда графитные включения образуют замкнутый скелет.

По механическим свойствам чугун характеризуется низким сопротивлением развитию трещин (тем не менее, разрушается чугун вязко, излом ямочный) и, следовательно, обнаруживает низкие механические свойства при испытании на растяжение.

При работе на сжатие свойства чугуна практически близки к свойствам стали того же состава, что и металлическая основа чугуна. Поэтому предел прочности при сжатии и твердость чугуна зависят главным образом от строения металлической основы. А такие свойства, как сопротивление разрыву, изгибу, кручению, обуславливаются количеством, формой и размерами графитных включений и сильно отличаются по свойствам. Графитные включения вредны, но не всегда.

Во-первых, графит облегчает обрабатываемость резанием, делает стружку ломкой, стружка ломается, когда резец дойдет до графитного включения.

Во-вторых, чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами (фрикция – трение), благодаря смазывающему действию графита.

В-третьих, наличие графитных включений быстро гасит вибрации и резонансные колебания.

В-четвертых, чугун практически не чувствителен к дефектам поверхности, надрезам и т.д.

Действительно, поскольку в чугуне имеется огромное количество графитных включений, играющих роль надрезов и пустот, то совершенно очевидно, что дополнительные дефекты на поверхности уже не могут иметь влияния.

Следует также указать лучшие литейные свойства по сравнению со сталью.

Чугун широко применяется в деталях машин, когда они не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

Примеси в чугуне

Обычный промышленный чугун содержит те примеси, что и углеродистая сталь, т.е. марганец, кремний, фосфор и серу, но в большем количестве, чем сталь. Эти примеси существенно влияют на свойства чугуна.

Кремний особенно сильно влияет на свойства чугуна. Содержание его в чугунах колеблется от 0,3–0,5 до 3–5%. Изменяя содержание кремния в чугуне, можно получить различные по свойствам чугуны – от малокремнистого белого до высококремнистого серого или высокопрочного чугуна.

Марганец в отличие от кремния препятствует графитизации, способствует отбеливанию чугуна.

Сера также способствует отбеливанию чугуна, но ухудшает литейные свойства (в частности, снижает жидкотекучесть), содержание серы в чугуне лимитируется от 0,8 до 0,1–0,12%.

Фосфор – полезная примесь в чугуне, так как он улучшает жидкотекучесть.

Кроме этих постоянных примесей, в чугун часто вводят и другие добавки. Также чугуны называют легированными.

Если примеси содержались в рудах, из которых в доменной печи выплавляется чугун, то такие чугуны называются природно-легируемыми. Наиболее часто чугун легируют хромом, никелем, медью, алюминием.

Серый, а также высокопрочный чугун разделяются на марки в зависимости от значений механических свойств.

Серый чугун маркируется буквами СЧ (серый чугун) и двумя цифрами, которые показывают минимальное значение предела прочности чугуна на растяжение.

С425, С430, С435, С440, С445 предел прочности = 440 МПа (45 кг/см²).

Лучшими свойствами обладает чугун С 445, который называется высококачественным. Обычно одновременно с изготовлением детали отливают образцы для испытаний на растяжение и изгиб с тем, чтобы определить, соответствует ли чугун данной плавки требованиям чертежа (в чертеже указывают марку чугуна).

Чугун должен удовлетворять не только требованиям основного ГОСТа, но и дополнительным специфическим требованиям, что регламентируется в зависимости от назначения отраслевых стандартов или технических условий (например, на автомобильные и тракторные отливки, отливки для сельскохозяйственного машиностроения, компрессорные отливки, поршневые кольца, гильзы и т.д.).

Из чугуна, обладающего лучшими, чем у стали литейными свойствами, можнолитьем (дешевым способом) изготавливать изделия сложной конфигурации (с внутренними полостями и т.д.), обладающие лучшим сопротивлением разнообразным механическим воздействиям, чем более простые по форме кованные детали. Другими словами, в ряде случаев деталь сложной конфигурации из менее прочного материала (чугуна) конструктивно оказывается более прочной, чем простая по конфигурации деталь из более прочного материала (стали).

Ковкий чугун – старое название, которое характеризует его большую пластичность по сравнению с обычным серым чугуном, а не то, что его можно обычным способом ковать.

Ковкий чугун получают из обычного белого чугуна в результате специального обжига (томления). При производстве ковкого чугуна весьма существенно получить при отливке чисто белый чугун. Но не следует чрезвычайно увеличивать содержание элементов, препятствующих графитизации (например марганца), так как в этом случае будет трудно провести обжиг. Поэтому состав ковкого чугуна ограничивается весьма узкими пределами. Обычный состав ковкого чугуна: 2,4–2,8%С; 0,8–1,4%Si; <1%Mn; ≤0,1%S; ≤0,2%P. Из-за низкого содержания углерода получается малое количество графитных образований и улучшается качество чугуна. Однако основная часть затрат на получение изделия из ковкого чугуна приходится на обжиг, который является дорогой и продолжительной операцией.

Ковкий чугун имеет следующие марки по ГОСТу:

К430-6, К4-33-8, К435-10, К437-12;

К445-6, К450-4; К456-4, К460-3, К463-2.

Общие положения термической обработки

Технология металлов состоит из трех основных видов:

- 1) металлургия – получение металла заданного состава;
- 2) механическая технология – получение из металла изделий заданной внешней формы;
- 3) термическая обработка – получение заданных свойств.

Конечно, и при металлургическом производстве металлургическое изделие получает определенную внешнюю форму (слиток), но не это является определяющим. При обработке резанием, ковке, штамповке и т.д. в какой-то степени изменяется структура металла (или его поверхностных слоев), но это следует как сопутствующие явления, так же как и изменения формы при термической обработке, основная цель которой – изменение структуры металла.

В результате термической обработки существенно изменяются свойства стали. Наибольшее значение имеют механические свойства (твердость, ударная вязкость, прочность).

1.3.9. Легированные стали и сплавы

Классификация примесей

Все примеси (химические элементы), содержащиеся в стали, можно разделить на четыре группы:

1. Постоянные или обыкновенные примеси. К этой группе относятся марганец и кремний, а также алюминий и титан, которые как кремний и марганец, применяются в качестве раскислителей. Эти элементы присутствуют в любой хорошо раскисленной стали (в кипящей стали содержание кремния, алюминия и титана очень невелико), потому, что введение их необходимо при производстве стали. К постоянным (обыкновенным) примесям следует отнести серу и фосфор, потому что полностью освободиться от них при массовом производстве стали невозможно. Содержание этих элементов находится в спокойной стали обычно в пределах: 0,3–0,7Mn, 0,2–0,4Si, 0,01–0,02Al, 0,01–0,05P, 0,01–0,04S, 0,01–0,02Ti.

2. Скрытые примеси. К ним относятся кислород, азот, водород, присутствующие в любой стали в очень малых количествах. Методы их химического определения сложны, поэтому содержание этих элементов в обычных технических условиях не указывается.

3. Случайные примеси. К этой группе относятся примеси, попадающие в сталь из шихтовых материалов или вследствие каких-либо случайных причин. Так, уральские руды содержат небольшое количество меди, и она попадает в сталь, выплавленную из этих руд.

Стали, выплавленные на так называемой первородной шихте без использования лома, основного источника загрязнения, не содержат случайных примесей. Они также очень чистые по сере и фосфору.

4. Легирующие элементы. Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях с целью изменения ее строения и свойств, называются легирующими элементами (от греческого слова «лега» – сложное).

В связи с этим стали, в которые для получения требуемых свойств специально вводят легирующие элементы, называют легированными сталями (легируемые стали иногда называют специальными).

В зависимости от состава легированные стали классифицируются как никелевые, хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и тому подобные стали. Классификационный признак – наличие в стали тех или иных легирующих элементов.

В зависимости от назначения стали можно объединить в следующие группы.

Конструкционная сталь, идущая на изготовление деталей машин. Конструкционная сталь, как правило, у потребителя подвергается термической обработке. Поэтому конструкционные стали подразделяются на цементируемые (подвергаемые цементации) и улучшаемые (подвергаемые закалке и отпуску, не обязательно высокому). Близкие по составу к конструкционным сталям, но не предназначенные для термической обработки у потребителя, объединяются в группу так называемых строительных сталей (они в основном применяются в строительстве). Часто их называют низколегированными.

Инструментальная сталь, идущая на изготовление режущего, измерительного, штампового и прочего инструмента. Инструментальные стали условно подразделяются на следующие четыре категории: углеродистые, легированные, штамповые, быстрорежущие.

Стали и сплавы с особыми свойствами

К ним относятся стали, обладающие какими-нибудь резко выраженными свойствами: нержавеющие, жаропрочные и теплоустойчивые, износоустойчивые, с особенностями теплового расширения, с особыми молниенными и электрическими свойствами и т.д.

В ряде случаев эти стали содержат такое большое количество легирующих элементов, что их нужно причислять не к сплавам железа, т.е. не к сталям, а к сложным многокомпонентным сплавам. Однако четкой границы между такими сплавами и сталями нет, поэтому их придется рассматривать вместе со сталями.

Более того, некоторые из этих сплавов могут вовсе не содержать железа, хотя по свойствам и назначению они близки к сплавам, в которых основной элемент – железо.

Для обозначения марок стали разработана система, принятая в ГОСТах. Обозначения состоят из числа цифр и букв, указывающих на примерный состав стали.

Каждый легирующий элемент обозначается буквой: *H* – никель; *X* – хром; *K* – кобальт; *M* – молибден; *G* – марганец; *D* – медь; *P* – бор; *B* – ниобий; *Ц* – цирконий; *C* – кремний; *П* – фосфор; *Ч* – редкоземельные элементы; *B* – вольфрам; *T* – титан; *A* – азот; *Ф* – ванадий; *Ю* – алюминий.

Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (у высокоуглеродных инструментальных сталей в десятых долях процента). Цифры, идущие после буквы, указывают на примерное содержание данного легирующего его элемента (при содержании элемента менее 1% цифра отсутствует; при содержании 1% цифра 1 и 2% – цифра 2 и т.д.)

Следовательно, сталь состава 0,10–0,15%С и 1,3–1,7%Mn обозначается 12Г2; сталь состава 0,28–0,35%С; 0,8–1,1%Cr; 0,9–1,2% Mn; 0,8–1,2S обозначается 30 Х ГС и т.д.

Несмотря на то, что для всех сталей невозможно применить в полном объеме систему маркировки ГОСТа, она все же более наглядна, удобна и превосходит маркировку стали в других странах.

Конструкционные стали

Сталь, применяемая для изготовления деталей машин, строительных конструкций и других сооружений, должна обладать высоким комплексом механических свойств, а не высоким значением какого-либо одного свойства. Материал, идущий на изготовление деталей, подвергающийся большим нагрузкам, должен хорошо сопротивляться таким нагрузкам и наряду с высокой прочностью обладать вязкостью, чтобы сопротивляться динамическим и ударным воздействиям. Другими словами, материал должен обладать прочностью и надежностью.

В деталях, испытывающих знакопеременные нагрузки, металл должен обладать высоким сопротивлением усталости, а трущиеся детали – сопротивлением износу. Во многих случаях требуется хорошее сопротивление коррозии, ползучести и другим постоянным воздействиям. Это значит, что детали должны быть долговечными.

Таким образом, детали машин должны быть изготовлены из прочного, надежного и долговечного материала. Из всех известных в технике материалов лучшее сочетание прочности, надежности и долговечности имеет сталь, поэтому сталь является основным материалом для изготовления ответственных изделий, подвергающихся большим нагрузкам.

Механические свойства стали зависят от структуры и состава. Совместное воздействие термической обработки и легирования является эффективным способом повышения механических свойств стали.

Высокопрочные стали

Интерес представляет сталь высокопрочная повышенной пластичности, названная трипастью. Особенно важное свойство этих сталей – высокое сопротивление развитию трещин. Сочетание высокой прочности и пластичности создается подбором определенного состава стали, режимом термической обработки и температурой деформации. В настоящее время трипастали, по-видимому, являются самым надежным конструкционным материалом.

Свариваемость стали

В настоящее время сварку широко применяют в жилищном и промышленном строительстве, мостостроительстве, строительстве газо- и нефтепроводов и во многих отраслях техники. Крупногабаритные строительные изделия, как правило, изготавливают сварными. В связи с тем свариваемость стали – одно из главных ее технологических свойств. При сварке должно получаться плотное и равнопрочное с остальным изделием соединение. Основной вид сварки – сварка плавлением, при котором наплавляется шов жидкого металла и под действием его температуры нагревается околошовная зона. В сварном шве следует различать три зоны.

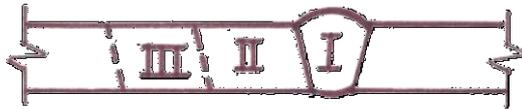


Рис. 1.58. Зоны в сварном шве: I – шов (литая структура); II – околошовная зона, нагретая в процессе сварки выше критических точек; III – околошовная зона, нагретая в процессе сварки ниже критических точек

После сварки простых углеродистых сталей вне зоны III происходит разупрочнение. Если не производить термообработку, то максимальный предел прочности для свариваемых сталей 500–600 МПа для простых углеродистых сталей и 800–900 МПа для специальнолегированных сталей.

Строительная сталь

Предназначается для изготовления строительных конструкций мостов, газо- и нефтепроводов, ферм, котлов, силосов и т.д. Строительные стали, как правило, имеют низкое содержание углерода ($<0,22\%C$) и в качестве основных легирующих элементов – марганец (1–1,5%). Это стали повышенной прочности. Строительные стали применяются главным образом в виде листов разной толщины, а также в виде сортового

проката. Они у потребителя не подвергаются термической обработке, структура и термические характеристики формируются при производстве стали.

Арматурная сталь

Для армирования железобетонных конструкций применяют прутки (гладкие и периодичного профиля) и проволоку. В напряженных конструкциях применяют высокопрочные стальные стержни и проволоку, в ненапряженных конструкциях применяют сталь обычного качества.

Пружинная сталь

Работа пружин, рессор характеризуется тем, что в них используются только упругие свойства стали. Большая величина упругих деформаций пружины, рессоры и подобных деталей определяется ее конструкцией – числом и диаметром витков, длиной пружины. Поскольку возникновение пластических деформаций в пружинах не допускается, главное, чтобы сталь имела высокий предел упругости (текучести). Это достигается закалкой с последующим отпуском при температуре 300–400⁰С. Эти детали изготавливают из конструкционных сталей с повышенным содержанием углерода (0,5–0,7%С часто с добавками марганца и кремния).

Для особо ответственных пружин применяется сталь 50ХФ, содержащая хром и ванадий и обладающая наиболее высокими упругими свойствами.

Шарикоподшипниковая сталь

Она должна, прежде всего, обладать высокой твердостью, поэтому применяют высокоуглеродистые стали типа инструментальной. Сталь легируют обычно хромом.

Во всех сталях $S \leq 0,020\%$; $P \leq 0,027\%$; $Ni < 0,3\%$; $Cu < 0,25\%$.

К шарикоподшипниковым сталям предъявляются высокие требования в отношении чистоты по неметаллическим включениям и карбидной ликвации. Нагрузка в шарикоподшипниках является локальной и, если в точках соприкосновения шарика (ролика) и кольца в загрязненной части окажется то или иное включение, то может произойти местное разрушение, а вследствие этого долговечность работы детали снизится. Поэтому любая плавка тщательно контролируется на наличие пористости, неметаллических включений и других дефектов.

В этих сталях (марки X18) необходимо высокое содержание хрома (17–19%) для придания стали высокого сопротивления коррозии. Сталь эта обладает высокой коррозионной стойкостью в пресной и морской воде, в растворах азотной и уксусной кислот, в различных органических средах, но имеет плохую стойкость в смеси азотной и серной кислот.

Инструментальные стали

Основным свойством (требованием), предъявляемым к стали для режущего инструмента, является сохранение режущей кромки в течение длительного времени. В работе режущее лезвие инструмента тупится, изнашивается.

Инструментальные стали делятся на четыре типа:

- 1) пониженной прокаливаемости (преимущественно углеродистые);
- 2) повышенной прокаливаемости (легированные);
- 3) штамповые;
- 4) быстрорежущие.

В особую группу инструментальных материалов входят так называемые твердые сплавы, применяемые для инструмента, работающего на особо высоких скоростях резания.

Углеродистые и легированные стали применяют для режущего инструмента при легких условиях работы и для измерительного инструмента. Быстрорежущие стали используют для изготовления режущего инструмента, работающего при повышенных режимах.

Быстрорежущая сталь P18 появилась на рубеже XIX–XX веков (изобретатели Тейлор и Уайт), ее средний состав 0,8%С; 18%W; 4%Cr; 1%V. В связи с дефицитом вольфрама в 70-х годах нашего века эта сталь была почти повсеместно заменена на сталь марки P6M5 (0,9%С; 6% W; 5%Mo; 4% Cr; 2% V), которая в свою очередь вытесняется безвольфрамовыми сталями POM5Ф1 (0,9%С; 5%Mo; 1,5%V).

Обозначение всех быстрорежущих сталей начинается с первой буквы Р (рапид-скорость). Затем идет цифра, указывающая на содержание вольфрама.

Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

Жаростойкие стали и сплавы – это металлы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550⁰С и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Проще, жаростойкость (окалиностойкость) характеризует стойкость металла окислению при высоких температурах. Начальная стадия окисления стали – чисто химический процесс, чего нельзя сказать про дальнейшее окисление, где уже происходит диффузный процесс атомов кислорода и металла через многофазный окисленный слой. При повышении температуры скорость окисления резко возрастает (при температуре 570⁰С).

Для повышения окалиностойкости сталь легируют хромом, алюминием или кремнием. В процессе окисления на поверхности образуются плотные окислы Cr₂O₃; Al₂O₃ или SiO₂, сквозь которые диффузия происходит с трудом. Образовавшаяся тонкая пленка из этих оксидов за-

трудняет процесс дальнейшего окисления. Чем выше содержание хрома, алюминия или кремния в стали, тем выше окалиностойкость стали и тем выше может быть рабочая температура. Поскольку повышение предельной температуры эксплуатации создается за счет дорогого легирования, то следует точно определять температурные условия работы металла и выбирать в соответствии с таблицей ГОСТа или другими справочными материалами состав сплава.

Под жаропрочными сталями и сплавами понимают стали и сплавы, обладающие повышенными механическими свойствами при высоких температурах. Напряжение, которое вызывает разрушение металла при повышенных температурах, сильно зависит от продолжительности приложения нагрузки. Оно может быть велико при кратковременном приложении нагрузки и мало, если нагрузка действует длительное время.

Вместе с тем, чем выше температура металла, тем ниже разрушающее напряжение при данной продолжительности воздействия нагрузки. Следовательно, в общем случае при повышенных температурах прочность металла определяется двумя факторами – температурой и временем.

Жаропрочные стали применяют в основном для турбин и реактивных двигателей (лопатки турбин и двигателя). Для них применяют стали и сплавы на основе никеля и кобальта.

Преимущественное применение имеют сплавы никеля, содержащие, как правило, хром (в количестве 15–20%) и другие многочисленные присадки, но уже в значительно меньших количествах (алюминий, титан, вольфрам, молибден, ванадий и др.).

Коррозионностойкие (нержавеющие) стали и сплавы

Поверхностное разрушение металла под воздействием внешней среды называется коррозией. Чистое железо и низколегированные стали неустойчивы против коррозии в атмосфере, в воде и во многих других сферах, так как образующаяся пленка окислов недостаточно плотна и не изолирует металл от химического воздействия среды. Некоторые элементы повышают устойчивость стали против коррозии, и таким образом можно создать сталь (сплав), практически не подвергающуюся коррозии в данной среде. Не вдаваясь в подробности явлений, связанных с процессами коррозии и коррозионными разрушениями, можно сказать, что введение в сталь >12% Cr, делает ее коррозионностойкой в атмосфере и во многих других промышленных средах. Сплавы, содержащие меньше 12% Cr, практически в столь же большой степени подвержены коррозии, что и железо. Сплавы, содержащие 12–14% Cr, ведут себя как благородные металлы, они не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей.

Хромистые нержавеющие стали бывают трех типов: содержащие 13, 17 и 27%Cr, причем стали с 13%Cr в зависимости от требований имеют различное содержание углерода (от 0,1 до 0,4%).

Стали с 17–18 и 25–28%Cr имеют иногда небольшие добавки титана и никеля. Титан вводят для измельчения зерна, а никель для измельчения механических свойств. Стали типа X13 – распространенные и наиболее дешевые нержавеющие стали; их применяют в бытовых назначениях и технике (лопасти гидротурбин, лопатки паровых турбин). Стали с низким содержанием углерода (0,8X13; 20X13) пластичны. Из них хорошо штампуются различные детали, стали 20X13 и 40X13 обладают высокой твердостью и повышенной прочностью, из них изготавливают детали повышенной прочности и износоустойчивости при высокой коррозионной стойкости – различный инструмент, в том числе хирургический, подшипники, пружины, работающие в активной коррозионной среде.

Кислотостойкие стали и сплавы

При производстве синтетических неметаллических материалов (пластмасс, стеклопластиков, стекловолокна), удобрений, а также других химических продуктов аппаратура, установки и машины работают в агрессивных кислотных средах, чаще в серной, соляной, азотной или фосфорной кислотах и их смесях разной концентрации и при разных температурах. Нержавеющие стали оказываются недостаточно стойкими в таких условиях.

Для эксплуатации в этих средах следует применять более легированные стали и сплавы, называемые кислотостойкими. Увеличение стойкости к кислотам (общая коррозия) дает присадка молибдена и особенно молибдена с медью при одновременном увеличении никеля.

Наиболее высокой стойкостью к кислотам обладают низкоплавкие металлы (молибден, ниобий, тантал).

Никелевые сплавы, называемые хастеллой (80% Ni и 20% Mo) обладают высокой коррозионной стойкостью.

Все сплавы хастелла содержат 15–30% Mo и 60–80% Ni, дополнительно легированы кобальтом и другими элементами. Эти сплавы должны иметь минимальное количество углерода.

Криогенные стали и сплавы

Металлические материалы для машин и оборудования, предназначенные для получения, перевозки и хранения сжиженных газов и, следовательно, эксплуатируемые до температуры кипения кислорода (-183°C), азота (-196°C), неона (-247°C), водорода (-253°C) и гелия (-269°C), а также сжиженных углеводородов (метана, бутана), температуры кипения которых лежат в интервале -80 – 180°C .

Стали и сплавы, предназначенные для работы при низких температурах, делят на металлические материалы для работы при низких климатических температурах (до -60°C), так называемые стали северного исполнения, и эксплуатируемые при температурах от комнатной до температуры ниже -80°C почти вплоть до абсолютного нуля ($4,2\text{K}$ – температура кипения жидкого гелия) – так называемые криогенные стали и сплавы, которые чаще всего являются одновременно и нержавеющей.

Как и для других конструкционных материалов, основное требование к криогенным сплавам – механическая прочность. Однако специфической особенностью условий работы является широкий диапазон температуры от комнатной до температуры жидкого гелия, в котором существенно меняются свойства. В общем можно отметить, что при понижении температуры прочность повышается, а пластичность и вязкость снижаются. Отсюда прочность должна гарантироваться при комнатной температуре, а пластичность и вязкость при низкой температуре эксплуатации. В основном сплавы применяют с содержанием никеля.

Титан и его сплавы

Необычайно высокие темпы роста производства и потребления титана обусловлены его весьма ценными свойствами: небольшой плотностью, высокой прочностью, высокой коррозионной стойкостью.

Пример объема широкого производства титана (без СССР)

1948 г.	1953 г.	1966 г.
2т	2100 т	22000т

Преимущественное применение титан получил в авиации, ракетостроении и других отраслях, где удельная плотность имеет важное значение. Немаловажное значение, обеспечивающее широкое распространение сплавов титана в будущем, – это сравнительно большое его содержание в земной коре (0,6%). По распространенности в земной коре титан уступает только трем металлам – алюминию, железу и магнию.

Титан – серебристо-белый металл с малой плотностью ($4,5\text{ г/см}^3$) и высокой температурой плавления (1672°C).

Свойства титана существенно зависят от его чистоты. Например:

Чистота титана (%Ti)	99,99	99,8	99,6	99,5	99,4
Твердость НВ	100	145	165	195	225

Титан – химически активный элемент. Его трудно получить высокой чистоты, а получив, трудно предохранить от вредных воздействий окружающей среды. Поэтому не только важно иметь чистый титан, но и предохранить его от насыщения разными элементами при технологических переделах.

Титан обладает высокой коррозионной стойкостью в большом количестве агрессивных сред, превосходя при этом нержавеющую сталь.

Тугоплавкие металлы

К тугоплавким металлам следует отнести все металлы, температура плавления которых выше температуры плавления железа (1539°C).

Рассмотрим типичное место тугоплавких металлов V, Nb, Ta, Cr, Mo, W.

Цирконий, гафний и рений имеют ограниченное применение ввиду их малой распространенности в природе и, следовательно, высокой стоимости. Технеций в природе не встречается, он получен в очень малых количествах в лаборатории, что невозможно изучить его свойства.

Чистые тугоплавкие металлы хоть и обладают более высокой жаропрочностью, чем сплавы на основе железа, кобальта и никеля, тем не менее не используются для эксплуатации при высоких температурах, так как сплавы на их основе обладают более высокой жаропрочностью. Сплавы этих металлов обладают высокой коррозионной стойкостью в крепких неорганических кислотах, что указывает на их перспективность применения в химическом машиностроении.

Все перечисленные металлы редкие, поэтому дорогие.

Несмотря на высокую стоимость тугоплавких металлов, применение сплавов Ta-Nb-Ti экономически оправдано, так как вследствие исключительной высокой коррозионной стойкости можно длительно эксплуатировать химическую аппаратуру без замены.

1.3.10. Легкие металлы и их сплавы

Алюминий, магний и бериллий

Алюминий имеет наибольшее значение, что характеризуется объемом производства (второе место после железа) и невысокой стоимостью.

О существовании металла, который входит в состав глины, предположительно в 1808 г. высказался английский ученый Дэви. Он и дал ему название алюминий (в России в XIX веке он назывался глинием).

В 1825 г. датчанин Эрстед получил первые крупицы алюминия.

Авторами современного способа производства алюминия (электролиз расплавленных солей) были американец Холл и француз Эрчз. Оба, когда каждому исполнилось по 23 года, независимо друг от друга взяли патент на промышленный способ получения алюминия. До 1880 года всего во всем мире было изготовлено 200 тонн алюминия (и он по цене тогда мало уступал золоту). Но в последующее десятилетие алюминия было произведено 28 000 т и за один год. В 1930-е – 27000 т. Современный мировой объем производства алюминия (без СССР) около 10 млн т в год. До 1906 года алюминий применяли в чистом виде, но в 1906 г. Вильм почти случайно нашел способ упрочнения – сплав Al-Cu, а пред-

ложенный им сплав (4% Cu; 0,5% Mg; 0,5% Mn) и сейчас является самым распространенным алюминиевым сплавом (дюралюминий).

Сейчас широкое применение как конструкционный материал имеет не чистый алюминий, а сплавы алюминия, в первую очередь дюралюминий.

Наиболее чистый алюминий – алюминий особой чистоты, содержит 99,999% Al, а сумма всех примесей составляет не более 0,001%. Его применяют преимущественно для лабораторных опытов. В промышленности в зависимости от требований применяют алюминий высокой чистоты (99,995–99,95% Al) и технической чистоты (99,85–99,0% Al).

Алюминий маркируется А999 – особой чистоты,
А995, А99, А97, А95 – высокой чистоты,
А85, А8, А7, А6, А5, А0 – технической чистоты.

Основные (постоянные) примеси, загрязняющие алюминий, это железо и кремний.

Применять алюминий из-за его низкой прочности как конструкционный материал нецелесообразно. Однако его некоторые свойства – высокая пластичность, коррозионная стойкость и электропроводность – позволяют эффективно его использовать для других целей. Таким образом, имеются три направления применения технического алюминия:

1) высокая пластичность позволяет производить из алюминия глубокую штамповку, прокатку до тонкой толщины (алюминиевая фольга для обертки конфет, фольга бытовая);

2) высокая электропроводность (65% от меди) позволяет применять алюминий для электротехнических целей (проводниковый металл). Провод из алюминия равной электропроводности легче, чем из меди.

3) высокая коррозионная стойкость позволяет широко применять алюминий. Алюминий – химически активный металл, однако начальное окисление приводит к образованию окисной пленки (~ толщиной 10 нм), изолирующей металл от окружающей среды. Это обстоятельство и позволяет считать алюминий коррозионноустойчивым металлом. Алюминий практически устойчив к органическим кислотам (отсюда и широкое применение в быту, для транспортировки, хранения продуктов питания). В неорганических кислотах алюминий устойчив лишь при низкой концентрации кислот.

Присутствие в алюминии соединений железа и кремния уменьшает его пластичность.

Дюралюминий – первый промышленный сплав на основе алюминия. Он содержит 4% Cu; 0,5% Mg, а также марганец и железо. Название дюралюминий можно расшифровать как твердый алюминий (фр. Dur – твердый). В СССР дюралюминий начали производить с 1924 года на Кольчугинском заводе (кроме основных элементов, он содержит еще 0,5% Ni и называется кольчугалюминием). Природа сплавов типа дюра-

люминий, влияние элементов, термическая обработка были исследованы многими учеными (Бочваром, Вороновым, Петровым, Гинье, Ливановым и др.). Следует отметить, что пайка и сварка алюминиевых сплавов не дает равнопрочного шва – с основным металлом. Надежным соединением является соединение на заклепках, которые тоже должны быть изготовлены из дюралюминия. При расклепывании заклепки металл должен обладать высокой пластичностью. Такие свойства имеет дюралюминий лишь в свежезакаленном состоянии. Заклепки из сплавов Д1, Д16 ставят не позднее чем через 2 часа (для Д1) и 20 мин (Д16) после закалки, когда сплав еще не успел заметно упрочниться.

Наиболее прочный алюминиевый сплав В96, содержащий 8–9% Zn, 2,3–3 Mg; 2–2,6 Cu; 0,1–0,2% Zr (цирконий). Прочность этого сплава достигает 700 МПа. Самым легким алюминиевым сплавом является сплав состава: 5,5 Mg; 2,1% Zr; 0,12% Zr – среднее содержание легирующих элементов. Сплав с этими присадками из-за своей малой плотности (его плотность 2,5 г/см³, что меньше плотности алюминия 2,7 г/см³) находит широкое применение в авиации.

Силумины – сплавы с большим содержанием кремния. Они применяются широко только в виде литья в авто- и авиастроении. Если алюминиевые сплавы работают при $t = 200\text{--}350^{\circ}\text{C}$, их легируют медью, магнием, никелем, железом, титаном (поршень, головка, цилиндра). Такие сплавы называются жаропрочными алюминиевыми сплавами.

Медь, как золото и серебро, встречаются в самородном виде, и поэтому в древности человек мог находить ей применение. В то время железо (метеоритное) ценилось намного выше меди и золота, так как железо по своим свойствам подходило больше для изготовления орудия, чем медь. Во время Троянской войны, X век до нашей эры, только цари имели железные мечи. По своим свойствам медь близка к серебру и золоту. Но последние на воздухе не окисляются и называются благородными металлами, медь окисляется слабо, поэтому ее называют полублагородным металлом. Содержание меди в земной коре невелико (0,01%), она не рассеянный металл и концентрируется в медных рудах, где содержание ее порядка 5%.

Чистая медь имеет ряд ценных технических свойств. Высокая пластичность, электро- и теплопроводность, малая окисляемость – все это обусловило широкое применение меди. Кроме того, медь является основой важнейших сплавов – латуни и бронзы.

Медные сплавы с содержанием цинка до 45% называются латунями. Латуни маркируются буквой Л, за которой следует цифра, называющая среднее содержание меди в сплаве. Так как цинк дешевле меди, то чем больше в латуни цинка, тем она дешевле.

Л96 (Cu-95-97%),
Л90 (Cu-88-91%).

Латуни с содержанием меди (79–81%) Л80 имеют цвет золота и их применяют для ювелирных и декоративных изделий. Такие латуни называют томпаком.

Сплавы меди с оловом – оловянистые бронзы. Бронзы обладают высокими литейными свойствами. Наиболее сложные по конфигурации отливки изготавливают из бронзы, в том числе художественное литье. Также бронза идет на изготовление вкладышей подшипников. Сплавы меди с алюминием, кремнием, бериллием также называют бронзами, соответственно алюминиевыми, кремнистыми и т.д. Бериллиевая бронза отличается от остальных высокой твердостью и упругостью.

Добавка приблизительно 20% Ni и 20% Zn и меди делает такой сплав похожий на серебро, и он получил название нейзильбер (новое серебро). Он применяется в качестве декоративного материала.

Некоторые сплавы цветных металлов, цинк применяются для горячего и гальванического оцинкования стальных листов, в полиграфической промышленности для изготовления гальванических элементов и других целей. В сплавах с медью – латунь как типографический металл.

Основной легирующий элемент в цинковых сплавах – алюминий.

Для отливки шрифтов ручного и машинного набора чаще всего применяют сплавы на основе свинца, менее дефицитны сплавы на основе цинка, но у них выше температура плавления и больше угар при переплавах.

1.3.11. Благородные металлы

Золото, серебро, металлы платиновой группы и их сплавы. Свое название они получили из-за высокой коррозионной стойкости – практически они совершенно не склонны к коррозии в обычной атмосфере, воде и многих других средах. Все металлы этой группы отличаются высокой стоимостью.

Золото и серебро в первую очередь применяют в ювелирном и зубо-врачебном деле. Чистое золото из-за его мягкости не применяют, наиболее применяемыми являются сплавы 375, 583, 750 и 916 проб – это значит, что в этих сплавах на 1000 г сплава приходится 375, 583, 750 и 916 г золота, а остальные – медь и серебро.

Сплавы 916 пробы наиболее мягкие, но и более коррозионностойкие. С уменьшением индекса пробы коррозионная стойкость снижается. Наибольшей твердостью и износостойчивостью обладают сплавы 583 пробы при соотношении Cu:Ag около 1:1. Сплавы указанных проб имеют цвет золота. Если для ювелирных изделий применяются сплавы золота и серебра, то для промышленных целей идут в основном сплавы платиновых групп.

Сплав 90% Pt и 10% Rh применяют как сплавы для термопар.

Высокой твердостью и износоустойчивостью в сочетании с высокой коррозионной стойкостью обладает сплав Os и Ir.

Из него делают опорные точки измерительных инструментов, иглы компасов, наконечники перьев автоматических ручек.

Контрольные вопросы

1. Какие стали и сплавы вы знаете? Их применение в промышленности.
2. Какие легкие металлы вам знакомы и что вы можете сказать об области их применения?
3. Расскажите, что вам известно о драгоценных металлах.
4. Назовите основные свойства черных металлов.
5. Назовите основные свойства цветных металлов.
6. Какие стали относят к конструкционным?
7. Какие сплавы называют бронзой?
8. Какие сплавы относят к сталям?
9. Назовите металлы, обладающие высокой коррозионной стойкостью.
10. Назовите свойства стали, которые дают возможность считать их наиболее надежным материалом.

1.4. Пластические массы

Среди современных материалов, имеющих большое значение для развития производства самых различных товаров народного потребления, важное место занимают пластические массы.

Обладая неоспоримыми преимуществами по сравнению с традиционными материалами, пластические массы постепенно вытесняют из производства дерево, металлы, стекло, что дает значительную экономию средств и материалов.

Пластмассы – это новый и самостоятельный класс материалов, созданных в прошлом столетии и имеющих характерный комплекс свойств.

Пластические массы представляют собой высокомолекулярные соединения (полимеры) и композиции на их основе, способные при нагревании переходить в пластическое состояние и принимать под давлением любую желаемую форму. Эта форма затем сохраняется благодаря понижению температуры имеющихся вследствие химической реакции ведущих к образованию трехмерной структуры полимеров.

Затверждение пластмассы является, таким образом, физическим или химическим процессом. К пластическим массам относят, как правило, только жесткие, полужесткие и мягкие пластики. Эластики (резина) рассматривают в специальных курсах.

Первыми пластическими массами были эбонит (1843 г.), целлулоид (1872 г.) и галалит (1897 г.), созданные на основе химических модифицированных природных полимеров натурального каучука, нитроцеллюлозы и белковых веществ. Получение первых синтетических смол и пластмасс относятся к началу прошлого столетия. В начале столетия был освоен выпуск фенопластов, а после мировой войны аминопластов. В 30-х годах начат промышленный выпуск полистирола, поливинилхлорида, полиметилметакрилата и др. Создание этих лучших по своим свойствам синтетических полимеров, получаемых из менее дефицитного сырья, привело к прекращению выпуска галалита и сокращению производства целлюлозы. Пластмассы отличаются разнообразием своих свойств, удобством технологической переработки в изделия и наличием необходимого сырья. В настоящее время трудно найти какую-либо группу товаров, в которой не были бы представлены изделия или отдельные детали, выполненные полностью или частично из пластических масс. Изготовление из пластмасс хозяйственных, галантерейных и канцелярских товаров, а также игрушек стало уже традиционным. Наряду с этим, все в большей мере вырабатываются различные пластмассовые детали для радио и телевизионной аппаратуры, стиральных машин, холодильников, кухонных процессоров, пылесосов и других машин, используемых в быту. Расширяется производство искусственных обувных материалов, а также полимерных пленок, обладающих, в частности, и звукопроводностью, а поэтому применяют их как тепло- и звукоизоляционные материалы.

Физико-механические свойства пластмасс разнообразны, поэтому из них могут быть изготовлены как жёсткие, упругие, так и гибкие кожеподобные и каучукоподобные материалы. Жёсткие наполненные и особенно слоистые пластики имеют высокую механическую прочность, что в сочетании с малой плотностью ставит их в ряд важных и часто незаменимых конструкционных материалов для многих непродовольственных товаров.

Существенным преимуществом пластических масс по сравнению, например, с металлами является высокая стойкость к действию воды и многих химических реагентов (растворов солей, кислот и щелочей). Поэтому пластмассы широко применяют для производства бытовых изделий, а также в химическом машиностроении в качестве антикоррозионного материала, не требующего специальных защитных покрытий.

Высокой химической стойкостью обладают фторопласты, полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, полистирол и поливинилхлорид. Из них фторопласт-4 (политетрафторэтилен) отличается исключительно высокой стойкостью к действию растворителей и химических реагентов. Он не растворяется и не набухает ни в одном из известных растворителей и выдерживает без изменения последовательную обработку в

концентрированных кислотах – серной (24 часа при 290°C), азотной (24 часа при 100°C) и смеси азотной и соляной кислот («царской водке» – 24 часа при 100°C). Такую «жесткую» обработку не могут выдерживать даже благородные металлы.

Готовые изделия из пластмасс, как правило, не требуют декоративных покрытий, так как имеют обычно гладкую блестящую поверхность, придающую им красивый внешний вид. Способность многих пластических масс окрашиваться практически в любой цвет используется как ценный материал в строительстве, для художественных изделий, а также для имитации слоновой кости, драгоценных камней, перламутра и др. Коэффициент использования материала при переработке пластмасс в изделия достигает 0,95–0,58%, тогда как у металлов при механической обработке – 0,2–0,6, при литье – 0,6–0,8. К тому же трудоёмкость изготовления даже самых сложных деталей из пластмасс очень мала по сравнению с трудоёмкостью изготовления изделий из других материалов механической обработкой.

Отдельные пластики, например фторопласт-4, полиарилаты и кремнийорганические смолы, имеют высокую теплостойкость (до 360°C и выше).

Обладая отличными диэлектрическими свойствами, пластмассы широко используют как электроизоляционные материалы. Такие пластики, как полиэтилен, полистирол и политетрафторэтилен, являются в современной технике наилучшими диэлектриками. В природе аналогов нет. В то же время, вводя в состав пластмассы токопроводящие наполнители (графит, сажу, металлические порошки и др.), легко получают токопроводящие и теплопроводящие пластики.

Некоторые пластики, например полиметилметакрилат, полистирол, поликарбонаты и другие, бесцветны и обладают хорошей прозрачностью. Поэтому их часто называют органическими стёклами. По пропусканию ультрафиолетовой части светового спектра они в десятки раз превосходят неорганические (силикатные) стёкла.

Наряду с достоинствами пластмассы имеют недостатки. Под действием кислорода воздуха, влаги, света (в особенности ультрафиолетовых лучей) механических и термических воздействий пластмассы стареют. В результате постепенно происходящих процессов окисления и других химических изменений, связанных с нарушением структуры полимера, снижается эластичность, повышается жёсткость, хрупкость и водонепроницаемость пластмасс, появляются трещины, ухудшается внешний вид изделий. Эти нежелательные явления частично или почти полностью могут быть устранены путём наиболее рационального выбора состава пластмассы, удаления вредных примесей, введения небольших добавок стабилизаторов (противостарителей).

При использовании в условиях повышенной температуры отдельные пластмассы оказываются недостаточно теплостойкими. Многие из них длительно сохраняют твёрдость и форму изделий лишь при температуре ниже 100°C, хотя для большинства бытовых изделий такая теплостойкость вполне достаточна, недостатками пластмасс являются также большой коэффициент термического расширения, сильная электризуемость, у некоторых – невысокие гигиенические свойства, недостаточная твёрдость, проявление хладотекучести, повышенная горючесть. Эти особенности надо знать и учитывать при выборе пластмассы для конкретных условий использования изделий.

1.4.1. Состав пластических масс

По составу пластические массы разделяют на простые и сложные (композиционные). Простые состоят только из полимера (синтетической смолы или химически видоизменённого природного полимера) к которому могут добавляться небольшие количества красителей и стабилизаторов (до 3%). Композиционные пластмассы содержат, кроме того, большое количество (до нескольких десятков процентов) других компонентов: наполнителей, пластификаторов, газообразователей, отвердителей. Вспомогательной добавкой являются смазывающие вещества, предотвращающие прилипание отформовочного изделия к стенкам формы. В композиционных пластмассах полимеры выполняют роль компонента, связывающего другие составные части (особенно наполнитель), поэтому их называют связующими веществами. Связующими веществами являются преимущественно синтетические высокомолекулярные соединения и некоторые видоизменённые природные полимеры (эфир целлюлозы). Они являются главной составной частью, определяющей все основные свойства пластмасс, их способность формоваться при повышенных температурах и давлении, а также сохранять приданную изделию форму.

К композиционным относят пластмассы на основе фенол- и альдегидных смол, которые применяют обычно с наполнителями и красителями. Многие синтетические смолы (полиэтилен, полистирол), а также эфиры целлюлозы используют в качестве пластмасс как с наполнителями, так и без них. Наполнителями пластмасс служат различные измельченные неорганические и органические материалы, например древесная мука, кварцевый песок, каолин, тальк, дробленая слюда (отходы) и другие порошкообразные и волокнистые материалы (очесы хлопка, волокна асбеста, измельченные обрезки ткани и бумаги). Наполнитель может составлять более половины состава пластмассы. В сложных пластмассах (гетипаксе, текстолите) наполнителем является рулонная бумага и ткани, пропитанные и склеенные смолой.

Порошкообразные наполнители перемешиваются со связующими веществами и остальными компонентами пластмассы, пропитываются и обволакиваются связующим веществом, благодаря чему в процессе формирования изделий образуется твердая и плотная масса. При этом свойства пластмасс видоизменяются.

Введение наполнителя повышает механическую прочность и твердость пластмасс, понижает величину усадки пластмассы в производстве формирования изделия. Особенно улучшаются механические свойства, повышается прочность на удар при введении в пластмассу волокнистых наполнителей, выполняющих роль армирующих элементов и устраняющих хрупкость ненаполненных пластмасс. Наряду с повышением прочности и твердости введение наполнителей в ряде случаев повышает теплостойкость и огнестойкость пластмасс, облегчает их переработку и снижает стоимость.

Газообразователи вводят в состав для получения газонаполненных пластмасс (перо- и пенопластов). Они представляют собой химические соединения, разлагающиеся в процессе формования изделий при нагревании с выделением газообразных веществ.

Пластификаторами газообразных веществ являются маслообразные органические вещества, имеющие высокую температуру кипения – преимущественно сложные эфиры фталевой и фосфорной кислот (дибутилфталат, диоктилфталат, трикрезилфосфат) и др. Их добавляют в тех случаях, если необходимо уменьшить жесткость и хрупкость полимера. Повышая пластичность связующего вещества и тем самым облегчая переработку пластмасс, пластификаторы придают материалам и изделиям эластичность и гибкость. Для полярных полимеров применяют полярные, а для неполярных неполярные пластификаторы.

Красящие вещества пластмассы – это тонко измельченные пигменты и органические красители, стойкие к температурам, при которых формируют изделия. Некоторые минеральные пигменты одновременно играют роль не только красителя, но и наполнителя пластмасс (окись цинка, литопон, сажа). При выборе красящего вещества для окрашивания учитывают и его способность ускорять (стимулировать) или, наоборот, задерживать (ингибировать) старение пластмассы.

Стабилизаторы (ингибиторы) это вещества, препятствующие необратимому изменению свойств синтетических смол и пластмасс под действием тепла, кислорода воздуха, света, влаги и прочих факторов, т.е. замедляющие процессы старения. Особенно интенсивное старение пластмасс вызывают ультрафиолетовые лучи, обладающие большой мощностью, сравнимой с энергией химических связей. Вследствие этого они способны отрывать электроны с наружных оболочек атомов. Такое действие ускоряет взаимодействие макромолекул полимера с кислородом, влагой и между собой. В результате понижается механическая проч-

ность и эластичность полимерных материалов и изделий, возрастает хрупкость, ухудшается их внешний вид. Стабилизаторы вводят в отдельные пластмассы для перевода полимера в процессе формирования изделий в неплавкое и нерастворимое состояние. Их действие основано на сливании структур полимера. Ими являются формальдегид, диамины, дикарбонатные кислоты и др. Для полимеров характерно одновременное существование кристаллической и аморфной фаз в разных соотношениях. По физико-механическим свойствам (при $t = 20^{\circ}\text{C}$) пластические массы условно подразделяют на жесткие, полужесткие и мягкие пластики. Жесткие пластики представляют собой твердые упругие материалы (фенопласты, аминопласты, полистирол и др.) с преимущественно аморфной структурой, высоким модулем упругости и малым удлинением при испытании образцов на растяжение. Под действием внешних нагрузок они длительно сохраняют свою форму при нормальных и повышенных (до определенного предела) температурах. Полужесткие пластики – это твердые упругие материалы (полиэтилен и др.), имеющие в основном кристаллическую структуру, средней величины модули упругости и характеризующиеся относительно высоким общим и остаточным удлинением при растяжении. Однако остаточное удлинение этих пластиков обратимо и, как правило, при нагревании исчезает. Мягкие пластики – это мягкие и эластичные материалы (поливинилхлоридный пластикат, полиизобутилен, пенополиуретан и др.) с преимущественно аморфной структурой с низким модулем упругости. Они характеризуются относительно высоким общим удлинением.

По термическим свойствам пластмассы делятся на термопластичные и термореактивные.

Термопластичными пластмассами (термопластами) называют такие пластики, которые при нагревании размягчаются и легко формуются в изделия, а при охлаждении (после формования) – застывают. К термопластам относятся полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, полиамидные, полиакриловые и некоторые другие пластики, Термопластичными являются также эфирцеллюлозные пластмассы (нитроцеллюлоза, ацетилцеллюлоза и др.).

Термореактивные пластмассы (реактопластами) называют пластики, которые размягчаются лишь в момент формования изделий (при нагреве и давлении) и быстро теряют эту способность (затвердевают) в результате химических реакций, вызываемых химическим воздействием. Пластмасса переходит при этом необратимо в неплавкое и нерастворимое состояние. К таким пластмассам относят пластмассы на основе фенолальдегидных, аминоальдегидных и некоторых других смол.

По типу химических реакций, лежащих в основе синтеза синтетических смол, пластмасс на их основе делят на две группы пластмассы на основе полимеризационных смол, получаемых в результате реакций

полимеризации; пластмассы на основе поликонденсационных смол, получаемых в результате реакций поликонденсации.

К важнейшим пластмассам, полученным на основе полимеризационных смол относятся полиолефины (полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен), винилпласты, полистиролы, фторопласты, полиакрилаты, полиформальдегид. Наиболее распространенными пластмассами на основе поликонденсационных смол являются фенопласты, аминопласты, полиамиды, полиэферы, полиэпоксиды, полиуретаны и кремнийорганические пластики.

1.4.2. Пластические массы, применяемые в производстве бытовых изделий

Полимеризационные смолы и пластмассы на их основе

Полиэтилен в мировом производстве пластмасс составляет более чем одну треть всего производства пластмасс.

Вместе с поливинилхлоридом, второй по значению пластмассой, его доля превышает половину всего мирового производства пластмасс.

Одной из причин широкого распространения является использование их для изготовления тары и упаковки.

Полиэтилен получают полимеризацией газообразного ненасыщенного углевода – этилена, выделяемого преимущественно из продуктов термического распада (крекинга) нефти. Его промышленное производство, впервые начатое в Англии в 1938–1941 гг., осуществляется в специальных автоклавах при давлении 1200–1500 атм. и температуре около 200⁰С. Позже, в 50-е годы, с применением комплексных катализаторов (металлоорганических соединений) реакцию полимеризации этилена удалось проводить при относительно низком давлении 1–6 атм. Этилен пропускают через раствор металлоорганического катализатора в бензине. В соответствии с этим различают два основных вида полиэтилена высокого давления (ВД) и низкого давления (НД), отличающиеся своей структурой и свойствами.

Полиэтилен ВД в большей степени кристалличен и имеет большую плотность, чем полиэтилен НД.

Полиэтилен ВД является более теплостойким, но морозостойкость его ниже. Полиэтилен ВД по прочности на разрыв при растяжении несколько уступает, а по стойкости к изгибу значительно превосходит полиэтилен НД. Полиэтилен НД имеет более высокую жесткость, изделия, пленки из него менее эластичны. Поэтому для упаковки больше подходит полиэтилен ВД. По внешнему виду и другим свойствам они мало отличаются друг от друга. Полиэтилен отличается высокой химической стойкостью и не растворяется в органических растворителях (до температуры 70⁰С), устойчив к действию кислот и щелочей. Переработ-

ка полиэтилена (порошков и гранул) в готовые формованные изделия, пленки, трубы, волокна из нити осуществляется литьем под высоким давлением при температуре около 200⁰С. Листы и пленки изготавливают преимущественно из полиэтилена ВД. Он негигроскопичен, стоек к химическим реакциям и не выделяет вредных веществ, поэтому его используют для упаковки фармацевтических препаратов и пищевых продуктов. Выпуск изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, разрешен лишь открытой конструкции. В изделиях закрытой конструкции (фляги, бидоны) длительное время сохраняется запах продуктов окисления полиэтилена.

Как один из лучших в высокочастотной технике современных диэлектриков полиэтилен широко применяют в электро- и радиотехнике в частности для изоляции электрических проводов и кабелей.

Изделия из полиэтилена (пленки, листы, трубы и др.) легко и прочно свариваются горячим воздухом при температуре около 250⁰С. Раздуванием трубчатых заготовок можно изготавливать пленки, мешки, чехлы, бутылки и другие емкости. Многие изделия изготавливают штампованием и изгибанием по шаблону.

Полипропилен – исходным сырьем для него служит газ пропилен, образующийся в больших количествах при крекинге нефтепродуктов. Крекинг – расщепление, переработка нефти. Промышленное производство было начато в 1957 году после работ итальянского ученого Натта. По своим свойствам и внешнему виду он сходен с полиэтиленом, но отличается от него повышенной жесткостью. Вырабатывается в виде белого порошка или окрашенных и неокрашенных гранул. Перерабатывается в изделия под давлением. Полипропиленовые изделия отличаются блестящей поверхностью, пленки более прозрачны, чем полиэтиленовые, равноценные в этом отношении целлофану, но с более высокими физико-механическими и диэлектрическими свойствами. Он считается физиологически безвредным. Из него готовят фляги, бутылки, флаконы и посудохозяйственные изделия, отличающиеся высокой прозрачностью и способные стерилизоваться в кипящей воде без каких-либо признаков деформации, выпускают также светотехнические изделия (светильники и др.).

Широко используют полипропилен для производства волокон и нитей, имеющих высокую стойкость к истиранию и изгибам, используемых для изготовления не тонущих сетей и канатов, брезентов, обивочных и фильтрованных тканей, ковров и др. Полипропиленовые волокна имеют шерстеподобный гриф и используется в смеси с другими волокнами для товаров народного потребления. Превосходя полиэтилен по теплостойкости, полипропилен уступает ему по морозостойкости (температура хрупкости от -5° до -15°С). Поэтому не рекомендуют изготавливать

ливать из него изделия, подвергаемые в процессе эксплуатации при температуре -15°C ударным нагрузкам.

Полиизобутилен представляет собой каучукоподобный эластичный материал с высокой морозостойкостью и хорошей химической стойкостью. Высокоэластичные свойства сохраняются в пределах от -60°C до 60°C . При более высоких температурах он становится липким. Его применяют для прорезинивания тканей, изоляции проводов и кабелей и как антикоррозийный и химически стойкий материал. Вязкие растворы полиизобутилена используют в качестве антикоррозийных лаков и клеев, дающих эластичный клеевой шов. Полиизобутиленовый клей успешно применяют для дублирования тканей, для соединения некоторых деталей швейных изделий, для изготовления липких лент и пленок.

Поливинилхлорид относится к числу наиболее распространенных термопластиков. Его доля в мировом производстве пластмасс составляет более 20%. Поливинилхлорид получают полимеризацией хлористого винила, представляющего собой бесцветный газ, легко конденсирующийся в жидкость при температуре -14°C . Поливинилхлорид получают в виде белого порошка. Суспензионный поливинилхлорид разных марок используется для получения винипласта, кабельного пластика, линолеума, а латексный (в зависимости от способа получения) вместе с пластификаторами – в основном для получения более мягких и эластичных пластиков (пластикатов). Высокая стойкость к действию воды, многих реагентов, жиров и нефтепродуктов, а также хорошие диэлектрические свойства обусловили широкое применение поливинилхлорида. Существенными недостатками его являются низкая теплостойкость и термостойкость. При температуре $65\text{--}70^{\circ}\text{C}$ размягчаются и превращаются в эластичный (резиноподобный), а при нагревании выше 140°C начинает разлагаться, не достигая текучего состояния. Переработка поливинилхлорида в изделие, может осуществляться только при температуре $140\text{--}175^{\circ}\text{C}$. В его состав обязательно вводят термостабилизаторы (стеараты кальция, свинца) предотвращающие его разложение. Из поливинилхлоридного порошка получают жесткий и упругий материал – винипласт. Он почти не горит и обладает высокой химической стойкостью. Допустимая рабочая температура изделий из этого пластика, в пределах $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$. Его выпускают в виде пластин, пленки, стержней, труб и применяют в различных отраслях промышленности как маслостойкий, химически стойкий и изоляционный материал. В электротехнике он заменяет эбонит. Широкое применение нашел пластифицированный поливинилхлорид – пластикат ПВХ, представляет из себя относительно мягкий и эластичный материал. Он не набухает в воде, масле и бензине. В производстве кабелей, шнуров и проводов поливинилхлорид почти вытеснил изоляцию из свинца и резины.

Фторопласты являются прекрасными диэлектриками. Детали из них успешно используются в узлах трения (например в подшипниках без смазки), так как он обладает малым коэффициентом трения (0,004). Наиболее известен фторопласт-4, который выпускается в виде белого порошка. По своей химической стойкости превосходит не только все остальные полимеры, но и многие металлы. Применяют в радиотехнической, пищевой и других отраслях для изготовления химически стойких деталей (труб, прокладок, насосов, колец, дисков, деталей, холодильников и др.)

Полистирол представляет собой стекловидную массу с исключительно высокой водостойкостью, весьма высокой химической стойкостью и совершенными диэлектрическими свойствами. Ударопрочный полистирол УП механически более прочен и стоек к старению. Из него готовят двери для холодильников, ванны раковины, кожухи, футляры и т.п. Эту марку используют также для грампластинок, экранов, тары (ящиков), труб, облицовочных материалов (плиток, панелей для стен, потолков). Из отдельных марок ударопрочного полистирола УП изготавливают игрушки, фотопринадлежности, авторучки. Из сополимеров стирола готовят корпуса приборов, телефонных аппаратов, фотоаппаратов, радиоприемников и магнитофонов, авторучек и автокарандашей, детали автомобилей (детали спидометра, стрелки, шкалы, фирменные знаки, подфарники, козырьки и т.д.), приборные щитки, газовые стрелки, канцелярские принадлежности (линейки, лекало), галантерейные товары, детали санитарно-технического оборудования, мебель и др.

Полиметилметакрилат отличается довольно высокой прочностью, химической стойкостью и повышенной температурой размягчения (или стеклования), обычно не ниже 100°C. Он имеет аморфную структуру, прозрачен и известен как органическое стекло (плексиглас и др.), хорошо пропускающее ультрафиолетовые лучи (до 75%, а обычное силикатное стекло только 0,6%). Он широко применяется для товаров народного потребления (хозяйственных, галантерейных и ювелирных изделий).

Полиакрилонитрил (сополимер акрилонитрила со стиролом и бутадиеном) является синтетическим каучуком, идущим на производство масла и жаростойкой резины.

Поливинилацетат – прозрачный и бесцветный твердый пластик с преимущественно аморфной структурой. В пределах 50–100°C становится резиноподобным. Широко используется для приготовления лаков, клеящих составов и красок. Водные растворы идут для приготовления вододисперсионных красок.

Поливиниловый спирт выпускают в виде белого порошка, растворимого в воде. Водные растворы находят применение для приготовления косметических препаратов, красочных паст, клеев и т.п. Из него готовят также волокна (винил) и шнуры. Поливинилспиртовые нити

нашли применение в хирургической практике – швы из таких нитей постепенно рассасываются и снимать их нет нужды.

Поликонденсационные смолы и пластмассы на их основе

В отличие от полимеризации поликонденсация молекул одинаковых и неодинаковых исходных веществ происходит с выделением побочных продуктов реакций (обычно H_2O и HCl и др.). Пластмассы на основе фенолформальдегидных смол называют фенопластами.

Фенопласты вырабатывают преимущественно в виде прессовочных материалов. В пластмассовые изделия пресс-порошки перерабатывают методом горячего прессования (при t 160–180°C). Из пресс-порошков изготавливают многие хозяйственные, канцелярские и культурно-бытовые товары, а также всевозможные технические изделия и детали. Вырабатывают волокнистые и сложные пластики, отличающиеся высокой механической прочностью. Без существенных изменений фенопласты выдерживают длительное воздействие при $t = 125^\circ C$ и кратковременные – до $170^\circ C$. При этом они не размягчаются и не горят. Лишь при нагревании более $250^\circ C$ они постепенно начинают обугливаться. Изделия из фенопластов почти не подвержены старению и устойчивы к действию плесени. Они обладают хорошей влагостойкостью, масло- и бензостойкостью, а также достаточно высокой стойкостью к действию кислот и других химических реагентов, но недостаточно стойки к действию щелочей и концентрированных кислот. При длительном соприкосновении, особенно с горячей водой, фенопласты выделяют некоторое количество фенола и формальдегида, поэтому изготавливать из них пищевую посуду нельзя. Серьезным недостатком фенолформальдегидных пластмасс является их слабая светостойкость и запах. Это связано с содержанием в них некоторого количества свободного фенола. Окисляясь на воздухе, фенолы образуют окрашенные соединения. Вследствие этого естественный желтоватый и светлорыжий цвет фенопластов переходит в пятнистый краснорыжий. Этим же недостатком обладают лаковые пленки на основе фенолформальдегидных смол. Поэтому изделия из фенопластов обычно окрашивают в рыжий и черный цвет.

Аминопласты на основе аминформальдегидной смолы (которую получают поликонденсацией мочевины и меламина с формальдегидом). Применяют для посудохозяйственных нужд, галантерейных, культуртоваров и др. Все они имеют окраску светлых и ярких тонов. По многим свойствам они аналогичны фенопластам. Существенное отличие от фенопластов состоит в бесцветности и светостойкости, а также в отсутствии запаха и меньшем выделении при действии воды вредных веществ. Это дает возможность применять их для пищевой посуды, но не для горячей пищи. Из них делают детали электроосветительного оборудова-

ния (абажуры для ламп, ролики, кнопки, корпуса и выключатели, приборы, заменяющие выключатели).

Полиамиды – основным свойством ценным является их прочность, стойкость к абразивному износу, негорючесть (они воспламеняются лишь с трудом), а также их не загниваемость. Недостатком полиамидов является их относительно слабая устойчивость к действию кислорода воздуха при нагревании и окисляющих агентов (азотной кислоты, перекиси кислорода, растворов перманганата), а также отбеливающих веществ, выделяющих свободный хлор. Полиамиды идут в большом количестве на переработку в синтетические волокна (типа амида и капрона), шнуры, канаты, рыболовные сети, а также щетину, применяемую для одежды и обувных щеток и в швейном производстве. Литьем под давлением из полиамидов вырабатывают оконные петли, воронки, дорожные складные вешалки, одежные кнопки, пуговицы, застежки, молнии, массажные головные щетки, бусы, фигурные каблуки для женской модельной обуви. Их широко используют в технике при изготовлении труб, стержней, лент, изоляционной оболочки для кабелей, подшипников и др. Обладая малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью, они обеспечивают более длительную работу трущихся деталей многих машин, причем с небольшой смазкой или вовсе без нее.

Полиэтилентерефталат на основе полиэфирных смол. Твердый пластик с температурой плавления около 260°C. Полиэтилентерефталатные волокна (лавсан) под действием горячей воды не теряют своей прочности и формы. Применяется для изготовления немнущихся тканей, стойких к действию моли и микроорганизмов. Имеют высокую механическую прочность. По своим свойствам лавсан напоминает шерсть, однако превосходит ее по стойкости к истиранию. Пленки из полиэтилентерефталатных смол применяют для магнитофонов, кино-, фото-, рентгеновских лент, лент счетных машин, для упаковки пищевых продуктов, медикаментов и химикатов. Такие пленки имеют аморфную структуру.

Поликарбонаты имеют преимущественно аморфную структуру. Безвредны, запаха и вкуса не имеют, не чувствительны к ударам. Из них готовят посуду для горячей пищи. В России они называются дифлоном, в США – лексемном, в ФРГ – макролоном.

Алкиды применяют для изготовления лаков и эмалей, дающих атмосферостойкие пленки (для покрытия автомобилей).

Полиэпоксиды занимают особое место благодаря ценным свойствам: высокая влагостойкость, химическая стойкость и исключительная адгезивная способность. Это обусловило их использование для применения в изготовлении влагостойких лаков, клеев универсального применения, цемента, шпаклевок. Высокая адгезивная способность эпоксицидных смол при соединении металлов иногда позволяет заменить пай-

ку и сварку. На их основе готовят шпаклевки для заделки дефектов в металлических изделиях.

Полиуретан – используют для изготовления искусственных кож, каучукоподобных материалов. Эластичный полиуретан используют в производстве мебели, одежды.

Целлулоид – технический (прозрачный, белый), галантерейный (прозрачный, непрозрачный). Угольники, планшеты, расчески, мыльницы.

1.4.3. Хозяйственные товары из пластмассы

По назначению подразделяются на изделия: посудохозяйственного обихода (сахарницы, хлебницы, солонки, вазы, кувшины, коробки для продуктов, емкости для холодильников); для ванной комнаты и туалета (корзины для белья, вешалки для полотенец, емкости для стиральных порошков, щетки и др.); для сада и огорода (лейки, плодосъемники, ящики для инструмента, насадки для шлангов); мебельные и для интерьера жилых помещений (кашпо, горшки и подставки для цветов, табуретки, карнизы, ящики, шкафчики). Подкосы, подставки под чайники, губки для мытья посуды, ящички для хранения ложек, ножей, вилок. Изделия хозяйственного назначения вырабатывают главным образом из полиэтилена ВД и НД, полипропилена, полистирола и сополимеров стирола, аминопластов, фенопластов. На каждый вид изделий разрабатывают техническое описание. Ассортимент для горячей пищи (до 100⁰С) ограничивается изделиями из поликарбоната. Ассортимент галантерейных товаров из пластмассы очень велик. Туалетные принадлежности, гребенные изделия, одежда, фурнитура, предметы украшения, декоративные изделия, предметы для рукоделия. Культурно-бытовые, игры, настольные украшения, игрушки, канцелярские изделия, фотопринадлежности.

1.4.4. Особенности оценки качества изделий из пластмасс

По составу, химическим и физико-механическим свойствам пластмассы и их составные части должны удовлетворить требованиям стандартов. Особенно тщательной и всесторонней проверке должны подвергаться изделия из новых пластмасс и новой конструкции. Изделия должны быть изготовлены из тех пластмасс и таких окрасок, которые предусмотрены техническими условиями на эти изделия. Многие синтетические смолы и пластмассы физиологически безвредны, но содержащиеся в них остатки (стирола, формальдегида, фенола и др.), а также некоторые специально введенные пластификаторы, красящие вещества, катализаторы могут быть токсичными. Поэтому производство и использование пластмассовых бытовых товаров, находящихся в постоянном контакте с человеком (пищевая посуда, тара, упаковка и др.), допускает-

ся лишь с разрешением органов госнадзора, а жилищных строительных материалов из пластмасс, кроме того, с разрешением органов пожарного надзора.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о составе пластических масс.
2. Что вы знаете о применении пластика в быту?
3. Какие требования предъявляют к пластикам при применении их в быту?
4. Какие виды пластмасс вы знаете?
5. Какие положительные и отрицательные свойства пластмасс вам известны?
6. Назовите вид пластмасс, применяемых для изготовления линолеума.
7. Назовите вид пластмасс, идущий на изготовление органического стекла.
8. Назовите вид физиологически безвредного пластика.
9. Какой вид пластмасс идет на изготовление тары и упаковки?
10. Назовите вид пластмасс-диэлектриков.

1.5. Природные каменные материалы

Природные каменные материалы разделяются на две большие группы: камни и сыпучие материалы.

Камни представляют собой каменные породы, залегающие в виде слоев, толщ или массивов, прорезанных системой естественных трещин. В зависимости от степени трещиноватости месторождений при добыче получают каменные блоки больших или малых размеров, а также бут. К камням относят: вулканические туфы, породы группы базальтов (базальты, андезиты, дациты), породы группы гранитов (граниты, гранодиориты, диориты, габбро и др.), мраморы, известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, кварциты и др.

Сыпучие материалы представляют собой рыхлые или слабоуплотненные скопления каменного материала величиной обломков от тончайшей пыли до крупных кусков. При добыче получают обычно сыпучие материалы разного зернового состава. К ним относятся пемзы, вулканические шлаки, вулканические пеплы – трассы, диатомиты, песок, песчано-гравийные материалы.

По происхождению природные каменные материалы классифицируются следующим образом:

1. Изверженные породы: глубинные (породы группы гранитов); обломочные спекшиеся (вулканические туфы); обломочные рыхлые (пемзы, вулканические шлаки, пеплы и др.).

2. Осадочные породы: химические осадки (гипс, некоторые известняки, доломиты); органические (некоторые известняки); обломочные сцементированные (конгломерат, песчаник); обломочные рыхлые (пески, песчано-гравийные материалы и др.).

3. Метаморфические породы – мраморы, кварциты и др.

Природные каменные материалы являются по химическому составу силикатами, в зависимости от содержания SiO_2 разделяют на пять групп: ультраосновные (менее 40%), основные (40–52%), средние (52–65%), кислые (65–75%) и ультракислые (более 75%).

По своей твердости, трудоемкости добычи и обработки природные камни подразделяются на материалы твердые (граниты, базальты, кварциты), средней твердости (мраморы, известняки, туфы) и мягкие (гипсовый камень, рыхлые известняки).

В зависимости от области применения природные каменные материалы и изделия из них классифицируются следующим образом:

1. Применяемые в строительстве и архитектуре: строительные камни и архитектурно-строительные изделия (стенные, фундаментные, облицовочные, декоративные и другие камни и плиты, профильные изделия, ступени, подоконники и пр.); дорожно-строительные каменные материалы (бортовые камни, тротуарные плиты, брусчатка, щебень и песок, балласт); заполнители бетонов (материалы для тепло- и звукоизоляционных изделий, легкие и тяжелые заполнители бетона и железобетона), активные минеральные добавки (к цементу, извести и другим вяжущим), наполнители асфальта, пластмасс, красок и пр.

2. Применяемые в качестве сырья для производства различных строительных материалов и изделий из них: вяжущие (известь, гипс, цемент и др.); стекло и стекловолокно; каменная керамика и огнеупоры; каменное литье.

3. Применяемые в промышленности: размалывающая гарнитура; кислотостойкие изделия и каменная лука; наполнители резин, пластмасс; абразивы; части машин и станков из каменного литья.

4. Применяемые в быту и искусстве: изделия утилитарного назначения (чернильные приборы, подставки, столешницы и др.); художественные подделки (украшения, ювелирные изделия, сувениры и пр.); скульптура, художественная мозаика.

5. Применяемые в сельском хозяйстве: каменная лука в качестве удобрения; пористые заполнители для облагораживания структуры почвы.

Добыча и обработка природных каменных материалов производится механизированным или полумеханизированным способом.

Полностью механизированы добыча туфовых камней правильной формы, производство облицовочных плит из туфов и мраморов, бортовых камней из базальтов, добыча и переработка пемзоматериалов, вулканических шлаков, туфовых заполнителей, природных песков, песча-

но-гравийных материалов, производство базальтового и гранитного щебня, мраморной крошки, кислотоупорной каменной луки, молотой пемзы и др.

Полумеханизированными остаются в основном добыча штучных глубооколотых камней из туфов и базальтов, производство гранитной брусчатки и некоторых базальтовых изделий.

Добыча каменных материалов на тракторной тяге и врубовыми машинами, а отходы добычи удаляют бульдозерами.

Добыча сыпучих материалов – пористых и плотных – производится экскаваторами различных марок с предварительным разрыхлением залежей взрывом.

1.5.1. Вулканические туфы

Вулканические туфы являются пористыми каменными породами, состоящими из продуктов вулканических выбросов в виде мелкого обломочного материала, скрепленного тем или иным путем. В зависимости от условий образования вулканические туфы могут иметь совершенно различную качественную характеристику. Наилучшими показателями обладают спекшиеся вулканические туфы, образованные из отложений раскаленного и насыщенного газами мелкообломочного материала. В этих туфах размягченные от высокой температуры частицы подверглись спеканию (или «сварились»), создав крепкие или стойкие породы. В отличие от спекшихся есть еще цементированные туфы, в которых вулканический мелкообломочный материал скреплен природным цементом различного состава.

Типы вулканических туфов отличаются друг от друга по цвету и внешнему виду, по текстуре, характеру основной массы, представляющей собой тонкодисперсное вулканическое стекло; характеру и количеству включений минералов (полевые шпаты, пироксен и пр.), обломков вулканического стекла, эффузивных и других пород; наличию вторичных образований.

Эффузивные породы – излившиеся магматические породы, образовавшиеся в результате застывания лавы. Обычно характеризуются сочетанием вулканического стекла, мелких кристаллов и более крупных порфирированных выделений.

Пироксены – группа минералов, подкласса силикатов $R_2(SiO_2)$, где $R-Li, Na, Mg, Fe, Al$ и др.

Прочность туфов зависит от объемного веса (пористости) туфов.

Туфы бывают желтого, оранжевого, фиолетово-розового, розовато-красного, красного, коричневого, черного, розовато-красного, зеленоватого, синевато-белого, кремового и других преимущественно светлых оттенков.

Применение вулканических туфов

Туфы, благодаря своим физико-механическим свойствам (прочности, истираемости, износу, звукопоглощаемости) издревле применялись в качестве основного стенового камня. Естественная разнообразная окраска туфов и их декоративность представляют большие возможности для архитектурного оформления зданий. До нашего времени дошли в сохранности возведенные из четвертичных вулканических туфов архитектурные памятники, простоявшие от 1000 до 1600 и более лет. Самым древним из этих памятников является собор, возведенный в 303 году из туфа ереванского вида.

Изучение древних сооружений показало долговечность вулканических туфов как стенового материала. Высеченные на туфах тонкие орнаменты, сохранились без изменений. В цоколях же зданий, не имеющих гидроизоляции, они со временем подвергаются поверхностному выветриванию, первые признаки которого в отдельных камнях появляются примерно через 50 лет. Поэтому следует воздерживаться от применения туфов в цоколях, или же устраивать гидроизоляцию на уровне верха фундамента.

Туфы широко применяются для облицовки стен. Благодаря своей окраске, они являются одновременно и облицовочным материалом.

Туфы применяют для облицовки и футеровки печей, труб и дымоходов, где температура не превышает 800°C. Туфы можно применять в химической промышленности для кислотоупорной футеровки. При этом их поверхность должна быть покрыта мастикой из туфового порошка и жидкого стекла. Отходы добычи и обработки туфов могут быть использованы для производства различных изделий по силикатной технологии, в качестве активной минеральной добавки, филлера асфальтобетона, наполнителя пластмасс, резин.

Из туфов было получено стекловолокно при шихтовке их с доломитом, известняком и содой. Это стекловолокно не уступает по прочности получаемого на основе общепринятой сырьевой смеси, более сложной по числу компонентов и более дорогой.

Исследования НИИ камня и силикатов показали возможность производства из туфового расплава высококачественных мелкокристаллических материалов, являющихся универсальным конструкционным материалом будущего.

1.5.2. Породы группы базальтов

В процессе вулканических извержений, излившихся на земную поверхность, лавовые потоки после застывания образовали так называемые эффузивные горные породы, среди которых наибольшее распространение имеют базальты и близкие к ним породы – андезиты, дациты,

а также промежуточные разновидности – андезито-базальты, андезитодациты, которые объединяются под общим названием базальты.

Базальты по химическому составу содержат порядка 50% или меньше SiO_2 . Структура большей части равномерно-зернистая. Цвет базальтов темно-серый, синеватый или черный. Базальты обычно представляют собой плотные и высокопрочные породы, но имеются и пористые разновидности, мелкопористые и крупнопористые.

Андезиты имеют средний химический состав. Содержание SiO_2 порядка 60%. Цвет андезитов серый и темно-серый. По плотности и прочности они уступают базальтам.

Дациты отличаются более кислым составом: содержание SiO_2 порядка 65%. В его состав входят также зерна кварца. Цвет дацитов светло-серый и серый. Переходные породы – андезито-базальты и андезитодациты – разнообразны по составу.

По пористости и объемному весу породы группы базальтов можно разделить на две категории:

легкие – с объемным весом 1900–2200 кг/м³;

тяжелые – с объемным весом 2200–2800 кг/м³;

Прочность группы базальтов в зависимости от степени их пористости меняется в широких пределах.

Породы, отнесенные к легкой категории, обычно имеют прочность при сжатии 300–600 кг/см², а тяжелые от 600–2000 кг/см². При одной и той же пористости базальты прочнее других пород этой группы.

По коэффициентам размягчения и морозостойкости породы группы базальтов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к строительным камням.

Применение пород группы базальтов

Породы группы базальтов издревле применялись для строительства. Государство Урарту возводили фундаменты и цоколи зданий из базальтовых глыб. Имеются многочисленные памятники средневековой архитектуры, возведенные из базальта и андезито-базальта. К ним относятся церкви в Сислане (VI–VII века, Армения), монастырь (IX век, Армения). Обследование древних сооружений показало прекрасную сохранность камня. Базальты и андезито-базальты являются одним из наиболее долговечных строительных камней. Андезиты в этом отношении несколько уступают. В монументальных зданиях породы группы базальтов применяют как облицовочный материал. Поскольку базальты отличаются высокой прочностью, то плиты из них можно изготавливать толщиной порядка 10–15 мм.

Из базальтов и андезито-базальтов рекомендуется изготавливать бортовые камни, поскольку они несравненно долговечнее бетонных.

Породы группы базальтов применяют на предприятиях химической промышленности в виде кислотоупорных изделий или порошка для обмазок.

Из крупнопористых разновидностей базальтов изготавливается гарнитура для размола бумажной массы (рамы, бегуны, планки, ножи), ступени, подпорные стены.

Перспективно использование плавленного базальта в строительстве и промышленности для изготовления труб, фасонных частей, деталей машин.

На основе базальтов получают каменно-керамические изделия. Базальтовый порошок льют и прессуют под давлением $600\text{--}700\text{ кг/см}^2$. Физико-технические показатели прессованных изделий выше, а после их обработки при температуре $1100\text{--}1200^\circ\text{C}$ прочность на сжатие достигает 1600 кг/см^2 .

Базальты содержат в ощутимом количестве железо, алюминий, магний, титан, ряд редких металлов. Когда исчерпаются богатые рудные месторождения и будут разработаны эффективные технологические приемы извлечения металлов из базальтов, они станут реальным металлургическим сырьем.

1.5.3. Породы группы гранитов

К породам группы гранитов относят изверженные глубинные (интрузивные) каменные породы полнокристаллической породы (гранит, гранодиорит, диорит, сиенит, габбро и др.).

Интрузивные горные породы – полнокристаллические магматические горные породы, образовавшиеся в результате застывания магмы в толще земной коры. Эти породы образовались из раскаленной магмы при внедрении ее в трещины земной коры вследствие вулканической или тектонической деятельности в условиях медленного остывания каменного расплава и его кристаллизации под давлением вышележащей толщи земли.

Породы группы гранитов целиком состоят из кристаллов (зерен) различных минералов, крепко сцепленных друг с другом без какого-либо вяжущего вещества. Они весьма плотны, прочны, поддаются полировке и имеют красивую текстуру.

Гранит состоит из полевого шпата (ортоклаз и пламоклаз), кварца и слюды. Встречаются также граниты, не содержащие слюды. Цвет гранита серый, розовый или красный.

Диорит состоит главным образом из полевого шпата и роговой обманки. Кварц отсутствует или содержится в незначительном количестве. Цвет диорита зеленовато-серый. По своим физико-механическим свойствам он не уступает граниту.

Гранодиорит по минералогическому составу занимает среднее место между гранитом и диоритом.

Сиенит содержит те же минералы, что и гранит, за исключением кварца. Цвет его более светлый. Сиенит несколько легче гранита, легче полируется.

Габбро по составу близок к диориту. Содержит плагиоклаз (лабрадор), роговую обманку и биотит. Цвет темно-серый или черный. Лабрадорит является одной из его разновидностей и обладает синеватым или зеленоватым оттенком и иризацией, т.е. свойством образовывать радужные отсветы на полированной поверхности.

Монзонит содержит плагиоклаз, ортоклаз, кварц, роговую обманку, биотит. Цвет от светло-серого до темно-серого.

По величине зерен различают три структуры пород группы гранитов: мелкозернистую – до 2 мм, среднезернистую – до 5 мм, крупнозернистую – свех 5 мм. Чем меньше величина зерна, тем больше прочность гранита.

Физико-механические свойства гранитов: средний объемный вес гранитов составляет 2667 кг/м^3 (2590–2890), пористость – 3,09%, предел прочности при сжатии – 1540 кг/см^2 (1025–2004).

Применение пород крупных гранитов

Гранит применяют в качестве облицовочного камня для облицовки цоколей и стен монументальных зданий, в памятниках и малых формах городской архитектуры.

В облицовках гранит используют как в виде облицовочных камней, так и плит с тесаной (обычно точечной) или полированной (зеркальной или лощеной) фактурой лицевой поверхности. Граниты широко применяют в дорожном строительстве: брусчатка, гранитный щебень. Облицовочный материал для полов и ступеней.

На горнохимических комбинатах из сиенита извлекают глинозем и ценные химические продукты.

Мраморы

Мраморы принадлежат к метаморфическим горным породам. Они образовывались из известняков, подвергшихся видоизменению в результате тектонических движений земной коры, под действием высокого давления и температуры.

Вследствие кристаллической зернистой структуры мраморы хорошо полируются.

По цвету, мраморы разделяются на два вида: белые и цветные. К цветным относятся розовые, желтые, серые, голубоватые, коричневые, красные, черные и др. Цветным мраморам свойственна неоднородность цвета, а также наличие прожилковой окраски, придающей мрамору ка-

ждого месторождения свой характерный рисунок. Мраморные конгломераты отличаются пестроцветностью. В мраморном ониксе ценится его просвечиваемость.

По величине зерна различаются мелко-, средне-, крупнозернистые мраморы.

Наибольшей прозрачностью и долговечностью обладают мелкозернистые мраморы. Объемный вес мраморов от 2630–2780 кг/м³, предел прочности при сжатии в сухом состоянии 542–1740 кг/см²; в водонасыщенном 527–1440 кг/см².

Мраморы применяют в виде распиленных плит и профильных деталей в основном для внутренней отделки зданий и сооружений. Ими облицовывают внутренние поверхности стен, прилавки в магазинах, столбы, полы, ступени, подоконники и другие части зданий и сооружений. Фактура лицевой поверхности мраморных плит и профильных деталей бывает зеркальной и лощеной. Первую получают путем обработки полировальным порошком до появления глянца, вторую – путем обработки тонким шлифовальным порошком. В исключительных случаях, когда белые мраморы применяют для наружной облицовки, им придают шлифовальную фактуру.

Из отходов добычи мраморов и их обработки получают мраморную крошку, которую применяют для устройства мозаичных полов, изготовления ступеней, подоконников и других деталей, а также для наружной террофасадной штукатурки. Благодаря звукоизоляционным свойствам мраморные плиты используют в качестве щитов в электротехнических установках с рабочим напряжением до 550 В (в закрытых помещениях).

Общеизвестно применение мраморов в скульптуре и производстве бытовых художественных изделий (чернильные приборы, подставки, столешницы, сувениры и т.д.). Мраморами облицованы станции метро: Новокузнецкая, Динамо, Сокол, Белорусская, Площадь Революции, Курская, Киевская, фойе Кремлевского Дворца.

Известняки

Они относятся к осадочным породам и состоят в основном из карбида кальция. Известняки имеют белый цвет, во многих случаях с разными оттенками: кремовый, желтоватый, сероватый, буроватый. По степени пористости бывают плотные, мелкопористые, крупнопористые и пещеристые. Объемный вес 2315–2690 кг/м³; предел прочности на сжатие 875–1583 кг/см² в сухом и 986–2206 кг/см² в водонасыщенном состоянии.

Применяют в качестве сырья для получения извести, цемента, карбида, щебень для строительных работ, наполнитель, филлер, стеновой камень.

Доломиты

Относятся к осадочным породам, объемный вес 2500–2640 кг/м³. Применяют в качестве сырья для стекольной и огнеупорной промышленности (CaCO₃, MgCO₃).

Гипсовые породы

Гипсовый камень (гипс), глиногипс и ангидрид относятся к осадочным породам химического происхождения.

Эти каменные породы являются сырьем для производства вяжущих – гипса, цемента, но могут применяться и в качестве стенового и облицовочного камня (для отделки внутренних помещений, а также фасадов). Гипсовый камень можно полировать. Имеются разновидности розового, белого, голубого и других цветов. Объемный вес 1800–2000 кг/м³, предел прочности на сжатие 300–1000 кг/см². Гипсовый камень, применяемый для строительного производства (штукатурного) и формового гипса, должен содержать в высушенном при 60°C состоянии не менее 85% CaSO₄ 2H₂O (водная сернокислотная соль кальция).

Порфириты

Представляют собой эффузивные породы, отличающиеся от породы группы базальтов своим более древним происхождением и измененностью. Они большей частью представлены в строительстве в качестве бутового камня и щебня. Объемный вес 2500–2700 кг/м³. применяется для фундаментов и невысоких подпорных стен.

Огнеупорные каменные породы

Делятся на два вида – алюмосиликатные и магнезиальносиликатные.

Алюмосиликатные породы являются природным шалотом, так как могут заменить шалоты, получаемые путем обжига огнеупорных глин. Магнезиальносиликатные породы являются сырьем для производства магнезиальных огнеупоров.

Алюмосиликатные породы применяются в тонкой керамике, как заменитель каолина при изготовлении различных изделий: облицовочных плиток, санитарно-технического и хозяйственного фаянса, электро-технического и хозяйственного фарфора.

Менее чистые породы идут на изготовление менее ответственных керамических изделий: тугоплавкого кирпича, канализационных труб, плиток для полов, керамических сосудов и хозяйственно-бытовой жароупорной посуды (где цвет черенка не имеет значения)

Природные минеральные краски

Природными минеральными красками называют тонкомолотые цветные минералы и горные породы, не растворимые в воде и органических растворителях, используемые в качестве пигмента без химической переработки в известковой, масляной и других видах красок.

Природные минеральные краски устойчивы к свету и химическим воздействиям, водостойки и совершенно безвредны. По дешевизне они конкурируют с синтетическими красками.

Цвета: светло-красный, ярко-красный, кирпично-красный, коричнево-красный, желтый, темно-голубой, зеленый и др. Изготовление красок сводится к сортировке породы (туфовый пепловый материал) по цвету, размолу, просеву и ушке пылевидных фракций.

Сыпучие каменные материалы

Пемзы, шлаки, перлитовые породы, диатомиты используются в качестве заполнителей для легких бетонов, теплоизоляционных материалов, активных минеральных добавок к вяжущим и абразивам.

Пески и песчано-гравийные материалы используют в качестве заполнителей бетонов и строительных растворов, дорожно-строительных материалов.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют природные каменные материалы?
2. Какие виды природных каменных материалов вы знаете?
3. О каких основных свойствах природных каменных материалов вы можете рассказать?
4. Назовите осадочные породы.
5. Назовите метаморфические породы.
6. Назовите материалы, применяемые в стекольной промышленности.
7. Назовите сыпучие каменные материалы.
8. Назовите каменные материалы, применяемые для внутренней отделки.
9. Назовите породы группы гранитов.
10. Назовите породы группы базальтов.

1.5.4. Обработка природного камня

Для выявления декоративно-отделочных свойств камня необходимо решить вопрос о характере обработки его поверхности. Обработка камня осуществляется на камнеобрабатывающих предприятиях и включает следующие операции: распиливание блоков на плиты и бруски требуе-

мой толщины, фрезерование (обрезку) плит и брусков по заданным размерам, профилирование и фактурную отделку.

Фактуры, получаемые обработкой скалыванием

Обработку поверхности камня скалыванием производят ударными механизированными и ручными инструментами. Различают следующие виды фактур.

Фактура типа скалы

Характеризуется естественным колом камня, образуя бугры и впадины на поверхности без следов инструмента – закольника. Высота рельефа 50–150 мм. Таким способом обрабатывают гранит, сиенит, диорит, лабрадорит, габбро, базальт, известняк, песчаник, кварцит.



Рис. 1.59. Фактура типа скалы

Бугристая фактура

Равномерное чередование бугров и впадин 5–15 мм со следами инструмента. Получается обработкой камня шпунтом, направленным под углом 45–60 градусов к отделяемой поверхности. Обрабатывают гранит, песчаник, известняк, туф.

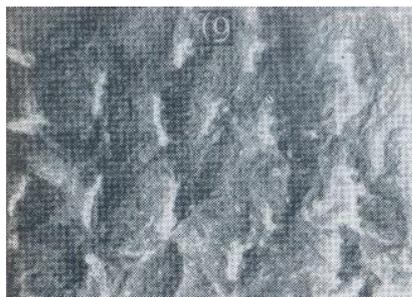


Рис. 1.60. Бугристая фактура

Рифленая фактура

Правильные неправильные параллельные бороздки с чередованием бугров и впадин высотой рельефа 1–3 мм. Получается посредством обработки троякой поверхности таких горных пород, как мрамор, известняки, туфы и песчаники.

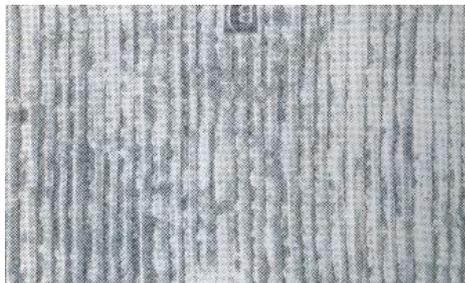


Рис. 1.61. Рифленая фактура

Бороздчатая фактура

Равномерно шероховатая поверхность с прерывистыми параллельными бороздками и высотой рельефа 0,5–2,0 мм. Получается посредством обработки пластинчатой бучардой поверхности гранита, сиенита, диорита, габбро, диабазы, базальта.

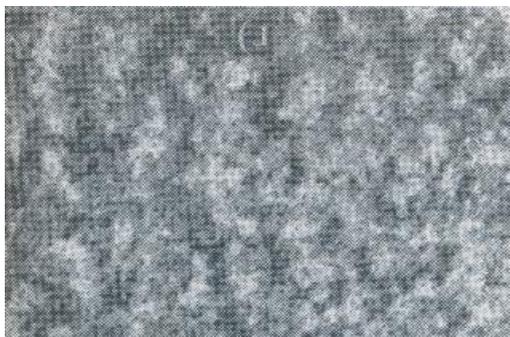


Рис. 1.62. Бороздчатая фактура

Точечная фактура

Равномерно шероховатая поверхность с точечными углублениями и высотой рельефа 0,5–2,0 мм получается путем обработки крестовой бучардой поверхности гранита, сиенита, диорита, габбро, диабазы, базальта.

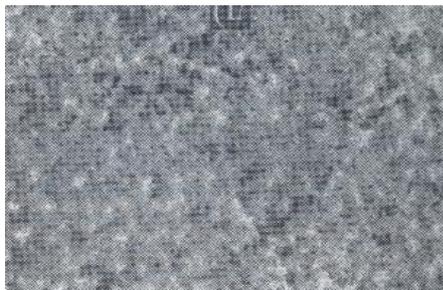


Рис. 1.63. Точечная фактура

1.5.5. Фактуры, получаемые обработкой абразивами

Эти виды фактур получают обработкой поверхности камня на станках резанием, пилением, фрезерованием или истиранием абразивными материалами. Различают следующие виды абразивных фактур:

Пиленая

Прерывистые длинные бороздки с высотой рельефа до 2,0 мм. Получается путем распиливания на станках большинства горных пород.



Рис. 1.64. Пиленая фактура

Шлифованная

Легкая равномерная шероховатость; вид матовый; высота рельефа до 0,5 мм. Процесс получения данной фактуры следующий: обдир, грубая шлифовка, тонкая шлифовка. Твердые породы обдирают крупными зернами стальмассы с водой, а мягкие брусками карборунда или с помощью стальных или чугунных утюгов-гладилок, а в качестве абразивов применяют наиболее твердые зерновые абразивы – кварц, корунд, карборунд. Шлифованная поверхность не имеет царапин и на ощупь гладкая. Этот способ применяют для гранита, сиенита, диорита, габбро, базальта, диабаза, мрамора, известняка, туфа.

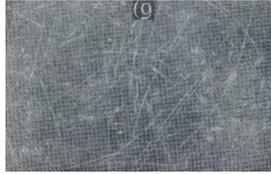


Рис. 1.65. Шлифованная фактура

Лощеная

Гладкая бархатисто-матовая с выявленным рисунком камня для твердых пород. Лощение производят мелкозернистыми брусками «пятиминутками», а для мягких пород – брусками «десятиминутками» с последующей обработкой пемзой. Применяют для гранита, сиенита, диорита, мрамора, известняка.



Рис. 1.66. Лощеная фактура

Зеркальная

Гладкая поверхность, дающая четкое отражение и полностью выявляющая природный цвет и рисунок камня. Рекомендуется для наиболее декоративных пород: гранита, сиенита, диорита, габбро, лабрадорита, мрамора, кварцита, гипсового камня. При получении зеркальной фактуры все трещины на поверхности камня затирают мастикой под цвет камня паяльником. Зеркальную поверхность получают при окончательной полировке. Накатку глянца производят с помощью полированных порошков (оловянной золы, крокуса красного и зеленого) и войлочных гладилок или холста (для гранитов).

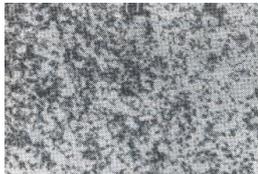


Рис. 1.67. Зеркальная фактура

Пескоструйная обработка

Этим способом получают разнообразные рисунки и надписи на поверхности камня, а также изготавливают орнаментальные каменные решетки. Обработка заключается в следующем: воздух, нагнетаемый под давлением 5–7 атм, выбрасывает через сопло струю крупнозернистого песка на обрабатываемую поверхность камня. Последнюю предварительно покрывают металлическим шаблоном или пленкой резинообразного вещества с вырезанным рисунком. Песок выбрасывает незащищенные участки на требуемую глубину. Рисунки и надписи выполняются на полированной поверхности, главным образом, на темных породах: габбро, лабрадорите, граните, мраморе. Фактура получается матовая светло-серая.

1.5.6. Изделия из каменного литья

Каменное литье: искусственный материал, получаемый расплавлением при температуре 1400–1450 градусов горных пород (главным образом базальта и диабаз) с последующей тепловой обработкой разлитого по формам расплава. В зависимости от сырья и цвета различают каменное литье: темное – из вулканических пород и металлургических шлаков (базальт – 88%, горндлендим – 10% и хромистый железняк – 2%); светлое из кварцевого песка и осадочных горных пород (песок кварцевый – 46%, доломит – 32%, известняк – 22%).

В настоящее время из каменного литья изготавливают также изделия для цокольных частей зданий, для карнизных и балконных плит, различные рельефные изделия и др. Примером применения светлого каменного литья является скульптура «Рабочий и колхозница», фронтона главного входа Московского университета им. М.В. Ломоносова. Применение изделий из каменного литья значительно повышает долговечность и надежность зданий и сооружений, сокращая при этом эксплуатационные расходы.

В Швеции выпускается теплозвукоизоляционный материал «синсул» в виде плит и матов с разной обшивкой и объемной массой 40–150 кг/м³. Для его изготовления используют горную породу – диабаз и природные материалы диабазного происхождения. Масса, расплавленная при $t = 1450^{\circ}$, центрифугируется с прялки на прялку до тех пор, пока она не будет преобразована, по возможности полностью, в волокно, которое обрабатывается полимерами.

1.5.7. Защита изделий из горных пород от коррозии

Защита от коррозии строительных материалов

При использовании строительных материалов, подверженных воздействию агрессивных сред, необходимо предусматривать мероприятия по повышению их стойкости путем улучшения структуры, дополни-

тельной обработки поверхности, нанесения защитных покрытий, придания материалам такой формы, чтобы агрессивные среды не могли на них задерживаться, а также выбирать материалы, стойкие в этих средах. Агрессивной является среда, под воздействием которой происходит изменение свойств и структуры материала, приводящее к снижению его физико-механических и декоративно-отделочных свойств и преждевременному разрушению.

По своему состоянию агрессивные среды делятся на три группы:

газовая – вид и концентрация газов, влажность и температура, растворимость газов в воде;

жидкая – растворы кислот, щелочей и солей, органические жидкости; наличие агрессивных агентов, их концентрация и температура, а также величина напора или скорость притока к поверхности материала;

твердая – соли, грунты, аэрозоли, пыль и др.; дисперсность, растворимость в воде, гигроскопичность, влажность окружающей среды и самого материала.

Степень коррозионной стойкости материала характеризуется скоростью коррозии его при действии агрессивной среды. Коррозионная стойкость металлов определяется скоростью в мм/год, неметаллических материалов – оценивается качественно по изменению физико-механических свойств (прочности, проницаемости и т.д.).

Степень агрессивного воздействия среды на материал может быть слабая, средняя и сильная. В зависимости от условий эксплуатации (влажности, температуры и др.) одна и та же агрессивная среда может иметь разную степень агрессивного воздействия на различные материалы.

При определении степени агрессивного воздействия газовых и твердых сред принимают следующую относительную влажность воздуха (в %): для отапливаемых помещений – 60; 61–75 и 75; для открытых конструкций и не отапливаемых помещений – три зоны влажности – сухую, нормальную и влажную. Жидкой агрессивной средой может быть вода – среда, действующая на подземные конструкции, а также технологические неорганические и органические растворы, которые действуют на надземные и подземные конструкции. Элементы конструкций, находящиеся в условиях воздействия агрессивных сред, должны иметь доступ для систематического осмотра и периодического возобновления антикоррозионной защиты. В случае невозможности выполнения этого условия следует предусматривать усиленную защиту этих элементов.

При выборе материалов для ограждающих конструкций зданий и сооружений и проектировании их защиты следует учитывать преобладающее направление ветров и плотность застройки, в зависимости от которых следует выбирать необходимую антикоррозионную защиту.

К материалам и изделиям, стойким к коррозии, относятся: материалы и изделия из природного камня, изделия из стекла, каменное литье, керамические материалы, мастики, растворы и бетоны на органических вяжущих веществах, материалы на основе битумных и дегтевых вяжущих веществах, материалы и изделия на основе полимеров, лакокрасочные материалы, металлы и древесина, обладающие необходимой химической стойкостью и требуемыми физико-механическими свойствами.

Защита от коррозии изделий из природного камня

Изделия из природного камня в процессе службы в сооружениях подвергаются постепенному разрушению, которое происходит под действием воды, микроорганизмов, колебания температур и др.

Многочисленные факторы, способствующие разрушению горных пород, можно разбить на три группы:

физические – колебания температуры, растворяющее действие воды, расширяющее действие воды при замерзании, механическое воздействие песчаных частиц, перенесенных ветром;

химические – гидrolитическое действие воды, растворяющее ее действие при наличии в ней газов и кислот, действие различных газов, находящихся в атмосферном воздухе;

органическое выветривание – влияние жизнедеятельности некоторых низших организмов (лишайников, грибов).

Для предохранения изделия из горных пород от разрушения принимают ряд мер: выбирают такую горную породу, которая была бы достаточно устойчивой в течение сроков нормальной службы; используют конструктивную защиту – придают изделиям ровную и гладкую поверхность путем шлифования и полирования, чтобы агрессивная среда не могла задерживаться на них; повышают стойкость путем пропитывания поверхностного слоя на достаточную глубину составами, затрудняющими проникновение в него воды и газов; в результате на поверхности образуются трудно растворимые в воде вещества.

Эффективные средства предохранения камня от коррозии:

1) пропитка поверхности растворами магниевых, цинковых и других солей, кремнефтористоводородной кислоты (флюатирование) с предварительной обработкой поверхности раствором извести или без обработки (для известняков, мраморов);

2) покрытие органическими веществами – битумом, дегтем и др.;

3) пропитка растворимым стеклом и хлористым кальцием, в результате чего на поверхности камня образуются нерастворимые соединения кальция и кремнекислоты, закрывающие поры;

4) обработка поверхности камня синтетическими полимерами, главным образом кремнийорганическими, типа силиконатов натрия.

Пример флюатирования: $2\text{CaCO}_3 + \text{MgSiF}_6 = 2\text{CaF}_2 + \text{MgF}_2 + \text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2$. Получающиеся новообразования практически нерастворимы в воде; они отлагаются в порах, уменьшают смачиваемость поверхности и препятствуют загрязнению облицовки пылью.

1.6. Изделия из стекла

Стекольная промышленность нашей страны за последние годы добилась больших успехов. Значительное развитие получило производство новых видов строительных изделий из стекла – стеклопрофилита, стеклянных блоков, стемалита, коврово-мозаичных плиток, стеклопакетов, армированного и узорчатого стекла и дверных полотен. В общем объеме производства стекла удельный вес изделий архитектурно-строительного назначения значительно увеличился. В последние годы получила широкое развитие новая отрасль народного хозяйства по производству изделий из стеклокристаллических материалов – ситаллов и шлакоситаллов. Впервые в мире в Советском Союзе освоено и развивается производство листового и прессованного шлакоситалла, используемого в строительстве и других областях народного хозяйства.

Наша промышленность выпускает стекло листовое, облицовочное и изделия из стекла. Прозрачность, высокая химическая стойкость и достаточная механическая прочность позволяют применять стекло не только для остекления, но и как конструктивно-отделочный, тепло- и звукоизоляционный материал (стекло толщиной 10 мм приблизительно соответствует кирпичной стене толщиной 120 мм).

1.6.1. Стекло листовое

Стекло листовое – это основная продукция стекольных заводов, производящих строительное стекло. В зависимости от способа производства листовое стекло имеет полированную, огненно-полированную, неполированную, ковную или узорчатую поверхность.

Стекло оконное – прозрачное неполированное листовое стекло толщиной от 2 до 6 мм. Его делят на три сорта в зависимости от следующих дефектов: полосности (неровности на поверхности), свиля (нитевые полосы), пузыри, инородные включения и царапины. Листы стекла должны иметь ровные кромки и целые углы. Стекло оконное листовое применяют в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий для остекления световых проемов, окон, дверей, фонарей и светопрозрачных перегородок, для изготовления стеклопакетов и др.

Стекло полированное – получают путем специальной обработки (шлифовки и полировки) листового стекла. Стекло не должно давать заметных оптических искажений предмета при просмотре через него.

По качеству его делят на три сорта. Применяют для устройства витрин, изготовления зеркал, автомобильных стекол, остекления световых проемов зданий и сооружений.

Стекло витринное – неполированное и полированное плоское и гнутое стекло. Применяют для остекления наружных и внутренних витрин больших проемов в магазинах, кинотеатрах, клубах, ресторанах, выставочных залах, аэропортах, вокзалах и других зданиях, а также для изготовления витринных стеклопакетов и зеркал. Витринное стекло устанавливают в деревянном, железобетонном или металлическом переплете. Расстояние между наружным и внутренним стеклами витрин определяется назначением и методом устройства витрин (выносные и др.), а также толщиной стены. Целесообразно применять витринные стеклопакеты.

Армированное стекло

Внутри листа параллельно его поверхности в процессе проката запрессовывается металлическая сетка – проволока диаметром 0,4–0,5 мм. Благодаря армированию повышается огнестойкость стекла и при ударе не образуется разлетающихся осколков. Поверхность стекла может быть гладкой и узорчатой, полированной и неполированной. Стекла могут быть бесцветные и цветные. Их получают путем нанесения окиснометаллической пленки на поверхность бесцветного стекла, и они имеют золотистый цвет. Армированное стекло применяют для остекления световых фонарей, лифтовых шахт, ограждений лестничных клеток, а также дверей и перегородок в помещениях, где к остеклению предъявляют повышенные требования в отношении огнестойкости и безопасности. Цветное стекло применяют для устройства декоративных светопрозрачных плафонов и перегородок в жилых домах, санаториях, на предприятиях общественного питания и др.

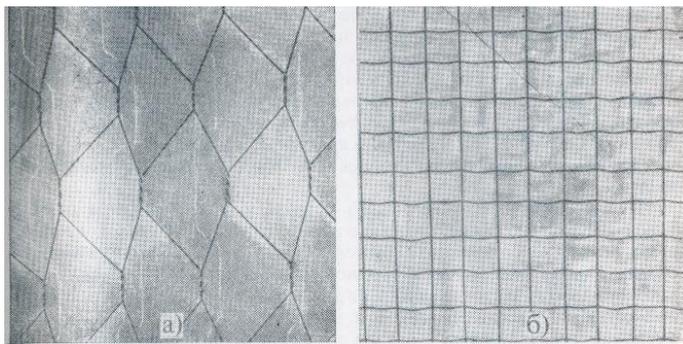


Рис. 1.68. Армированное стекло: а) с крупными и б) мелкими ячейками

Закаленное стекло

Сталинит – плоское полированное или неполированное стекло, обладающее высокой механической прочностью и термической стойкостью; безопасен по характеру разрушений (дает осколки с не режущими краями); но не допускает резки, сверления и другой механической обработки. Листы должны иметь обработанную кромку. Оконное или другое стекло вырезанное по заданному размеру, а также целое дверное полотно или другие изделия с готовыми отверстиями подвергают закалке в электропечи при температуре 600–680°, а затем производят двустороннюю обдувку воздухом.

Благодаря быстрому охлаждению в стекле возникают равномерно распределенные внутренние напряжения, придающие ему повышенную механическую прочность и теплостойкость. Закаленное стекло обладает пределом прочности при сжатии – до 900 МПа и выдерживает, не разрушаясь, удар свободно падающего стального шара массой 300 г с высоты 800 мм; упругость его в 10 раз выше упругости оконного стекла.

Применяют для остекления дверей, перегородок и окон, для ограждений лифтовых шахт, балконов и лестниц в лечебных учреждениях, предприятиях торговли и общественного питания культурно-бытовых и административных сооружениях. Из него изготавливают стеклопакеты и дверные полотна без обвязки.

Стемалит – закаленное неполированное листовое стекло толщиной 6 мм, покрытое специальной эмалевой краской. Его применяют для наружной облицовки фасадов жилых, общественных и промышленных зданий, для внутренней отделки помещений с повышенными архитектурно-художественными и санитарно-гигиеническими требованиями (герметизированных цехов производственных предприятий, помещений торговли и общественного питания, лечебно-профилактических учреждений, душевых и ваннных помещений) и для устройства перегородок. Стемалит обладает повышенной механической прочностью, высокой светостойкостью, тепло- и морозостойкостью, водонепроницаемостью; легко очищается от загрязнений и простой в эксплуатации. Поставляется полной заводской готовности, не требуя механической обработки и резки.

Теплопоглощающие и контрастные стекла

Теплопоглощающее листовое стекло – зеленовато-голубоватого цвета уменьшает светопропускание видимой части спектра, особенно инфракрасных лучей (коэффициент поглощения инфракрасных лучей – 0,75), что способствует уменьшению солнечной радиации.

Контрастное листовое стекло – нейтрально-серого цвета, ослабляет (по сравнению с обычным стеклом) светопропускание видимой части

спектра (коэффициент поглощения инфракрасных лучей – 0,65), однако в меньшей степени, чем теплопоглощающее.

Остекление световых проемов осуществляют при наличии требований по снижению солнечной радиации. Поглощая большое количество инфракрасных лучей, стекло нагревается и подвергается большим температурным деформациям, поэтому в конструкции светового проема оно должно находиться в свободном состоянии. С этой целью применяют эластичные замазки. При размерах листа, превышающих 150–80 см, используют резиновые прокладки.

Теплопоглощающие и контрастные стекла наиболее эффективны в условиях двойного остекления ввиду того, что наружное стекло может быть теплопоглощающим или контрастным, а внутреннее – обычным оконным. В нижней и верхней частях наружного переплета устраивают щелевые отверстия. Наружное стекло, поглощая тепловые лучи, нагревается и излучает тепло в межрамное пространство в количестве 37,5% от всех тепловых лучей. Нагретый в межрамном пространстве воздух выходит через верхние отверстия, втягивая более холодный воздух, поступающий через нижние отверстия. При естественном воздухообмене температура между стеклами не превышает температуру наружного воздуха, и внутреннее стекло не нагревается.

Стекла с пленочными покрытиями

Поддержание требуемого теплового режима в зданиях даже при наличии системы кондиционирования воздуха затруднительно, если не обеспечено регулирование тепловой нагрузки через окна. Поэтому применяют стекла с различными светотехническими свойствами. Эти свойства достигают путем нанесения на оконное стекло тонких, высокопрочных окиснометаллических пленок, обладающих высокой твердостью, жаропрочностью, химической устойчивостью и другими ценными свойствами. Многие пленки в тонких слоях прозрачны. Путем синтеза окисных пленок различных металлов на поверхности стекла можно воздействовать на ряд его физико-механических свойств – оптические, электрические, прочностные и др. Среди стекол с пленочными покрытиями наиболее эффективны теплозащитные, теплоотражательные и цветные.

Теплозащитное стекло используют для защиты от тепловой радиации солнечного спектра. В отличие от теплопоглощающего стекла, окрашенного в массу, на поверхность теплозащитного стекла наносят прозрачную пленку от серо-дымчатого до сине-фиолетового цвета. Интенсивность окраски можно регулировать толщиной слоя, которая изменяется в пределах 0,3–1,0 мкм. Светопропускание теплозащитного стекла задается в широких пределах (от 30 до 70%) независимо от толщины стекла. При любой величине светопропускания стекло не искажает на-

туральный цвет, но способствует созданию в помещении спокойного приятного для глаз освещения.

Теплоотражающее стекло снижает теплопотери через оконные проемы и другие виды светопрозрачных ограждений в промышленных, общественных и жилых зданиях, теплицах, оранжереях, а также защищает от тепловой радиации, излучаемой техническими источниками тепла. Нанесение на стекло теплоотражающей пленки практически не изменяет прозрачности стекла по отношению к солнечной радиации, но значительно снижает его способность поглощать длинноволновую радиацию и соответственно его излучательную способность благодаря повышению отражения. Последнее может достигнуть 60–80% для инфракрасного излучения. Степень черноты такого стекла снижается более чем в два раза. Оно является теплоизоляционным.

Для получения цветного и тонированного стекол используют пленки различного химического состава. В нашей стране создана гамма цветных декоративных стекол, окрашенных от золотистого до красно-оранжевого цветов. Наряду с интересными декоративными свойствами стекла оранжевого цвета задерживают ультрафиолетовую радиацию и могут быть использованы для остекления архивов, библиотек и других помещений, которые необходимо защитить от разрушающего действия ультрафиолетовых лучей.

Узорчатое стекло – листовое стекло, на одну или на обе поверхности листа которого в процессе прокатки наносят рельефный рисунок с помощью гравированных прокатных валов. Оно обеспечивает рассеивание света, создает декоративный эффект, исключает видимость предметов при просмотре через него, может быть бесцветным или цветным, армированным и неармированным.

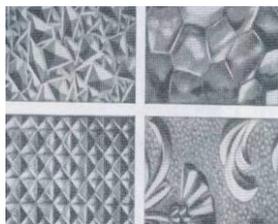


Рис. 1.69. Виды узорчатого стекла

Узорчатое стекло применяют в жилых, общественных и промышленных зданиях для остекления световых проемов дверей, перегородок, где требуется рассеянный свет, а также для остекления предметов внутреннего оборудования. Наиболее распространено применение узорчатого стекла в зданиях культурно-бытового и лечебного назначения.

Стекло матовое, матово-узорчатое и «мороз» изготавливают из оконного стекла, подвергаемого пескоструйной обработке. Матовое стекло получают в результате двукратной пескоструйной обработки одной из его сторон или однократной обработки каждой стороны. Матово-узорчатое стекло изготавливают из бесцветного или цветного стекла посредством однократной пескоструйной обработки по трафарету. При производстве стекла «мороз» одну из сторон подвергают однократной пескоструйной обработке и покрывают слоем столярного клея. После сушки клей отделяется от поверхности стекла и уносит с собой частицы матированного стекла, образуя узор, напоминающий узоры на замерзшем стекле. Применяют для остекления световых проемов дверей и перегородок в выставочных залах, лифтовых шахтах и при необходимости полностью или частично исключить видимость, но сохранить светопропускание.



Рис. 1.70. Стекло «мороз»

Волнистое стекло – прокатное стекло с волнистым профилем; может быть неармированным или армированным металлической сеткой. Волнистое стекло применяют для остекления световых проемов, устройства светопрозрачных перегородок, ограждений и кровельных покрытий цехов, складов, спортивных и выставочных помещений, для устройства защитных козырьков, балконов и лестничных ограждений.

Цветное плоское стекло, окрашенное в разные цвета, может быть сплошным окрашенным в массу или накладным, состоящим из двух слоев – бесцветного основного и цветного слоя, толщиной до 1 мм. Цветную стекломассу получают введением в него красителей. Так, для получения синего стекла (светопропускание 1–20%) вводят соединения кобальта; фиолетового (10–20%) – окись марганца и никеля, селена и золота; зеленого (20–50%) – окись хрома, меди и железа; желтого (50–80%) – сернистый кадмий с селеном и т.д.

Применяют для декоративно-отделочного остекления проемов, дверных филенок и перегородок в общественных и других зданиях, для остекления веранд, беседок, киосков, для изготовления декоративных

витражей и др. При изготовлении витражей из цветного стекла употребляют свинцовую или латунную пайку.

Увиолевое стекло – стекло с высокой прозрачностью, получаемое из высокочистых материалов; помимо видимой части спектра пропускает не менее 25% ультрафиолетовых лучей с длиной волны 260–320 нм. В сырье должно быть минимальное содержание окислов железа, титана и хрома. С течением времени увиолевое стекло «стареет», приобретая фиолетовую или желтую окраску; при этом понижается его способность к пропусканию ультрафиолетовых лучей. Применяют для остекления световых проемов в детских яслях и садах, лечебных учреждениях, вегетационных станциях, оранжереях и др.

Рифленое стекло – оконное стекло с нанесенными в процессе вытягивания на поверхность листов рифлениями, расположенными параллельно друг другу, что создает декоративный эффект, обеспечивает частичное рассеивание света и ухудшает видимость предметов при просмотре через него. Применяют для остекления дверей, перегородок в жилых, общественных и других зданиях и сооружениях.

Цветной триплекс – состоит из двух бесцветных листов оконного стекла, склеенных между собой цветной бутафольной (органической) пленкой; безопасно при разрушении, так как осколки остаются на пленке. Пленка должна иметь равномерную окраску; резке не подвергается, ввиду того, что края листов обработаны и герметизированы. Применяют для облицовки зданий, устройства различных ограждений.

Призматическое стекло – прокатное стекло, имеющее с одной стороны гладкую поверхность, а с другой – рифления в виде призм (оптически рассчитываемых), может быть светорассеивающим или светонаправленным. Применяют для заполнения световых проемов и устройства светопрозрачных ограждений производственных и общественных зданий.

Солнцезащитное стекло – является солнцезащитным, теплозащитным, токопроводящим, гидрофобным. Эти качества придают горячему стеклу путем нанесения на него солей различных металлов. Солнцезащитное стекло используют в условиях жаркого климата, при строительстве общественных и производственных зданий. Лучи солнца, проникая через стекло, становятся почти на 70% холоднее. В условиях Заполярья стекло не замерзает.

1.6.2. Стекло облицовочное

Облицовочное стекло применяют для наружной и внутренней отделки зданий и сооружений. По физико-механическим свойствам стекло облицовочное не отличается от свойств оконного стекла.

Стекло глушеное цветное (марблит) – облицовочное непрозрачное стекло в виде плиток и листов. Стекло может быть цветным, а также со структурой, имитирующей мрамор от светлых до темных тонов. Кроме полированной, плиты могут иметь матовую поверхность.

Плитки эмалированные облицовочные. Плитки нарезают из листового стекла. Применяют для облицовки санитарных узлов, душевых и ванных помещений в жилых, общественных и промышленных зданиях. Крупноразмерную плитку используют в помещениях, к облицовке которых предъявляются повышенные санитарно-технические требования.

Плитки коврово-мозаичные – кусочки полуглушенного стекла различного цвета. Применяют для наружной облицовки панелей стен, внутренней отделки стен и колон, изготовления декоративно-художественных панно общественных зданий.

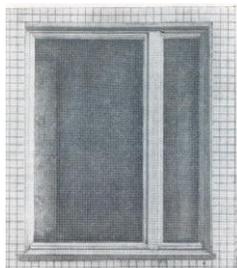


Рис. 1.71. Отделка панелей стен коврово-мозаичной плиткой

Смальта – кусочки непрозрачного литого или пресованного стекла различного цвета, набираемые в ковры на бумаге. Фактура поверхности глянцевая, у пресованной смальты – матовая.



Рис. 1.72. Панно из смальты

Применяют для декоративно-художественной внутренней и наружной отделки общественных, административных или культурно-бытовых зданий и сооружений, для выполнения мозаичных работ, картин, панно, выставок и др.

1.6.3. Изделия из стекла

Блоки стеклянные пустотелые. Использование стеклоблоков позволяет значительно улучшить конструкцию светопрозрачных ограждений, значительно уменьшить расход металла и древесины на оконные переплеты, снизить стоимость светопрозрачных ограждений и улучшить эксплуатационные качества остекления. В зависимости от требования к естественному освещению через светопроемы блоки применяют свето-рассеивающие, прозрачные и светонаправляющие.

Стеклопакеты применяют для остекления оконных проемов в жилых, общественных и промышленных зданиях, а также для остекления витрин.



Рис. 1.73. Облицовка здания стеклопакетами

Стевит – разновидность стеклопакетов, состоит из двух стекол, герметично соединенных по периметру, с прокладкой из стекловолокнистого нетканого холста.

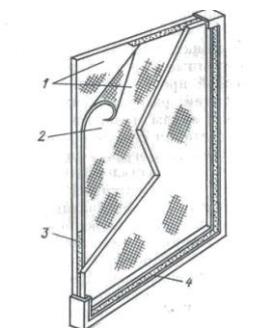


Рис. 1.74. Стевит: 1 – стекло, 2 – холст из стекловолкна, 3 – герметизирующая прокладка, 4 – обвязка

Стеклянные полотна дверные представляют собой листы утолщенного полированного, неполированного, прокатного или узорчатого стекла с обработанными кромками, отверстиями и вырезами для крепления дверных приборов.

Доски подоконные изготавливают из бесцветной стекломассы путем обреза бортов листового утолщенного стекла при горизонтальной прокатке.

Панели электрообогреваемые изготавливают из электронагреваемого (закаленного или полированного) стекла, покрытого с одной стороны полупроводниковой токопроводящей пленкой (толщина 2–4 мм) методом аэрозолей или методом испарения двухлористого олова. По краю обогреваемого поля наносят токопроводящие контакты, на которые напаяют латунные шины. Электронагреваемое стекло применяют для остекления внутренних оконных рам в специальных помещениях (больницах, поликлиниках и др.), для изготовления панелей и экранирующих каминов, а также для устройства электронагреваемых стеклопакетов и зеркал.

Призмы, линзы и плитки

Стекланные плитки применяют в жилых, общественных, сельскохозяйственных и промышленных зданиях для горизонтальных или сводчатых покрытий, а также в подвальных помещениях.

Стекланные призмы из прозрачного бесцветного или окрашенного стекла используют в горизонтальных перекрытиях. Призмы обладают способностью внутреннего отражения.

Стекло профильное (стеклопрофилит) используют для устройства светопрозрачных вертикальных наружных ограждений в промышленных, общественных, жилых зданиях и сельскохозяйственных постройках (оранжереях и др.), а также перегородок.

К стеклокристаллическим изделиям относят шлакоситаллы, пеногалакоситаллы и строительные ситаллы, представляющие собой микрокристаллические материалы, получаемые на основе металлургических шлаков путем направленной гетерогенной или гомогенной кристаллизации стекла. Шлакоситалл с успехом заменяет керамику, гранит, мрамор и другие материалы и создает неограниченные возможности архитектурных решений в соответствии с требованиями современного строительства.

1.6.4. Художественная обработка стекла

Стекло и изделия из него подвергают художественной обработке для придания им декоративно-отделочных свойств.

Пескоструйная обработка. На поверхность стекла, покрытого трафаретом или без трафарета, направляют струю песка с воздухом под давлением 5–6 атм. Песок, ударяясь о поверхность стекла, обдирает его. Таким образом получают матовое, матовоузорчатое и стекло «мороз».

Резьба по стеклу. Путем обработки стекла абразивными кругами получают углубленные в поверхность его бороздки трехгранного сечения. Этим способом на стекле получают портреты, пейзажи, узоры и любой другой тематический рисунок.

Роспись красками. Поверхность стекла расписывают специальными легкоплавкими силикатными красками в виде карандашей, затем стекло подвергают обжигу, при этом рисунок как бы приплавляется к стеклу.

Химическая обработка стекла. Травление – обработка поверхности стекла плавиковой кислотой.

Небьющееся стекло (Япония) остается невредимым, даже если его сильно ударить молотком. Это ценное свойство придает ему прозрачная пленка из полимерного материала – нейлона-12, проложенная между листами стекла. После специальной обработки листы прессуют, в результате чего происходит прочное сцепление между поверхностью стекла и пленкой. Такому стеклу можно придать любую форму. Его широко используют в строительстве.

Звукопоглощающее стекло – окопное стекло (состоящее из нескольких слоев стекла, близко расположенных друг к другу).

Соларпане (Финляндия) – стекло, покрытое тонким слоем металла, который отражает солнечные лучи, как зеркало. Оно смягчает яркость солнечного света и создает приятную прохладу, поддерживая в помещении ровную температуру.

Контрольные вопросы

1. Назовите свойства стеклянных расплавов.
2. Какие виды изделий из стеклянных расплавов вам знакомы?
3. Назовите номенклатуру облицовочного стекла.
4. Какие виды перспективных композиционных материалов вам знакомы?
5. Расскажите о применении природных каменных материалов в интерьере.
6. Каким материалам вы отдадите предпочтение при оборудовании детской и почему?
7. Какой вид стекла получают при пескоструйной обработке?
8. Как получают марблит?
9. Какой вид стекла обладает наибольшей прозрачностью?

Тема 2. РАБОТА МАТЕРИАЛА В КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЕ

2.1. Основные понятия и допущения

Любая деталь, любое изделие подвергается воздействию внешних сил. Если на тело не действуют внешние силы, оно подвергается действию собственной массы, поэтому размеры сечения должны воспринимать эти нагрузки. Но иногда форму предмета, его геометрические размеры выбирают не от того, чтобы оно не изменило внешнюю форму под действием той или иной нагрузки, а от удобства его в эксплуатации. Например: всевозможные канцелярские предметы (для карандашей, линеек лучше применять древесину, из-за ее свойства адсорбции и т.п.).

Всякое тело будет противодействовать воздействию на него внешних сил. При действии на тело внешних сил в нём будут возникать внутренние силы.

Если мы прикладываем к телу нагрузку, оно деформируется. Деформирование твёрдых тел под действием внешних сил является одним из их основных свойств. Силы, которые сопротивляются деформации и стремятся вернуть частицы в первоначальное положение, называются внутренними силами или же силами упругости.

Само же свойство твёрдых тел устранять деформацию, вызванную внешними силами, после прекращения их действия, называется упругостью. В природе нет тел ни вполне упругих, ни совершенно неупругих. Однако такие материалы, как сталь, дерево, по своим свойствам достаточно близко стоят к совершенно упругим телам. Но и эти материалы могут считаться совершенно упругими лишь до определенных пределов нагружения, устанавливаемых для них опытом. За этими пределами после удаления действовавших внешних сил в телах остаётся деформация, которой нельзя пренебречь. Деформация, полностью исчезающая после прекращения действия внешних сил, называется упругой деформацией. Неисчезающая деформация называется остаточной или пластической деформацией. При конструировании необходимо решать вопросы по приданию детали таких геометрических размеров, при которых не возникали бы пластические деформации. Внешние силы, действуя на тело, вызывают в нём внутренние силы противодействия. Так, например, если внешние силы стараются растянуть тело, оторвать частицы тела друг от друга, то внутренние силы будут противодействовать этим внешним силам, будут действовать внутренние силы взаимного притяжения. Увеличение внутренней силы может оказаться столь большим, что внутренние силы тела при данных его геометрических размерах не смогут их уравновесить, и материал разрушится.

Задачей сопротивления материалов и является установление соотношений между внешними силами, геометрическими размерами деталей, возникающими силами упругости и деформациями.

Пользуясь этими соотношениями с характеристиками прочности материалов, определяют необходимые размеры проектируемых деталей конструкций. При установлении этих соотношений делаются некоторые допущения и ограничения. Эти допущения и ограничения необходимы потому, что нельзя охватить в целом все особенности изучаемых явлений.

Первое допущение. Прежде всего, материал, из которого изготавливаются конструкции, считается непрерывным, однородным во всех точках тела и обладающим во всех направлениях одинаковыми свойствами, т.е. изотропными. В действительности же, например, литой металл обладает большой однородностью (кроме чугуна), а дерево обладает меньшей однородностью. Чем больше однороден материал, тем лучше получается совпадение результатов теории с практикой.

Второе допущение в работе материала основывается на том, что в сопротивлении материалов рассматриваются только те задачи о поведении тел под действием внешних сил, когда деформация мала в сравнении с размерами тела.

Третье допущение. Материал до известного предела нагружения работает в упругой стадии. В большинстве задач среда условно считается абсолютно упругой. В действительности же реальные тела пусть в малой степени, но обнаруживают отступление от идеальной упругости.

Четвертое допущение. Перемещение точек элемента (системы элементов) в упругой стадии работы материала пропорциональны силам, вызывающим эти перемещения. Системы, подчиняющиеся такой закономерности, называются линейно-деформируемыми.

Перечисленные допущения являются основополагающими, но они не исчерпывают всевозможных приемов идеализации свойств материалов и характера деформирования изучаемых объектов.

При выборе материала и выборе форм и размеров деталей принимается во внимание ряд основных соображений: условия, в которых будет работать деталь, требования к её прочности, устойчивости, долговечности, экономичности.

В некоторых случаях к проектируемым частям конструкций предъявляются ещё и другие специальные требования, например в самолетостроении – лёгкость деталей. Значит, здесь специальным требованием будет являться минимальный вес. При проектировании той или иной детали нужно учитывать как основные требования (прочность, долговечность, экономичность), так и специальные.

Без знания основ науки сопротивления материалов нельзя построить даже несложные машины. В сопромате опыт и теория тесно связаны между собой. Все теоретические предположения и выводы проверяются

практикой и только после того они принимаются для использования. С развитием техники наука о сопротивлении материалов приобретает всё большее значение.

Развитие этой науки относят к XVII веку, когда начала развиваться международная морская торговля, металлургия, горное дело. Первые исследования в области прочности были начаты Галилео Галилеем в первой половине XVII века. В объяснении прочности тел он следовал учению Аристотеля (384–322 г. до новой эры) о том, что «природа не терпит пустоты». Галилей считал, что если какие-либо причины стремятся раздвинуть частицы тела, то оно сопротивляется этому потому, что «боится пустоты». Он видел внутри тел сопротивление, которое уравнивает внешнюю тяжесть и препятствует разрушению.

А теперь дадим определения основным понятиям, на которые обращается главное внимание при работе материала в конструктивном элементе.

Прочность – способность материала или конструкции воспринимать различные воздействия (нагрузки, температурные перепады, наледь) не разрушаясь и не претерпевая беспрепятственного деформирования. Под разрушением подразумевается полное нарушение целостности тела (конструктивного элемента) вследствие накопления повреждений и развития трещин.

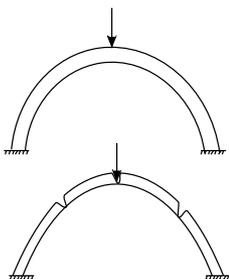


Рис. 2.1. Прочность материала

Неизбежное деформирование нагруженной конструкции и её элементов обуславливает перемещение их отдельных точек.

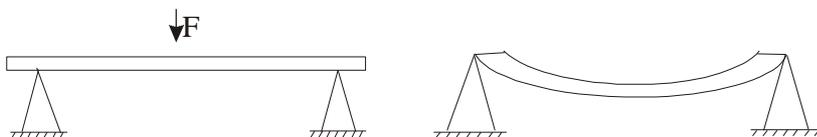


Рис. 2.2. Деформирование нагруженной конструкции

Элемент получил вертикальные перемещения. При некотором значении нагрузки максимальное перемещение может воспрепятствовать нормальной эксплуатации элемента, хотя его прочность ещё не нарушена.

В таком случае говорят, что элемент (конструкция) имеет недостаточную жёсткость.

Жёсткость – способность конструктивного элемента воспринимать воздействие без существенного изменения геометрических размеров.

Помимо прочности и жёсткости конструкции их элементы должны обладать устойчивостью.

Устойчивость – способность элемента сохранять под нагрузкой первоначальную форму равновесия.

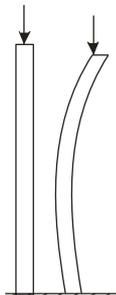


Рис. 2.3. Устойчивость материала

Если малое приращение нагрузки, вызывает сильное нарастание отклонения тела (элемента) от положения равновесия (выпучивание), то говорят, что тело (элемент) потеряло устойчивость.

Вопрос устойчивости возникает при расчёте тонких сжатых элементов, поскольку потеря устойчивости может происходить при нагрузках, безопасных с точки зрения прочности или жёсткости.

Любая конструкция должна быть надёжной с точки зрения эксплуатации.

Надёжность – это свойство, которое в зависимости от назначения конструкции и условий её эксплуатации может включать безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность конструкции или её отдельных элементов.

Надёжность и экономичность являются, по существу, противоположными понятиями. Важнейшее требование – обеспечение надёжности при наименьшей затрате материала – содержит в себе противоречия, поскольку повышение надёжности достаётся чаще всего увеличением поперечных размеров конструктивных элементов, в то время как экономия материала заставляет стремиться к уменьшению тех же самых размеров. Сопротивление материалов помогает разрешить указанное про-

тиворечие, позволяет установить в каждом конкретном случае оптимальные размеры, т.е. размеры, при которых надёжность обеспечивается без лишних запасов, удовлетворяя экономическую сторону вопроса.

Таким образом, основной задачей сопротивления материалов является разработка методов расчёта элементов различных конструкций на прочность, жёсткость и устойчивость при одновременном удовлетворении требований надёжности и экономичности.

Все эти расчёты идут от нагрузки, прикладываемой к конструкции в период эксплуатации. Помимо нагрузок силовых, конструкции испытывают температурные воздействия, усадки, смещение опор и другие подобные явления, которые вызывают реактивные силы.

2.2. Основные виды нагрузок

Нагрузки классифицируют по разным признакам.

I. По способу приложения они могут быть объёмными или поверхностными. Объёмные силы непрерывно распределены по всему объёму, занимаемому элементом. К их числу относятся, например, сила тяжести и силы инерции. Нагрузка, приходящаяся на единицу объёма, называется интенсивностью объёмной нагрузки. Она выражается в единицах силы, отнесённых к единице объёма (н/м^3 , кН/м^3 и т.д.).

Поверхностные силы делятся на распределённые и сосредоточенные. Распределёнными называются силы, приложенные по некоторой площади.

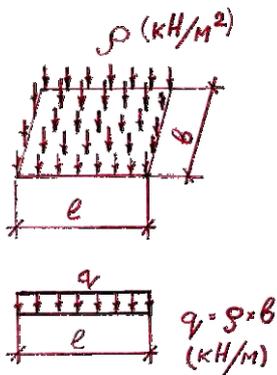


Рис. 2.4. Верхнее изображение – распределенная нагрузка по площади, нижнее изображение – переход от распределенной нагрузки по площади к распределенной нагрузке по длине (интенсивность распределенной нагрузки по площади p нужно умножить на ширину распределения)

Так, слой снега на крыше представляет собой распределённую нагрузку по площади, такая нагрузка выражается в единицах силы, отнесённых к единице площади (н/м^2 , кН/м^2).

Нагрузка, распределённая по длине (погонная нагрузка), выражается в единицах силы, отнесённых к единице длины (Н/м , кН/м).

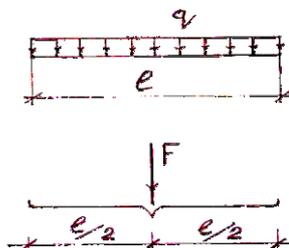


Рис. 2.5. Верхнее изображение – распределенная нагрузка по длине, нижнее изображение – переход от распределенной нагрузки по длине к сосредоточенной силе (распределенную нагрузку по длине нужно умножить на длину распределения $q \times l = F$ и приложить полученную сосредоточенную силу F в середине распределения)

Нагрузка может быть распределена по длине или площади равномерно и неравномерно. Например, давление воды на плотину распределяется неравномерно, с увеличением глубины давление растёт.

Сосредоточенными называются силы, действующие по очень малой площадке тела. Сосредоточенную силу для упрощения расчёта принято считать приложенной в точке, такое упрощение не вносит обычно заметной ошибки. Сосредоточенные силы выражают в единицах силы, т.е. н, кН.

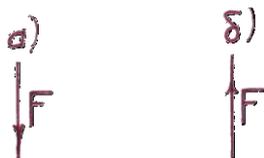


Рис. 2.6. Сосредоточенная сила обозначается вектором: а) вектор, направленный вниз, означает сжимающую силу (сжатие со знаком -), б) вектор, направленный вверх, означает растягивающую силу (растяжение со знаком +)

II. По характеру изменения в процессе приложения нагрузки делятся на статические и динамические.

К статическим относятся нагрузки, не меняющиеся со временем (например нагрузка от собственного веса) или меняющиеся настолько медленно, что вызываемые ими ускорения и силы инерции элементов очень малы (например снеговая нагрузка).

Динамические нагрузки меняют своё положение, значение в короткое время (движущиеся нагрузки, ударные), вызывая большие ускорения и силы инерции, что приводит к колебаниям конструкций и деталей.

III. По продолжительности действия нагрузки делятся на постоянные и временные. К постоянным относят нагрузки, действующие в течение всего времени существования конструкции (например собственный вес).

Временные нагрузки действуют на протяжении отдельных периодов эксплуатации предметов. К ним относят нагрузки от веса людей, материалов, оборудования, давление жидкостей и газов, атмосферные, температурные, взрывные, аварийные и прочие воздействия ограниченной продолжительности.

2.3. Основные виды деформаций

Деформации элементов, вызванные внешними силами, могут быть очень сложными. Однако эти сложные деформации всегда можно представить состоящими из небольшого числа основных видов деформаций.

Основными видами простых деформаций являются:

1. Деформация растяжения. Если приложить по оси элемента две равные по величине, но направленные в противоположные стороны силы, элемент удлинится, продольные размеры увеличатся, поперечные уменьшатся. Этот вид деформации называется – деформация растяжения.



Рис. 2.7. Пример деформации растяжения

2. Деформация сжатия. Если к элементу приложить по оси две равные по величине и направленные в одну сторону силы, то продольные размеры элемента уменьшатся, а поперечные увеличатся. Такой вид деформации называется деформацией сжатия.

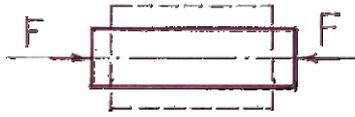


Рис. 2.8. Пример деформации сжатия

3. Деформация среза или сдвига. Если поперек элемента приложить две направленные элементу силы, как бы стараясь сдвинуть одну часть относительно другой, то произойдет деформация сдвига, или среза.

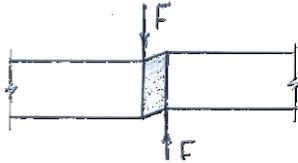


Рис. 2.9. Пример деформации среза или сдвига

4. Деформация кручения. Если к элементу приложить два равных момента, направленных в противоположные стороны, то произойдет деформация кручения.

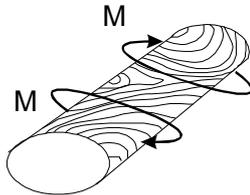


Рис. 2.10. Пример деформации кручения

5. Деформация изгиба. Если к краям элемента приложить два равных по величине, но направленных в противоположные стороны момента, то элемент изогнется, произойдет деформация изгиба.



Рис. 2.11. Пример деформации изгиба

Были рассмотрены виды простых деформаций. Примерами сложных деформаций могут служить одновременное растяжение и кручение или одновременное растяжение и изгиб.

2.4. Метод сечений. Напряжения

При отсутствии внешних сил, т.е. в недеформированном состоянии, связность тела обусловлена силами взаимодействия атомов. Эти силы стремятся сохранить тело как единое целое, препятствуя любой попытке изменить взаимное расположение атомов и таким образом деформировать тело. Внешние воздействия, наоборот, стремятся вызвать деформирование тела путём изменения межатомных расстояний, взаимного расположения атомов и сил их взаимодействия.

Для решения задач сопротивления материалов необходимо уметь определять внутренние силы и деформации тела.

При определении внутренних сил в каком-либо сечении тела пользуются методом сечений. Сущность этого метода заключается в следующем:

Рассмотрим тело, которое находится в состоянии равновесия под действием сил F_1, F_2, F_3, F_4 .

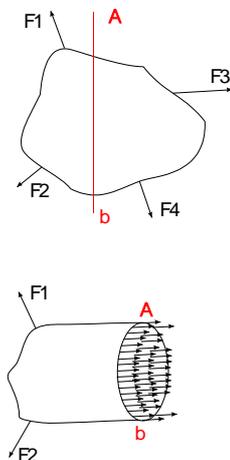


Рис. 2.12. Тело, находящееся в состоянии равновесия под действием сил F_1, F_2, F_3, F_4 .

Если нас интересуют внутренние силы в сечении ab , то мысленно разрежем тело по этому сечению и отбросим одну из полученных частей, скажем правую.

Тогда на оставшуюся левую часть будут действовать внешние силы F_1 и F_2 . Для того, чтобы эта часть тела оставалась в равновесии, надо по всему сечению приложить внутренние силы.

Эти силы представляют собой действие отброшенной правой части тела на оставшуюся левую часть. Будучи внутренними силами для всего тела в целом, они играют роль внешних сил для выделенной части. Величина равнодействующей внутренних усилий может быть определена из условия равновесия выделенной части. Закон распределения внутренних усилий по сечению, вообще говоря, неизвестен. Для решения этого вопроса в каждом конкретном случае необходимо знать, как деформируется под действием внешних сил рассматриваемое тело.

Таким образом, метод сечения даёт нам возможность определить только сумму внутренних сил, действующих во всех точках сечения, можно сказать, что на эту площадку придёт и бесконечно малая сила ΔF .

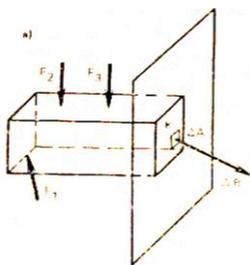


Рис. 2.13. Метод сечения балки

Отношение внутренней силы ΔF к величине выделенной площади ΔA даст среднее напряжение на этой площадке.

$$P_{сз.} = \Delta F / \Delta A$$

Таким образом, напряжение, характеризующее интенсивность внутренних сил, определяется силой, приходящейся на единицу измерений (СИ) она выражается, как и давление, в паскалях. Однако эта единица мала, и в технических расчётах используют кратную единицу мегапаскали.

$$1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$$

Уменьшая площадку до нуля, т.е. переходя к пределу, получим истинное напряжение в данной точке, являющейся, например, центром площадки ΔA . Следовательно, истинное напряжение в данной точке будет:

$$P_{ист.} = \lim \times \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{d \times F}{d \times A}$$

где $\Delta A \rightarrow 0$

Если известно, что внутренние силы (силы упругости) распределяются по сечению равномерно, то в этом простейшем случае напряжение вычисляется делением суммарной силы упругости, действующей в сечении, на всю площадь сечения, т.е.:

$$P = \frac{F}{A} .$$

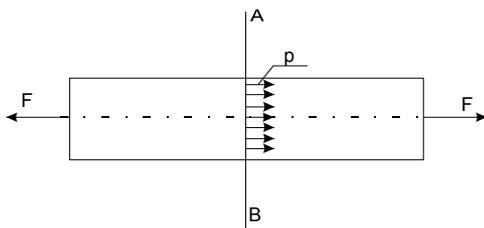


Рис. 2.14. Пример растяжения

Так как сила имеет направление, то и напряжение также будет иметь направление.

В общем случае напряжение (p) на данной площадке ΔA будет составлять с этой площадкой некоторый угол α (альфа).

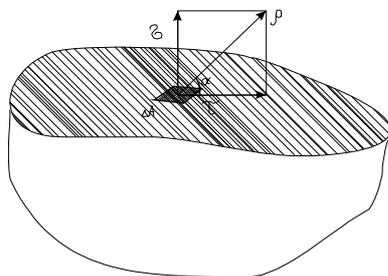


Рис. 2.15. Случай, когда напряжение составляет угол альфа с площадкой

Разложив это напряжение на две составляющие: одну, направленную \perp к площадке, называемую нормальным напряжением и обозначаемую буквой δ (сигма), и другую, лежащую в плоскости площадки, называемую касательным (или тангенциальным) напряжением и обозначаемую буквой τ (тау), получим:

$$\delta = p \times \sin \alpha; \tau = p \times \cos \alpha .$$

Полное напряжение выражается через нормальное и касательное напряжения следующей формулой:

$$P = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} .$$

Нормальное напряжение препятствует отрыву одной части тела (элемента) от другой или их взаимному прижатию. Касательные напряжения препятствуют взаимному сдвигу. Поэтому полное напряжение не считается удобной мерой для оценки внутренних сил тела, так как материалы по-разному сопротивляются нормальным и касательным напряжениям.

В сопротивлении материалов рассматриваются деформации только тел, имеющих простую форму. К таким телам относятся: брус, пластинка и тонкостенная оболочка.

Брус – тело, у которого длина (ℓ) значительно больше поперечных размеров, представляющих величин одного порядка. Ось бруса АВ может быть прямой или кривой линией.

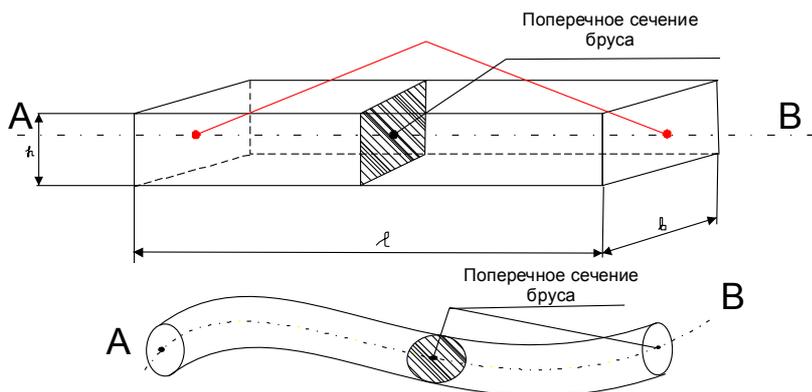


Рис. 2.16. Брус

Центр тяжести находится на оси АВ. Брусья с прямолинейной осью называют стержнями, балками, стойками в зависимости от их назначения. Встречаются брусья с постоянным сечением и постоянно меняющиеся (дымовые трубы).

Оболочка – тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, у которых длина ℓ и ширина b велики по сравнению с толщиной t . Если при тех же соотношениях размеров, тело ограничено параллельными плоскостями, то оно называется пластиной.

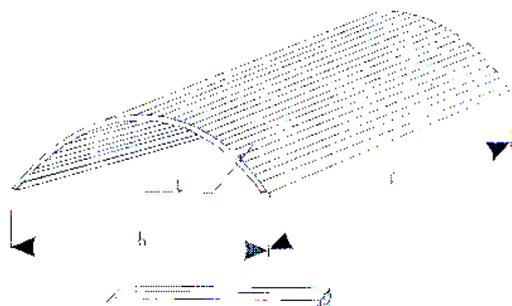


Рис. 2.17. Оболочки. Котлы, цистерны, баки, стенки газгольдеров, бункеров

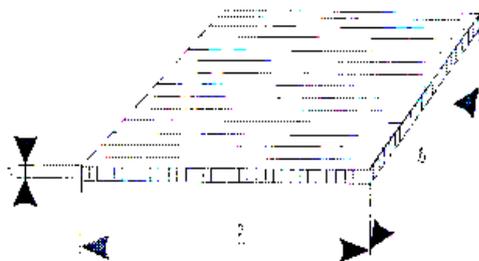


Рис. 2.18. Пластины. Днища сосудов, настил рабочих площадок

Мы будем рассматривать в основном тела, которые можно представить в форме бруса.

Определением усилий и деформаций оболочек пластин занимается наука «теория упругости».

Можно определить деформации с помощью тензометров.

2.5. Осевое растяжение (сжатие)

Возьмём призматический брус с постоянной площадью поперечного сечения A см². Нанесём на его поверхности острой иглой две неглубокие черточки на расстоянии l мм друг от друга. Теперь приложим по концам бруса две равные и противоположно направленные силы, по F кН каждая, чтобы эти силы действовали вдоль оси бруса.

Под действием этих сил брус несколько уменьшится в поперечном направлении, а в продольном направлении его размеры увеличатся.

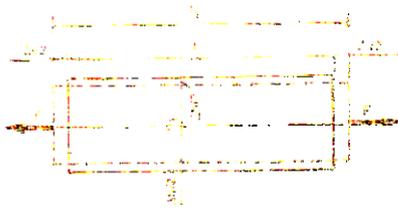


Рис. 2.19. Пример деформации растяжения

При этом будем предполагать, что все плоские сечения, нормальные к оси бруса, и после деформации остаются плоскими и нормальными к его оси. Эта гипотеза носит название «плоских сечений». Она подтверждается опытными данными для сечений, достаточно удалённых от силы F , принимая эту гипотезу, тем самым предполагая, что все продольные элементы бруса растягиваются совершенно одинаково.

Тщательно измерив расстояние между двумя чёрточками, мы находим, что оно стало равным l_1 .

Удлинение бруса на этом участке будет равно:

$$\Delta l = l_1 - l.$$

Это приращение длины бруса называется полным или абсолютным удлинением при растяжении; в случае сжатия бруса оно будет называться абсолютным укорочением.

$$\Delta l = l_1 - l.$$

В случае укорочения Δl будет иметь отрицательный знак.

Абсолютное удлинение (укорочение), зависит от первоначальной длины бруса, поэтому наиболее удобной мерой деформации является удлинение (укорочение), отнесённое к первоначальной длине бруса.

Отношение абсолютного удлинения (мм) к первоначальной длине (мм) называется относительной продольной деформацией или относительным удлинением:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}.$$

Относительное удлинение не имеет размерности, это отвлечённое число и часто выражается в процентах от первоначальной длины:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \times 100\% = \varepsilon \times 100\%.$$

Для определения напряжения в поперечном сечении, т.е. в сечении, перпендикулярном к оси бруса, воспользуемся методом сечений.

Рассечём мысленно брус на две части поперечным сечением ab и правую часть отбросим. Для равновесия оставшейся левой части приложим в плоскости сечения внутренние силы упругости, направленные нормально к плоскости сечения. Силы эти заменяют действие удалённой правой части на левую часть бруса.

Равнодействующая сила упругости будет действовать по оси бруса и по величине будет F кН. Приняв гипотезу плоских сечений, мы тем самым предположим, что при растяжении силы упругости распределены равномерно по всему сечению, поэтому напряжение во всех точках поперечного сечения будет определяться по формуле.

$$\delta = \frac{F}{A} \text{ мПа} .$$

Напряжение это будет нормальным, так как оно направленно, как и сила F , перпендикулярно к плоскости поперечного сечения. Сила F измеряется в единицах силы, площадь A – в квадратных сантиметрах, поэтому напряжение будет иметь размерность кН/см².

В случае сжатия бруса напряжение вычисляется по той же формуле, так как здесь изменяется только направление сил

Величина напряжения при растяжении и сжатии не зависит от выбора места сечения по длине бруса.

Во всех поперечных сечениях предполагается равномерное распределение упругих сил, и только в сечениях, расположенных вблизи точки приложения внешней силы, нельзя ожидать равномерного распределения напряжений. Определение напряжений в таких местах не входит в курс сопротивления материалов, оно представляет собой трудную задачу.

Нагрузки и деформации, возникающие в бруске, тесно связаны между собой. Эта связь между нагрузкой и деформацией была сформулирована впервые в 1678 г. Робертом Гуком.

Согласно закону Гука деформация пропорциональна нагрузке. Этот закон является основным в сопротивлении материалов.

При растяжении или сжатии бруса закон Гука выражает прямую пропорциональность между напряжением и относительной деформацией:

$$\zeta = E \times \varepsilon .$$

Пропорциональность эта нарушается, когда напряжение переходит за некоторый предел, называемый пределом пропорциональности. Предел пропорциональности для каждого материала устанавливается опытным путём.

Коэффициент E , входящий в формулу, называется модулем упругости первого рода или модулем Юнга, по имени учёного, введшего его в науку. Из формулы видно, что размерность модуля упругости E такая же, как и напряжения, так как ε величина отвлечённая, т.е. E выражается

в Па. При одном и том же напряжении относительная деформация будет меньше у того материала, для которого E будет больше. Следовательно, модуль упругости E характеризует жёсткость материала, т.е. способность сопротивляться деформациям, что и следует из формулы

Величина модуля упругости измеряется в гигапаскалях (ГПа). $1 \text{ ГПа} = 10^9 \text{ МПа}$.

$$\varepsilon = \frac{\zeta}{E}.$$

Величина модуля упругости устанавливается для материалов экспериментально и приводится в справочниках.

Например:

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| 1) для стали модуль упругости | 206 ГПа; |
| 2) чугуна – | 75–160 ГПа; |
| 3) дерева – | 10 ГПа; |
| 4) стекла | 50–60 ГПа; |
| 5) алюминиевых сплавов | 70 ГПа; |
| 6) резины | 0,007 ГПа. |

Для материалов, которые не подчиняются закону Гука, как то: камень, цемент, кожа..., пользуются степенной зависимостью.

$$\zeta^m = E \times \varepsilon,$$

где показатель m близкий к единице и подбирается опытным путём.

Формулу, выражающую закон Гука, можно записать и в другом виде, подставляя в неё вместо ζ и ε их выражения:

$$\zeta = \frac{F}{A}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

При этом получим:

$$\Delta l = \frac{F \times l}{E \times A}.$$

Из этой формулы следует, что удлинение (укорочение), получаемое бруском, прямо пропорционально растягивающей (или сжимающей) силе, длине бруса и обратно пропорционально площади поперечного сечения и величине модуля упругости материала.

Произведение, стоящее в знаменателе, т.е. $E \times A$, называется жёсткостью при растяжении (сжатии). Чем жёсткость бруса будет больше, тем при одной и той же длине он получит меньшую деформацию.

Жёсткость характеризует одновременно физические свойства материала и геометрические размеры сечения. Формула для напряжения и закон Гука являются основными при расчётах на растяжение и сжатие.

2.6. Поперечные деформации при растяжении, сжатии

Опытом установлено, что даже при очень небольших деформациях бруса в продольном направлении его поперечные размеры изменяются. Удлинение в продольном направлении вызывает сужение в поперечном направлении, и наоборот, укорочение в продольном направлении сопровождается поперечным расширением.

Следовательно, при растяжении тело удлиняется и становится тоньше, а при сжатии укорачивается и становится толще. Поперечные деформации при растяжении или сжатии пропорциональны продольной деформации.

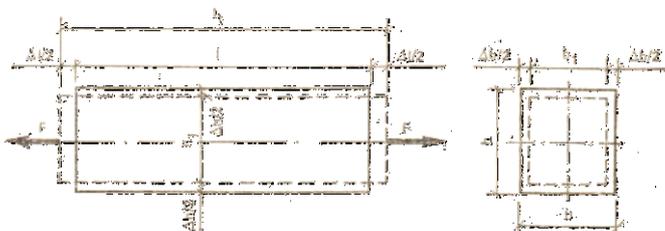


Рис. 2.21. Поперечная деформация при растяжении или сжатии

Если обозначить относительную продольную деформацию через ϵ , а относительную поперечную деформацию через ϵ_0 , то, как найдено из опытов, ϵ_0 составит только некоторую часть от ϵ , т.е. $\epsilon_0 = \mu \times \epsilon$. Коэффициент μ принято называть коэффициентом Пуассона.

При растяжении коэффициент Пуассона представляет отношение:

$$\mu = \frac{\epsilon_0}{\epsilon}$$

(поперечное относительное сжатие/ продольное относительное удлинение).

А при сжатии:

$$\mu = \frac{\epsilon_0}{\epsilon}$$

(поперечное относительное удлинение/ продольное относительное сжатие).

Пуассон, полагал, что коэффициент μ для всех материалов одинаков и равен 0,25. Однако позднейшие опыты показали, что коэффициент Пуассона различен для всех материалов и что величина его лежит в пределах от 0 до 0,5.

В практических расчётах для стали принимают $\mu = 0,3$; для пробки он равен 0,0001, а для парафина 0,5. Эти значения тоже можно найти в справочных материалах.

Пользуясь этим коэффициентом, можно определить изменение объёма бруса, происходящее при растяжении или сжатии.

Решим этот вопрос в общем виде.

Объём бруса с квадратным поперечным сечением до растяжения равен $v_0 = a^2 \times l$. После растяжения каждая единица первоначальной длины станет равной $(1 + \epsilon)$, следовательно, новая длина бруса станет равной $l(1 + \epsilon)$. Единица длины в поперечном направлении укоротится и станет равной $(1 - \epsilon_0)$ или $(1 - \mu \epsilon)$. Поэтому площадь поперечного сечения после растяжения будет равна:

$$[a(1 - \mu \epsilon)]^2.$$

Объём бруса будет равен $v_1 = [a(1 - \mu \epsilon)]^2 \times l(1 + \epsilon)$; или $v_1 = a^2 l(1 + \epsilon - 2\mu\epsilon - 2\mu\epsilon^2 + \mu^2 \times \epsilon^3)$.

Отбрасывая члены, содержащие множители ϵ^2 и ϵ^3 , как малые величины высших порядков, получим:

$$v_1 = a^2 l(1 + \epsilon - 2\mu \epsilon).$$

Увеличение объёма:

$$v_1 - v_0 = a^2 l(1 + \epsilon - 2\mu\epsilon) - a^2 l = a^2 l \epsilon(1 - 2\mu).$$

Относительное увеличение объёма:

$$v_1 - \frac{v_0}{v_0} = a^2 \times \frac{l \times \epsilon(1 - 2\mu)}{a^2 \times l} = \epsilon(1 - 2\mu).$$

Так как $\mu < 0,5$, то $1 - 2\mu > 0$ и увеличение объёма будет для всех материалов положительным, т.е. при растяжении объём всегда увеличивается. Это подтверждается и опытным путём.

Только у парафина, для которого $\mu = 0,5$, увеличение объёма не происходит.

2.7. Диаграмма растяжения и характерные точки

Для выполнения расчётов конструкций на прочность надо знать свойства материалов, из которых эта конструкция будет изготавливаться.

Механические свойства материалов выявляются при их испытании под нагрузкой.

Наиболее характерным является испытание на растяжение, потому что механические характеристики, получаемые при этом испытании, позволяют во многих случаях верно судить о поведении материала и при других видах деформации (сжатии, сдвиге, кручении), кроме того, это испытание легко осуществить. Материалы, работающие преимущественно на сжатие, требуют испытаний и на сжатие.

Испытания проводят на разрывных машинах. Образцы обычно берут круглого сечения. На концах образца бывают утолщения в виде головок, которые вставляются в особые захваты разрывных машин.

От головки плавный переход идёт к постоянному сечению образца, которое называется рабочей зоной.

При испытании должны быть размеры образцов геометрически подобны, только в этом случае образцы одного и того же материала дадут одинаковые результаты.

Разрывную машину нагружают равномерно от 0 до величины, разрушающей образец.

Величина нагрузки измеряется динамометрами.

Поведение материала при растяжении лучше всего характеризуется диаграммой растяжения, или диаграммой испытания материала, которая показывает зависимость между напряжением и деформацией.

До определённой точки зависимость между напряжением и деформацией идёт по прямой линии, т.е. до этой точки сохраняется закон Гука. Эта точка называется пределом пропорциональности. Следовательно, предел пропорциональности – это то наибольшее напряжение, до которого деформации в материале растут пропорционально напряжениям.

Напряжение, соответствующее пределу пропорциональности, обозначается δ .

При испытании на сжатие мы определяем пределы прочности.

Результаты испытания наиболее наглядно проявляются на графике зависимости между нагрузкой F , растягивающей образец, и соответствующим удлинением Δl .

Этот график называется диаграммой растяжения. Он вычерчивается автоматически с помощью специального диаграммного аппарата, представляющего собой барабан с намотанной миллиметровой бумагой, по которой перемещается самопишущее устройство (перо или карандаш). Поворот барабана пропорционален удлинению, поступательное движение самописца пропорционально силе F .

Для того чтобы исключить влияние абсолютных размеров образца и судить о механических свойствах непосредственно материала, диаграмму перестраивают в другом масштабе: все ординаты делят на первоначальную площадь поперечного сечения A_0 , а все абсциссы – на первоначальную расчётную длину l_0 . В результате получается график зависимости между нормальным напряжением:

$$\zeta = \frac{N}{A_0} = \frac{F}{A_0},$$

и деформаций

$$e = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) \times 100.$$

Рассмотрим этот график, для низкоуглеродной стали, марки Ст3 (содержание углерода не более 0,22%).

2.8. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали Ст3

(содержание углерода не более 0,22%)

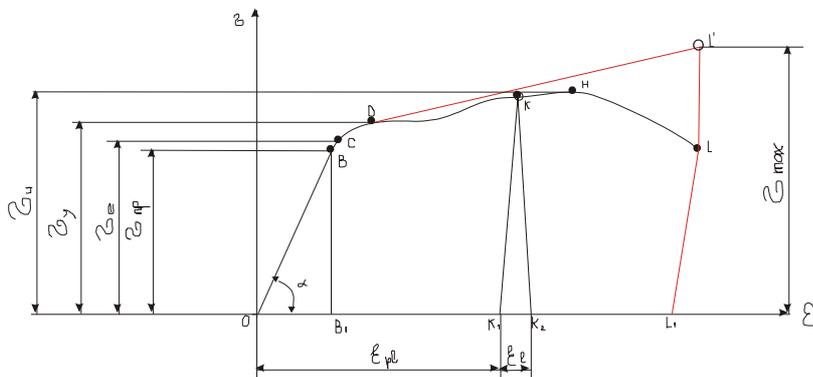


Рис. 2.22. Диаграмма растяжения стали Ст. 3: участок ОВ – линейный характер имеет силу закона Гука; $\delta_{пр.}$ – предел пропорциональности (для этой стали 195–200 МПа) $tg \alpha = \frac{\delta}{\epsilon} = E$, т.е. модуль E представляет собой графически тангенс угла наклона прямолинейного участка диаграммы к оси абсцисс

Если по достижению точки В сбросить нагрузку до нуля, то график разгрузки совпадёт с графиком нагружения. Это говорит о том, что при напряжениях $\delta \leq \delta_{пр.}$ возникают только упругие деформации. Однако граница области упругой работы материала лежит несколько выше точки В, там, где деформации растут уже несколько выше нагружений, закон Гука нарушается и диаграмма начинает искривляться.

Напряжение, соответствующее наибольшей деформации, которая полностью исчезает после разгрузки (т. С на диаграмме), называется пределом упругости δ_e (δ_y). Для стали марки Ст3 он составляет 205–210 МПа.

Точки В и С лежат очень близко на диаграмме, что на практике считают их совпадающими, полагая $\delta_{пр.} = \delta_e$.

После точки С идёт дальнейшее искривление диаграммы и в точке D она переходит почти в горизонтальный участок – площадку текуще-

сти. Здесь материал как бы уподобляется жидкости и течёт. Образец уменьшается при фактически постоянной нагрузке.

Соответствующее напряжение называется пределом текучести δ_y (δ_r). Он легко поддаётся определению и является одной из основных технических характеристик материала.

Для стали Ст3 $\delta_y = 215\text{--}255$ МПа в зависимости от способа раскисания (кипящая, полуспокойная, спокойная), вида проката (листовой, фасонный) и его толщины.

Наличие площадки текучести положительно сказывается на работе материала в конструкции. По протяжённости площадка у низкоуглеродистой стали находится в диапазоне относительных удлинений $\epsilon = 0,2 \div 2,5\%$.

Образование площадки текучести является следствием запаздывания пластических деформаций. При этом целостность материала не нарушается, но образец удлиняется. Эта стадия деформирования может быть установлена визуально, благодаря отскакиванию окаменелой или тонко нанесённой краски. Поверхность же предварительно отполированного образца становится матовой, а на образце появляется сетка полос. После прекращения текучести сталь снова способна противостоять деформированию, она как бы самоупрочняется. В стадии самоупрочнения материал работает упруго-пластически. Зависимость между напряжениями и деформациями подчиняется криволинейному закону, но с большим нарастанием деформаций.

Если из некоторой точки К, лежащей выше предела упругости, произвести разгрузку, то график пойдёт по прямой KK_1 приблизительно параллельно прямой ОВ начального нагружения.

Отрезок K_1K_2 представляет собой деформацию, которая исчезает после снятия нагрузки, т.е. упругую деформацию ϵ_e . Отрезок OK_1 отражает остаточную пластическую деформацию ϵ_{pl} . Полная деформация ϵ_k соответствует напряжению δ_k и характеризуется суммарным отрезком:

$$OK_2 = OK_1 + K_1K_2,$$

т.е. $\epsilon_k = \epsilon_{pl} + \epsilon_e$.

В процессе испытания на растяжение продольное удлинение сопровождается поперечным сужением. И та и другая деформации рассматриваются по расчётной длине образца равномерно. Однако скорость пластического деформирования слоёв материала различна. В стадии самоупрочнения нагруженные слои получают большие скорости и смещения, чем внутренние заторможенные. В результате на наиболее слабом участке (обычно около середин образца) образуется местное сужение – шейка.

Соответствующее напряжение (наивысшая точка диаграммы Н) называется пределом прочности материала δ_n (δ_{np}). Оно представляет собой условную характеристику, которая численно равна отношению наибольшей нагрузки, выдерживаемой образцом, к первоначальной площади его сечения. Для стали марки Ст3 $\delta_n = 345\text{--}390$ МПа в зависимости

от тех же обстоятельств, что и предел текучести. К моменту образования шейки пластической деформации достигает полного развития. Их усреднённое по длине значение составляет 20–25%. Появляются микротрещины, которые сливаются в макротрещину. После достижения макротрещиной критического размера, наступает процесс быстрого разрушения материала с возникновением конического углубления, называемого чашечкой. Дно чашечки имеет характер отрыва в результате действия максимальных нормальных напряжений, края (кольцевая перемычка) разрушаются вследствие сдвига в направлении небольших касательных напряжений. Такое разрушение принято называть вязким (пластическим).

На диаграмме моменту разрушения соответствует точка L. Нисходящий участок HL объясняется тем, что площадь поперечного сечения шейки быстро уменьшается и для дальнейшего деформирования требуется всё меньшая нагрузка. Таким образом, создаётся впечатление, что разрушение происходит при напряжении δ_L , которое меньше предела прочности δ_u . В действительности же дело обстоит несколько иначе.

Формула $\delta = \frac{N}{A_0} = \frac{F}{A_0}$ для данного эксперимента является условной

и, по существу, не даёт истинного значения напряжения материала, поскольку площадь поперечного сечения образца всё время уменьшается. Отсюда следует и условный характер диаграммы. Если же обратиться к диаграмме истинных нарушений:

$$\delta = \frac{N}{A} = \frac{F}{A},$$

где A – переменная площадь сечения, то окажется, что и за точкой, характеризующей предел прочности, напряжение непрерывно возрастает, вплоть до разрыва – штрихованная линия.

Истинное напряжение разрушения выше предела прочности на 60–70%. Было бы, однако, ошибкой ориентироваться на напряжение δ_{\max} в вопросе определения наибольшей нагрузки, которую способен выдерживать образец до разрыва. Повышение истинных напряжений между точками H и L связано с резким уменьшением рабочей площади образца, что, как отмечалось выше, требует меньшей нагрузки для завершения процесса разрушения.

Таким образом, диаграмма напряжений, несмотря на свою условность, весьма показательна.

Во-первых, она чётко устанавливает упругие характеристики материала (E , $\delta_{\text{пр}}$, δ_e) и даёт ясное представление об области его работоспособности (восходящие участки диаграммы).

Во-вторых, диаграмма даёт достоверные значения прочностных характеристик (δ_y , δ_n), поскольку при малых деформациях в упругой стадии работы могут быть ошибки в определении площади сечения в стадии самоупрочнения. Определение отличается от первоначального не более чем на 5–10%.

В-третьих, основным преимуществом диаграммы является то, что она получается непосредственно из опыта.

После проведения испытания определяют ещё две характеристики материала:

Относительное остаточное удлинение при разрыве:

$$\varepsilon_r = l_1 - \frac{l_0}{l_0} \times 100$$

и относительное поперечное сужение при разрыве:

$$U_r = A_0 - \frac{A_1}{A_0} \times 100,$$

где l_1 – расчётная длина образца (расстояние между рисками) после разрыва; A_1 – площадь его поперечного сечения в месте разрыва, равная для экспериментального образца $\pi d_1^2/4$ (d_1 – минимальный диаметр шейки).

Параметры ε_r и U_r являются мерой пластичности материала. Их не следует смешивать с величинами ε и ε' , которые характеризуют деформативность материала только в упругой стадии его работы (в пределах справедливости закона Гука).

2.9. Диаграмма растяжения пластичных материалов, не имеющих площадки текучести

Ярко выраженная площадка текучести присуща только сталям, содержащим 0,1–0,3% углерода, латуни и некоторым видам бронзы. Для большинства металлов и сплавов характерен постепенный переход в пластическую стадию. Так, например, при малом содержании углерода в стали (менее 0,1) площадка текучести заменяется плавной кривой развития пластических деформаций.

Для пластичных материалов, не имеющих площадки текучести, вводят условное понятие технического предела текучести (в отличие от физического). За него принимают напряжение, при котором относительное остаточное удлинение достигает примерно того же значения, что и при наличии площадки текучести. Обычно считают, что $\varepsilon_{pl} = 0,2\%$, поэтому условный предел текучести обозначают $\delta_{0,2}$.

Из всего вышесказанного следует, что пластичность – это положительное свойство материала. Она играет важную роль в обеспечении

безопасности и надёжности конструкций. Чем длительнее развитие пластических деформаций, тем больше предел несущей способности (начало пластического деформирования) отдалён от предела прочности (фактического разрушения материала).

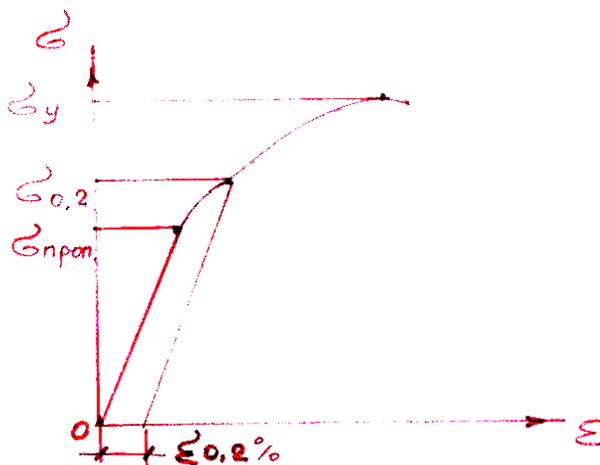


Рис. 2.23. Диаграмма растяжения стали без выраженной площадки текучести

Вследствие больших значений пластических деформаций, в десятки и сотни раз превышающих упругие, их развитие в перенапряжённых элементах сложных конструкций приводит к перераспределению и выравниваю усилий за счёт догрузки менее напряжённых элементов. Тем самым повышается работоспособность конструкции в целом по сравнению с расчётными пределами.

Таким образом, работа материала в пластической стадии представляет огромный резерв прочности, благодаря которому конструкция, как правило, не разрушается в прямом смысле (нарушение целостности), а теряет несущую способность из-за больших остаточных деформаций.

Несущую способность, ограниченную деформациями, которые делают невозможной эксплуатацию конструкции или сооружения, принято называть эксплуатационной способностью. Разрушения же, как таковые, происходят лишь в случае перехода материала из пластического состояния в хрупкое вследствие концентрации напряжений, температурных изменений, характера нагружения, особенностей химического состава, технологической обработки (термической или механической) и других факторов.

Хрупкостью называется свойство материала, противоположное пластичности, т.е. склонность к разрушению при весьма малых остаточных деформациях, выражаемых в ряде случаев долями процента. К хрупким материалам относятся чугун (железоуглеродистая сталь с содержанием углерода 2,2–6,7, обычно 3–4,5%); высокоуглеродистая сталь (0,6–1,2% углерода); стекло, каменные конструкции.

Хрупкое разрушение принципиально отличается от вязкого. Оно является следствием чрезмерного развития упругих деформаций при отсутствии или затруднённости пластических. На диаграмме нагружения хрупкого материала при растяжении отклонение от закона Гука наблюдается уже в начальной стадии и модуль E не является постоянной величиной.

Однако в пределах невысоких напряжений, при которых такие материалы работают в конструкциях, криволинейность диаграммы незначительна и ей пренебрегают, заменяя кривую секущей и считая $E = \text{const}$.



Рис. 2.24. Диаграмма растяжения хрупкого материала

Хрупкие материалы, как правило, плохо сопротивляются растяжению. Опасность хрупкого разрушения заключается в том, что происходит быстро, почти внезапно, без образования шейки, поэтому на диаграмме нет чёткого разграничения между пределом несущей (эксплуатационной) способности и пределом прочности в виде области пластических деформаций.

2.10. Испытание на сжатие

Свойства материалов при сжатии изучают на образцах кубической, призматической или цилиндрической формы.

Цилиндрическая форма характерна для металлов и сплавов, причём отношение высоты цилиндра к диаметру $\frac{h_0}{d_0}$ должно быть не более 3. В

противном случае образец может искривиться и потерять прямолинейную форму, т.е. деформация сжатия повлечёт за собой продольный изгиб.

Испытание на сжатие пластичных материалов, несмотря на простоту, менее распространено, чем испытание на растяжение. Объясняется это тем, что в упругой стадии и при малом развитии пластических деформаций диаграмма сжатия таких материалов, как низкоуглеродистая сталь, почти полностью повторяет диаграмму растяжения и не даст никаких новых механических характеристик. Пределы пропорциональности, упругости и текучести имеют те же значения. Углы наклона прямолинейных участков на обеих диаграммах одинаковы, следовательно, одинаковы и модули E . При сжатии получить такую характеристику, как предел прочности, для пластичного материала не представляется возможным.



Рис. 2.25. Схема сжатия стойки

Исследуемый образец (например цилиндр) сначала принимает бочкообразную форму, а затем рассматривается, не претерпевая разрушения. В расчётной практике предел прочности на сжатие условно принимают таким же, как на растяжение:

$$\sigma_{сж} = \sigma_{раст}.$$

Для хрупких материалов, таких как чугун, бетон и прочие каменные материалы, испытание на сжатие является основным.

Их образцы доводят до разрушения, а предел прочности устанавливают, как при растяжении:

$$\sigma_u = \frac{N_{max}}{A_0} = \frac{F_u}{A_0}.$$

Напряжение, при котором происходит разрушение каменного материала, в технической и нормативной литературе нередко называют прочностью. Но прочность образца не позволяет непосредственно оценить прочность материала вследствие проявления масштабного фактора. Она зависит от размеров испытываемых кубиков. По той же причине призматический образец разрушается при меньшей нагрузке, чем образец в форме куба, имеющий те же поперечные размеры. Соответствующая прочность называется призменной.

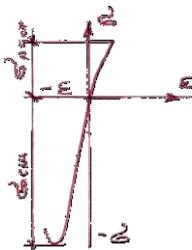


Рис. 2.26. Диаграмма сжатия хрупкого материала

Диаграмма сжатия хрупкого материала по виду напоминает диаграмму растяжения, но сопротивление сжатию во много раз превосходит сопротивление растяжению:

$$\sigma_{сж} \gg \sigma_{раст}$$

Разрушение при сжатии обычно происходит путём сдвига одной части образца относительно другой.

Плоскость сдвига в чугунном цилиндре наклонена примерно под углом 45° к оси.

Разрушение кубиков начинается с появления трещин, причём характер трещин зависит от состояния торцов образца, к которым прикладывается нагрузка. Если концы смазать, то возникают продольные трещины и образец разрушится при меньшей нагрузке по площадке параллельно направлению сжатия.



Рис. 2.27. Разрушение при сжатии хрупкого материала

Испытание на сжатие проводят, как правило, на особых прессах. Образцы имеют часто кубическую форму.

Сталь на сжатие испытывают редко, например при изготовлении роликовых и шариковых подшипников.

2.11. Твердость

Под твёрдостью материала понимают его способность оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твёрдого тела. Твёрдость является важным свойством материала и позволяет судить о его прочности.

Для определения твёрдости материала существует много способов. Одним из наиболее распространенных является способ, при котором происходит вдавливание стального закалённого шарика в испытуемый материал.

Если вдавливать в металл с силой P стальной закалённый шарик диаметром D , то шарик проникнет на некоторую глубину h в металл и оставит в нём вследствие пластической (остаточной) деформации испытуемого металла отпечаток в виде круглой лунки диаметром d .

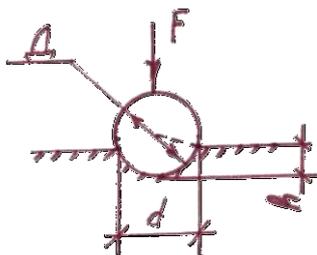


Рис. 2.28. Схема испытания на твердость материала по Бринеллю

Величина, характеризующая твёрдость, или, как говорят, число твёрдости по Бринеллю (H_B), представляет отношение силы P , с которой вдавливается шарик, к площади поверхности f лунки, оставшейся после вдавливания на испытуемом металле:

$$H_B = \frac{F}{f} = F \left(\frac{\pi \times D}{4} \times \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - d^2} \right) \right).$$

Испытание на твёрдость часто проводят на готовом изделии. Толщина изделий бывает различна. Чем меньше толщина, тем меньше берётся шарик и с тем меньшей силой он вдавливается в деталь.

Для сталей связь между числом твёрдости и пределом прочности выражается приближенно так:

$$\sigma_{\text{пр.}} \approx 0,36 \text{ Нв}$$

Значение твёрдости по Бринеллю можно найти в справочных материалах.

2.12. Сравнительная характеристика пластичных и хрупких материалов

На основании диаграмм растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов проведём анализ механических свойств этих материалов.

1. Основное развитие состоит в том, что хрупкие материалы разрушаются в упругой стадии, при малозатемнённых деформациях, тогда как пластичные перед разрушением претерпевают значительное деформирование и формоизменение. В связи с этим протяжённость диаграмм в направлении оси удлинений у пластичного материала значительно больше, чем у хрупкого.

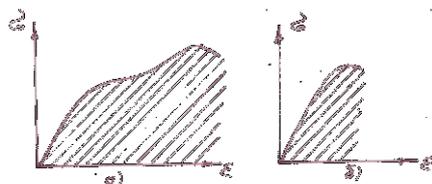


Рис. 2.29. Диаграммы растяжения стали: а) работа, затраченная для разрушения пластичного материала; б) работа, затраченная для разрушения хрупкого материала

2. Протяжённость диаграммы в сочетании с её формой и значением предела прочности определяет площадь диаграммы, которая выражает работу внешних сил, затраченную на разрушение образца. Из диаграммы видно, что для разрушения пластичного материала необходимо затратить значительно больше работы, чем для разрушения хрупкого. Следовательно, если конструкция предназначена для восприятия динамических нагрузок, предпочтение должно быть отдано пластичному материалу, потому что при динамических нагрузках выделяется очень много кинетической энергии и мало накапливается потенциальной энергии. Самым лучшим материалом является резина, $E = 0,007$ ГПа (гигапаскалей). Почему её и применяют в амортизирующих устройст-

вах. Эти данные необходимы для динамических расчётов, они являются достаточно сложными.

Хрупкие материалы быстро разрушаются от ударных воздействий вследствие своей недостаточной энергоёмкости. При статическом нагружении хрупкие материалы вполне работоспособны и надёжны благодаря незначительному деформированию и формоизменению даже при напряжениях, близких к пределу прочности.

3. Характерным признаком пластичных материалов является то, что они практически одинаково хорошо работают и на растяжение, и на сжатие. Большинство же хрупких материалов сопротивляется растяжению намного хуже, чем сжатию.

Таблица 2.1

Пределы прочности материалов на сжатие и растяжение

Материалы	Предел прочности на растяжение, $\sigma_{\text{раст}}$	При сжатии, $\sigma_{\text{сж}}$
Сталь Ст3	345–390	–
Чугун серый	120–380	50–140
Бетон	0,14–2,5	0,95–43
Древесина ели и сосны вдоль волокон	25–34	20–33
Стекло	30–90	500–2000

Это обстоятельство в значительной мере ограничивает применение хрупких материалов или требует специальных мер по их усилению при работе на растяжение. Отсюда понятна идея создания композиционных материалов, к числу которых в первую очередь относятся железобетон (сочетание бетона и стальной арматуры, предназначенной главным образом для восприятия усилий растяжения), армированное стекло, армированная керамика.

4. Хрупкие и пластичные материалы по-разному ведут себя в условиях концентрации напряжений. Если, например, в гладком плоском образце сделать отверстие или надрезы с боков, то линии силового потока отклонятся и обтекут возникшие на их пути препятствия.

Концентрация этих линий свидетельствует о местном повышении напряжений, которое может оказаться весьма существенным.

В подобных случаях, обычно в результате теоретического или экспериментального исследования, устанавливают коэффициент концентрации – d , число, указывающее, во сколько раз надо увеличить номи-

нальное напряжение $\delta_0 = \frac{N}{A}$, чтобы получить максимальное местное напряжение в ослабленном сечении: $\delta_{\max} = \lambda \times \delta_0$. Для определения λ можно также пользоваться таблицами и графиками, приводимыми в справочной литературе.

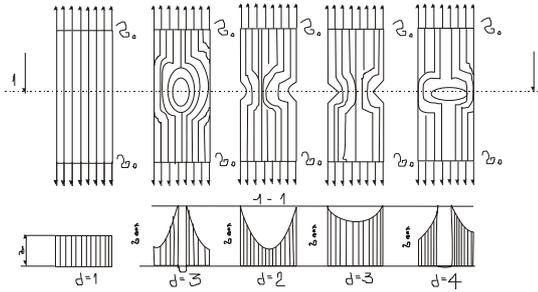


Рис. 2.30. Напряжения в местах ослабления сечения

Если образец изготовлен из пластичного материала с протяжённой площадкой текучести и подвергается статическому нагружению, то при увеличении нагрузки рост максимальных местных напряжений превращается, как только они достигнут предела текучести (а). Дальнейшее увеличение нагрузки сопровождается ростом напряжений в остальной части сечения, а также расширением пластической зоны, где напряжения постоянно равны σ_y (б, в).

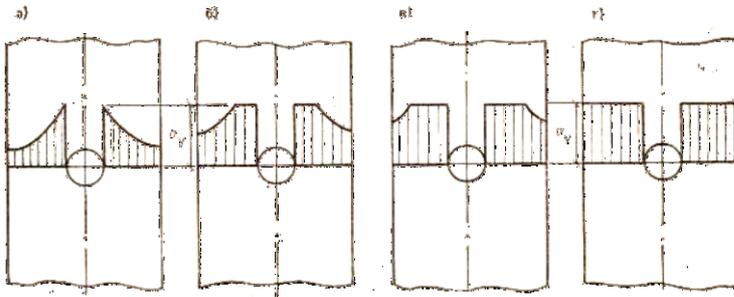


Рис. 2.31. Значения напряжений в местах отверстий

Таким образом, пластичность способствует выравниваю напряжений. На этом основании принято считать, что при статическом нагружении пластичные материалы мало чувствительны к концентрации нагру-

жений. Предельной является нагрузка, соответствующая моменту, когда всё сечение переходит в пластическое состояние (г):

$$F_y = \sigma_y A_0,$$

где A_0 – площадь ослабленного сечения.

При ударных и повторно-переменных нагрузках, когда напряжения и деформации быстро меняются во времени, выравнивания напряжений произойти не успевают и отрицательное влияние концентрации напряжений сказывается в полной мере.

У хрупких материалов вследствие ограниченной деформативности неравномерное распределение напряжений вблизи концентраторов сохраняется вплоть до самого разрушения. Очагами разрушения являются трещины, возникающие сразу после того, как максимальные местные напряжения достигают предела прочности (а).

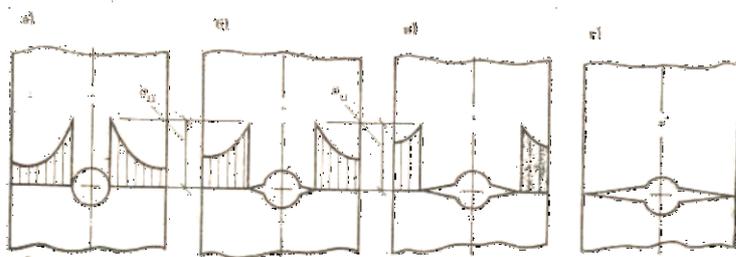


Рис. 2.32. Значения напряжений в местах отверстий

Площадь поперечного сечения при этом уменьшается (б) и без дальнейшего увеличения нагрузки напряжения в этой части сечения возрастают. Трещины продолжают развиваться (в) до тех пор, пока образец не разрушится по ослабленному сечению. Процесс разрушения происходит почти мгновенно, причём номинальные напряжения оказываются значительно меньше, чем при отсутствии концентратора. Следовательно, концентрация напряжений резко снижает прочность хрупких материалов. У пластичных материалов и хрупких обнаруживаются резко отличающиеся свойства при работе как на растяжение, так и на сжатие. Тем не менее, деление материалов на пластичные и хрупкие является довольно относительным. В зависимости от условий испытания и работы пластичный материал может проявить склонность к хрупкому разрушению, и, наоборот, хрупкий приобретает пластичные свойства (резина на морозе, чугун при нагреве). Например, камень являющийся при осевом сжатии типично хрупким материалом, в условиях всестороннего сжатия деформируется пластически и даже течёт (мрамор, пес-

чаник). Многие горные породы, находясь под давлением вышележащих слоёв, претерпевают пластическое деформирование при сдвигах земной коры.

С другой стороны, стальной образец с кольцевой выточкой разрушается без образования шейки в связи с тем, что развитие пластических деформаций затруднено близостью более широкой части стержня.



Рис. 2.33. Стальной образец с кольцевой выточкой

Существенное влияние на проявление механических свойств материала оказывает продолжительность нагружения и температурные воздействия. При быстром нагружении более резко проявляется склонность к хрупкому разрушению, при длительном – пластичность.

Хрупкое стекло, например, способно в условиях длительного нагружения при нормальной температуре (20^0) давать остаточную деформацию.

Диапазон температур, в пределах которого могут нормально работать материалы, далеко выходит за рамки нормальных условий.

Существует материал, который работает при очень высоких температурах (доменные печи), или же, наоборот, рабочие температуры оказываются очень низкими (элементы холодильных установок, резервуары для сжиженных газов).

Отрицательные температуры несколько повышают прочность стали, но увеличивают её хрупкость. При температуре ниже -10^0C пластические свойства начинают заметно ухудшаться и при $t < -45^0\text{C}$ сталь становится хрупкой (низкоуглеродистой). Это свойство называется хладноломкостью. Это свойство низкоуглеродистой стали следует учитывать при применении её в местах с суровым климатом. Склонность к хладноломкости характерна для большинства чёрных металлов, а также цинковых сплавов. Цветные металлы не обнаруживают хладноломкости ни при каких отрицательных температурах. Подобным же образом ведут себя и многие алюминиевые сплавы.

Немалый практический интерес представляет поведение пластичного материала при разгрузке и последующем нагружении. Если стальной образец подвергнуть растяжению до пластического состояния и затем разгрузить, то появится остаточная деформация. При повторном нагружении после некоторого «отдыха» материала (перерыва) сталь опять начинает работать упруго, повторяя прямую разгрузки и следуя затем диаграмме однократного растяжения. Площадка текучести при повторном нагружении, если она была преодолена при первом нагружении, не возникает, т.е. материал становится как бы более жёстким. Такое повышение упругих свойств называется наклёпом, нагартовкой.

Наклёп при растяжении элементов – явление отрицательное, вследствие снижения пластических свойств стали. Предварительно растянутый образец, получив большую остаточную деформацию, при вторичном нагружении разрушается почти в пределах упругой деформации, т.е. как типично хрупкий материал.

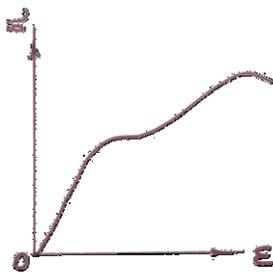


Рис. 2.34. Диаграмма растяжения пластического материала

Наклёп при сжатии может быть полезным как повышающий твёрдость и сопротивляемость вибрационным нагрузкам. Однако такое мероприятие оказывается достаточно дорогостоящим и используется только в редких случаях.

Наклёп может возникнуть при холодной обработке металла в процессе изготовления конструкций. Так, например, при продавливании отверстий под заклёпки или болты материал у краёв отверстия оказывается наклепанным и обладающим повышенной хрупкостью. В результате при действии динамических нагрузок и повторно-переменных в этих местах возможно появление трещин. По этой причине отверстия целесообразно пробивать меньшего диаметра, а затем рассверливать до проектного размера, удаляя наклепанный материал.

В некоторых случаях, когда уменьшение удлинения не имеет столь большого значения, наклёп используют для повышения прочностных характеристик. Таким способом упрочняют иногда стальную арматуру

железобетонных конструкций. Но особенно широко он применяется для упрочнения алюминиевых слоёв, главным образом не обработанных магниевых.

К наклёпу прибегают и в тех случаях, когда необходимо снизить деформацию элементов. Например, канаты и тросы грузоподъёмных механизмов в процессе эксплуатации постепенно вытягиваются и могут не помещаться на барабанах и блоках. Во избежание этого, а также в целях повышения прочностных характеристик проволоку канатов и тросов подвергают предварительной вытяжке за предел текучести. Аналогично поступают с телеграфной и телефонной проволокой для предотвращения или уменьшения провисания под действием собственного веса или гололёдной нагрузки. Итак, один и тот же материал, при различных обстоятельствах может проявлять диаметрально противоположные свойства. Следовательно, правильнее говорить не о пластичных и хрупких материалах, а о пластичном и хрупком состоянии (или разрушении) материала в определённых условиях нагружения. В дальнейшем, для простоты изложения, будем по-прежнему применять термин «пластичный» и «хрупкий» материалы, но понимать их следует с учётом сказанного выше.

Понятие о работе анизотропных материалов

Если материал обнаруживает различные свойства в разных направлениях, он называется анизотропным. Классическим примером может служить древесина.

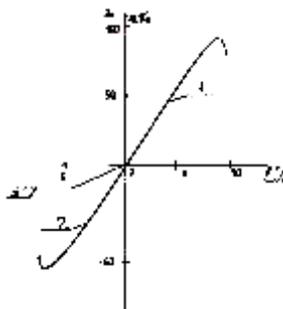


Рис. 2.35. График испытания анизотропного материала

Расположение волокон, видимых невооружённым глазом, создаёт сравнительно высокую прочность в направлении ствола и малую – в поперечном направлении. Предел прочности при растяжении вдоль волокон стандартных образцов сосны и ели составляет в среднем 100 МПа. Материал работает упруго почти до самого разрушения (1),

которое происходит хрупко в результате разрыва наиболее слабых волокон по пилообразной поверхности.

Однако наличие сучков и косослоя значительно снижает сопротивление растяжению. Опыты показывают, что при максимально допустимых действующими нормами размерах сучков (1/4 ширины или диаметра растянутого элемента) предел прочности составляет всего около 25–30% предела прочности стандартных образцов из чистой древесины.

При растяжении поперёк волокон предел прочности в 20–25 раз ниже, чем вдоль волокон. В этом случае существенным является наличие косослоя, при котором направление усилия не совпадает с направлением волокон. Чем протяжнее косослой, тем больше составляющая усилия, перпендикулярная волокнам, и тем меньше прочность элемента. По действующим нормам косослой в растянутых элементах не должен превышать 7 см на 1 м длины.

Испытания стандартных образцов на сжатие вдоль волокон дают значения предела прочности в 2–2,5 раза меньше, чем на растяжение. Влияние сучков при сжатии меньше, чем при растяжении. Этим объясняется широкое применение металлодеревянных конструкций, у которых основные растянутые элементы выполнены из стали, а сжатые и сжато-изогнутые – из дерева. При сжатии поперёк волокон древесина сильно прессуется, и определить момент начала разрушения затруднительно, о чём свидетельствует диаграмма 3.

Среди наиболее эффективных современных конструкционных материалов следует отметить большую группу армированных пластиков, объединённых общим названием СВМ (стекло-волоконный анизотропный материал). Их получают путём горячей пропитки эпоксидной смолой и прессованием тончайших стеклянных волокон. Высокая прочность стеклопластиков объясняется тем, что тонкие нити значительно прочнее массивных образцов, выполненных из того же материала (с уменьшением толщин волокна уменьшаются дефекты изготовления, являющиеся основной причиной снижения прочности любого материала). К недостаткам стекло-волоконных материалов следует отнести низкие показатели пластичности и, как следствие, хрупкий характер разрушения, а также малую жёсткость (модуль E в 2 раза меньше, чем у алюминия).

В последнее время промышленностью освоены высокопрочные волокна, значительно превосходящие по своим свойствам стеклянные и имеющие более высокое растяжение.

Тема 3. ЦЕНТРАЛЬНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ (СЖАТИЕ)

3.1. Продольная сила

Осевым (центральным) растяжением (сжатием) называется такой вид деформации бруса, при котором внутренние силы в его поперечных сечениях приводятся к одной равнодействующей силе N , направленной вдоль оси Z .

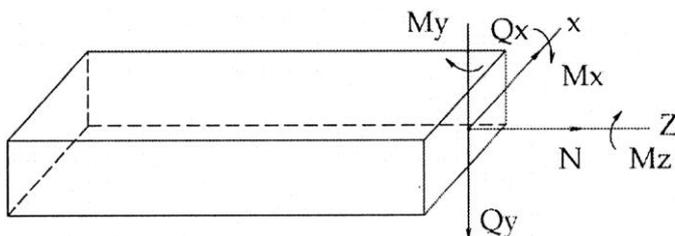


Рис. 3.1. Осевое (центральное) растяжение (сжатие) деформации бруса

Эта сила называется продольной или нормальной, поскольку она перпендикулярна (нормальна) поперечному сечению.

Продольную силу определяют методом сечений. Брус рассекают воображаемой плоскостью, перпендикулярной к его оси, мысленно отбрасывают одну из образовавшихся частей, а ее действие на оставшуюся часть заменяют неизвестной силой N .

Правило знаков. Силу N принято считать положительной при растяжении, т.е. когда она направлена от сечения, и наоборот, продольная сила отрицательна, если она направлена к сечению.

Если направление продольной силы неизвестно, то ее условно принимают положительной, полагая, что брус растянут. Знак «минус» при решении уравнения равновесия укажет на ошибочность выбранного направления, и в действительности брус окажется сжатым.

В тех случаях, когда значения продольных сил в разных сечениях неодинаковы, строят эпюру продольных сил, которая представляет собой график изменения продольной силы N по длине бруса. Эпюра необходима для расчета бруса на прочность. Она позволяет быстро находить опасные сечения, где продольная сила достигает наибольших абсолютных значений.

Пример: На расчетной схеме представлена стойка, нагруженная по оси силами F_1 , F_2 , F_3 .

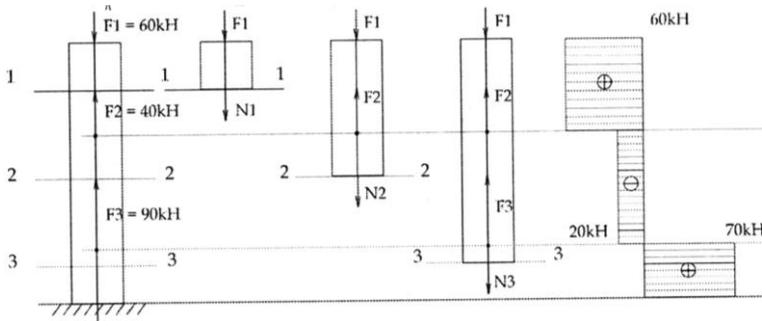


Рис. 3.2. Эпюра N, кН

Определить значение продольной силы на всех участках стойки, нагруженной силами $F_1 = 60\text{кН}$, $F_2 = 40\text{кН}$, $F_3 = 90\text{кН}$, и построить эпюру продольных сил.

Решение: Брус имеет три участка. Их границами являются сечения, где приложены внешние силы. Расчет защемленного бруса целесообразно начинать со свободного конца, так как при этом отпадает необходимость в предварительном определении реакции заделки. Используем метод сечений: мысленно разрезаем брус по сечению 1–1 на первом участке и отбрасываем нижнюю часть, заменяя ее действие на оставшуюся верхнюю часть неизвестной продольной силой N_1 .

Предполагая, что эта сила направлена от сечения (т.е. рассматриваемый участок растянут), и руководствуясь правилом знаков статики, составляем уравнение равновесия верхней части: $\Sigma Z = 0$;

$$- F_1 - N_1 = 0;$$

$$N_1 = - F_1 = - 60\text{кН}.$$

Продольная сила получилась отрицательной, следовательно, ее первоначальное направление выбрано неправильно, и участок работает не на растяжение, а на сжатие. Заметим, что полученное значение продольной силы справедливо на всем протяжении верхнего участка, поскольку в любом его полученном сечении удовлетворяется записанное уравнение равновесия.

Путем аналогичных рассуждений в сечении 2–2 получаем:

$$\Sigma Z = 0;$$

$$- F_1 + F_2 - N_2 = 0$$

$$N_2 = - F_1 + F_2 = - 60 + 40 = - 20\text{кН},$$

т.е. средний участок тоже сжат.

Анализируя выражения усилий N_1 и N_2 , замечаем, что продольная сила в поперечном сечении прямого бруса, численно равна алгебраиче-

ской сумме проекций на его ось всех внешних сил, приложенных с одной стороны (в данном случае – сверху) от рассматриваемого сечения.

Сформированный вывод имеет большое практическое значение. Он позволяет определять продольную силу, не прибегая каждый раз к изображению отсеченной части бруса и составлению уравнения равновесия. При этом необходимо руководствоваться введенным выше правилом знаков силы N (знак «плюс» – при растяжении, знак «минус» – при сжатии).

С учетом сказанного в сечении 3–3:

$$N_3 = -F_1 + F_2 + F_3 = N_2 + F_3 = -20 + 90 = 70 \text{ кН.}$$

Сила положительная, поэтому нижний участок растянут. Вычислив значения продольной силы на каждом участке, покажем ее графическое изменение по длине бруса. Для этого проводим параллельно оси бруса так называемую базисную линию (ось эпюры) и откладываем перпендикулярно ей в выбранном масштабе найденные значения N :

- положительные вправо,
- отрицательные влево.

(Для горизонтально расположенного бруса – соответственно вверх и вниз). Соединяем полученные точки прямыми линиями, параллельными базисной линии, и указываем алгебраические знаки. Построенную таким образом эпюру заштриховываем линиями, перпендикулярными оси. По этим линиям можно судить о значении продольной силы в соответствующих сечениях бруса.

Из рассмотрения построенной эпюры видно, что в сечениях, где приложены внешние силы (на границах участков), внутренняя сила меняется скачкообразно, причем размеры скачков равны соответствующей внешней силе. Так, скачок на уровне заделки характеризует значение реакции ($R = 70 \text{ кН}$). Знак на нижнем участке свидетельствует о том, что реакция направлена вниз (от опорного сечения).

Рассмотрим, как влияет на работу бруса перенос внешней силы по линии ее действия.

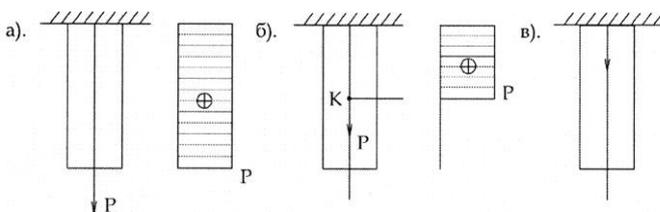


Рис. 3.3. Влияние точки приложения нагрузки на работу бруса:
 а) внешняя сила приложена к свободному концу и в любом сечении бруса возникает внутренняя сила $N = P$

Если перенести силу Р по оси в точку К, то равновесие бруса не нарушается, но растянутой окажется только верхняя часть. И если приложим силу к закрепленному концу, то она не вызовет растяжения вообще. Перенос силы по действию меняет характер работы бруса. Точка приложения силы имеет первостепенное значение в деформационном поле.

Задача на сжатие

Определить допускаемую сжимающую силу для короткой чугунной трубы, наружный диаметр которой $d_H = 200$ мм и толщина стенок $t = 2,5$ см.

Допускаемое напряжение на сжатие для чугуна $[\sigma_c] = 120$ Н/мм².

Решение: Площадь поперечного сечения трубы при наружном диаметре $d_H = 200$ мм и внутреннем $d_B = d_H - 2 \times 25$ (2t) = $200 - 2 \times 25 = 150$ мм составляет

$$A = \left(\frac{\pi \times d_H^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \times d_B^2}{4} \right) = \left(\frac{\pi \times 200^2}{4} - \frac{\pi \times 150^2}{4} \right) = 13740 \text{ мм}^2.$$

Допускаемая нагрузка определяется по формуле:

$$[F] = [N] = A \times [\sigma] = 13740 \times 120 = 165 \times 10^4 \text{ Н} = 1650 \text{ кН}.$$

Первый вопрос, с которого начинает конструктор при проектировании, – это выбор материала. Вопрос выбора решается, прежде всего, сообразно с условиями работы проектируемых элементов конструкции. При выборе материала принимаются во внимание также экономические соображения и технология изготовления. Однако этого еще недостаточно для рационального выбора материала. Мы уже с вами говорили о разнице хрупкого и пластического материала при испытании их на растяжение и сжатие.

Теперь мы остановимся еще на одном обстоятельстве, которое необходимо учитывать при выборе материала. Дело в том, что пластичные материалы в отличие от хрупких ведут себя совершенно иначе в отношении так называемых местных напряжений, т.е. напряжений, возникающих на очень небольшой части поперечного сечения и значительно превышающих напряжение на всей остальной части сечения.

При растяжении или сжатии напряжения распределяются равномерно по поперечному сечению только в элементах постоянного сечения. Однако трудно найти в жизни элементы постоянного сечения. Поломки деталей происходят в местах резкого изменения поперечного сечения. Это снижение прочности объясняется местным повышением напряжения в области резкого изменения размеров поперечного сечения. Так, например, при растяжении крупного образца с выточкой или прямоугольного образца с отверстием напряжения распределяются по

опасному поперечному сечению не равномерно, а так, как указано на рис. 3.4.

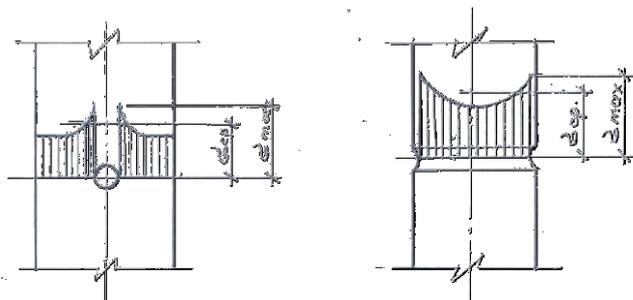


Рис. 3.4. Распределение напряжения в месте ослабления сечения

Резкое повышение напряжения имеет место в небольшой зоне, с удалением от этой зоны напряжение быстро уменьшается.

Отношение максимального местного напряжения к среднему напряжению, которое было бы при равномерном распределении напряжений, называется коэффициентом концентрации напряжений. Обозначив коэффициент концентрации напряжений α , будем иметь:

$$\alpha = \sigma_{\max} / \sigma,$$

где σ_{\max} – максимальное местное напряжение, а σ – напряжение при равномерном распределении напряжений, т.е. среднее напряжение; это напряжение часто называется номинальным напряжением. При растяжении стержня номинальное напряжение равно

$$\sigma = F / A,$$

где A – площадь поперечного сечения в данном месте стержня.

Для нахождения величины α коэффициента концентрации напряжений, очевидно, нужно находить величину местных напряжений. Задача эта очень трудная и методами сопромата не решается. В большинстве случаев максимальные напряжения определяются методами теории упругости или опытным путем. Для многих типичных случаев концентрации напряжений (выточки, сверления, шпоночные канавки, резьба и т.п.) при различных видах деформации определены коэффициенты концентрации напряжений. Значения этих коэффициентов можно найти в справочниках. Обычно величины их лежат в пределах 1,2–3.

Концентрация напряжений играет большую роль при выборе материала для различных случаев нагружения. Деля материалы на пластичные и хрупкие в зависимости от того, с большим или малым удлинением разрушается материал при статическом растяжении и при нормальной температуре, можно сказать, что концентрация напряжений по-

разному влияет на прочность пластичных и хрупких материалов. Возьмем образец с наличием концентрации напряжений из пластичного материала и подвергнем его статическому растяжению. С увеличением нагрузки в образце будут расти и напряжения. После того, как в месте концентрации напряжений величина максимального напряжения достигает предела текучести, она дальше с повышением нагрузки расти не будет. С повышением нагрузки в опасном сечении будут расти напряжения, которые не достигли еще предела текучести. Таким образом, с дальнейшим увеличением нагрузки будет происходить выравнивание напряжений по поперечному сечению. Поэтому можно сказать, что концентрация напряжений в пластичном материале при статическом нагружении не снижает прочности. Следовательно, в этом случае при расчете можно не принимать во внимание концентрацию напряжений. Иначе дело обстоит в случае хрупкого однородного материала, как, например, очень прочной хрупкой стали. Здесь уже концентрацией напряжений пренебрегать нельзя. В настоящее время применяется так много материалов с различными механическими свойствами, отвечающих разным условиям работы материала, что даже краткий обзор занял бы слишком много времени. Данные о механических свойствах материалов нужно искать в справочной литературе.

Механические испытания материалов дают предельные значения напряжений (предел прочности, предел текучести), достижение которых в теле влечет за собой или разрушение, или появление недопустимо больших деформаций.

Для безопасной работы конструкции напряжения, возникающие в ее элементах, должны быть ниже этих предельных напряжений. Поэтому вторым важным вопросом при проектировании является выбор безопасного, или так называемого допускаемого напряжения. Допускаемым напряжением называется напряжение, при котором обеспечивается прочность и долговечность проектируемого элемента конструкции. Допускаемые напряжения составляют некоторую долю от предельных напряжений. Число k , показывающее во сколько раз допускаемое напряжение меньше предельного напряжения, называется запасом прочности.

В зависимости от вида нагрузки и материала при выборе допускаемого напряжения берется то или другое исходное предельное напряжение. В случае хрупкого материала за исходное предельное напряжение берется предел прочности. В этом случае допускаемое напряжение равно:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{пр.}}}{k}.$$

Если в рассчитываемом элементе конструкции из очень хрупкой стали имеется местное напряжение и оно является наибольшим для де-

тали, то допускаемое напряжение в этом случае определяется по формуле:

$$[\sigma] = \sigma_{\text{пр.}} \times \alpha k,$$

где α – коэффициент концентрации напряжений, который берется из справочника.

При наличии в элементе концентрации напряжений надо выбирать материал пластичный, малочувствительный к местным напряжениям.

Если элемент конструкции выполняется из такого неординарного материала, как чугун, то и коэффициент концентрации напряжений не учитывается. Дело в том, что в подобных материалах концентрация напряжений, вызванная резким изменением сечения, оказывается меньшей, чем порождаемая неоднородностью материала.

В случае такого пластичного материала, как строительная сталь, за исходное предельное напряжение берется предел текучести. В этом случае допускаемое напряжение будет:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{k}.$$

При постоянной нагрузке и пластичном материале концентрацией напряжения, вызванной резким изменением сечения, пренебрегают, поэтому и при наличии концентрации напряжений допускаемое напряжение определяется по формуле:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{k}.$$

Установление допускаемого напряжения или запаса прочности является очень важным практическим вопросом. Если допускаемое напряжение выбрано очень большим, то конструкция будет непрочной. С другой стороны, при заниженном допускаемом напряжении размеры конструкции будут изменены большими, что повлечет за собой утяжеление и удорожание конструкции. Во многих случаях, как, например, в самолетостроении, утяжеление конструкции вообще не допустимо.

Правильный выбор допускаемого напряжения может быть сделан только с учетом ряда обстоятельств. Прежде всего, следует отметить, что внешние нагрузки, которые будут действовать на проектируемый элемент конструкции, во многих случаях не могут быть определены точно. Кроме того, часто напряжения определяются лишь приближенно, особенно в случаях местных напряжений и сложных форм элементов конструкции. Чем с меньшей точностью определены нагрузки и напряжения, тем больший следует дать запас прочности при установлении допускаемого напряжения.

1. Запас прочности должен быть назначен таким, чтобы он мог покрывать в расчете наши неточные знания нагрузок и напряжений. На величину допускаемого напряжения влияет и материал.

2. Чем более неоднороден материал, тем больше запас прочности следует брать при установлении допускаемых напряжений, так как у неоднородного материала механические характеристики не могут быть определены точно.

3. Запас прочности берется тем больше, чем долговечнее должна быть конструкция. Приведенные общие основания, которыми руководствуются при выборе допустимых напряжений при всех видах деформаций, показывают, насколько этот вопрос сложный. Дать общие нормы допустимых напряжений, пригодные для всех случаев, встречающихся на практике, нельзя; особенно трудно дать также нормы для машиностроительной промышленности. Но если эти нормы существуют, пользоваться ими обязательно. С усовершенствованием расчетов, с накоплением опытов нормы периодически уточняются.

4. В тех случаях, когда этих норм нет, нужно использовать существующий опыт работы аналогичных конструкций.

Ориентировочные значения допускаемых напряжений ($\sigma_{\text{доп}}$) МПа

	$[\sigma_{\text{сж}}]$	$[\sigma_{\text{раст}}]$
Чугун	120–150	–
Медь	–	30–120
Латунь	–	70–140
Алюминий	–	60–120
Алюминиевая бронза	–	80–120
Дюралюминий	–	80–150
Бакелизированная фанера	–	40–50
Сосна вдоль волокон	10–12	7–10
Дуб вдоль волокон	13–15	9–13
Кирпичная кладка	до 10	до 0,7

Это уравнение позволяет решать следующие задачи:

1. По заданной силе F и допускаемому напряжению можно определить необходимую площадь сечения:

$$A \geq \frac{F}{[\sigma]}$$

2. По заданной площади сечения и допускаемому напряжению определить допускаемую нагрузку:

$$F \leq [\sigma] \times A.$$

3. По заданной силе и известной площади сечения A путем сравнения найденного по формуле напряжения σ с допусковым напряжением $[\sigma]$ определить, достаточно ли прочно тело:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma].$$

Задача 1

Полая чугунная цилиндрическая подставка длиной 25 см сжимается нагрузкой $F = 80$ кН. Определить внешний диаметр D , внутренний диаметр d и величину полного укорочения подставки, если допусковое напряжение на сжатие $[\sigma] = 120$ МПа;

$$E = 8 \times 10^4 \text{ Н/мм}^2 \text{ и } \frac{d}{D} = \frac{4}{5}.$$

Решение:

Из уравнения имеем:

$$\begin{aligned} \sigma = \frac{F}{A} &\leq [\sigma] \\ \frac{F}{\frac{\pi}{4} \left(D^2 - \frac{4}{5} \times D^2 \right)} &= \frac{F}{\frac{\pi}{4} \left(D^2 - \frac{16}{25} \times D^2 \right)} \\ &= \frac{F}{\frac{\pi (5 \times D^2 - 16 \times D^2)}{4 \times 25}} = \frac{F}{\left(\frac{9 \times \pi \times D^2}{100} \right)} = \frac{100 \times F}{9 \times \pi \times D^2} \leq [\sigma] \end{aligned}$$

$$\text{Откуда } D = \sqrt{\frac{100 \times F}{9 \times \pi \times [\sigma]}} = \sqrt{\frac{(100 \times 80 \times 10^3)}{(9 \times 3,14 \times 120)}} \geq 4,8 \text{ см.}$$

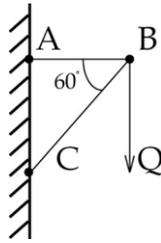
Возьмем $D = 5$ см, внутренний диаметр $d = \frac{4}{5} \times D = \frac{4}{5} \times 5 = 4$ см.

Абсолютное удлинение подставки найдем по формуле

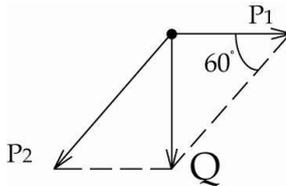
$$\Delta l = \frac{(F \times l)}{(F \times A)} = \frac{(80 \times 10^3 \times 25 \times 10)}{\left(8 \times 10^4 \times \frac{\pi}{4} (5^2 - 4^2) \right)} = 0,036 \text{ см.}$$

Задача 2

На чугунном кронштейне ABC в шарнире подвешен груз $Q = 50\text{кН}$.



Определить, какие должны быть размеры площади поперечного сечения в тяге АВ и подкосе ВС, если допускаемое напряжение чугуна на растяжение $[\sigma_p] = 30\text{ МПа}$, а допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma_{сж}] = 90\text{ МПа}$.



Решение:

Разлагаем силу Q на две составляющие по направлениям тяги АВ и подкоса ВС.

Сила, растягивающая тягу:

$$F_1 = \frac{Q}{\operatorname{tg} 60^\circ} = \frac{50 \times 10^3}{1,732} = 28800\text{Н}.$$

Сила, сжимающая подкос:

$$F_2 = \frac{Q}{\sin 60^\circ} = \frac{50 \times 10^3}{0,866} = 57800\text{Н}.$$

Необходимая площадь сечения тяги:

$$A_1 = \frac{28800}{30} = 966\text{ мм}^2 = 9,66\text{ см}^2 \approx 10\text{ см}^2.$$

Необходимая площадь сечения подкоса:

$$A_2 = \frac{57800}{90} = 634\text{ мм}^2 = 6,34\text{ см}^2.$$

В настоящее время расчеты ведут на основе расчетного сопротивления, которое устанавливается для каждого материала, дается в справочной литературе и обозначается соответственно: $R_{сж}$ – расчетное сопротивление материала на сжатие; R_p – расчетное сопротивление материала на растяжение; $R_{из}$ – расчетное сопротивление материала на изгиб.

Напряжение растяжения или сжатия определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A}.$$

Уравнение статической прочности или расчетное уравнение для растяжения и сжатия, если ввести расчетное сопротивление, примет вид:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq R \times \gamma,$$

где σ – рабочее напряжение в стойке,

N – расчетная нагрузка на стойку;

A – площадь сечения элемента;

$R_{сж(раст)}$ – расчетное сопротивление материала на сжатие (растяжение);

γ – коэффициент условий работы, равный 1.

Для стали марки Ст. 3 R при сжатии и растяжении = 210 МПа, для древесины сосны и ели R при сжатии и растяжении вдоль волокон – 20–30 МПа. Подробная методика расчета центрально-сжатого (центрально-растянутого элемента) представлена в методических указаниях к курсовой работе № 1 «Расчет центрально-сжатого (центрально-растянутого) элемента».

3.2. Напряжения, вызванные изменением температуры

Повышение и понижение температуры материала вызывают в нем соответственно, удлинение и укорочение. Поэтому при неравномерном нагреве или охлаждении элемента в нем могут возникать температурные напряжения при стесненности деформации. Так, например, могут возникнуть опасные напряжения при неравномерном охлаждении литья. Вследствие различия коэффициентов линейного расширения материалов температурные напряжения возникают в частях машин или сооружений, сделанных из разных материалов и скрепленных друг с другом.

Рассмотрим простейший пример возникновения температурных напряжений при изменении температуры.

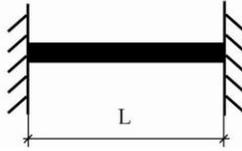


Рис. 3.5. Температурные напряжения возникают при закреплении обоих концов

Пусть стальной брус длиной L закреплен между двумя неподвижными плоскостями. Если бы один из концов бруса не был закреплен, то брус при изменении температуры мог бы свободно удлиняться и укорачиваться, т.е. изменения температуры не вызвали бы в нем температурных напряжений. В данном случае вследствие препятствия деформации, оказываемого в местах закрепления при изменении температуры, в брусе появится напряжение.

Пусть температура, при которой брус был закреплен в плоскостях, была t_1 , коэффициент линейного расширения стали α . Найдем напряжение в брусе, если температура изменится и станет равной t_2 .

Обозначим изменение температуры через t . Очевидно, абсолютное удлинение бруса в случае одного свободного конца было бы

$$\Delta l = \alpha t l.$$

Но плоскости не дают брусу возможности удлиняться. Следовательно, в нем появляются напряжения сжатия, соответствующие относительной деформации.

Относительная деформация бруса будет равна:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\alpha \times t \times l}{l} = \alpha \times t.$$

По закону Гука нормальное напряжение будет равно:

$$\sigma = E\varepsilon = E \alpha t.$$

Если $t_1 > t_2$, то в брусе будут появляться напряжения растяжения; если $t_1 < t_2$, то, наоборот, напряжения сжатия.

Коэффициент линейного расширения α некоторых металлов на 1°C .

Алюминий	$22,5 \times 10^{-6}$
Бронзы	$17,5 \times 10^{-6}$
Медь	$16,5 \times 10^{-6}$
Никель	13×10^{-6}
Сталь	12×10^{-6}
Цинк	$35,4 \times 10^{-6}$
Чугун	$10,4 \times 10^{-6}$

Для определения силы, с которой брус будет действовать на закрепляющие его плоскости, надо знать площадь сечения бруса. Обозначив эту площадь через A , будем иметь:

$$F = \sigma \times A = E \alpha t A.$$

Если принять допускаемое напряжение для стали $[\sigma] = 100$ МПа, $E = 2 \times 10^5$ Н/мм² и коэффициент линейного расширения $\alpha = 0,000012$, то при изменении температуры на $t = 50^\circ$ напряжение в бруске составит:

$$\sigma = E \alpha t = 2 \times 10^5 \times 0,000012 \times 50 = 120 \text{ МПа} > 100 \text{ МПа}.$$

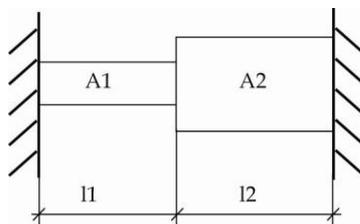
Напряжение, как видим, получилось больше допускаемого. Отсюда вытекает, что при проектировании необходимо учитывать напряжения от изменения температуры и проектировать так, чтобы этих напряжений или не было совсем, или чтобы они были незначительны. Это достигается особым укреплением концов, постановкой температурных швов и т.п.

Пример 1

Трамвайные рельсы сварены при температуре окружающей среды 20°C . Какое напряжение будет в рельсах при повышении температуры до 40°C , если $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ и $E = 2 \times 10^5$ Н/мм²?

Решение: Изменение температуры равно $t = 40^\circ - 20^\circ = 20^\circ$; Напряжение определим по формуле: $\sigma = E \alpha t = 2 \times 10^5 \times 12 \times 10^{-6} \times 20 = 48$ МПа.

Пример 2



Стальной ступенчатый брус закреплен между двумя неподвижными стенами при температуре t_1 . Определить величины напряжений в обеих ступенях бруса, если температура его повысилась до t_2 .

Решение:

Абсолютное удлинение бруса в случае отсутствия стен было бы равно:

$$\Delta l = \alpha (t_2 - t_1)(l_1 + l_2).$$

Стены препятствуют свободному удлинению бруса, следовательно, они сжимают брус с такой силой F , которая вызывает в нем укорочение, равное по величине Δl .

Укорочение бруса, вызываемое силой F , будет равно:

$$\Delta l = \left(\frac{F \times l_1}{E \times A_1} \right) + \left(\frac{F \times l_2}{E \times A_2} \right).$$

Из двух уравнений получим:

$$\alpha = \left(-t_1 \right) \times \left(-l_2 \right) = F \left(\frac{l_1}{E \times A_1} + \frac{l_2}{E \times A_2} \right).$$

Откуда

$$F = \frac{\left(-t_1 \right) \times \left(-l_2 \right)}{\left[\left(\frac{l_1}{E \times A_1} \right) + \left(\frac{l_2}{E \times A_2} \right) \right]}.$$

Напряжение в левой ступени бруса будет равно:

$$\sigma = \frac{\left(-t_1 \right) \times \left(-l_2 \right)}{\left[\left[\left(\frac{l_1}{E \times A_1} \right) + \left(\frac{l_2}{E \times A_2} \right) \right] \right] \times A_1}.$$

Напряжение в правой ступени бруса:

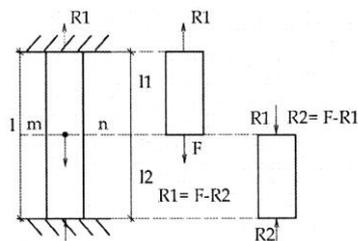
$$\sigma = [\alpha (t_2 - t_1)(l_1 + l_2)] : \{[(l_1 : EA_1) + (l_2 : EA_2)]\} A_2.$$

3.3. Статически неопределимые задачи на растяжение и сжатие

Во многих задачах сопротивления материалов внутренние усилия, действующие на брусках, не могут быть определены при помощи только уравнений равновесия абсолютно твердого тела. Это бывает тогда, когда число неизвестных усилий больше числа уравнений равновесия, которые можно составить для данного случая. Такие задачи поэтому называют статически неопределимыми. Статически неопределимые задачи решают добавлением к уравнениям равновесия недостающего числа уравнений, полученных из рассмотренных деформаций. В них входят, помимо усилий и геометрических размеров, еще и величины, характеризующие упругие свойства материала, т.е. модули упругости материала.

Рассмотрим решение некоторых задач, статически неопределимых на растяжение – сжатие.

Пример 1



Стальной брус длиной l , площадью поперечного сечения $A \text{ см}^2$, защемленный обоими концами, подвергается действию силы $F = 30 \text{ кН}$, положенной в середине сечения mn , отстоящем на расстояние $l_1 = 10 \text{ см}$ от верхней и на расстояние $l_2 = 20 \text{ см}$ от нижней заделки.

Определить усилия в частях бруса l_1 и l_2 .

Решение:

Сила F растягивает верхнюю часть бруса и сжимает нижнюю часть, поэтому обе реакции в заделках бруса будут направлены вверх. Обозначим через R_1 – реакцию в верхней заделке, а через R_2 – в нижней. Для определения двух реакций статика дает в этом случае одно уравнение $\sum y = 0$, из которого получим $R_1 + R_2 = F$.

Второе уравнение получим из рассмотрения деформации бруса. Так как оба конца защемлены, то, очевидно, сила F будет распределяться так, что удлинение верхней части будет равно укорочению нижней. Отсюда получим второе уравнение:

$$\frac{R_1}{E \times A} = \frac{R_2}{E \times A} \quad \text{или} \quad \frac{R_1}{l_2} = \frac{R_2}{l_1},$$

т.е. реакции будут обратно пропорциональны длинам.

Решая это уравнение совместно с уравнением статики, находим, что

$$R_1 = F \times \frac{l_2}{l_1 + l_2} \quad \text{и} \quad R_2 = F \times \frac{l_1}{l_1 + l_2} \quad \text{или,}$$

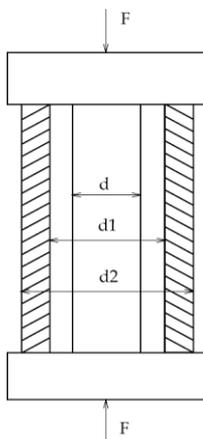
подставляя численные значения, получим:

$$R_1 = 30 \times \frac{20}{10 + 20} \text{ кН}, \quad R_2 = 30 \times \frac{10}{10 + 20} \text{ кН}.$$

Если принять $l_1 = l_2$, то $R_1 = R_2 = \frac{1}{2} P$

Пример 2

Стальной цилиндр вставлен в медную втулку. Цилиндр и втулка сжимаются двумя абсолютно жесткими плитами с силой F . Определить напряжения в цилиндре и втулке, если $F = 400000\text{Н}$, диаметр стального цилиндра $d = 10\text{ см}$, внутренний диаметр втулки $d_1 = 11\text{ см}$, внешний — $d_2 = 21\text{ см}$, модуль упругой части стали $E_c = 2 \times 10^{5\text{Н}}/\text{мм}^2$, меди $E_m = 1 \times 10^{5\text{Н}}/\text{мм}^2$.



Решение:

Для определения величины силы, приходящейся на стальной цилиндр F_c и на медную втулку F_m , статика дает только одно уравнение:

$$F_c + F_m = F. \quad (\text{a})$$

Недостающее для решения задачи второе уравнение получим из рассмотрения деформаций. Вследствие неподатливости плит цилиндр и втулка получают одинаковые укорочения. Укорочение стального цилиндра:

$$\Delta l_c = \frac{F_c \times l_c}{E_c \times A_c},$$

укорочение медной втулки:

$$\Delta l_m = \frac{F_m \times l_m}{E_m \times A_m}.$$

Так, по условию задачи $\Delta l_c = \Delta l_m$, то

$$\frac{F_c}{E_c \times A_c} = \frac{F_m \times l_m}{E_m \times A_m}.$$

Это уравнение деформации можно переписать в следующем виде:

$$\frac{F_c}{F_m} = \frac{E_c \times A_c}{E_m \times A_m}. \quad (6)$$

Из уравнения видно, что сила F , действующая на цилиндр и втулку, распределяется пропорционально их жесткостям.

Решая совместно уравнения (а) и (б), получим:

$$F_c = F \frac{E_c \times A_c}{E_c \times A_c + E_m \times A_m}; F_m = F \frac{E_m \times A_m}{E_m \times A_m + E_c \times A_c}.$$

Из этих выражений видно, что величины сил зависят от жесткостей цилиндра и втулки.

Разделив эти силы на площади поперечных сечений, найдем соответственно напряжения в стальном цилиндре и в медной втулке:

$$\sigma_c = F \frac{E_c}{E_c \times A_c + E_m \times A_m}; \sigma_m = F \frac{E_m}{E_m \times A_m + E_c \times A_c}.$$

Сравнивая полученные напряжения, замечаем, что их отношение друг к другу пропорционально модулям упругости материалов и не зависит от соотношения поперечных сечений:

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_m} = \frac{E_c}{E_m}.$$

К этому заключению можно было бы прийти проще: так как относительные деформации цилиндра и втулки в силу неподатливости сжимающих их плит одинаковы, то напряжения в них прямо пропорциональны модулям упругости.

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_m} = \frac{E_c \times \varepsilon_c}{E_m \times \varepsilon_m} = \frac{E_c}{E_m}.$$

Определим теперь числовые значения напряжений:

$$\sigma_c = F \frac{E_c}{E_c \times A_c + E_m \times A_m} = 400000 \frac{2 \times 10^3}{2 \times 10^5 \times \frac{3,14 \times 100^2}{4} + 1 \times 10^5 \frac{3,14 \times (10^2 - 110^2)}{4}} =$$

$$= 1940 \text{ H/мм}^2;$$

$$\sigma_m = \sigma_c \frac{E_m}{E_c} = 1940 \frac{1 \times 10^5}{2 \times 10^5} = 970 \text{ H/мм}^2.$$

Контрольные вопросы

1. Какие виды нагружений вы знаете и как они действуют на элемент?
2. Какие деформации возникли в теле, если после снятия нагрузки размеры и формы тела полностью восстановились?
3. Расскажите, что вы знаете о напряжениях (какие бывают и как определяются)?
4. Как влияет изменение нагрузки на величину площади сечения элемента?
5. Какие деформации возникли в теле, если после снятия нагрузки формы тела не восстановились полностью?
6. Во время игры по перетягиванию каната произошел его разрыв. Что послужило причиной последнего?
7. Вычислить напряжение, возникающее зимой в стальных рельсах.
8. К деревянной сосновой стойке квадратного сечения приложен груз $F=1000$ кН. Определить сечение стойки.
9. Образцы из стали и древесины сжимаются одинаковыми силами. Какой образец получит большее укорочение и почему?
10. Начертить диаграмму растяжения образца из стали класса Ст. 3 и показать критические точки.
11. Две стойки одинакового поперечного сечения (одна из дуба, другая из липы) сжимаются одинаковыми силами. В какой из них напряжения будут больше?
12. Какие напряжения возникнут в металлическом пруте диаметром 20 мм, длиной 2 м, лежащем на плите, нагретом до 90 градусов Цельсия?
13. Какие относительные укорочения получит стойка площадью 100 см^2 , сжимаемая силой 200 кН, длиной 8 м из стали класса ст. 3?
14. Под действием сильного порыва ветра сломалось дерево. Что послужило причиной?
15. Какие деформации возникли в дне чугунной кастрюли при нагревании?
16. Какой запас прочности имеет деревянная стойка, если допускаемое напряжение в ее сечении равно 13 МПа, а рабочее напряжение равно 3 МПа?
17. Какую характеристику пластичных материалов принято считать «опасным» напряжением?
18. Диаметр сечения 40 мм, длина 3 м, приложенная нагрузка 80 кН. Определить напряжение и абсолютное удлинение в стальной стойке из стали марки ст. 3.
19. Что нужно сделать с элементом из чугуна, чтобы можно было изменить его форму, не разрушая материал?
20. Зимой треснуло стекло в оконной раме, почему?
21. Будет ли нормально работать конструкция, если напряжения в ней достигли предела текучести?

3.4. Геометрические характеристики сечения

Как уже отмечалось раньше, несущая способность брусьев, работающих на растяжение или сжатие, прямо пропорциональна площади поперечного сечения. Нормальные напряжения в таких образцах в любой точке сечения одинаковы и величина их определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{N_p}{A}.$$

Геометрическая форма сечения здесь безразлична, будь то круг, прямоугольник, треугольник или какая-либо другая произвольная фигура, лишь бы растягивающие или сжимающие силы были приложены в центре тяжести сечения.

Таким образом, при центральном растяжении или сжатии достаточно знать величину площади сечения и действующее усилие, чтобы определить напряжение.

При изгибе же площадь поперечного сечения не может характеризовать сопротивляемость балки. Без расчета видно, что балка одного и того же прямоугольного сечения, поставленная на ребро, значительно лучше сопротивляется изгибу, чем та же балка, поставленная плашмя. Из этого примера следует (можно взять линейку), что для выявления несущей способности различных форм поперечного сечения балки требуются иные характеристики сечений.

Для расчета прочности балок необходимо знать следующие основные геометрические характеристики: статический момент площади поперечного сечения, момент инерции площади поперечного сечения и момент сопротивления сечения.

Статическим моментом площади сечения относительно любой оси, лежащей в той же плоскости, называется алгебраическая сумма произведений бесконечно малых площадок dA на их расстояния до этой оси. Сумма эта распространяется на всю площадь фигуры A .

Статический момент относительно оси X равен:

$$S_y = \int_A Y \times dA$$

A статический момент относительно оси Y равен:

$$S_x = \int X \times dA.$$

Рассматривая элементарную площадку как силу, а расстояние ее от оси как плечо силу можно написать, основываясь на теореме: сумма моментов составляющих равна моменту равнодействующей, что

$$S_x = \int Y \times dA = A \times Y_c; S_y = \int X \times dA = A \times X_c,$$

где Y_c, X_c – координаты центра тяжести всей площади A . Следовательно, статический момент площади A относительно какой-либо оси равен произведению всей площади на расстояние ее центра тяжести от этой оси:

$$S_x = A \times Y_c,$$

$$S_y = A \times X_c.$$

так как площадь имеет размерность см^2 , а расстояние центра тяжести от оси (Y_c, X_c) – см , то статический момент будет иметь размерность см^3 ($\text{см}^2 \times \text{см}$). Статический момент может быть величиной как положительной, так и отрицательной, потому что площадь всегда величина положительная, а расстояния X_c и Y_c могут быть как положительными, так и отрицательными.

Если ось, относительно которой определяется статический момент, проходит через центр тяжести площади, то статический момент относительно этой оси равен 0.

Действительно, из уравнений $S_x = A \times Y_c$ и $S_y = A \times X_c$ при $X_c = 0$ и $Y_c = 0$

$$S_x = A \times 0 = 0; S_y = A \times 0 = 0.$$

Если фигура имеет ось симметрии, то последняя всегда проходит через центр тяжести фигуры, а потому статический момент площади фигуры относительно оси симметрии всегда равен нулю.

Если сложная фигура может быть разбита на простые фигуры, площади и центры тяжести которых легко определяются, то статический момент всей фигуры относительно какой-либо оси может быть найден как сумма статических моментов отдельных ее частей относительно той же оси:

$$S_x = S_{1x} + S_{2x} + S_{3x} + \dots + S_{nx},$$

где S_x – статический момент всей фигуры, а $S_{1x}, S_{2x}, S_{3x}, \dots, S_{nx}$ – статические моменты отдельных частей фигуры.

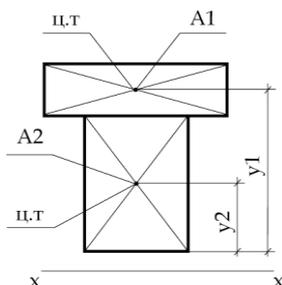


Рис. 3.6. Определение статического момента площади сечения относительно оси X сложного сечения

Пример:

$$S_x = S_1 + S_2 = A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2$$

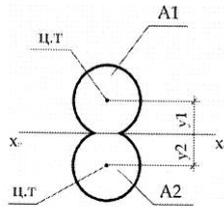


Рис. 3.7. Определение статического момента площади сечения для симметричной фигуры

Решение:

$X_0 - X_0$ – ось симметрии

$$S_{X_0} = S_{X_{01}} + S_{X_{02}} = A_1 \times Y_1 + A_2 \times (-Y_2) = A_1 \times Y_1 - A_2 \times Y_2 = 0, \text{ так как } A_1 = A_2, \text{ а } Y_1 = Y_2$$

Статический момент площади сечения относительно оси симметрии равен 0.

3.5. Определение положения центра тяжести фигур

Если обозначить площади отдельных частей сложной фигуры через $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, а расстояние их центров тяжести от оси x через $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, то выражение статического момента можно написать следующим образом $(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) \times y_c = A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3, \dots + A_n y_n$.

Откуда расстояние центра тяжести всей фигуры от оси x будет:

$$y_c = \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2 + A_3 \times y_3, \dots + A_n \times y_n}{A_1 + A_2 + A_3, \dots, A_n \times y_n}$$

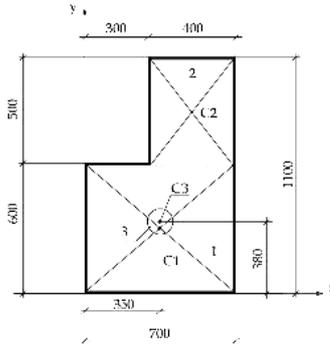
Аналогично этому расстояние центра тяжести фигуры от оси y может быть выражено так:

$$x_c = \frac{A_1 \times x_1 + A_2 \times x_2 + A_3 \times x_3, \dots + A_n \times x_n}{A_1 + A_2 + A_3, \dots, A_n \times y_n}$$

Пример 1

$D = 320$ мм.

Определить координаты центра тяжести фигуры с круглым отверстием.



Решение:

Разбиваем фигуру на элементарные простые части, которых здесь у нас три: два прямоугольника 1 и 2 и круглое отверстие 3.

Вычисляем координаты центра тяжести и площади этих простых фигур.

$$1. x_1 = 350 \text{ мм} \quad A_1 = 60 \times 70 \times 10^2 = 4200 \times 10^2 \text{ мм}^2$$

$$y_1 = 300 \text{ мм}$$

$$2. x_2 = 500 \text{ мм} \quad A_2 = 50 \times 40 \times 10^2 = 2000 \times 10^2 \text{ мм}^2$$

$$y_2 = 850 \text{ мм}$$

$$3. x_3 = 350 \text{ мм} \quad A_3 = -\frac{3,14}{4} 320^2 = -804 \times 10^2 \text{ мм}^2.$$

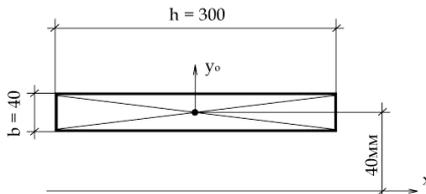
$$y_3 = 380 \text{ мм}$$

Вычисляем координаты центра тяжести всей фигуры:

$$x_c \frac{A_1 \times x_1 + A_2 \times x_2 + A_3 \times x_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{4200 \times 350 + 2000 \times 500 - 804 \times 350}{4200 + 2000 - 804} \times 10^2 = 407 \text{ мм.}$$

$$y_c \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2 + A_3 \times y_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{4200 \times 300 + 2000 \times 850 - 804 \times 380}{4200 + 2000 - 804} \times 10^2 = 492 \text{ мм.}$$

Пример 2

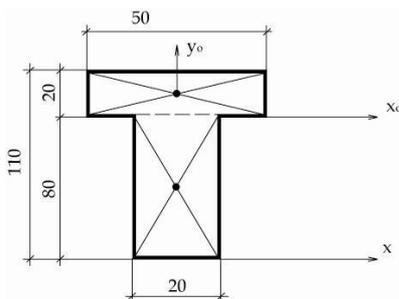


Вычислить статический момент площади прямоугольника относительно оси x и x₀.

$$S_{x_0} = 0$$

$$S_x = F \times y = h \times b \times y = 300 \times 40 \times 40 = 480000 \text{ мм}^2.$$

Пример 3



Определить координаты центра тяжести.

$$x_c = 0$$

$$S = 1$$

$$A_1 = 50 \times 20 = 1000 \text{ мм}^2 \quad y_1 = 90$$

$$A_2 = 80 \times 20 = 1600 \text{ мм}^2 \quad y_2 = 40$$

$$y_c = \frac{1000 \times 90 + 1600 \times 40}{1000 + 1600} = 59,2 \text{ мм.}$$

Вопрос 1. Зависит ли величина статического момента площади от рассмотрения площади относительно оси?

Зависит.

Вопрос 2. Чему равен статический момент площади относительно оси x, проходящей через центр тяжести сечения?

$$S_x = 0$$

Контрольные вопросы

1. Написать формулы для определения центра тяжести сложного сечения.
2. Как определить момент инерции сложного сечения?
3. Провести сравнительный анализ упругих и пластичных материалов.
4. Что такое момент сопротивления сечения? Дать его определение и формулы для простых сечений.
5. Какой силы должна быть сжимающая нагрузка, чтобы велосипедная спица сломалась?
6. Какое удлинение получит металлический трос длиной 7 м, если температура понизится на 40 градусов?
7. Написать формулу для определения относительных деформаций.
8. Какое напряжение считается опасным для упругих материалов?

Тема 4. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ ИЗГИБЕ

Возьмем прямоугольный призматический брус с продольной плоскостью симметрии, приложим в этой плоскости уравненные силы, действующие перпендикулярно к оси бруса.

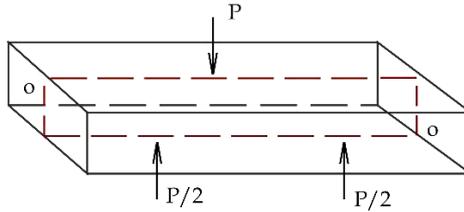


Рис. 4.1. Прямоугольный призматический брус с продольной плоскостью симметрии

Брус под действием этих сил изогнется, ось его искривится.

Изгиб бруса силами, перпендикулярными к его оси и лежащими в одной плоскости, проходящей через ось бруса, называется поперечным изгибом. Деформация изгиба бруса произойдет в плоскости действия сил: такой изгиб называется плоским.

Рассмотрим брус на рис. 4.2. Под действием этих сил брус будет находиться в равновесии.

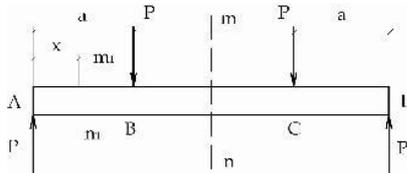


Рис. 4.2. Прямоугольный призматический брус

Рассечем мысленно брус по сечению mn , лежащему на участке BC.

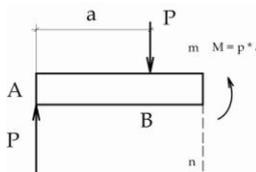


Рис. 4.3. Левая часть бруса

Рассмотрим теперь, например, левую часть бруса: на эту часть действует пара сил с моментом P_a , стремящаяся вращать ее по часовой стрелке.

Для того, чтобы эта часть бруса сохраняла состояние равновесия, в котором она находилась до разреза, необходимо в сечении m_1 приложить момент M упругих сил равный по величине моменту P_a внешних сил, но направленный в противоположную сторону. Где бы на участке BC мы не произвели сечение бруса, мы будем получать тот же ответ, а именно: всегда отсеченная часть бруса будет находиться в равновесии под действием двух моментов, равных по величине P_a и направленных в противоположную сторону. Изгиб бруса (в данном случае участка BC), производимый двумя равными моментами, направленными в противоположные стороны, называется чистым изгибом.

Следовательно, участок бруса BC находится в состоянии чистого изгиба.

Иное получается, если произвести сечение на участке бруса AB и CD . Действительно, разрежем брус на участке AB в сечении m_1n_1 на расстоянии x от левого конца.

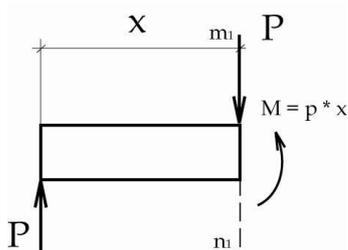


Рис. 4.4. Разрез бруса на участке AB

Тогда левая часть бруса будет находиться в равновесии, если в сечении m_1n_1 приложить момент M упругих сил, равный моменту P_x внешних сил, но направленный в противоположную сторону, и приложить результирующую упругих сил, направленную вниз и равную P . Сила P , действующая в сечении плоскости, стремится срезать брус по этому сечению. Следовательно, в этом случае к изгибу, вызываемому моментами, присоединяется еще деформация сдвига. Такой вид деформации называется поперечным изгибом.

Для наглядного представления деформации изгиба возьмем небольшой призматический резиновый стержень. Начертим на его грани две линии, параллельные друг другу и перпендикулярные оси стержня.

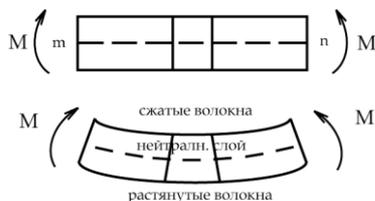


Рис. 4.5. Изгиб призматического резинового бруса

Приложим по его концам в плоскости симметрии два равных, но противоположных по направлению момента. Стержень под действием изгибающих моментов прогнется, начерченные прямые останутся прямыми и перпендикулярными к изогнутой оси стержня.

Этот простой опыт учит многому. Из него можно заключить, что внутри балки явление будет происходить так же, как и на ее гранях, что плоские поперечные сечения и при деформации изгиба остаются плоскими. Далее видно, что эти плоские сечения взаимно поворачиваются одно относительно другого. Очевидно, такой поворот происходит вследствие растяжения одних волокон материала и сжатия других. В нашем примере верхние волокна (на вогнутой стороне стержня) сжимаются. Отсюда легко сделать заключение, что у балки имеется такой слой волокон, который не испытывает ни растяжения, ни сжатия. Этот слой называется нейтральным. Линия пересечения нейтрального поперечного сечения называется нейтральной осью.

Кроме того, легко заметить, что продольное укорочение волокон на вогнутой стороне сопровождается поперечным удлинением (удлинением в поперечном направлении), а продольное удлинение волокон на выпуклой стороне – сужением в поперечном направлении, т.е. явления протекают так же, как при простом растяжении и сжатии.

Эти весьма ценные и простые выводы не сразу были сделаны учеными. Потребовалось больше столетия со времени начала изучения изгиба, чтобы прийти к правильному пониманию явления изгиба. Галилей, начавший изучать впервые теорию изгиба еще в XVII веке, сделал неправильно предположение, что при изгибе все волокна материала одинаково удлиняются. И только в конце XVIII столетия опытным путем было подтверждено правильное предположение, сделанное в начале того же столетия, что при изгибе одни волокна на выпуклой стороне растягиваются, а другие на вогнутой сжимаются.

Вследствие удлинения одних волокон и укорочения других, вызываемых в бруске изгибающими моментами, в поперечных сечениях бруса возникают нормальные напряжения растяжения и сжатия. Величина этих напряжений зависит от величины изгибающего момента, действующего в сечении. Выше мы видели, что кроме изгибающего момента

в сечении еще могут возникать поперечные силы, стремящиеся произвести сдвиг бруса. Поперечные силы вызывают в брусе касательные напряжения. Но о нахождении напряжений мы будем говорить позже.

4.1. Характеристика опор балки

Существуют три основных типа опор балки: шарнирно-подвижные, шарнирно-неподвижные и жестко заделанные неподвижные опоры. На практике плоскость опирания любого типа опоры принимают обычно параллельной оси балки.

Шарнирно-подвижной опорой называется такая опора, относительно которой опирающийся на нее конец балки может свободно поворачиваться в плоскости изгиба, а также перемещаться вдоль оси балки.

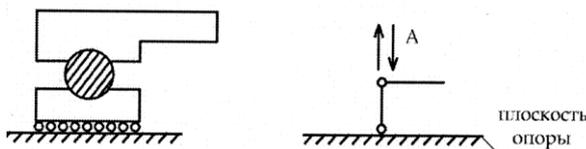


Рис. 4.6. Шарнирно-подвижная опора

Следовательно, на такой опоре может возникнуть только одна опорная реакция A , перпендикулярная к плоскости опирания. А всякая сила характеризуется тремя параметрами: величиной, направлением и точкой приложения. В шарнирно-подвижной опоре известна точка приложения и направление, неизвестна только величина. Следовательно, здесь одна опорная неизвестная. Такую опору обозначают одним стержнем (связью), как показано на рис. 4.6.

Шарнирно-неподвижной опорой называют такую опору, относительно которой опирающийся на нее конец балки может свободно поворачиваться только в плоскости изгиба, но не может перемещаться в плоскости оси балки. У шарнирно-неподвижной опоры имеются две опорные неизвестные – направление и величина реакции, а известно только точка приложения.

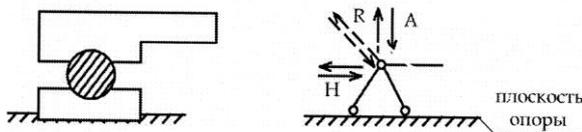


Рис. 4.7. Шарнирно-неподвижная опора

При аналитическом методе определения реакций удобно неизвестную по величине и направлению полную реакцию R представить в виде двух составляющих: вертикальной A и горизонтальной H . Неизвестные 2 параметра полной реакции (в данном случае величину и направления) заменяют двумя неизвестными только по величине составляющими A и H . Определив эти составляющие, всегда можно найти полную реакцию как гипотенузу прямоугольного треугольника:

$$R = \sqrt{A^2 + H^2} .$$

Шарнирно-неподвижную опору принято обозначать двумя сходящимися стержнями – связями.

Жестко заделанной неподвижной опорой считается такая опора, относительно которой конец балки не может ни поворачиваться, ни перемещаться как параллельно оси балки, так и перпендикулярно плоскости опирания.

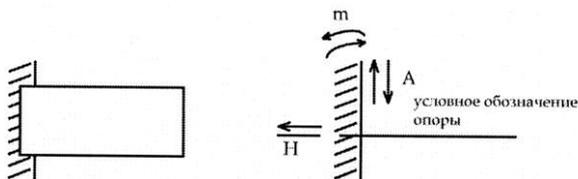


Рис. 4.8. Жестко заделанная неподвижная опора

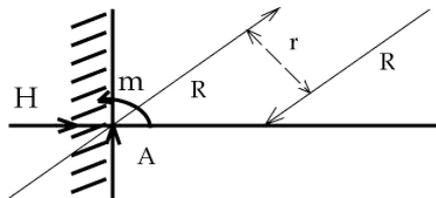


Рис. 4.9. Жестко заделанная неподвижная опора с приложенными на нее двумя равными и противоположными силами

Если на балку с жестко заделанным концом действует некоторая нагрузка R , то, приложив к опоре две равные и противоположные силы R , получим в заделке силу R и пару сил с моментом $M = Rr$.

Сила R вызывает в заделке две опорные неизвестные A и H , а пара сил с моментом M вызывает в заделке реактивный момент m .

Таким образом, в жестко заделанной опоре возникают три опорные неизвестные: опорная реакция A , перпендикулярная к оси, препятствующая перемещению конца балки перпендикулярна плоскости опирания; опорная реакция H , препятствующая перемещению конца балки парал-

лельно ее оси, и реактивный момент m , препятствующий повороту конца в балке в плоскости изгиба.

Итак, шарнирно-подвижная опора имеет одну, шарнирно-неподвижная – две, а жестко заделанная – три опорные неизвестные.

4.2. Определение опорных реакций

При работе балок в курсе сопромата считаем, что величины деформаций на опоре не велики и ими можно пренебречь.

В случае действия на балку сил, лежащих в одной плоскости, статика дает три уравнения равновесия:

$$\Sigma x = 0, \Sigma y = 0, \Sigma M = 0.$$

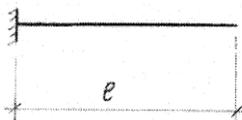
То есть для равновесия балки необходимо, чтобы сумма проекций всех сил, приложенных к балке, вместе с реакциями опор на оси x и y были равны 0, кроме того должна быть равна нулю и сумма моментов всех сил относительно любой точки плоскости.

Если силы, изгибающие балку, перпендикулярны к ее оси, то уравнение $\Sigma x = 0$ обращается в тождество и для определения реакций остаются два уравнения статики:

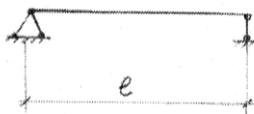
$$1) \Sigma y = 0; 2) \Sigma M = 0.$$

Если балка при поперечном изгибе имеет такие опоры, что общее число реакций, возникающих на опорах, не превышает двух, то реакции всегда могут быть определены из двух уравнений статики 1 и 2. Такие балки, реакции которых могут быть определены из уравнения статики, называются статически определимыми балками. Статически определимые балки могут быть следующих видов:

1. Балка с одним жестко защемленным и другим свободным концом, иначе консоль. Длина консоли называется вылетом.

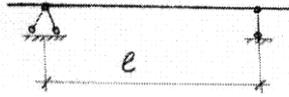


2. Балка с одной шарнирно-подвижной и другой шарнирно-неподвижной опорой. Простая однопролетная балка.

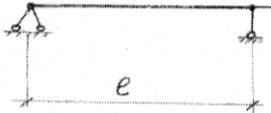


Расстояние между опорами называется пролетом.

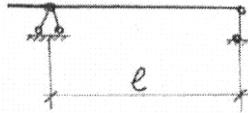
3. Если балка имеет свешивающиеся концы, такую балку называют консольной, а свешивающиеся концы – консолями. Двухконсольная балка.



4. Если консоль находится с правой стороны, то такая балка называется однопролетной балкой с правой консолью.



5. Если консоль находится с левой стороны, то такая балка называется однопролетной балкой с левой консолью.



Если балка имеет больше число реакций опор, чем уравнений статики, такая балка называется статически неопределимая. Такие балки мы будем рассматривать позже.

Предварительно условимся ось x направлять всегда вдоль оси балки, а ось y перпендикулярно. При составлении уравнений моментов условимся, что положительные моменты – направленные по часовой стрелке.

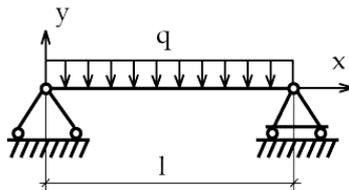


Рис. 4.10. Балка под действием сплошной равномерно-распределенной нагрузки

Если на балку действует сплошная равномерно-распределенная нагрузка (например масса балки), то при определении реакций сплошная нагрузка заменяется ее равнодействующей. Точка приложения сплошной распределенной нагрузки лежит в середине того участка, на который она действует. Сплошная распределенная нагрузка иногда задается ее интенсивностью.

Под интенсивностью сплошной нагрузки понимают величину нагрузки, приходящуюся на единицу длины. Если вся сплошная нагрузка равна F , а длина участка, на который она действует, l , то интенсивность нагрузки будет:

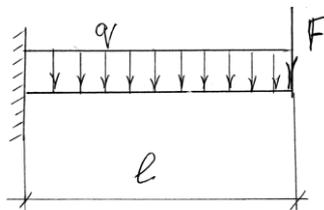
$$q = \frac{F}{l}.$$

Размерность интенсивности нагрузки q выражается обычно кН/м, Н/м, Н/см.

При заданной интенсивности q равномерно распределенной сплошной нагрузки и длине участка, на который она действует, величина ее равнодействующей определяется:

$$F = q \times l.$$

Пример 1



Балка, защемленная одним концом, загружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивности $q = 5$ кН/м по всей длине балки и сосредоточенной силой $F = 20$ кН на свободном конце. Определить реакции замещения, если $l = 4$ м.

Решение:

В защемлении возникает реакция вертикальная и реактивный момент. Направление этих реакций нам неизвестно. Направим пока произвольно реакцию A вверх, а опорный момент m (в противоположную сторону) против часовой стрелки. Напишем условие равновесия, выбрав за центр моментов точку A .

$$\Sigma M_a = -m + q \times l \times \frac{l}{2} + F \times l = 0,$$

откуда величина реактивного момента m :

$$m = \frac{q \times l^2}{2} + F \times l = \frac{5 \times 4^2}{2} + 20 \times 4 = 120 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Из уравнение проекций сил на ось y получим:

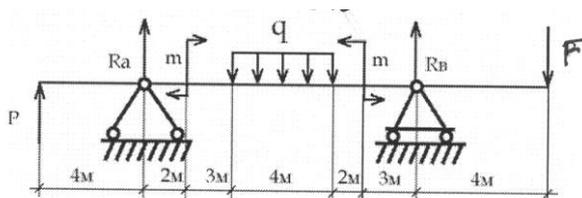
$$A - ql - F = 0$$

откуда реакция A равна:

$$A = q \times l + p = 5 \times 4 + 20 = 40 \text{ кн.}$$

В данном случае направление реакции и момента мы приняли правильно, поэтому ответы получили положительные. Если бы получились отрицательные, нужно было бы поменять направление.

Пример 2



Дано:

$$F = 20 \text{ кн}, m = 40 \text{ кн} \cdot \text{м}, q = 2 \text{ кн/м.}$$

Найти:

$$R_a - ? \quad R_b - ?$$

Составим уравнение моментов относительно точки A .

$$\Sigma M_a = 0$$

$$F \times 4 + m + q \times 4 (2 + 3 + 2) - m - R_b \times 14 + F \times 18;$$

$$R_b = \frac{20 \times 4 + 2 \times 4 \times 7 + 20 \times 18}{14} = \frac{80 + 56 + 360}{14} = \frac{496}{14} = 35,4 \text{ кН.}$$

$$\Sigma y = 0$$

$$20 + 35,4 - 2 \times 4 + R_b - 20;$$

$$R_b = 8 - 35,4 = -27,4 \text{ кН}$$

Направление реакции R_b будет вниз

$$\Sigma M_b = 0$$

$$F \times 8 + R_a \times 14 - 2 \times 4 \times 7 + 20 \times 4$$

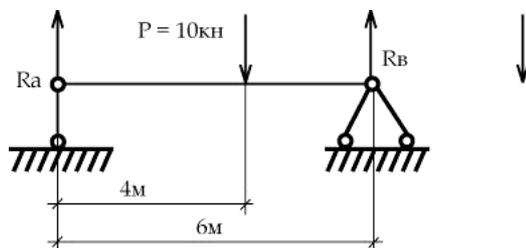
$$R_b = \frac{56 - 80 - 360}{14} = -27,4$$

Проверка:

$$20 - 27,4 - 8 + 35,4 - 20 = 0 \\ 0 = 0$$

Реакции определены верно.

Пример 3



Найти опорные реакции.

$$\Sigma M_b = 0$$

$$R_a \times 6 - F \times 2 = 0$$

$$R_a = \frac{10 \times 2}{6} = 3,3 \text{ кН}$$

$$R_b = F - R_a = 10 - 3,3 = 6,7 \text{ кН}$$

4.3. Поперечная сила Q и изгибающий момент M. Аналитический способ построения эпюр Q и M

Расчет двухопорных балок начинается с определения опорных реакций, чем мы занимались на предыдущих занятиях. Во избежание вычислительных ошибок найденные значения реакций обязательно проверяют, составляя уравнения равновесия, не использованные при их определении. Обычно контролем служит равенство нулю алгебраической суммы проекций всех сил на вертикальную ось ($\Sigma y = 0$).

После того как найдены и проверены опорные реакции, приступают к определению внутренних силовых факторов в поперечных сечениях балки. Используют метод сечений: мысленно рассекают балку, ось которой показана на рис. 4.11, на произвольном расстоянии Z от левой опоры.

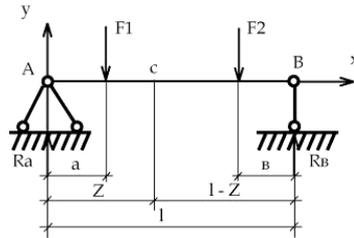


Рис. 4.11. Расчетная схема балки

Отбрасываем одну из образовавшихся частей (например правую) и заменяем ее действие на оставшуюся (левую) неизвестными усилиями.

Поскольку при прямом изгибе все нагрузки лежат в одной плоскости x_0y , они не дают проекций на ось x и моментов относительно осей y и z . Следовательно, у нас имеются две неизвестные в сечении: поперечная сила Q_y и изгибающий момент M_x . Для их определения статика дает два уравнения равновесия:

$$\sum y = 0; R_a - F_1 - Q_y = 0,$$

откуда $Q_y = R_a - F_1$
и $\sum M_c = 0$

$$R_a \times z - F_1(z - a) - M_x = 0,$$

откуда $M_x = R_a \times z - F_1(z - a)$.

Таким образом, поперечная сила в произвольном сечении балки численно равна алгебраической сумме всех внешних сил, приложенных с одной стороны от этого сечения, а изгибающий момент – алгебраической сумме моментов всех внешних сил, приложенных с одной стороны сечения, относительно его центра тяжести.

В частном случае нагружения поперечная сила может отсутствовать и тогда изгиб является чистым.

4.3.1. Определение максимальных прогибов

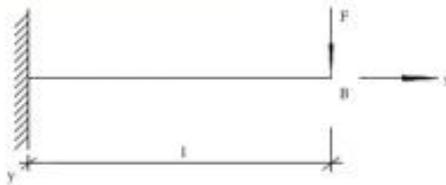


Рис. 4.12. Расчетная схема балки 1

$$M = -F \times l$$

$$R = F$$

$$f_B = -\frac{F \times l^3}{3 \times E \times J}$$

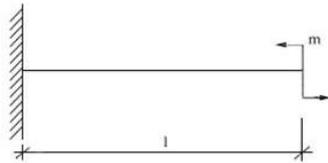


Рис. 4.13. Расчетная схема балки 2

$$f = \frac{m \times l^2}{2 \times E \times J}$$

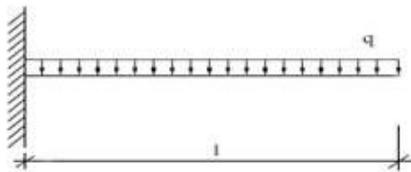


Рис. 4.14. Расчетная схема балки 3

$$R_a = q \times l$$

$$m = -\frac{q \times l^2}{2}$$

$$f = -\frac{q \times l^4}{8 \times E \times J}$$

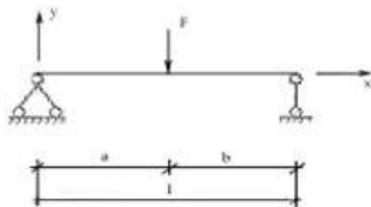


Рис. 4.15. Расчетная схема балки 4

$$A = F \frac{b}{l}$$

$$B = F \frac{a}{l}$$

$$y_{\max} = -\frac{F \times b(l^2 - b^2) \times \sqrt{3(l^2 - b^2)}}{27 \times E \times J \times l}$$

$$a = b$$

$$y_{\max} = -\frac{F \times l^3}{48 \times E \times J}$$

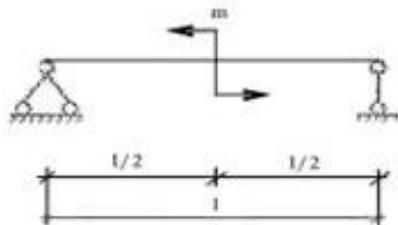


Рис. 4.16. Расчетная схема балки 5

$$A = B = \frac{m}{l}$$

$$f_{\max} = -\frac{m \times l^2}{72\sqrt{3} \times E \times J}$$

$$f_{\text{посредине}} = 0$$

перегиб балки

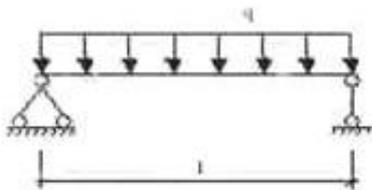


Рис. 4.17. Расчетная схема балки 6

$$A = B = \frac{q \times l}{2}$$

$$f_{\max} = -\frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times J}$$

$$\frac{f}{l} \leq \frac{1}{200}$$

Контрольные вопросы

1. Какие виды балок вы знаете?
2. Расскажите о закреплении концов балки и усилиях, возникающих на опорах.
3. Какие усилия возникают в сечении балки при различных видах загрузки?
4. Расскажите об основных принципах построения эпюры поперечных сил.
5. Назовите характерные точки эпюры поперечных сил.
6. Расскажите об основных принципах построения эпюры изгибающих моментов.
7. Назовите характерные точки эпюры изгибающих моментов.
8. Согласно, какому условию конструируется сечение изгибаемого элемента?
9. Что вы знаете о прогибах балок?
10. Напишите условие прочности центрально-сжатого элемента.
11. Влияние продольного изгиба на работу центрально-сжатого элемента.
12. Как влияет закрепление концов стержня на работу последнего?

Тема 5. ПОНЯТИЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ

При расчете на прочность сравнивались рабочие напряжения в сечении с расчетными сопротивлениями материала. Жесткость элементов определяли величиной наибольшей деформации, вызванной нормативной нагрузкой (удлинение или укорочение при растяжении или сжатии, прогибы при изгибе), и сравнивали их с допустимыми деформациями. Как правило, при расчете находили для сравнения относительные деформации.

Но есть также случаи работы бруса, при которых прочность и жесткость обеспечены, а в брус произошли такие изменения формы, которые с практической точки зрения равносильны разрушению. Так прямолинейный центрально-сжатый упругий стержень при некоторой величине груза F будет сохранять свою прямолинейную форму равновесия. И если отклонить стержень в какую-либо сторону, то внутренние силы упругости, снова вернут его к первоначальному состоянию.



Рис. 5.1. Устойчивое положение стойки (нагрузка F меньше критической силы F_{cr})

Следовательно, прямолинейная форма равновесия для стержня при такой величине груза является устойчивой (рис. 5.1).

По мере увеличения нагрузки стойка все медленнее возвращается в исходное положение, наступает состояние как бы безразличного равновесия (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Состояние безразличного равновесия ($F = F_{cr}$)

Если постепенно увеличивать груз, то при некотором его значении прямолинейная форма равновесия хотя и останется возможной, но будет неустойчивой. Достаточно слегка отклонить стержень от прямолинейного состояния, и он уже не вернется к прежней прямолинейной форме, а займет новую криволинейную форму равновесия (рис. 5.3); следовательно, при этой нагрузке прямолинейная форма равновесия стержня является неустойчивой.



Рис. 5.3. Неустойчивое положение стойки

Предельное значение продольной сжимающей силы, при которой прямолинейная форма равновесия переходит из устойчивой в неустойчивую, называется критической силой.

Прямолинейный центрально-сжатый стержень при достижении сжимающей силы критического значения может потерять свою прямолинейную форму устойчивости, т.е. выгнуться в сторону.

При этом несущая способность стержня на осевое сжатие, подсчитанная по формуле $F = R_{сж} A$, может оказаться неисчерпанной.

Потеря прямолинейной устойчивости стержня равносильна разрушению, т.к. искривленная форма стержня может оказаться непригодной к эксплуатации.

В большинстве случаев потеря устойчивости стержня сопровождается его разрушением.

Таким образом, заключаем, что для надежной работы конструкции, пригодной к эксплуатации, мало того, чтобы она была прочной и жесткой, необходимо еще, чтобы все элементы конструкции были устойчивыми.

Потерю устойчивости прямолинейной формы центрально-сжатого стержня называют продольным изгибом.

Критическую величину сжимающей силы F_{cr} можно считать за разрушающую, т.к. она выводит стержень (или конструкцию) из условий нормальной работы.

5.1. Определение критической силы при осевом сжатии стержня

Возьмем вертикальный стержень длиной l с шарнирно-закрепленными концами и будем нагружать его сжимающей силой F , направленной вдоль продольной оси.

Под действием этой силы, когда её величина достигает критического значения, стержень искривляется относительно главной оси инерции сечения с наименьшим моментом инерции.

Расположим оси координат соответствующим образом. В каждой точке изогнутой оси стержня, расположенной на расстоянии x от верхнего конца его (начало координат), получится прогиб y .

Изгибающий момент в произвольном сечении стержня будет равен

$$Mx = F_{кр} y.$$

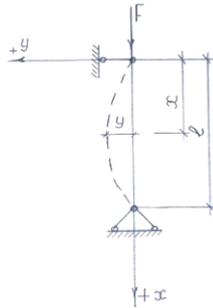


Рис. 5.4. Расчетная схема стойки

Из высшей математики вспоминаем зависимость между кривизной и производными от координат кривой:

$$\frac{l}{p} = \pm \frac{y''}{\left[1 + \left(\frac{y'}{2}\right)^2\right]}.$$

Эту зависимость применительно к балке можно упростить.

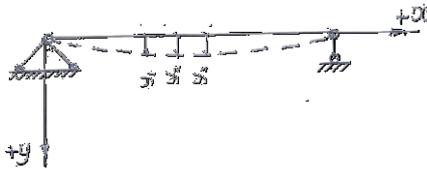


Рис. 5.5. Прогиб балки

Зависимость примет вид

$$\frac{l}{p} \approx \pm y''.$$

Таким образом, получается, что кривизна балки приближенно равна второй производной от прогиба.

Но мы знаем, что кривизна изогнутой оси балки прямо пропорциональна изгибающему моменту M и обратно пропорциональна жесткости EJ :

$$\frac{l}{p} = \frac{M}{E \times J}.$$

Принимая, как в балке, деформацию стержня незначительной, воспользуемся дифференциальным уравнением изогнутой оси балки:

$$\pm y'' \approx \frac{M}{E \times J}.$$

Если взять оси координат + вниз, то дифференциальное уравнение

$$\frac{M}{E \times J} \approx -y'',$$

где J_{min} – минимальный момент инерции относительно главных осей инерции сечения.

Обозначим

$$\frac{F_{cr}}{E \times J_{min}} = k^2.$$

Тогда дифференциальное уравнение примет вид

$$y'' = k^2 y, \text{ или } y'' + k^2 y = 0.$$

Из курса высшей математики интеграл этого уравнения имеет вид

$$y = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx.$$

Определим произвольную постоянную C_2 из граничного условия, что $x = 0, y = 0$, тогда $0 = C_1 \sin 0 + C_2 \cos 0 = 1$.

Подставим значения

$$0 = 0 + C_2 \cdot 1, C_2 = 0,$$

$$y = C_1 \sin kx.$$

Для определения произвольной постоянной C_1 примем второе граничное условие при $x = l, y = 0$.

Тогда $0 = C_1 \sin kl$.

Из уравнения следует, что или $C_1 = 0$, или $\sin kl = 0$.

Если принять $C_1 = 0$, то окажется, что прогиб в любом сечении равен нулю, т.е. стержень не искривляется, но это противоречит условию. Следовательно, $\sin kl = 0$, это возможно при $kl = 0$, $kl = \Pi$, $kl = 2\Pi$ и т.д.

$kl = 0$ только тогда, когда $k = 0$, т.к. $l \neq 0$, но $k = \sqrt{F/EJ}_{\min}$, следовательно, при E и J_{\min} – конечных величинах остается только F_{cr} принять равной нулю.

Однако совершенно очевидно, что критическая сила не может быть равной нулю.

Из всех остальных значений $kl = \Pi$, 2Π и т.д. наименьшая критическая сила будет при наименьшем значении k , т.е. когда $kl = \Pi$.

Подставим значение $k = \sqrt{F/EJ}_{\min}$, получим $\sqrt{F/EJ} \cdot l = \Pi$.

Возведя левую и правую часть уравнения в квадрат, получим

$$\frac{F_{cr} \times l^2}{E \times J_{\min}} = \Pi^2,$$

откуда наименьшая критическая сила будет равна

$$F_{cr} = \frac{\Pi^2 \times E \times J_{\min}}{l^2}.$$

Эту формулу назвали по имени ученого Эйлера, выведена в 1744 году.

По формуле Эйлера можно определить ту сжимающую критическую силу $F_{кр}$, увеличение которой на бесконечно малую величину влечет за собой потерю устойчивости сжатого стержня. Критическая сила прямо пропорциональна модулю упругости материала стержня и моменту инерции сечения и обратно пропорциональна квадрату длины стержня.

Расчет устойчивости сжатых стержней с учетом закрепления их концов

В практике сжатые стержни могут иметь четыре закрепления:

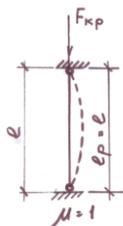


Рис. 5.6. Шарнирное закрепление обоих концов



Рис. 5.7. Жестко заделанный один конец и свободный другой



Рис. 5.8. Жестко заделанный один конец и шарнирный другой



Рис. 5.9. Жестко заделаны оба конца

Для четырех случаев закрепления концов стержней критическая сила по формуле Эйлера будет отличаться только поправочным коэффициентом.

Формула примет общий вид

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{\min}}{(\mu \times l)^2},$$

где (μl) – приведенная или расчетная длина стержня,

μ – коэффициент, зависящий от способа закрепления концов стержня,

l – длина стержня.

Если критическую силу разделим на площадь поперечного сечения A , то получим критические напряжения, при которых происходит потеря устойчивости.

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{\min}}{l^2 \times A} = \frac{\pi^2 \times E \times i_{\min}^2}{2},$$

где $i_{\min}^2 = \frac{J_{\min}}{A}$ – квадрат минимального радиуса инерции сечения.

Обозначив $\frac{l}{i_{\min}} = \lambda$ – коэффициент, который называется гибкостью,

получим
$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda^2} = \lambda.$$

Следует помнить, что в момент потери устойчивости стержня, напряжение в нем не превосходит предела пропорциональности.

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda^2} \leq \sigma_{np},$$

$$\lambda = \frac{\sqrt{\pi^2 \times E}}{\sigma_{np}}.$$

Эта функциональная зависимость представляет собой видоизмененную формулу Эйлера и графически изображается гиперболой.

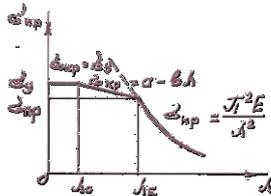


Рис. 5.10. Графическое изображение формулы Эйлера

Предельная гибкость зависит исключительно от механических свойств материала и имеет постоянное значение.

Для стали марки Ст. 3

$$\sigma_{np} = 195 \text{ МПа},$$

$$E = 206 \text{ Гпа}.$$

Тогда
$$\lambda_r = \frac{\pi \sqrt{E}}{\sigma_{np}} = \frac{3,14 \sqrt{206 \times 10^3}}{195} = 102 .$$

Для дюралюминия

$$\sigma_{np} = 275 \text{ МПа},$$

$$E = 70 \text{ Гпа}.$$

$$\text{Тогда } \lambda_F = \frac{\pi\sqrt{E}}{\sigma_{np.}} = \frac{3,14\sqrt{70\times 10^3}}{275} = 50.$$

Для древесины сосны и ели

$$\begin{aligned}\sigma_{np} &= 20\text{МПа,} \\ E &= 10\text{ГПа.}\end{aligned}$$

$$\text{Тогда } \lambda_F = \frac{\pi\sqrt{E}}{\sigma_{np.}} = \frac{3,14\sqrt{10\times 10^3}}{20} = 70.$$

Таким образом формула Эйлера применима при $\lambda \geq \lambda_E$, т.е. только к упругим стержням. При потере устойчивости за пределами упругости критические напряжения определяют по более сложным формулам, учитывающим развитие пластических деформаций или по эмпирической зависимости, одна из которых выражается формулой Тетмайера–Ясинского (Тетмайер, 1850–1905, швейцарский исследователь, исследование которого математически обработал и обобщил Ясинский).

$$\sigma_{кр.} = a - b\lambda,$$

где a и b экспериментально установленные параметры, не имеющие физического смысла и зависящие от материала.

Для стали марки Ст. 3

$$a = 305\text{МПа; } b = 1,12\text{МПа.}$$

Для дюралюминия

$$a = 400\text{МПа; } b = 2,78\text{МПа.}$$

Для древесины сосны и ели

$$a = 28,7\text{МПа; } b = 0,19\text{МПа.}$$

Соответствующая критическая сила будет равна

$$F_{кр} = \sigma_{кр}A.$$

Зависимость носит линейный характер $\sigma_{кр.} = a - b\lambda$. Полученные с ее помощью результаты представляют практический интерес также до некоторого предела, характеризующегося гибкостью λ_0 , при которой критическое напряжение становится равным значению опасных напряжений сжатия: пределу текучести σ_y для пластичных материалов или пределу прочности σ_u для хрупких материалов. Для стали марки Ст. 3 $\lambda_0 = 30 - 40$.

Таким образом, сжатые стержни можно отнести к трем категориям:

1) сжатые стержни большой гибкости $\lambda \geq \lambda_E$, для которых справедлива формула Эйлера;

2) стержни средней гибкости $\lambda_0 \leq \lambda \leq \lambda_E$, которые рассчитываются по формуле Тетмайера–Ясинского;

3) стержни малой гибкости $\lambda < \lambda_0$, имеющие постоянное значение критического напряжения: $\sigma_{кр} = \sigma_y$, или $\sigma_{кр} = \sigma_u$, для них опасна не потеря устойчивости, а потеря прочности.

5.2. Практический метод расчета сжатых стержней на устойчивость

Несущая способность сжатого стержня может быть исчерпана по двум причинам:

1. Вследствие потери прочности, если в стержнях из пластичного материала не выполняется условие $\sigma \leq \sigma_y$, а в стержнях из хрупкого материала не выполняется условие $\sigma \leq \sigma_u$.

2. Вследствие потери устойчивости, если в стержнях из любого материала не выполняется условие если $\sigma \leq \sigma_{кр}$.

Введя обозначения

$$\varphi_y = \sigma_{кр}/\sigma_y$$

$$\varphi_u = \sigma_{кр}/\sigma_u$$

где φ – коэффициент продольного изгиба,

σ_y – наименьший предел текучести,

σ_u – наименьший предел прочности

и принимая по-прежнему наименьший предел текучести σ_y пластичного материала и наименьший предел прочности σ_u для хрупкого материала, условие устойчивости можно написать в следующем виде:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_{сж.} \times \varphi \times \gamma_c,$$

где φ – коэффициент, уменьшающий расчетное сопротивление сжатию ($R_{сж.}$) до значения, которое гарантирует устойчивость прямолинейной формы равновесия и называется коэффициентом продольного изгиба,

N – продольная сила от расчетной сжимающей нагрузки, Н;

A – площадь поперечного сечения брутто, мм²;

γ_c – коэффициент условий работы.

Коэффициент φ для конкретного материала можно высчитать по формулам:

$$\varphi_y = \sigma_{кр}/\sigma_y,$$

$$\varphi_u = \sigma_{кр}/\sigma_u,$$

подставляя в них значения критического напряжения.

Однако есть готовые формулы для деревянных элементов:

при $\lambda \leq 70$, $\varphi = 1 - 0,8 (\lambda/100)$,

при $\lambda > 70$, $\varphi = 3000/\lambda^2$.

Для стальных элементов в СНИПе есть формулы, применимые к любой марки стали, толщине и виду проката. При этом вводится понятие условной гибкости стержня

$$\lambda = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}},$$

где R_y – расчетное сопротивление материала, установленное по пределу текучести.

Если $0 \leq \lambda < 2,5$, то $\varphi = 1 - (0,073 - 5,53 \times \frac{R_y}{E}) \lambda \cdot \sqrt{\lambda}$;

если $2,5 < \lambda \leq 4,5$, то $\varphi = 1,47 - 13 \times \frac{R_y}{E} - (0,371 - 27,3 \times \frac{R_y}{E}) \lambda + (0,0275 - 5,53 \times \frac{R_y}{E}) \lambda^2$;

если $\lambda > 4,5$, то $\varphi = \frac{332}{\lambda^2 \llbracket 1 - \lambda \rrbracket}$

Обычно условие устойчивости записывают так, чтобы напряжение можно было сравнивать с расчетным сопротивлением

$$\varphi = \frac{N}{\varphi \times A} \leq R \times \gamma_c.$$

Подбор сечения:

$$A = \frac{N}{\varphi \times R \times \gamma_c},$$

где A – неизвестное и φ – неизвестное, поэтому, рассматривая расчетную схему стойки можно задаться гибкостью λ и по таблице в справочной литературе «Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов» принять соответствующее значение φ , и проектировать сечение с учетом работы стойки на устойчивость.

Контрольные вопросы

1. Что такое критическая сила и способ ее определения?
2. Формула Эйлера и условие ее применения.
3. Назвать три категории сжатых стержней из условия расчета на устойчивость.
4. Формула Тетмайера-Ясинского и условия ее применимости.
5. Как определить коэффициент продольного изгиба для сжатых стержней?

6. Когда вы взбираетесь на дерево, при приближении к вершине, дерево искривляется, что происходит?
7. Во время урагана дерево вывернуло с корнем, что послужило причиной?
8. Велосипедная спица резко искривилась под действием сжимающей силы, почему это произошло?
9. Как определить расчетную длину сжатого стержня?
10. Как определить критическое напряжение в стойке?
11. Какое напряжение принимают за основу при определении коэффициента продольного изгиба для пластических материалов?
12. Напишите условие прочности центрально-сжатых стержней с учетом продольного изгиба.
13. Какому материалу отдадите предпочтение при конструировании, если элемент работает на растяжение и почему?
14. Какому материалу отдадите предпочтение при работе на динамические нагрузки и почему?
15. Как влияет форма сечения на работу сжатых стержней?
16. Какие условия необходимо учитывать при конструировании сечения из древесины?
17. Почему необходимо выполнять проверку изгибаемого элемента по прогибам?
18. Напишите условие прочности изгибаемых элементов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

Александров, А.В. и др. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / В.А. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – 2-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2000.

Введение в сопротивление материалов: учебное пособие / под ред. Б.Е. Мельникова. – СПб.: Лань, 1999.

Квасов, А.С. Художественное конструирование изделий из пластмасс: учебник для вузов / А.С. Квасов. – М.: Высш. шк., 1989.

Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; под ред. Г.П. Фетисова. – 2-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2002.

Попов, К.Н. Строительные материалы и изделия: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Кардо. – М.: Высш. шк., 2002.

Дополнительная литература

Архитектурные конструкции / под ред. З.А. Казбек-Казиева. – М.: Высш. шк., 1989.

Бартошевич, А.А. Конструирование мебели: учебное пособие для вузов / А.А. Барташевич. – Минск: Высшейш. шк., 1988.

Лукович, Г.М. Руководство по решению задач по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов / Г.М. Лукович, Л.С. Минаев, А.И. Винокуров; под ред. Л.С. Минина. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1999

Орлов, Д.М. Древесина и древесные материалы / Д.М. Орлов. – М.: Л.: Гос-лесбуиздат, 1960.

Орловский, Б.Я., Сербинович, П.П. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Общественные здания / Б.Я. Орловский, П.П. Сербинович. – М.: Высш. шк., 1979.

Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления: учебное пособие для вузов / Р.Г. Мирзоев, И.Д. Кутушев, В.А. Брагинский, Ю.В. Казанков; под ред. К.А. Гаспаряна. – Л.: Машиностроение, 1972.

Расчетные и курсовые работы по сопротивлению материалов: учебное пособие / Ф.З. Алмаметов, СИ. Арсеньев, С.А. Енгальчев и др. – М.: Высш. шк., 1992.

Нормативная литература

1. ГОСТ 2. 301-68. Форматы.
2. ГОСТ 2. 302-68. Масштабы.
3. ГОСТ 2. 303-68. Линии.
4. ГОСТ 2. 304-81. Шрифты чертежные.
5. ГОСТ 2. 306-68***. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертеже.
6. ГОСТ Р 21. 1101-92 (СПДС). Основные надписи.
7. ГОСТ 8239-88. Балки двутавровые.
8. ГОСТ 8240-88. Швеллеры.
9. ГОСТ 103-76. Сталь полосовая.
10. ГОСТ 8509-88. Сталь прокатная угловая равнополочная.
11. ГОСТ 8510-88. Сталь прокатная угловая неравнополочная.
12. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячекатаные.
13. ГОСТ 8262-75. Трубы стальные водогазопроводные.
14. ГОСТ 10704-76. Трубы стальные электросварные.
15. СНИП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.
16. СТП 1.104-98. Курсовые работы (проекты).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
Тема 1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.....	5
1.1. Физико-механические свойства материалов.....	5
1.1.1. Физические свойства материалов	5
1.1.2. Механические свойства.....	5
1.2. Древесина	6
1.2.1. Породы древесины	8
1.2.2. Лиственные породы.....	14
1.2.3. Строение древесины	35
1.2.4. Древесные материалы	46
1.2.5. Основные конструктивные элементы	46
1.2.6. Соединения деталей	48
1.2.7. Основы конструирования изделий из древесины	61
1.3. Металлы	69
1.3.1. Классификация металлов	70
1.3.2. Энергетические условия процесса кристаллизации	77
1.3.3. Превращения в твердом состоянии.....	81
1.3.4. Аморфное состояние	83
1.3.5. Механические свойства металлов и неметаллов	84
1.3.6. Сплавы	92
1.3.7. Обработка резанием	96
1.3.8. Чугун.....	97
1.3.9. Легированные стали и сплавы	101
1.3.10. Легкие металлы и их сплавы	110
1.3.11. Благородные металлы	113
1.4. Пластические массы.....	114
1.4.1. Состав пластических масс	117
1.4.2. Пластические массы, применяемые в производстве бытовых изделий	120
1.4.3. Хозяйственные товары из пластмассы	126
1.4.4. Особенности оценки качества изделий из пластмасс.....	126
1.5. Природные каменные материалы	127
1.5.1. Вулканические туфы	129
1.5.2. Породы группы базальтов.....	130
1.5.3. Породы группы гранитов	132
1.5.4. Обработка природного камня	136
1.5.5. Фактуры, получаемые обработкой абразивами	139

1.5.6. Изделия из каменного литья	141
1.5.7. Защита изделий из горных пород от коррозии	141
1.6. Изделия из стекла	144
1.6.1. Стекло листовое.....	144
1.6.2. Стекло облицовочное	150
1.6.3. Изделия из стекла	152
1.6.4. Художественная обработка стекла.....	153
Тема 2. РАБОТА МАТЕРИАЛА	
В КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЕ.....	155
2.1. Основные понятия и допущения.....	155
2.2. Основные виды нагрузок	159
2.3. Основные виды деформаций	161
2.4. Метод сечений. Напряжения	163
2.5. Осевое растяжение (сжатие).....	167
2.6. Поперечные деформации при растяжении, сжатии	171
2.7. Диаграмма растяжения и характерные точки	172
2.8. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали Ст3	174
2.9. Диаграмма растяжения пластичных материалов, не имеющих площадки текучести	177
2.10. Испытание на сжатие	179
2.11. Твердость	182
2.12. Сравнительная характеристика пластичных и хрупких материалов	183
Тема 3. ЦЕНТРАЛЬНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ (СЖАТИЕ)	191
3.1. Продольная сила	191
3.2. Напряжения, вызванные изменением температуры	201
3.3. Статически неопределимые задачи на растяжение и сжатие.....	204
3.4. Геометрические характеристики сечения	209
3.5. Определение положения центра тяжести фигур	211
Тема 4. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ ИЗГИБЕ	214
4.1. Характеристика опор балки.....	217
4.2. Определение опорных реакций	219
4.3. Поперечная сила Q и изгибающий момент M. Аналитический способ построения эпюр Q и M	223
4.3.1. Определение максимальных прогибов	224

Тема 5. ПОНЯТИЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ	228
5.1. Определение критической силы при осевом сжатии стержня	230
5.2. Практический метод расчета сжатых стержней на устойчивость	236
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	239
Основная литература.....	239
Дополнительная литература	239
Нормативная литература	240

Учебное издание

Составитель
Чернявина Лариса Андреевна

КОНСТРУИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ СРЕДЫ

Редактор С.Г. Масленникова
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

Подписано в печать 26.03.09. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,2.
Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41

Отпечатано в типографии ВГУЭС

690600, Владивосток, ул. Державина, 57