

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

Свойства и поведение строительных материалов в условиях пожара

Учебное пособие

Допущено Министерством Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве
учебного пособия для высших образовательных учреждений
МЧС России

Москва
2016

УДК 699.8:614.841.33(075.8)
ББК 38.96
С 25

Авторы:

Б. Ж. Битуев, В. М. Ройтман, Б. Б. Серков,
А. Б. Сивенков, С. В. Стебунов

Рецензенты:

А. В. Попов, заместитель начальника отдела Департамента надзорной деятельности МЧС России;
С. Н. Терехин, начальник кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета МЧС России, кандидат технических наук, доцент

**Свойства и поведение строительных материалов в условиях
С 25 пожара** : учеб. пособие / Б. Ж. Битуев, В. М. Ройтман, Б. Б. Серков
и др. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – 148 с.

ISBN 978-5-9229-0123-9

В учебном пособии изложены основные сведения о строительных материалах и их поведении в условиях пожара, приведены методы исследования и оценки поведения строительных материалов в условиях пожара, способы их огнезащиты и пути совершенствования нормирования пожаробезопасности применения материалов в строительстве.

Учебное пособие предназначено для высших учебных заведений пожарно-технического профиля МЧС России и может быть полезно нормативно-техническим работникам Государственной противопожарной службы МЧС России, проектировщикам, а также студентам вузов строительного профиля.

УДК 699.8:614.841.33(075.8)
ББК 38.96

ISBN 978-5-9229-0123-9

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2016

Введение

В нашей стране строятся здания и сооружения различного назначения. Инвесторами строительства являются не только государственные структуры, но и разнообразные фирмы и ассоциации, а также физические лица. Наряду с обычными жилыми домами, дачными коттеджами, гаражами, магазинами, производственными и другими зданиями возводятся уникальные строения, не имеющие аналогов ни в российской, ни в мировой практике. Достаточно привести примеры четырехэтажного подземного торгового комплекса на Манежной площади в Москве, высотных зданий нового общественного центра «Москва-Сити», тоннельных развязок длиной до 3 км, Третьего транспортного кольца в Москве, Ледового дворца в Ярославле, триумфальной арки в Курске, нефтепирса в Махачкале, объектов Каспийского трубопроводного консорциума.

В строительных конструкциях зданий и сооружений используются различные по происхождению и пожарной опасности материалы. Конструктивные элементы из железобетона, кирпича, бетона способны в условиях пожара в течение десятков минут, а иногда даже нескольких часов сопротивляться огневому воздействию и не разрушаться. Стальные конструкции зданий при пожаре не горят, не распространяют огонь, но при 15–20-минутном огневом воздействии теряют несущую способность. Несколько дольше при горении продолжают выполнять несущие функции массивные деревянные конструкции, однако они способствуют распространению огня и развитию пожара. Конструктивные элементы из пластмасс, а также отделочные, теплоизоляционные, кровельные и другие материалы в условиях пожара, как правило, не только горят, но и выделяют опасные для человеческого организма токсичные продукты.

Знать пожарные свойства строительных материалов, оценивать поведение конструкций при пожаре, предлагать эффективные способы огнезащиты конструктивных элементов обязан инженер-проектировщик, инженер-строитель, инженер-эксплуатационник. Но в первую очередь это обязанность инженера пожарной безопасности. Одной из базовых дисциплин для становления инженера пожарной безопасности является дисциплина «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре». Настоящее учебное пособие содержит материал для изучения первого раздела дисциплины.

Необходимость издания учебного пособия обусловливается введением в действие Федерального закона Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», а также перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона.

В методическом отношении учебное пособие построено в соответствии с многолетним опытом преподавания дисциплины «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» на кафедре пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России.

В учебном пособии изложены основные сведения о строительных материалах и их пожарной опасности, приведены методы испытания материалов на горючесть, воспламеняемость, токсичность продуктов горения, дымообразующую способность, распространение пламени по поверхности, описаны способы и эффективность огнезащиты стройматериалов, намечены пути совершенствования нормирования пожаробезопасности применения материалов в строительстве.

Авторы выражают благодарность рецензентам учебного пособия и профессорско-преподавательскому составу кафедры пожарной безопасности в строительстве за ценные замечания и пожелания, сделанные при подготовке рукописи учебного пособия, а также адъюнкту кафедры пожарной безопасности в строительстве Нигматуллиной Динаре Матафуровне за оказанную помощь в подготовке учебного пособия к изданию.

1. Основные свойства строительных материалов и процессы, происходящие в них в условиях пожара

1.1. Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара

Номенклатура строительных материалов содержит сотни названий. Каждый материал в определенной мере отличается от других внешним видом, химическим составом, структурой, свойствами, областью применения в строительстве и поведением в условиях пожара. Вместе с тем между материалами не только существуют различия, но и множество общих признаков. Под *поведением строительных материалов* в условиях пожара понимается комплекс физико-химических превращений, приводящих к изменению состояния и свойств материалов под влиянием интенсивного высокотемпературного нагрева.

На рис. 1.1 показана обобщенная схема, в которой перечислены основные факторы, процессы и последствия, характеризующие поведение различных материалов в условиях пожара.

Для того чтобы понять, какие изменения происходят в структуре материала, как меняются его свойства, т. е. как влияют внутренние факторы на поведение материала в условиях пожара, необходимо хорошо знать сам материал: его происхождение, сущность технологии изготовления, состав, начальную структуру и свойства.

В процессе эксплуатации материала в обычных условиях на него воздействуют внешние эксплуатационные факторы (см. рис. 1.1):

- область применения (для облицовки пола, потолка, стен; внутри помещения с нормальной средой, с агрессивной средой, снаружи помещения и т. п.);
- влажность воздуха (чем она выше, тем выше влажность пористого материала);
- различные нагрузки (чем они выше, тем тяжелее материалу сопротивляться их воздействию);
- природные воздействия (солнечная радиация, температура воздуха, ветер, атмосферные осадки и т. п.).

Перечисленные внешние факторы влияют на долговечность материала (ухудшение его свойств в течение времени нормальной эксплуатации). Чем они агрессивнее (интенсивнее) воздействуют на материал, тем быстрее изменяются его свойства, разрушается структура.

При пожаре, помимо перечисленных, на материал воздействуют и значительно более агрессивные факторы:

- высокая температура окружающей среды;
- время (продолжительность) нахождения материала под воздействием высокой температуры;

- воздействие огнетушащих веществ;
- воздействие агрессивной среды.

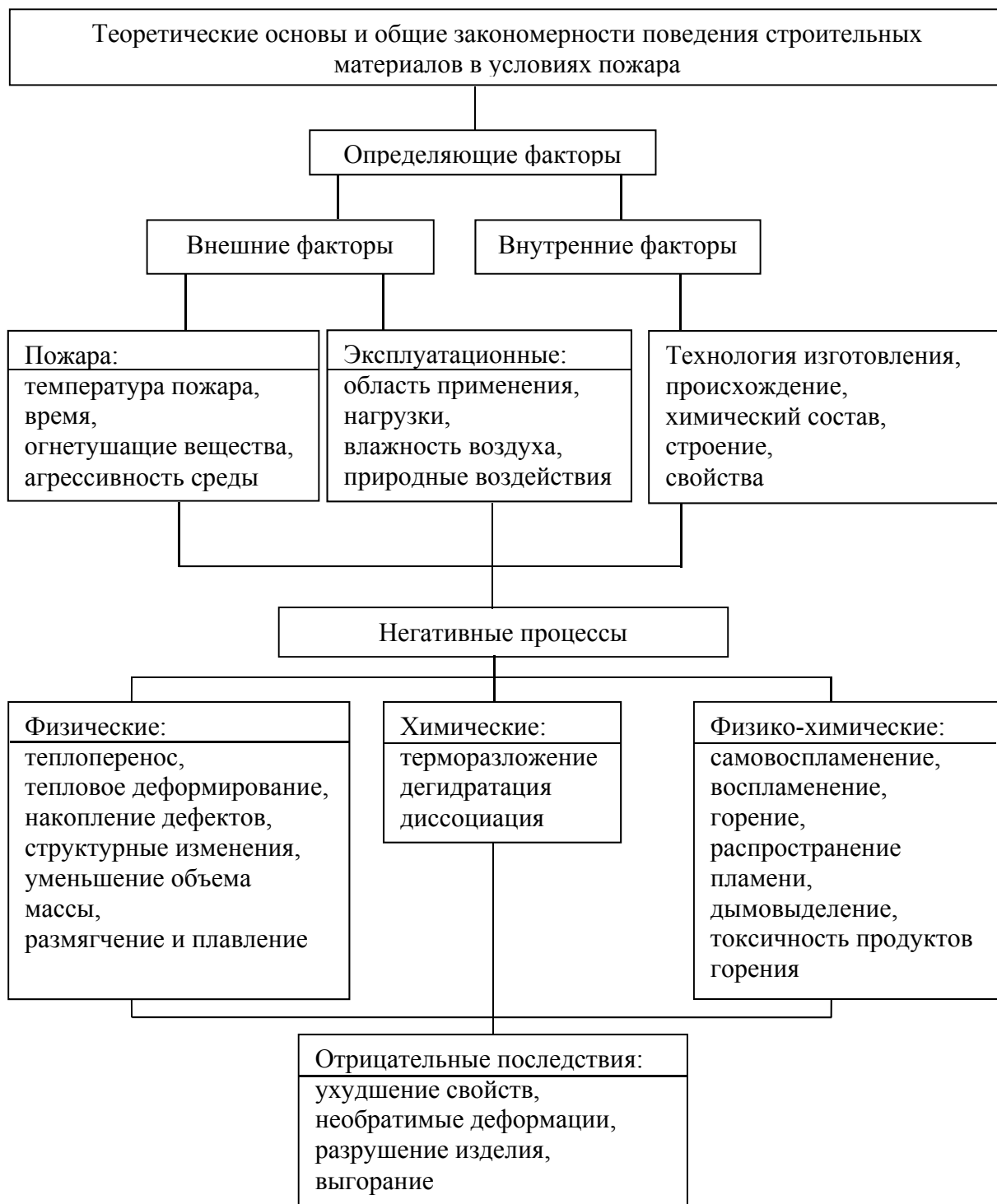


Рис. 1.1. Структурная схема-ключ к изучению, оценке, прогнозированию и регулированию поведения строительных материалов в условиях пожара и определению области их безопасного применения

В результате воздействия на материал внешних факторов пожара в материале могут протекать те или иные негативные процессы (в зависимости

от вида материала, его структуры, состояния в период эксплуатации). Прогрессирующее развитие негативных процессов в материале ведет к отрицательным последствиям (см. рис. 1.1).

1.2. Основные свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара

Свойствами называют [1] способность материалов реагировать на воздействие внешних и внутренних факторов: силовых, влажностных, температурных и др.

Все свойства материалов взаимосвязаны. Они зависят от вида, состава, строения материала. Ряд из них оказывает более существенное, другие – менее существенное влияние на пожарную опасность и поведение материалов в условиях пожара.

Для изучения и объяснения характера поведения строительных материалов в условиях пожара предлагается в качестве основных рассмотреть следующие свойства:

1. Физические свойства: объемная масса, плотность, пористость, гигроскопичность, водопоглощение, водопроницаемость, паро- и газопроницаемость.

2. Механические свойства: прочность, деформативность.

3. Теплофизические свойства: теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, тепловое расширение, теплостойкость.

4. Свойства, характеризующие пожарную опасность материалов: горючесть, тепловыделение, дымообразование, выделение токсичных продуктов горения.

Свойства материалов обычно характеризуют соответствующими числовыми показателями, которые определяют с помощью экспериментальных методов и средств.

1.2.1. Физические свойства

К физическим относят свойства, выражающие способность материалов реагировать на воздействие физических факторов: гравитационных, влажностных и др.

Рассмотрим образец пористого материала (рис. 1.2). Обозначим его массу – m , объем – V . Учитывая, что материал пористый, часть объема образца занимают поры. Обозначим эту часть объема $V_{п}$. Причем поры бывают открытыми – сообщающимися между собой и атмосферой. Обозначим часть объема образца, занятую указанными порами, $V_{о.п}$ и $V_{з.п}$ соответственно. Остальную часть объема образца занимает материал (вещество в абсолютно плотном состоянии) – $V_{а}$ (см. рис. 1.2).

Средняя плотность (объемная масса) ρ_0 , кг/м³, – масса единицы объема материала в естественном состоянии, вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

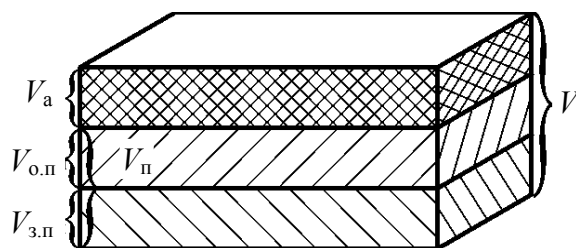


Рис. 1.2. Образец пористого материала:
 V – объем образца; V_a – объем вещества;
 $V_{п}$ – объем пор; $V_{o.п}$ – объем открытых пор; $V_{з.п}$ – объем закрытых пор

При этом в объем материала входит и объем пор. При определении массы материала в естественном состоянии обычно указывают величину влагосодержания. Учитывая, что пользоваться величинами объемной массы материала при различных значениях влагосодержания неудобно (так как в этом случае ρ_0 получается непостоянной величиной), удобнее при определении ρ_0 использовать величину m сухого материала (без учета массы воды в порах). Поэтому m определяют после искусственной сушки материала в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С до постоянной массы. Числовые значения объемной массы для различных строительных материалов колеблются в широком диапазоне (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Числовые значения показателей физических свойств наиболее распространенных строительных материалов

Материал	Объемная масса ρ_0 , кг/м ³	Плотность ρ , кг/м ³	Пористость П, %
Пенополистирол	15–20	1050	81–98
Древесина:			
сосна	400–600	1550	61–74
дуб	700–900	1600	42–55
Бетоны:			
ячеистые	500–1200	2500	60–84
легкие	500–1800	2600	40–84
тяжелые	1800–2500	3000	17–40
Красный кирпич	1600–2500	3000	17–40
Стекло оконное	2500	2500	0
Металлы:			
сталь	7800	7800	0
алюминиевые сплавы	2850	2850	0

Плотность (истинная плотность) ρ , кг/м³, – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (то есть объем определяют без учета пор, трещин, каверн и других полостей, присущих материалу в его обычном состоянии):

$$\rho = \frac{m}{V_a}. \quad (1.2)$$

У большинства материалов $\rho_0 < \rho$ (так как они содержат поры, трещины и другие неплотности). У непористых материалов практически $\rho_0 = \rho$ (стекло, металлы, жидкости и т. п.).

Пористость Π , %, – степень заполнения объема образца материала порами:

$$\Pi = \frac{V_p}{V}. \quad (1.3)$$

Величина пористости у различных материалов колеблется от 0 до 96 % (см. табл. 1.1).

По размерам радиуса r поры классифицируют на:

микропоры – $r \leq 10^{-5}$ см;

макропоры – $r > 10^{-5}$ см;

каверны – $r > 5 \cdot 10^{-3}$ см.

Гигроскопичность – способность пористого материала поглощать влагу из воздуха (парогазовой смеси). Она характеризуется влагосодержанием материала – отношением массы влаги, содержащейся в порах материала, к его массе в сухом состоянии – кг/кг, %.

Степень заполнения пор материала прямо зависит от относительной влажности воздуха, температуры, парциального давления смеси. С увеличением относительной влажности и со снижением температуры воздуха гигроскопичность повышается.

Влагой из воздуха заполняются лишь микропоры. Переходные поры и макропоры способны заполняться только при непосредственном контакте материала с водой (например, во время дождя и т. п.). Влага, содержащаяся в микропорах, называется гигроскопической (физически связанной, полусвободной).

Способность материала отдавать влагу в окружающую среду называют влагоотдачей.

Если между влажностью окружающего воздуха и влажностью материала устанавливается равновесие (материал имеет равновесную влажность), материал называют воздушно сухим. Например, в помещении при относительной влажности воздуха 60–65 % равновесная влажность древесины в среднем равна 15 % (0,15 кг/кг). Полное удаление гигроскопической влаги возможно лишь при искусственном нагреве материала при температуре, превышающей 100 °С, в течение нескольких часов или суток. При пожаре этот процесс происходит интенсивнее.

Влага, которая может содержаться в течение какого-то времени в макропорах, называется механической (свободной). Механическая влага постепенно испаряется даже при 100 % влажности воздуха.

Водопоглощение W – способность пористого материала впитывать воду при непосредственном контакте с ней. Различают массовое и объемное поглощение материала.

Массовое водопоглощение W_m , %:

$$W_m = \frac{m_{\text{в}}}{m} 100 = \frac{(m_{\text{н.в}} - m)}{m} 100 \%, \quad (1.4)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса воды в порах образца, кг(г);

$m_{\text{н.в}}$ – масса образца после насыщения водой в течение суток, кг(г);

m – масса образца после сушки в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С до стабилизации массы кг(г).

Объемное водопоглощение W_V , %:

$$W_V = \frac{V_{\text{в}}}{V} 100 \% = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} V} = \frac{m_{\text{н.в}} - m}{\rho_{\text{в}} V} 100 \%, \quad (1.5)$$

где $V_{\text{в}}$ – объем воды в порах материала, м³(см³);

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³ (г/см³).

При контакте материала с водой она проникает лишь в открытые поры. В закрытые (замкнутые) поры вода не проникает. Поэтому объемное водопоглощение называют кажущейся пористостью.

Наличие влаги в порах материала существенно влияет на другие его свойства (механические, теплофизические), а также на его поведение в условиях пожара. По форме связи влаги с материалом существуют не только рассмотренная нами физическая (полусвободная и свободная), но и физико-химическая или адсорбционная влага – на поверхностях кристаллов, стенках пор и т. п., а также химически связанная влага (в молекулах материалов и их компонентов).

Водопроницаемость – способность пористого материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в течение 1 ч через 1 см³ поверхности материала при заданном давлении воды.

Паро- и газопроницаемость оценивают с помощью соответствующих коэффициентов λ , ρ . Она равна количеству водяного пара (воздуха), которое проходит через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1 ч при разности давлений у противоположных поверхностей образца 10 Па.

1.2.2. Механические свойства

Механические (деформационно-прочностные) свойства отражают способность материалов (изделий) сопротивляться действию нагрузок (усилий), возникающих от силовых, тепловых, усадочных и других факторов.

Рассмотрим процесс растяжения стержня (рис. 1.3). Если на стержень действует внешняя (растягивающая) сила F , то в нем возникают внутренние силы f , суммарно равные внешней силе и направленные в противоположную сторону. Причем $\sum f_i = F$. Если взять отношение суммы внутренних сил к площади поперечного сечения стержня S , то получим механическую характеристику, которая называется напряжением:

$$\sigma = \frac{\sum f_i}{S} = \frac{F}{S}. \quad (1.6)$$

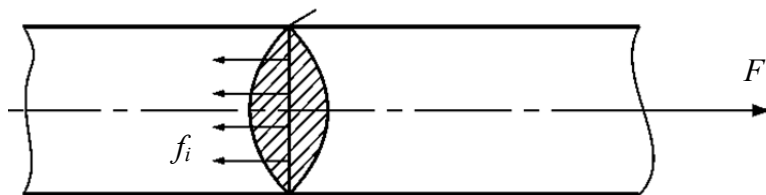


Рис. 1.3. Схема, поясняющая возникновение внутренних напряжений при растяжении стержня:

F – внешняя растягивающая сила; f_i – внутренние силы;
 S – площадь поперечного сечения образца

В зависимости от направления приложения внешней силы в материале могут возникать напряжения сжатия, растяжения, изгиба, кручения и др.

Прочность – это способность материала сопротивляться разрушению за счет внутренних напряжений, возникающих под действием внешней силы.

Возникновение напряжений в материале может происходить также в результате воздействия других факторов, например, температурных градиентов по толщине конструкции. Чем больше величина напряжений, которые способны возникнуть в материале, тем он прочнее. Однако всегда можно приложить такую внешнюю силу F_p , что сумма внутренних сил окажется недостаточной для ее компенсации. В этом случае происходит разрушение материала, точнее, потеря целостности, так как при $F < F_p$ материале протекает кинетический процесс накопления нарушений.

Напряжение, соответствующее разрушающей силе, называют *временным сопротивлением* (пределом прочности) материала и обозначают R (для металла также σ_b).

В зависимости от вида напряжений, возникающих в материале, различают временное сопротивление сжатию, растяжению, изгибу и др. В простейшем случае растяжения или сжатия материала предел прочности выражается отношением разрушающей силы $F_{p(c)}$ к площади поперечного сечения образца материала S :

$$R_{p(c)} = \frac{F_{p(c)}}{S}. \quad (1.7)$$

В случае изгиба

$$R_n = \frac{M_p}{W}, \quad (1.8)$$

где R_n – временное сопротивление изгибу, Па;

M_p – разрушающий изгибающий момент, Нм;

W – момент сопротивления, m^3 .

Значения временного сопротивления для некоторых материалов приведены в табл. 1.2.

Числовые значения временного сопротивления некоторых материалов

Материал	Временное сопротивление R , МПа		
	при сжатии R_c	при растяжении R_p	при изгибе $R_{\text{н}}$
Торфоплиты	0,5	–	0,25–0,2
Бетон обыкновенный	5–30	0,6–2	–
Бетон высокопрочный	40–80	2,5–7	–
Кирпич глиняный	7,5–30	–	1,5–3,5
Древесина (усредненные данные):			
вдоль волокон	50	130	100
поперек волокон	6,5	6,5	75
Стеклопластик СВМ	420	450–470	410–460
Гранит	100–250	2–4,4	–
Сталь	380–450	380–450	–

Из данных, приведенных в табл. 1.2, видно, что соотношения между величинами предела прочности при различных вариантах приложения нагрузки зависят от вида материала. Так, для стали величины предела прочности при сжатии и растяжении равны, а для гранита предел прочности при сжатии в 50 раз выше, чем при растяжении. У древесины величина предела прочности зависит от направления приложения нагрузки по отношению к расположению волокон. Прочность древесины вдоль волокон выше, чем поперек.

Материалы, характеризующиеся одинаковыми показателями свойств (в частности, предела прочности) в различных направлениях, называют изотропными, с различными показателями – *анизотропными*.

Временное сопротивление (как и другие механические характеристики) существенно зависит от физических свойств материалов. В частности, чем выше пористость (ниже объемная масса), тем ниже прочность материала.

Поскольку пористые материалы всегда содержат определенное количество гигроскопической влаги, она оказывает капиллярное давление на стенки пор. Учитывая, что пор в материале очень много, суммарное давление достигает значительной величины. Материал вынужден сопротивляться этому давлению за счет внутренних напряжений. Это существенно снижает его прочность, т. е. способность сопротивляться внешней нагрузке.

Деформативность – способность образца материала (изделия) изменять свои размеры (форму) без изменения своей массы, характеризуется величиной деформации: абсолютной, относительной.

Деформации образцов (изделий) происходят при растяжении, сжатии, сдвиге, кручении, изгибе и т. п. Все они могут быть обратимыми или необратимыми (остаточными). *Обратимые (упругие) деформации* – те, которые

полностью исчезают при прекращении действия на материал факторов, их вызывающих. *Необратимые деформации* (пластические) накапливаются в период действия факторов, их вызывающих, а после их устранения деформации сохраняются. На характер и величину деформаций влияет не только степень нагружения, но и скорость повышения нагрузки, а также температура материала. Как правило, с понижением скорости нагружения, либо повышением температуры материала величина деформации увеличивается. Пластические деформации, медленно нарастающие без увеличения напряжения, характеризуют текучесть материала.

Пластическая деформация, медленно нарастающая в течение длительного времени под влиянием нагрузки, величина которой недостаточна для того, чтобы вызвать остаточную деформацию за обычные периоды наблюдений, называется *деформацией ползучести*, а процесс такого деформирования – *ползучестью* (крипом).

Помимо предела прочности к прочностным характеристикам материалов относятся предел упругости и предел текучести.

Упругость – способность образца материала изменять свою форму под действием нагрузки и восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки.

Предел упругости σ_y – максимальное напряжение, при котором в материале еще не возникает остаточных деформаций.

Пластичность – способность образца материала изменять свою форму без разрушения под действием нагрузки и сохранять новую форму после прекращения действия нагрузки. Это свойство характеризуется текучестью материала.

Предел текучести σ_T – постоянное напряжение при нарастании пластической деформации (см. рис. 1.4).

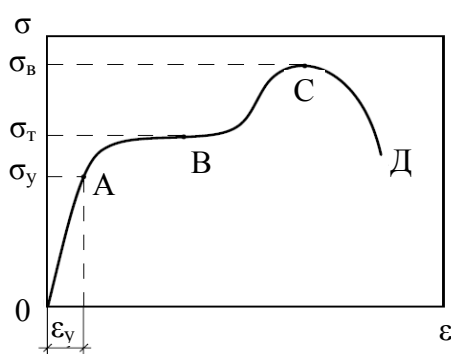


Рис. 1.4. Диаграмма «напряжение – деформация» на примере образца мягкой стали:

- σ – напряжение; ε – относительная деформация; σ_y – предел упругости;
- σ_T – предел текучести; σ_B – предел прочности (временной сопротивление);
- ε_y – величина упругой деформации; 0–А – участок упругих деформаций;
- А–В – участок пластических деформаций; В–С – участок самоупрочнения (наклепа);
- С–Д – участок разрушения материала

Деформативно-прочностные характеристики материала наглядно характеризует диаграмма напряжений (см. рис. 1.4). При упругой деформации материала справедлив *закон Гука*, устанавливающий прямопропорциональную зависимость между напряжением и величиной деформации:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1.9)$$

где ε – относительная деформация, например, при растяжении:

$$\varepsilon = \frac{\ell_1 - \ell_0}{\ell_0}, \quad (1.10)$$

здесь ℓ_0 – длина образца до растяжения, м;

ℓ_1 – длина образца после растяжения, м;

E – модуль упругости (модуль Юнга), Па.

Наличие влаги в пористом материале влияет на их деформативные свойства: коробление, усадку и др. Так, при насыщении пор материала водой он расширяется. В том случае, если в определенных условиях происходит неравномерное (например, одностороннее) увлажнение (в частности, во время дождя) или высушивание, то тонкие образцы (изделия) подвергаются короблению (деформации изгиба) в результате неравномерного по толщине образца действия капиллярных сил влаги в порах материала.

В процессе сушки пористого материала происходит удаление влаги, что ведет к уменьшению объема. Это свойство называется усадкой. Неравномерная сушка и соответственно усадка ведут также к короблению (деформации с изгибом) тонких образцов (изделий).

Твердость – способность образца материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого образца материала. Величину твердости для металлов определяют числом Бринелля (НВ), которое представляет собой отношение силы, вдавливающей металлический закаленный шарик в поверхность испытуемого металла, к площади полученного в испытаниях углубления. Твердость каменных материалов определяют по условной десятибалльной шкале Мооса, в которой в качестве эталонов принята твердость десяти минералов, расположенных по возрастающей твердости: 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальцит, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – полевой шпат (ортоклаз), 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз.

1.2.3. Теплофизические свойства

Теплофизические свойства характеризуют поведение материалов при воздействии на них тепла.

Теплопроводность – способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур

на противоположных поверхностях образца (изделия), характеризуется коэффициентом теплопроводности материала λ , Вт/(м·К):

$$\lambda = \frac{Q\tau}{\delta S \Delta t}, \quad (1.11)$$

где Q – тепло, переданное от обогреваемой поверхности к холодной, Дж;
 δ – толщина образца (изделия), м;
 S – площадь обогреваемой поверхности, м²;
 Δt – разность температур противоположных поверхностей образца, °С (К);
 τ – время, с.

Коэффициент теплопроводности – количество тепла, проходящего через плиту толщиной 1 м, при площади ее поверхности 1 м², за время 1 с, при разности температур на противоположных поверхностях 1 К.

Числовые значения коэффициента теплопроводности зависят от вида материала (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Среднестатистические значения величин теплофизических характеристик отдельных строительных материалов (при 0 °С)

Материал	λ , Вт/(м·К)	c , кДж/(кг·К)
Пенопласты	0,04–0,05	–
Минеральная вата	0,05–0,09	–
Древесина	0,24	2,42–2,75
Кирпич глиняный	0,8–0,85	0,8
Тяжелый бетон	1,0–1,5	0,8
Гранит	3,0–3,5	0,8
Сталь	58	0,42

С повышением пористости (уменьшением объемной массы) одного и того же материала λ уменьшается, так как воздух, содержащийся в порах, имеет очень низкий коэффициент теплопроводности ($\lambda = 0,023$ Вт/(м·К)). С повышением влагосодержания пористого материала его теплопроводность возрастает, так как коэффициент теплопроводности воды $\lambda = 0,59$ Вт/(м·К).

Теплоемкость – способность материала при нагревании поглощать определенное количество тепла, а при остывании его отдавать характеризуется удельной теплоемкостью:

$$c = \frac{Q}{m \Delta t}, \quad (1.12)$$

где c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);
 m – масса материала, кг;
 Δt – разность температур материала до и после нагревания, К.

Удельная теплоемкость (c) – количество тепла, которое необходимо сообщить либо отобрать у 1 кг материала, чтобы изменить его температуру на 1 °С. Числовые значения удельной теплоемкости некоторых строительных материалов приведены в табл. 1.3. У воздуха $c = 0,97$, у воды $c = 4,2$ кДж/(кг·К). Поэтому с повышением влагосодержания пористых материалов их удельная теплоемкость увеличивается.

Температуропроводность – способность образца материала (изделия) изменить температуру при нагревании (охлаждении), характеризуется коэффициентом температуропроводности a , м²/с.

Коэффициент температуропроводности характеризует скорость изменения температуры материала. Его вычисляют по формуле

$$a = \frac{\lambda}{c\rho_0}, \quad (1.13)$$

где ρ_0 – объемная масса материала, кг/м³.

Тепловое расширение твердых материалов характеризуется коэффициентами линейного и объемного теплового расширения.

Коэффициент линейного теплового (температурного) *расширения* α – относительное изменение длины испытуемого материала при изменении его температуры на 1 К:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}, \quad (1.14)$$

где Δl – разность длин образца материала до и после нагрева, м;

l_0 – начальная длина образца, м;

Δt – разность температур, К.

Коэффициент объемного теплового расширения – относительное изменение объема образца материала при изменении его температуры на 1 К.

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}, \quad (1.15)$$

где ΔV – разность объемов образца до и после нагрева, м³;

V_0 – начальный объем образца, м³;

Δt – разность температур, К.

Числовые значения α и β для ряда строительных материалов приведены в табл. 1.4.

**Числовые значения коэффициентов линейного и объемного расширения
в указанных диапазонах температур для различных материалов**

Материал	$\alpha \cdot 10^4, 1/К$	$\beta, 1/К$
Кирпич глиняный	0,009	–
Сосна поперек волокон	0,034	2–34
Сосна вдоль волокон	0,05	2–34
Мрамор	0,014	15–100
Кварц	0,078–0,140	40
Сталь	0,105	0–100

Теплостойкость – способность нагретых материалов (в частности, полимерных) сопротивляться проникновению в них других, более твердых материалов при их соприкосновении, а также деформированию под действием постоянной нагрузки (в нагретом состоянии).

Теплостойкость характеризуется температурой, при которой материал перестает сопротивляться указанным действиям и контролируемые параметры (глубина проникновения испытываемого средства, величина деформации образца) достигают предельных значений.

1.2.4. Свойства, характеризующие пожарную опасность строительных материалов

Под пожарной опасностью принято понимать вероятность возникновения и развития пожара, заключенную в каком-либо веществе, состоянии или процессе.

Согласно ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2] пожарная опасность строительных материалов определяется следующими пожарно-техническими характеристиками (свойствами материалов): горючестью, воспламеняемостью, распространением пламени по поверхности, дымообразующей способностью и токсичностью продуктов горения. Для оценки степени пожарной опасности строительных материалов используют количественные показатели.

Горючесть – свойство, характеризующее способность материала гореть. Согласно ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» строительные материалы по горючести подразделяют на две основные группы: негорючие (НГ) и горючие (Г).

Согласно ГОСТ 12.1.044–89* [3] негорючие – материалы, не способные к горению на воздухе. Для негорючих строительных материалов другие показатели пожарной опасности не определяются и не нормируются.

Горючие – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Экспериментальную оценку показателя группы горючести строительных материалов проводят согласно ГОСТ 30244–94 [4]. Горючие материалы

подразделяются на 4 группы: Г1 – слабогорючие, Г2 – умеренногорючие, Г3 – нормальногорючие, Г4 – сильногорючие в соответствии с ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и ГОСТ 30244–94.

Воспламеняемость – способность материала воспламениться от источника зажигания либо при нагреве до температуры самовоспламенения.

Экспериментальную оценку показателя воспламеняемости строительных материалов проводят согласно ГОСТ 30402–96 [5]. Согласно ГОСТ 30402–96 и ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» горючие материалы по воспламеняемости подразделяют на 3 группы: В1 – трудновоспламеняемые, В2 – умеренновоспламеняемые, В3 – легковоспламеняемые.

Распространение пламени по поверхности – способность образца материала распространять пламя по поверхности в процессе его горения.

Экспериментальную оценку показателя (группы) распространения пламени по строительным материалам проводят по ГОСТ 30444–97 (ГОСТ Р 51032–97 [6]). Согласно ГОСТ 30444–97 (ГОСТ Р 51032–97) и ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» горючие материалы по способности распространять пламя по поверхности делят на 4 группы: РП1 – нераспространяющие, РП2 – слабораспространяющие, РП3 – умереннораспространяющие, РП4 – сильнораспространяющие пламя.

Дымообразующая способность – способность материала выделять дым при горении, характеризуется коэффициентом дымообразования, определяемым по ГОСТ 12.1.044–89* [3].

Коэффициент дымообразования – величина, характеризующая оптическую плотность дыма, образующегося при сгорании образца материала в экспериментальной установке.

По величине коэффициента дымообразования строительные материалы подразделяются на 3 группы: Д1 – с малой дымообразующей способностью, Д2 – с умеренной дымообразующей способностью, Д3 – с высокой дымообразующей способностью.

В процессе горения (разложения, тления) органические материалы способны выделять токсичные пары и газы, это свойство характеризуется *показателем (индексом) токсичности*, который определяют по ГОСТ 12.1.044–89 [3].

Показатель (индекс) токсичности продуктов горения полимерных материалов – отношение количества материала к единице объема камеры экспериментальной установки, при сгорании которого выделяющиеся продукты вызывают гибель 50 % подопытных животных.

По показателю токсичности продуктов горения строительные материалы подразделяются на 4 группы: Т1 – малоопасные, Т2 – умеренноопасные, Т3 – высокоопасные, Т4 – чрезвычайно опасные.

В зависимости от групп строительные материалы подразделяются на 6 классов пожарной опасности (табл. 1.5).

Классы пожарной опасности строительных материалов

Свойства пожарной опасности строительных материалов	Класс пожарной опасности строительных материалов в зависимости от групп					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г3	Г4
Воспламеняемость	–	В1	В2	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	–	Д2	Д2	Д3	Д3	Д3
Токсичность продуктов горения	–	Т2	Т2	Т2	Т3	Т4
Распространение пламени по поверхности для покрытия полов	–	РП1	РП1	РП2	РП2	РП4

Помимо рассмотренных свойств и показателей пожарной опасности, регламентируемых законом [2], для более полной оценки пожарной опасности строительных и других твердых материалов с помощью методов, включенных в ГОСТ 12.1.044–89*, в исследовательской практике оценивают и ряд других показателей, в частности: температуры воспламенения и самовоспламенения, кислородный индекс, индекс распространения пламени, скорость распространения пламени, теплоту сгорания материала.

Температура воспламенения t_v – минимальная температура, при которой интенсивность выделения газообразных горючих продуктов разложения достаточна для их зажигания внешним источником и поддержания самостоятельного горения материала при устранении внешнего источника.

Температура самовоспламенения t_{cv} – самая низкая температура материала, при которой в условиях специальных испытаний происходит интенсивное увеличение скорости экзотермической реакции, заканчивающейся пламенным горением.

Кислородный индекс (КИ) – минимальная концентрация кислорода (%) в кислородно-азотной смеси, необходимая для устойчивого горения материала.

Индекс распространения пламени – условный безразмерный показатель, характеризующий способность материала распространять пламя по поверхности.

Скорость распространения пламени по поверхности материала V , м/с, – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего участка.

Теплота сгорания Q_n , МДж/кг, – количество тепла, выделяющегося при полном сгорании единицы массы материала.

1.3. Сущность физико-химических процессов, приводящих к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара

1.3.1. Физические процессы

Теплоперенос (теплопередача) – непрерывное перемещение теплового потока от обогреваемой поверхности образца материала (изделия) вглубь (в направлении необогреваемой поверхности – при одностороннем обогреве, рис. 1.5, а [14]).

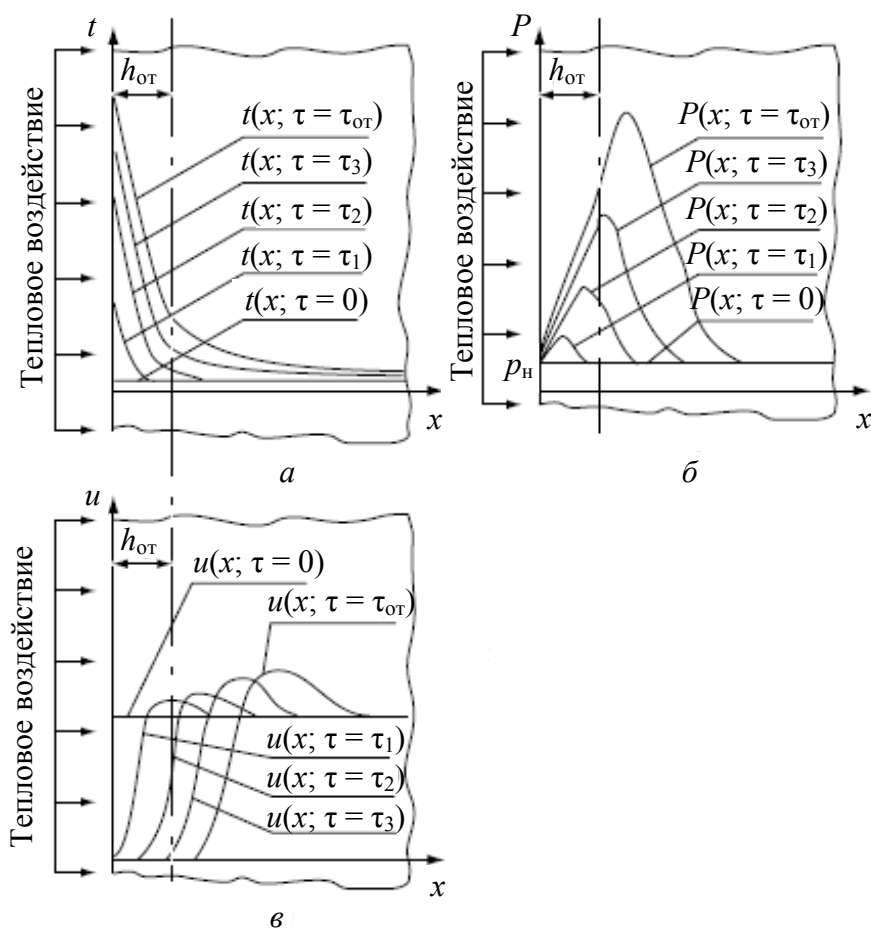


Рис. 1.5. Характер изменения тепловлажностных характеристик:

а – температуры t ; б – давления пара P ;

в – влагосодержания; u – образца материала по толщине и в конкретной точке $h_{от}$ в различные моменты времени τ при одностороннем высокотемпературном нагреве (x – координата по толщине образца, τ_i ($\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_i$) – моменты времени от начала нагрева, $\tau_{от}$ – время откола куска толщиной $h_{от}$ при взрывообразном разрушении [14])

Основным показателем, характеризующим развитие этого процесса, является температура материала (t – потенциал теплопереноса). Параметрами, необходимыми для количественной оценки протекания процесса теплопереноса и расчета изменения основного показателя t при пожаре являются теплофизические характеристики материала (λ, c, a).

Влагоперенос – отражает процесс перемещения влаги в пористой структуре материала одновременно с развитием процесса теплопереноса.

Поскольку отмеченные процессы действуют одновременно, часто их рассматривают как один процесс тепловлагопереноса. Однако учитывая, что процесс влагопереноса несколько сложнее для понимания, рассмотрим его автономно. При нагреве материала до температуры 100 °С влага, содержащаяся в порах, претерпевает температурное расширение, что увеличивает давление на стенки пор, вызывает увеличение внутренних напряжений в материале и снижает его прочность. Дальнейший нагрев материала приводит к переходу воды, содержащейся в порах, в парообразное состояние. При этом сначала влага испаряется с обогреваемой поверхности материала. Затем фазовый переход влаги в пар происходит в так называемой «зоне испарения», которая по мере прогрева постепенно перемещается в глубь образца (строительной конструкции) под влиянием процесса теплопереноса. Учитывая, что объем пор в твердом материале во время нагрева практически не изменяется, интенсивное парообразование (из 1 л воды получается 1700 л пара при нормальных условиях) приводит к быстрому росту давления в порах материала (см. рис. 1.5, б). По мере перемещения зоны испарения в глубь образца материала (изделия) давление в ней возрастает.

Так образуется градиент давления по толщине образца материала (изделия, см. рис. 1.5, б). Поскольку давление пара действует во все стороны одинаково, часть пара под его влиянием фильтруется наружу через образовавшуюся «сухую» зону материала в сторону обогреваемой поверхности. Другая часть пара под действием давления из зоны испарения перемещается в глубь материала, где конденсируется в более холодных его слоях, образуя «зону повышенного влагосодержания». При этом в течение определенного времени за зоной повышенного влагосодержания остается «зона начального влагосодержания» материала.

Влагоперенос приводит к созданию градиента влагосодержания материала по толщине образца (изделия). По мере прогрева материала (под влиянием процесса теплопереноса) ширина зоны начального влагосодержания постепенно уменьшается вплоть до полного ее исчезновения. Кроме того, под действием избыточного давления в сторону необогреваемой поверхности изделия влага выделяется из пор материала и стекает вниз. Затем и эта зона исчезает – по мере достижения зоной испарения необогреваемой поверхности. Если обогрев изделия происходит с нескольких сторон, то и зона испарения образуется соответственно с нескольких сторон и по мере прогрева материала перемещается вглубь (рис. 1.5, в).

Основным показателем процесса влагопереноса является избыточное давление P пара в зоне испарения. Давление пара является одним из основных стимуляторов процесса разрушения (накопления нарушений,

повреждений структуры) материала. При превышении избыточным давлением некоторой критической величины этот процесс может привести к явлению взрывообразной потери целостности образца (изделия) материала.

В том случае, если величина избыточного давления ниже определенного, характерного для данного материала значения, то удаление физически связанной влаги не приводит к явлению взрывообразной потери целостности. При этом после нагрева до температур порядка 100–250 °С может происходить даже некоторое повышение прочности материала. Это обусловлено в основном снятием капиллярного давления влаги на стенки пор материала.

Деформирование образцов материала (изделий) при воздействии пожара происходит в результате влияния ряда факторов, внутренних и внешних, в частности: температуры материала, его влагосодержания, внешнего силового воздействия на образец материала (конструкцию). Под влиянием перечисленных факторов в условиях пожара образцы материала (изделия) могут претерпевать следующие виды деформаций:

- температурные деформации расширения происходят в результате процесса теплопереноса, приводящего к увеличению межатомных расстояний в материале вследствие превращения тепловой энергии в кинетическую энергию атомов, подвижность которых при этом возрастает по мере повышения температуры материала;

- температурно-влажностные деформации капиллярно-пористых материалов при нагреве, которые обусловлены действием процесса теплового переноса;

- температурно-влажностно-силовые деформации материала происходят в результате суммарного действия внешней нагрузки на конструкцию (следовательно, и материал) и температурно-влажностных процессов;

- накопление дефектов (разрушение материала).

Существует несколько теорий разрушения материалов. Их условно можно разделить на 2 группы: классическая теория, основанная на науке о сопротивлении материалов, и кинетическая теория.

Известны ряд классических теорий (и их модификаций) прочности (разрушения) твердых тел. Их основы были заложены в исследованиях Галилея, Мариотта, Кулона, Сен-Венана, Губера, Бельтрами, Мизеса, Мора и др., а затем получили дальнейшее развитие в работах Гриффитса, В. П. Дегтярева, В. М. Панферова, Г. В. Ужика и др. Все эти теории основаны на предположении о существовании некоторого критического, порогового напряжения, после достижения которого наступает мгновенное разрушение материала (изделия). При напряжении меньше предельного предполагается, что твердое тело будет оставаться сплошным сколько угодно долго и такое напряжение считается безопасным. Следовательно, разрыв

твёрдого тела рассматривается как критическое событие, а предел прочности принимается за константу твёрдого тела. Иными словами, под разрушением эти теории подразумевают мгновенный акт, которому лишь предшествует процесс роста напряжений в материале, однако с его структурой и свойствами ничего не происходит. Следовательно, основной характеристикой, используемой данными теориями при констатации факта разрушения материала, является его предел прочности. Учитывая, что эту характеристику просто определять экспериментально и она изменяется при нагреве материалов в условиях пожара, ее используют в расчетах изменения несущей способности конструкций в условиях пожара (статическая часть задачи огнестойкости конструкций).

О кинетической теории прочности (разрушения) твёрдых тел можно сказать следующее. Сравнительно недавно в практике эксплуатации жаропрочных сплавов при высоких температурах и полимеров при умеренных температурах столкнулись с явлением так называемой «статической усталости». Было обнаружено, что при статическом нагружении образца вне зависимости от величины действующего напряжения происходит его разрушение и тем быстрее, чем выше эта величина. Явление статической усталости оказалось универсальным, т. е. присущим всем твёрдым материалам. Разрушение в этом случае представляет собой необратимый кинетический процесс постепенного накопления внутренней поврежденности (дефектов, нарушений) структуры материала, ускоряемый температурой. Экспериментальные исследования поведения ряда твёрдых строительных материалов (бетона, асбестоцемента, стали) в условиях пожара показали, что процесс разрушения этих материалов при пожаре подчиняется кинетическому закону.

Изменение структуры (модификационные или аллотропические превращения) материала характерно для металлов (сталей), отдельных минералов при изменении температуры (нагреве, охлаждении).

Изменение свойств материалов происходит в результате действия физических и химических процессов в материалах, что ведет соответственно к изменению и числовых показателей, характеризующих эти свойства. Так, в зависимости от температуры изменяются теплофизические, механические характеристики материалов. Изменение структуры и даже состава материалов в результате воздействия пожара ведет к уменьшению объемной массы, увеличению пористости, проницаемости, водопоглощения и т. п.

Размягчение – свойственно преимущественно аморфным материалам при нагреве, в частности, отдельным видам полимеров (термопластичных). Это приводит к повышению их пластичности (текучести) и соответственно к снижению упругости, прочности, повышению деформативности.

В существенно меньшей мере, чем аморфные материалы, процессу размягчения подвержены кристаллические материалы (металлы, искусственные каменные материалы) при нагреве. Однако даже незначительное повышение пластичности способствует развитию температурной ползучести этих материалов при нагревании в нагруженном состоянии. Основным показателем рассматриваемого процесса является температура размягчения.

Изменение агрегатного состояния у кристаллических материалов – фазовый переход из твердого состояния в жидкое (и обратно) происходит при определенной температуре плавления. Температура плавления совпадает с температурой затвердевания. При этом в процессе плавления или затвердевания температура материала не изменяется. Данный процесс, во-первых, приводит к снижению прочности материалов до нуля. Во-вторых, пары и газы, которые при этом выделяются, могут оказаться горючими.

1.3.2. Химические процессы

Дегидратация – химическая реакция отщепления от молекулы вещества химически связанной воды. Этот процесс, например, характерен для ряда природных каменных материалов, в частности, гипса:



а также для искусственных каменных материалов, изготовленных на минеральных вяжущих веществах и др.

Дегидратация молекул компонентов приводит, в частности, к усадке материала, например, цементного вяжущего в искусственных каменных материалах (бетоне, асбестоцементе). В то же время другие компоненты композиционных материалов (например, бетонов) могут расширяться, что приводит к возникновению внутренних усилий в материале, созданию напряженного его состояния, накоплению повреждений – разрушению (снижению прочности).

Диссоциация – расщепление (распад) молекул. Эта химическая реакция свойственна, в частности, природным каменным материалам, например, при температуре порядка 900 °С протекает реакция диссоциации известняка (карбоната кальция):



Она характерна также для минеральных вяжущих веществ, которые являются основой искусственных каменных материалов. Эта реакция приводит к снижению объемной массы, прочности материала, увеличению его пористости.

Химическое разложение твердых материалов состоит в том, что при повышении их температуры до определенного для каждого материала значения (температуры начала деструкции) начинается процесс разрыва

химических связей с образованием более простых компонентов (твердых, жидких, газообразных). Причем с повышением температуры скорость химических реакций возрастает. Термическое разложение является чрезвычайно сложным процессом, зависящим от множества параметров. Этот процесс можно разделить на 3 разновидности:

1. Термическая деструкция, при которой сложные молекулы распадаются на более простые звенья.

2. Пиролиз – процесс глубокого расщепления продуктов деструкции вплоть до образования простейших молекул.

3. Термоокислительное разложение при участии кислорода воздуха.

Процесс термоокислительного разложения носит выраженный экзотермический характер и зачастую приводит к воспламенению материала. Процесс разложения материалов при повышенных температурах сопровождается образованием газообразных, жидких веществ, обладающих токсичным действием. Для большинства материалов общим токсичным компонентом продуктов разложения и горения является оксид и диоксид углерода (СО, СО₂). Наряду с указанными токсикантами органические материалы выделяют и другие токсичные продукты горения, виды которых зависят от химического состава горящего материала.

Таким образом, и химические процессы приводят к разрушению (снижению прочности) материалов и другим негативным последствиям, в частности, горению.

1.3.3. Физико-химические процессы

Основным физико-химическим процессом, который происходит с органическими строительными материалами в условиях пожара, является процесс горения.

Глубоко и всесторонне этот процесс, его законы и теоретические основы рассматривают при изучении дисциплины «Теория горения и взрыва».

Горение – сложный физико-химический процесс превращения горючих материалов в продукты горения, сопровождающийся выделением тепла и света.

Процесс горения включает совокупность составляющих его процессов: воспламенения, распространения пламени, тепловыделения, дымовыделения.

Воспламенение – процесс принудительного зажигания горючей смеси, т. е. инициирование горения высоконагретым источником зажигания.

Горение строительных материалов в условиях пожара сопровождается процессом распространения пламени.

Распространение пламени является непрерывным процессом, происходящим за счет тепла, высвобождающегося в результате химической реакции и передвигающегося к несгоревшей части поверхности материала.

Тепловыделение является следствием процесса (сопутствующим процессом) горения строительных (и не только строительных) материалов в условиях пожара. Выделяющееся тепло идет частично на нагрев несгоревшей части горящего материала (на подготовку ее к горению), других горючих материалов, составляющих пожарную нагрузку помещения, на нагрев (теплоперенос) негорючих материалов строительных конструкций.

Дымовыделение также является сопутствующим процессом горения. На пожарах, как правило, горение происходит при недостатке окислителя, что приводит к образованию продуктов неполного сгорания и дымовыделению. Дым представляет собой аэрозоль, состоящий как из твердых (сажи, золы), так и жидких частиц. Оптические свойства дыма характеризуются способностью поглощать и рассеивать свет, что является причиной снижения видимости в задымленном пространстве и ограничения возможности эвакуации людей при пожаре.

Интенсивность дымообразования определяется химической природой материала, а задымление помещений зависит от количества дымообразующих материалов, условий развития пожара, воздействия тепловых потоков от очага пожара и времени. Наибольшее дымообразование достигается при горении материалов в режиме пиролиза (подготовки их к горению) и тления. Дым обычно содержит токсичные продукты горения.

Содержание

Введение	3
1. Основные свойства строительных материалов и процессы, происходящие в них в условиях пожара	5
1.1. Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара	5
1.2. Основные свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара	7
1.2.1. <i>Физические свойства</i>	7
1.2.2. <i>Механические свойства</i>	10
1.2.3. <i>Теплофизические свойства</i>	14
1.2.4. <i>Свойства, характеризующие пожарную опасность строительных материалов</i>	17
1.3. Сущность физико-химических процессов, приводящих к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара	20
1.3.1. <i>Физические процессы</i>	20
1.3.2. <i>Химические процессы</i>	24
1.3.3. <i>Физико-химические процессы</i>	25
2. Методы исследования поведения строительных материалов в условиях пожара	27
2.1. Методы исследования механических характеристик строительных материалов при их нагревании	27
2.2. Классификационные (аттестационные) методы оценки показателей пожарной опасности строительных материалов	28
2.2.1. <i>Метод испытания на горючесть для отнесения материалов к негорючим или к горючим (метод I)[4]</i>	29
2.2.2. <i>Метод испытания горючих материалов для определения их групп горючести (метод II) [4]</i>	30
2.2.3. <i>Метод испытания материалов на воспламеняемость [5]</i>	32
2.2.4. <i>Метод испытания материалов на распространение пламени по поверхности [6]</i>	34
2.2.5. <i>Метод экспериментального определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов [3]</i>	36
2.2.6. <i>Метод экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения полимерных материалов</i>	39
3. Каменные материалы, их поведение в условиях пожара и способы повышения стойкости к его воздействию	42
3.1. Особенности состава, строения и свойств природных каменных материалов	43
3.1.1. <i>Основные виды породообразующих минералов</i>	43
3.1.2. <i>Основные виды горных пород</i>	45
3.2. Основные виды искусственных каменных материалов, их характеристики и особенности	47
3.2.1. <i>Основные сведения о неорганических вяжущих веществах</i>	48
3.2.2. <i>Бетон</i>	51

3.2.3. Асбестоцемент	53
3.2.4. Силикатные материалы автоклавного твердения.....	54
3.2.5. Керамические материалы и минеральные расплавы.....	54
3.3. Общие закономерности и специфические особенности поведения каменных материалов в условиях пожара.....	55
3.3.1. Особенности поведения природных каменных материалов в условиях пожара.....	56
3.3.2. Особенности поведения неорганических вяжущих веществ при нагревании.....	59
3.3.3. Особенности поведения искусственных каменных материалов при нагревании.....	62
3.4. Способы повышения стойкости каменных материалов к воздействию пожара.....	69
4. Металлы, сплавы, их поведение в условиях пожара и способы повышения стойкости к его воздействию	70
4.1. Особенности состава, строения и свойств строительных сталей и алюминиевых сплавов	71
4.1.1. Стали, применяемые в строительстве.....	73
4.1.2. Алюминиевые сплавы	79
4.2. Поведение металлов и сплавов в условиях пожара.....	80
4.3. Способы повышения стойкости металлов к воздействию пожара	87
5. Древесина и ее пожарная опасность	88
5.1. Строение, химический состав и свойства древесины	89
5.2. Применение древесины в строительстве	93
5.3. Физико-химические процессы, определяющие поведение древесины и материалов на ее основе при нагревании и в условиях пожара	95
6. Пластмассы и их пожарная опасность.....	102
6.1. Основные виды пластмасс, применяемых в строительстве, особенности их строения и свойств	103
6.2. Особенности пожарной опасности строительных пластмасс	108
6.3. Показатели, используемые для сравнительной оценки пожарной опасности строительных пластмасс и в пожарно-технических расчетах	114
7. Теплоизоляционные, акустические, гидроизоляционные материалы и их поведение в условиях пожара	117
7.1. Основные виды теплоизоляционных и акустических материалов, применяемых в строительстве.....	117
7.2. Гидроизоляционные материалы на битумных и дегтевых вяжущих	118
7.3. Неорганические теплоизоляционные материалы и их поведение в условиях пожара	120
7.4. Пожарная опасность органических теплоизоляционных и гидроизоляционных материалов	123

8. Способы огнезащиты строительных материалов	125
8.1. Исходные сведения об огнезащите органических материалов	125
8.2. Огнезащита древесины и изделий на ее основе	126
8.3. Оценка огнезащитной эффективности покрытий и пропиток.....	131
8.4. Способы снижения пожарной опасности полимерных строительных материалов (ПСМ).....	132
9. Пути совершенствования нормирования пожаробезопасного применения материалов в строительстве	136
9.1. Перспективы противопожарного нормирования.....	136
9.2. Предлагаемый подход к оценке возможности применения пожароопасных материалов.....	137
Литература	144

Учебное издание

БИТУЕВ Борис Жунусович
РОЙТМАН Владимир Миронович,
СЕРКОВ Борис Борисович,
СИВЕНКОВ Андрей Борисович,
СТЕБУНОВ Сергей Викторович

Свойства и поведение строительных материалов в условиях пожара

Учебное пособие

Редактор *А. В. Бондаренко*
Технический редактор *Е. А. Пушкина*
Корректор *Н. В. Федькова*

Подписано в печать 16.12.2016. Формат 60×90^{1/16}.
Печ. л. 9,25. Уч.-изд. л. 7. Бумага офсетная.
Тираж 400 экз. Заказ 552

Академия ГПС МЧС России
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4