

ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ, СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» базируется на закономерностях химических процессов, физики твердого тела, материаловедения, теории горения, основах теплопередачи, законах строительной механики и строительного дела.

Инженер по пожарной безопасности должен

- знать пожарные свойства строительных материалов;
- оценивать поведение конструкций при пожаре;
- предлагать эффективные способы огнезащиты конструктивных элементов;
- проводить расчеты прочности и устойчивости зданий при огневом воздействии.

СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре

Раздел 1

Строительные материалы их поведение в условиях пожара.

Раздел 2

Строительные конструкции, здания и их устойчивость в условиях пожара.

Основные свойства, методы исследования и оценка поведения строительных материалов в условиях пожара.

Неорганические строительные материалы, процессы и параметры, характеризующие их поведение в условиях пожара.

Органические строительные материалы, процессы и параметры, характеризующие их поведение в условиях пожара.

Нормирование пожаробезопасного применения материалов в строительстве.

Классификация, конструктивные решения, пожарная безопасность зданий и сооружений.

Строительные конструкции и расчет их огнестойкости.

Влияние строительных конструкций на устойчивость зданий при пожаре. Современный подход к проектированию их огнестойкости.

Основные тенденции развития производства строительных материалов и конструкций

С развитием промышленности появились новые, специализированные по назначению строительные материалы:

для кровли — листовое железо, рулонные материалы и асбестоцемент;
для несущих конструкций — стальной прокат и высокопрочный бетон;
для тепловой изоляции — фибролит, минеральная вата и др.

Появившиеся в XX в. синтетические полимеры дали толчок к внедрению в строительство высокоэффективных полимерных материалов (пластмасс). В современном строительстве широко применяются полимерные отделочные материалы, материалы для полов (линолеум, плитка), герметики, пенопласты и др.

❑ Материалы, а затем и изделия из них на стройку поступают практически в готовом виде, строительные конструкции стали легче и эффективнее.

❑ В начале XX в. началось заводское изготовление строительных конструкций (металлических ферм, железобетонных колонн)

❑ С 50-х годов впервые в мире в нашей стране началось массовое строительство жилых зданий из железобетонных элементов заводского изготовления (блочное и крупнопанельное строительство).

Современная промышленность строительных материалов и изделий производит большое количество готовых строительных материалов и изделий различного назначения, например: керамические плитки для полов, для внутренней облицовки, фасадные, ковровую мозаику; рулонные и штучные материалы для устройства кровли, специальные материалы для гидроизоляции.

Актуальность дисциплины

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.

В строительных конструкциях зданий и сооружений используются различные материалы по происхождению и пожарной опасности. 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 не только горят, но и выделяют опасные для человеческого организма токсичные продукты.

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПОВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

1. Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара;
2. Основные свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара;
3. Сущность физико-химических процессов, приводящих к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара.

Под поведением строительных материалов в условиях пожара понимается комплекс физико-химических превращений, приводящих к изменению состояния и свойств материалов под влиянием интенсивного высокотемпературного нагрева

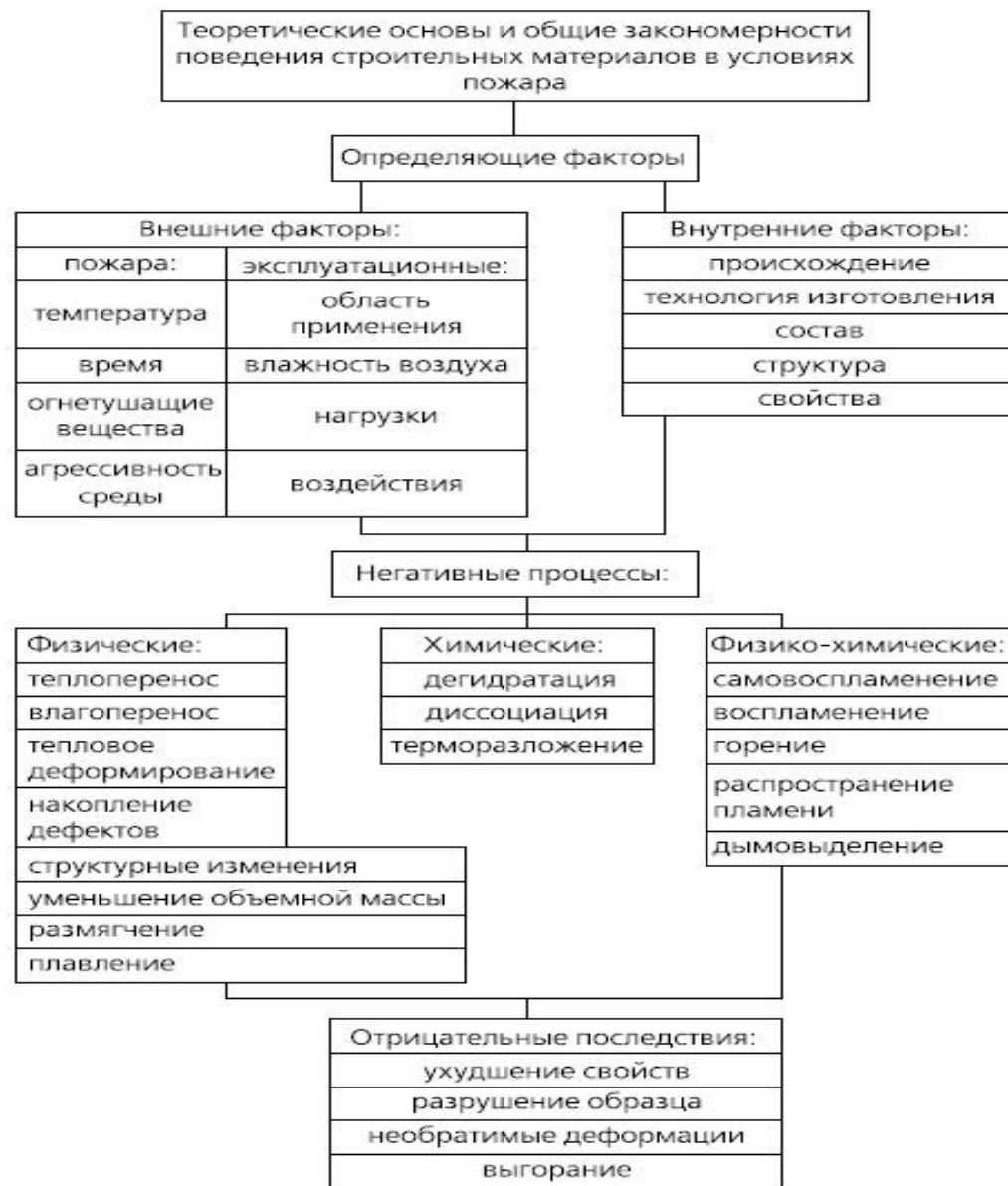


Рис.1.1. Структурная схема - ключ к изучению, оценке, прогнозированию и регулированию поведения строительных материалов в условиях пожара и определению области их безопасного применения

КЛАССИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ



Первая группа

физические свойства: объемная масса, плотность, пористость, гигроскопичность, водопоглощение



Вторая группа

механические свойства: прочность, твердость, пластичность, упругость



Третья группа

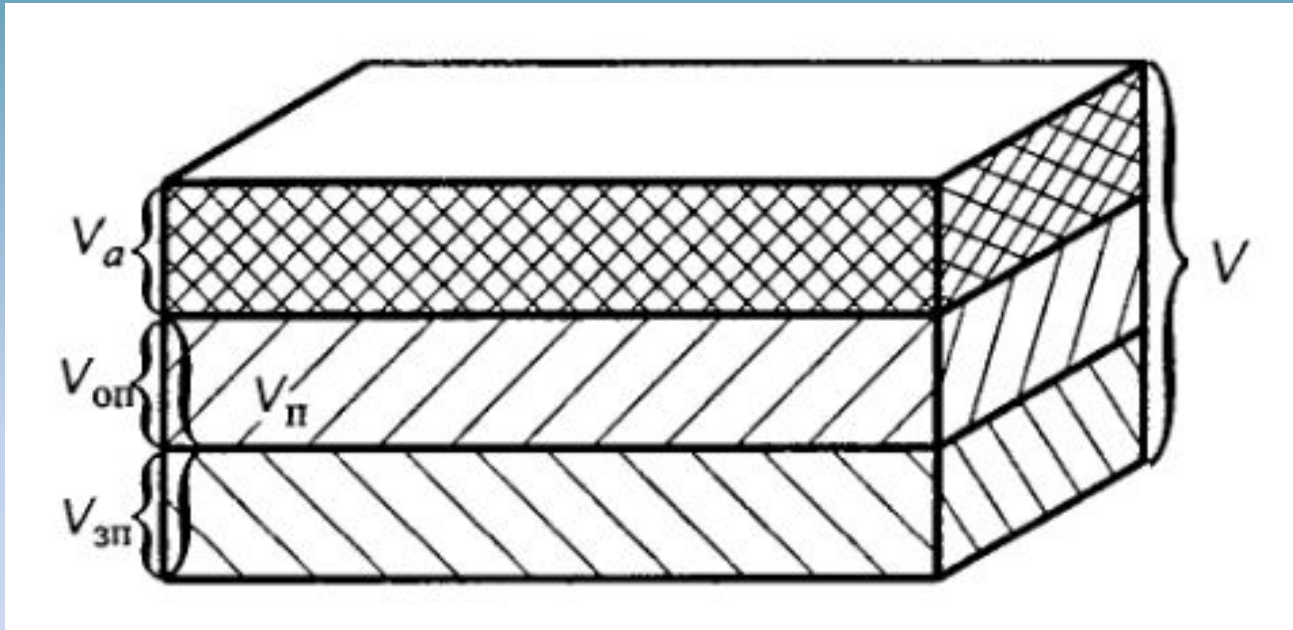
свойства, характеризующие отношение материалов к действию тепла: теплопроводность, теплоемкость, огнеупорность, морозостойкость



Четвертая группа

свойства, характеризующие поведение материалов в условиях пожара: критическая температура, горючесть, воспламеняемость и т.д.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА



Средняя плотность – масса единицы объема материала в естественном состоянии

$$\rho_0 = \frac{m}{V}$$

Числовые значения показателей физических свойств наиболее распространенных строительных материалов

Материал	Объемная масса $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Пористость $P, \%$
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 – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{V}$$

Пористость – степень заполнения объема образца материала порами

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{V}$$

Гигроскопичность – способность пористого материала поглощать влагу из воздуха.

Влагоотдача – способность материала отдавать влагу в окружающую среду

Водопоглощение – способность пористого материала впитывать воду при непосредственном контакте с ней

Водопроницаемость – способность пористого материала пропускать воду под давлением

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

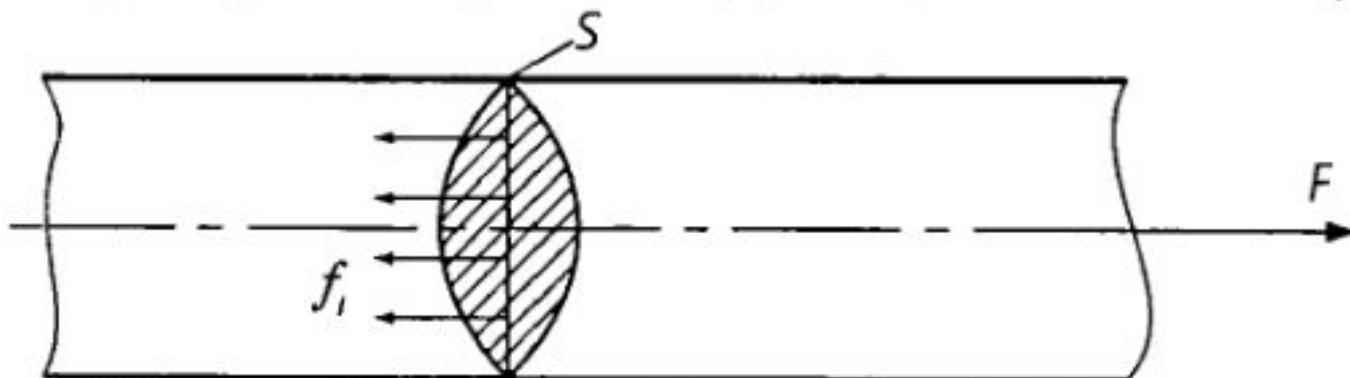


Рис. 1.3. Схема, поясняющая возникновение внутренних напряжений при растяжении стержня:
 F - внешняя растягивающая сила, f_i - внутренние силы, S - площадь поперечного сечения образца

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

Временное сопротивление – напряжение, соответствующее разрушающей силе

$$R_{p(c)} = \frac{F_{p(c)}}{S} \quad \text{Растяжение}$$

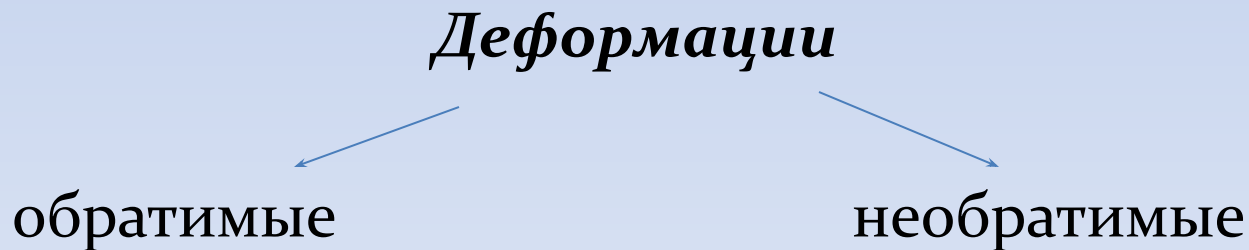
$$R_u = \frac{M_p}{W} \quad \text{Изгиб}$$

Числовые значения временного сопротивления некоторых материалов

Материал	Временное сопротивление R , МПа		
	при сжатии R_c	при растяжении R_p	при изгибе R_w
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	-

Материалы, характеризующиеся одинаковыми показателями свойств в различных направлениях, называют **изотропными**, с различными показателями - **анизотропными**

Деформативность – способность образца материала изменять свои размеры без изменения своей массы, характеризуется величиной деформации: абсолютной, относительной



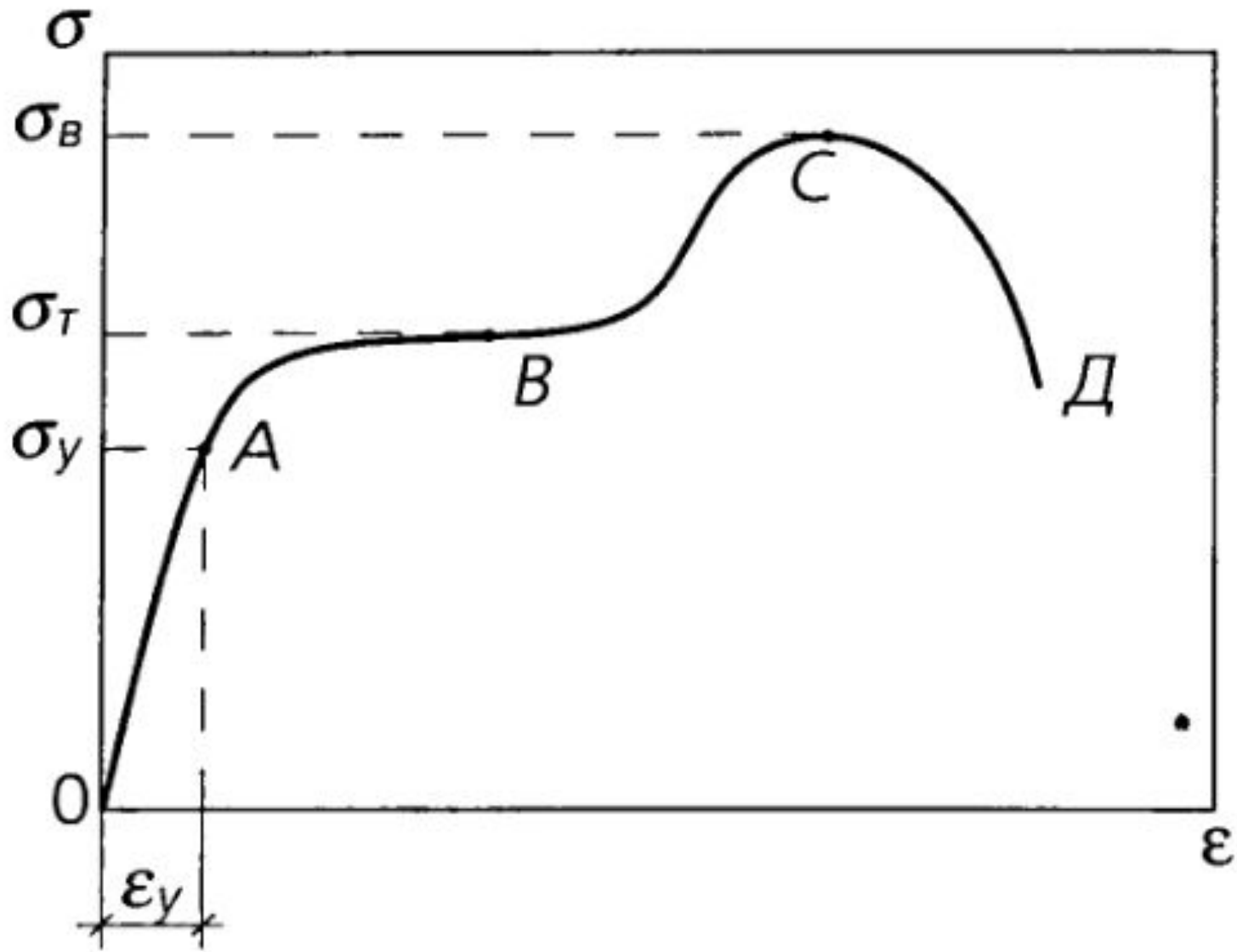
Пластическая деформация, медленно нарастающая в течение длительного времени под влиянием нагрузки, величина которой недостаточна для того, чтобы вызвать остаточную деформацию за обычные периоды наблюдений, называется деформацией *ползучести*, а процесс такого деформирования - *ползучестью*

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

Пластичность – способность образца материала изменять свою форму без разрушения под действием нагрузки и сохранять новую Форму после прекращения действия нагрузки

Предел текучести – постоянное напряжение при нарастании пластической деформации

Твердость – способность образца материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого образца материала



ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Теплопроводность – способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях образца, характеризуется коэффициентом теплопроводности

$$\lambda = \frac{Q \cdot \tau}{\delta \cdot S \cdot \Delta t}$$

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

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

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

Температуропроводность – способность образца материала изменять температуру при нагревании, характеризуется коэффициентом температуропроводности

$$a = \frac{\lambda}{C \cdot \rho_0}$$

Коэффициент линейного (температурного) расширения

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t}$$

Коэффициент объемного теплового расширения

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta t}$$

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

Материал	$\alpha \cdot 10^4, 1/K$	$\beta, 1/K$
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 сопротивляться проникновению в них других, более твердых материалов при их соприкосновении, а также деформированию под действием постоянной нагрузки

СВОЙСТВА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пожарная опасность – вероятность возникновения и развития пожара, заключенная в веществе, состоянии или процессе

Согласно СНиП 21-01-97* пожарно-технические характеристики:

- горючесть;
- воспламеняемость;
- распространение пламени по поверхности;
- дымообразующая способность;
- токсичность продуктов горения

Горючесть – свойство, характеризующее способность материала гореть



Негорючие – материалы не способные к горению на воздухе



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

По ГОСТ 30244 – 94 и СНиП 21-01-97 подразделяют на 4 группы горючести:

Г1 – слабогорючие;

Г2 – умеренногорючие;

Г3 – нормальногорючие;

Г4 – сильногорючие

Воспламеняемость – способность материала воспламеняться от источника зажигания, либо при нагреве до температуры самовоспламенения

По ГОСТ 30402 – 96 и СНиП 21-01-97* подразделяют на 3 группы воспламеняемости:

V₁ – трудновоспламеняемые;

V₂ – умеренновоспламеняемые;

V₃ – легковоспламеняемые;

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

По ГОСТ 30444 – 97 и СНиП 21-01-97 подразделяют на 4 группы по распространению пламени:

РП₁ – нераспространяющие;

РП₂ – слабораспространяющие;

РП₃ – умереннораспространяющие;

РП₄ – сильнораспространяющие.

Дымовыделение – способность материала выделять дым при горении, характеризуется коэффициентом дымообразования

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

По ГОСТ 12.1.044-89 подразделяют на 3 группы дымообразования:

Д1 – с малой дымообразующей способностью;

Д2 – с умеренной дымообразующей способностью;

Д3 – с высокой дымообразующей способностью.

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

По ГОСТ 12.1.044-89 подразделяют на 4 группы токсичности:

T₁ – малоопасные;

T₂ – умеренноопасные;

T₃ – высокоопасные;

T₄ – чрезвычайно опасные.

Температура воспламенения – 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 – 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, необходимая для устойчивого горения

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

Скорость распространения пламени по поверхности материала – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего участка

Теплота сгорания – количество тепла, выделяющегося при полном сгорании единицы массы материала

СУЩНОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ИЗМЕНЕНИЮ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
2. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Теплоперенос – непрерывное перемещение теплового потока от обогреваемой поверхности образца материала вглубь

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

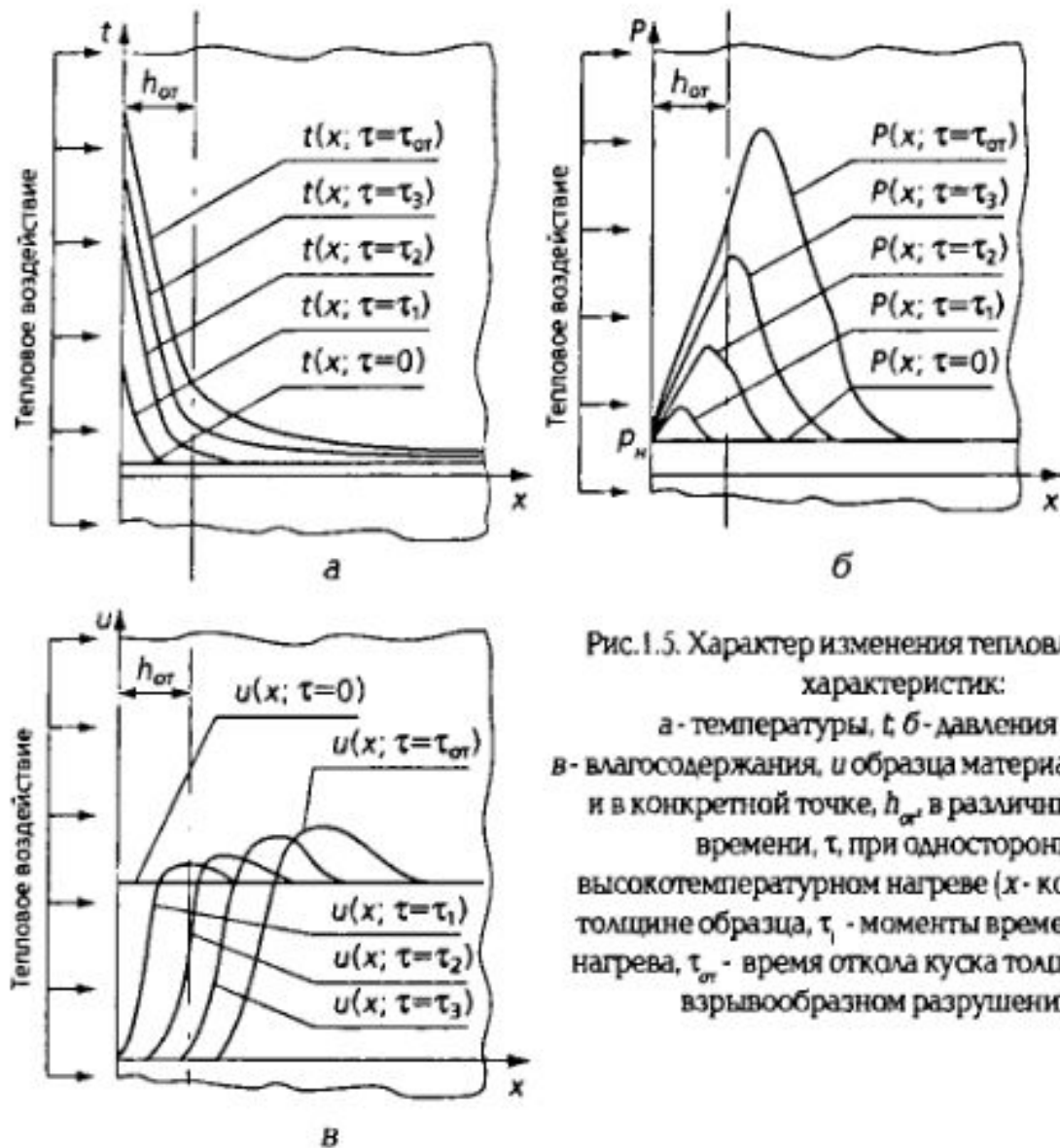


Рис. 1.5. Характер изменения тепловлажностных характеристик:

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 - моменты времени от начала
 нагрева, $\tau_{от}$ - время откола куска толщиной $h_{от}$ при
 взрывообразном разрушении [9].

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 – обусловлены действием процесса тепловлагопереноса;
- ❖ Температурно-влажностно-силовые деформации материала – происходят в результате суммарного действия внешней нагрузки на конструкцию и температурно-влажностных процессов;
- ❖ Накопление дефектов (разрушение материала).

Статическая (классическая) и кинетическая теории разрушения

Статическая теория: под разрушением понимается мгновенный акт, которому лишь предшествует процесс роста напряжений в материале, однако с его структурой и свойствами ничего не происходит. Основной характеристикой, используемой данными теориями при констатации факта разрушения материала, является его предел прочности.

Кинетическая теория прочности: разрушение представляет собой необратимый кинетический процесс постепенного накопления внутренней поврежденности (дефектов, нарушений) структуры материала, ускоряемой температурой.

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

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

ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Дегидратация – химическая реакция отщепления от молекулы вещества химически связанной воды

Приводит к усадке материала (цементного вяжущего в искусственных каменных материалах), компоненты композиционных материалов могут расширяться, что приводит к возникновению внутренних усилий в материале, созданию его напряженного состояния, накоплению повреждений

Диссоциация – расщепление (распад) молекул

Свойственна природным каменным материалам; характерна для минеральных вяжущих веществ (приводит к снижению объемной массы, прочности материала, увеличению его пористости)

Разновидности термического разложения:

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

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

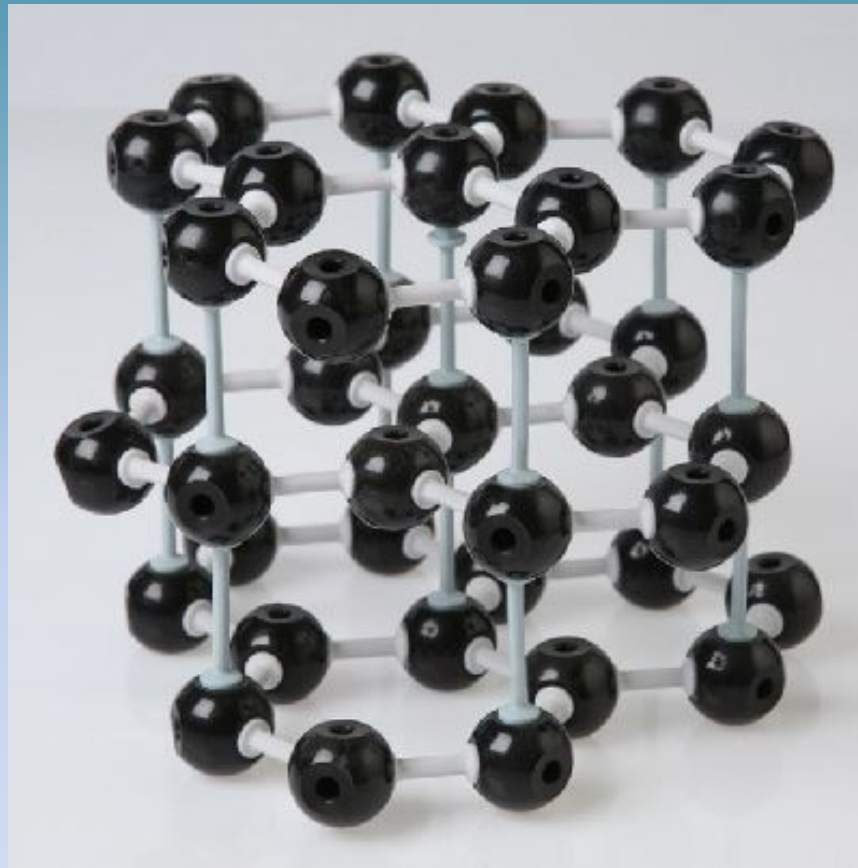
Горение – сложный физико-химический процесс превращения горючих материалов в продукты горения, сопровождающийся выделением тепла и света.

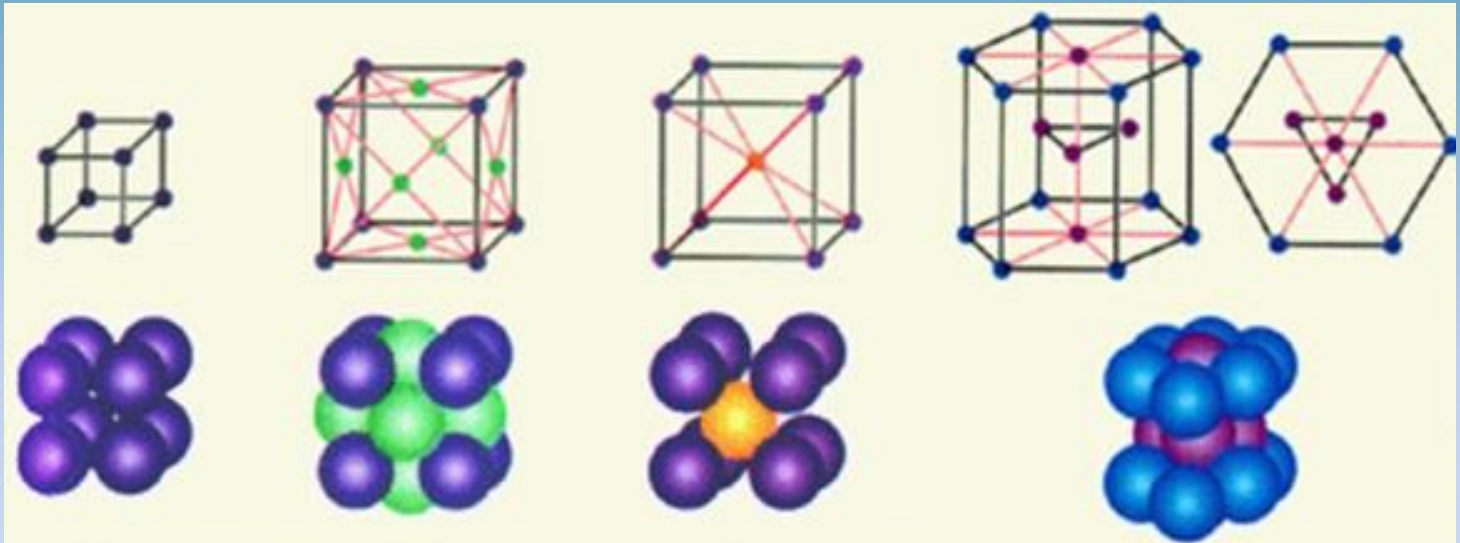
Воспламенение – процесс принудительного зажигания горючей смеси, т.е. инициирование горения высоконагретым источником зажигания.

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

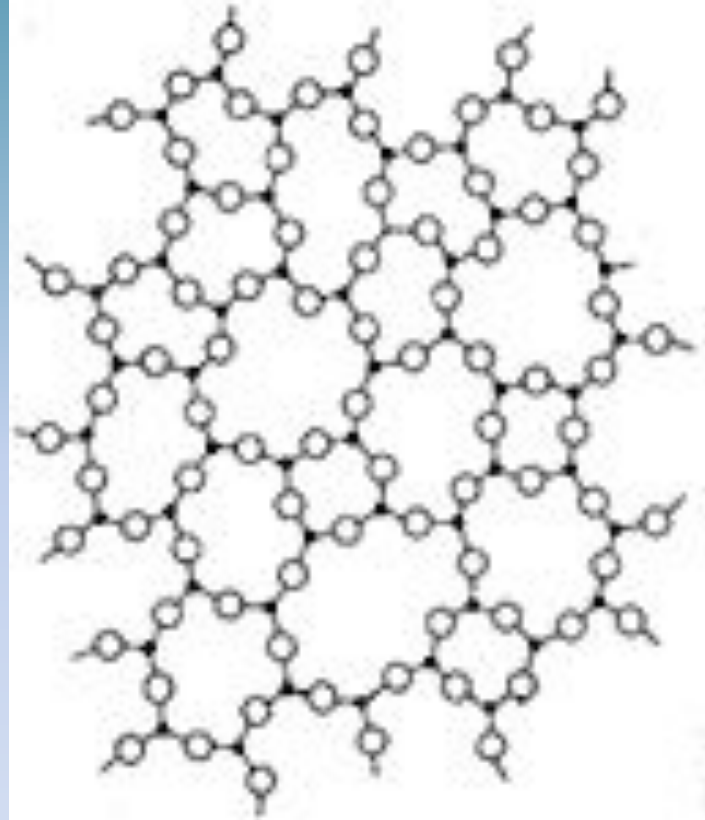
Тепловыделение – следствие процесса горения строительных материалов в условиях пожара; выделяющееся тепло идет частично на нагрев несгоревшей части горящего материала, других горючих материалов, составляющих пожарную нагрузку помещения, на нагрев негорючих материалов строительных конструкций.

Дымовыделение – процесс, сопутствующий процессу горения, характеризуется интенсивностью дымообразования; зависит от количества дымообразующих материалов, условий развития пожара, воздействия тепловых потоков от очага пожара и времени.

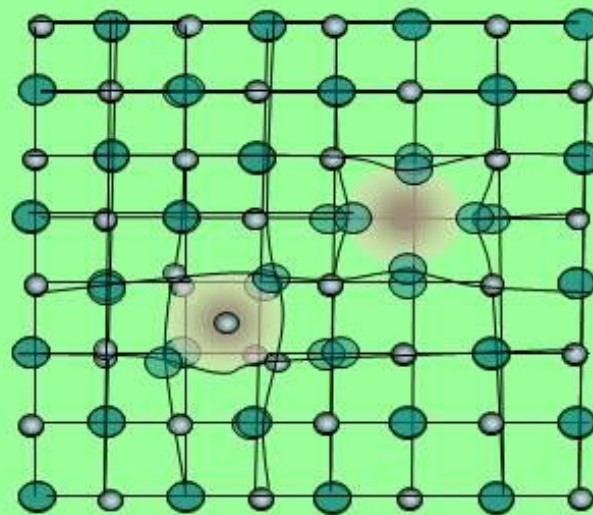
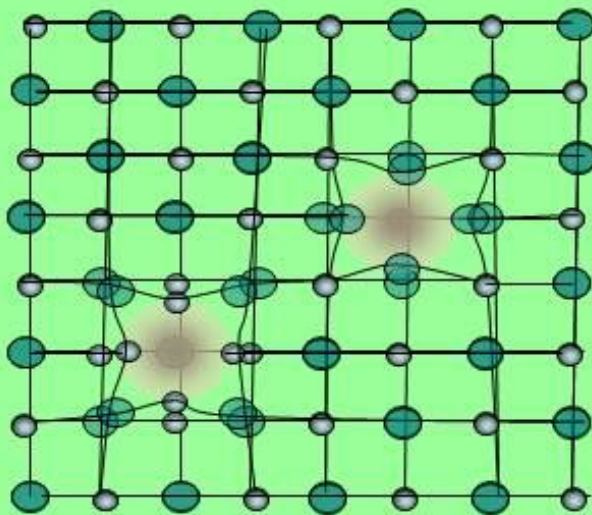








Точечные дефекты кристаллической структуры



Линейные дефекты кристаллической структуры

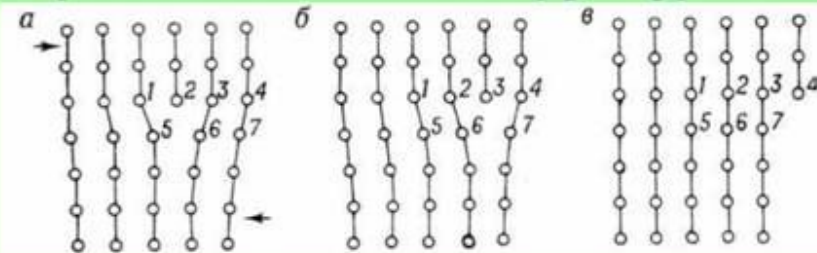


Рис.7. Перемещение линейной дислокации под действием сдвигового напряжения.

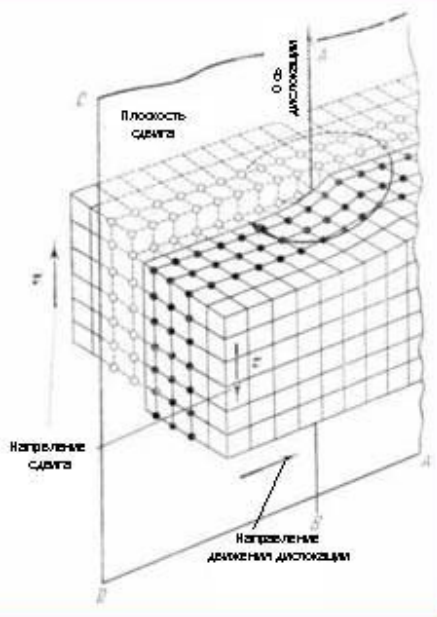


Рис.8. Винтовая дислокация.

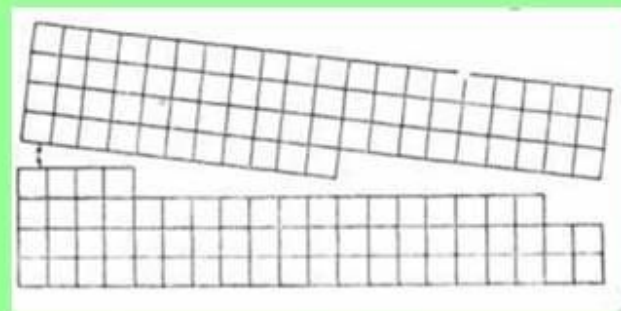


Рис9. Граница зерен.

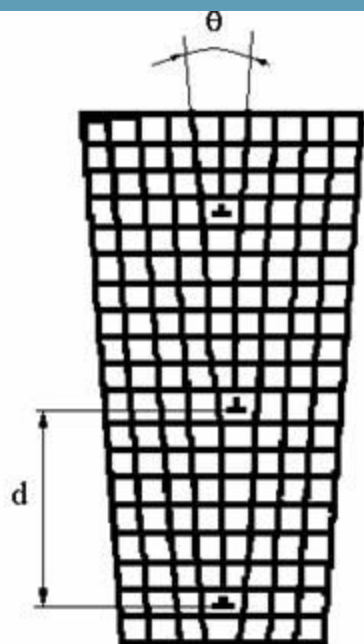
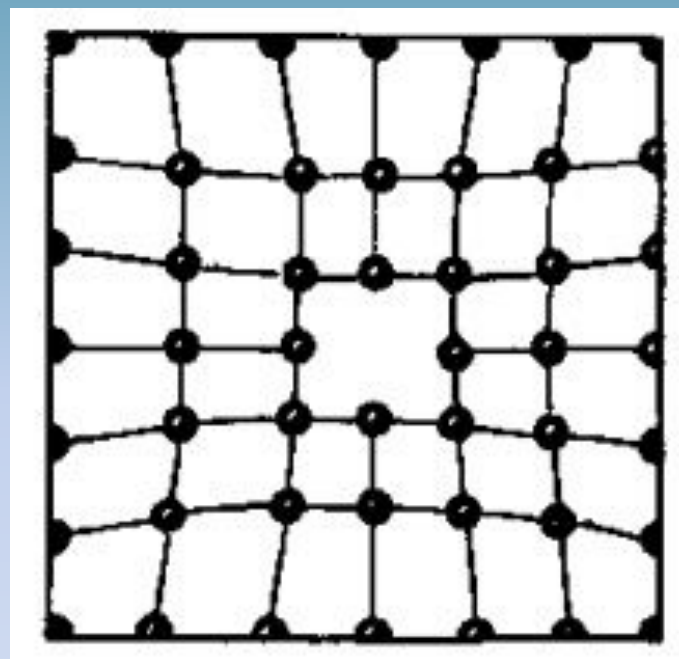
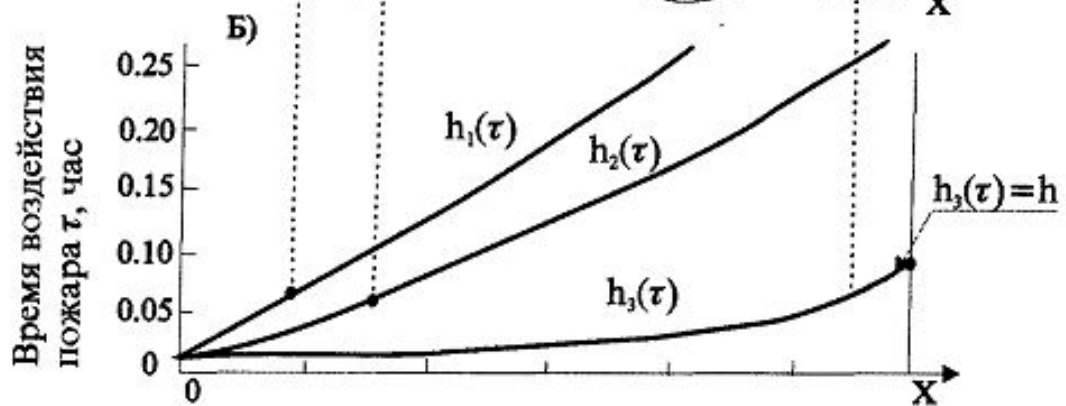
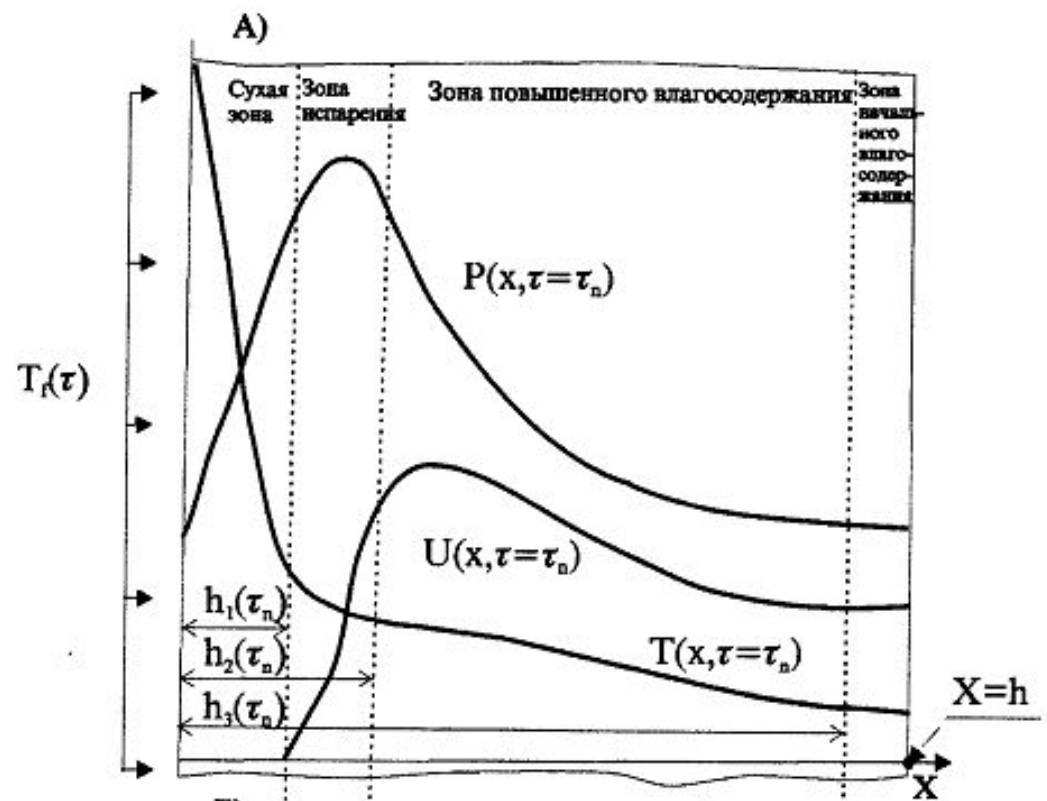


Рис.19 Дислокационная модель малоугловой границы; d - расстояния между дислокациями
 θ - угол разориентировки





КЛАССИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Первая группа – физические свойства: объемная масса, плотность, пористость, гигроскопичность, водопоглощение

Вторая группа – механические свойства: прочность, твердость, пластичность, упругость

Третья группа – свойства, характеризующие отношение материалов к действию тепла: теплопроводность, теплоемкость, огнеупорность, морозостойкость

Четвертая группа – свойства, характеризующие поведение материалов в условиях пожара: критическая температура, горючесть, воспламеняемость и т.д.

Таблица 1.1

Истинная плотность строительных материалов
(кг \ м³)

Наименование материала	Истинная Плотность	Наименование материала	Истинная плотность
Сталь	7800...7900	Кирпич керамический	2500...2800
Портландцемент	2900...3100	Стекло	2500...3000
Гранит	2700...2800	Известняк	2400...2600
Песок кварцевый	2600..2700	Древесина	1500...1600

Таблица 1.2

Средняя плотность некоторых строительных материалов
(кг \ м³)

Наименование Материала	Средняя плотность	Наименование материала	Средняя плотность
Сталь	7800...7850	Бетон легкий	500...1800
Гранит	2600...2800	Керамзит	300...900
Бетон тяжелый	1800...2500	Сосна	500...600
Кирпич керамический	1600...1800	Минеральная вата	200...400
Песок	1450...1650	Поропласт	20...100
Вода	1000		

Таблица 1.3

Теплопроводность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Теплопроводность λ / (м °С)	Наименование материала	Теплопроводность λ / (м °С)
Сталь	58	Вода	0,59
Гранит	2,9...3,3	Бетон легкий	0,35...0,8
Бетон тяжелый	1,0...1,6	Бетон <u>тепло- изоляционный</u>	0,08...0,3
Кирпич керамический	0,8...0,9	<u>Газостекло</u>	0,06...0,08