П. Б. КУКСА, М. П. КУКСА

СТЕКЛО В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



«Инфра-Инженерия»

УДК 691.6
ББК 38.38
К89

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор *Л. Ю. Матвеева* (СПбГАСУ);
кандидат технических наук, главный технолог *Е. В. Морозова* (ООО «Ажио»)

Кукса, П. Б.

К89 Стекло в строительстве : учебное пособие / П. Б. Кукса, М. П. Кукса. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 100 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-2077-8

Приведено определение стекла. Отмечены особенности, присущие стеклообразному состоянию. Рассмотрены составы различных стекол, строение стекла. Названы и охарактеризованы основные свойства строительного стекла. Приведена классификация изделий из стекла по видам и типам. Дано описание видов и типов строительного стекла. Изложены основы технологии строительных изделий из стекла. Приведена информация о составе, свойствах, получении и применении в строительстве растворимого стекла. Описано волокнистое стекло, названы его разновидности, изложены способы его получения и многообразные пути применения в строительстве. Дана информация о пеностекле. Изложены сведения о ситаллах.

Для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» всех форм обучения.

УДК 691.6
ББК 38.38

ISBN 978-5-9729-2077-8

© Кукса П. Б., Кукса М. П., 2024
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ГЛАВА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СТЕКЛА 6
ГЛАВА 2. СТРОИТЕЛЬНОЕ СТЕКЛО 12
2.1. Свойства строительного стекла 12
2.1.1. Оптические свойства 12
2.1.2. Механические свойства 14
2.1.3. Термические свойства 16
2.1.4. Химические свойства 17
2.2. Ассортимент стекла и стеклоизделий 19
2.3. Производство стекла и стеклоизделий 42
2.3.1. Подготовка и хранение сырьевых материалов 42
2.3.2. Приготовление шихты 44
2.3.3. Расплавление шихты и варка стекломассы 45
2.3.4. Формование и отжиг изделий 48
ГЛАВА 3. РАСТВОРИМОЕ СТЕКЛО 60
ГЛАВА 4. ВОЛОКНИСТОЕ СТЕКЛО 68
ГЛАВА 5. ПЕНОСТЕКЛО 80
ГЛАВА 6. СИТАЛЛЫ 86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 93
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 96

ГЛАВА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СТЕКЛА

Твердые неорганические вещества могут быть либо кристаллическими, либо стеклообразными (согласно названию их наиболее известного представителя – стекла). Стеклообразные вещества еще называют аморфными («бесформенными») веществами. В стеклообразном состоянии могут находиться не все, а лишь некоторые вещества.

Стеклообразные вещества отличаются от кристаллических следующими физико-химическими особенностями:

1) им присуща изотропность, что выражается одинаковыми свойствами в разных направлениях измерения. Это определяется их своеобразной аморфной структурой;

2) для стеклообразного состояния характерен повышенный запас внутренней энергии. По этой причине стеклообразные вещества являются метастабильными, термодинамически неустойчивыми. При соответствующих условиях стеклообразное вещество может перейти в кристаллическое, более устойчивое, состояние;

3) стеклообразные вещества не имеют точно определенной температуры плавления. При нагревании они постепенно размягчаются вплоть до перехода в жидкое состояние. И, наоборот: при понижении температуры жидкие расплавы стеклообразных веществ делаются все более и более вязкими и, в конце концов, становятся твердым телом.

В научном определении, приведенном в ГОСТ 32539-2013 «Стекло и изделия из него. Термины и определения», отражены названные особенности стекла. Стандартное определение звучит так: «стекло – аморфное тело, получаемое путем переохлаждения[1] расплава, независимо от его химического состава и температурной области затвердевания, и обладающее в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым».

Ёмким является и другое определение стекла: «стеклом называется группа аморфных термопластичных материалов, получаемых переохлаждением расплавов стеклообразующих неорганических веществ».

[1] Переохлаждение – это охлаждение вещества ниже температуры его равновесного перехода в другое агрегатное состояние, не приводящее к самому переходу. При переохлаждении веществ получаются сравнительно устойчивые состояния со структурой, свойственной более высоким температурам («замороженная» структура).

Оригинальное и лаконичное определение стекла, предложено Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM): «стекло – неорганический продукт плавления, охлажденный до твердого состояния без кристаллизации».

В приведенных определениях обращает на себя внимание отсутствие указания на конкретный состав стекла. Дело в том, что для удовлетворения требований, предъявляемых к различным стеклянным изделиям, существует большое множество разнообразных составов стекол. Состав стекла выражают суммой оксидов, входящих в него химических элементов. Оксиды, которые обеспечивают содержащему их расплаву способность образовывать при остывании стекло, называются стеклообразующими компонентами (оксиды кремния, бора, фосфора и др.). Каждый из этих оксидов может самостоятельно образовывать стекло. Например, из чистого кварца (SiO_2) получают кварцевое стекло.

Кроме стеклообразующего компонента в составы стекол, как правило, входят оксиды металлов (модифицирующие компоненты). Модифицирующие компоненты придают стекломассе или стеклу специальные свойства. Например, оксиды щелочных и щелочноземельных металлов (Na_2O, CaO, Li_2O) снижают температуру плавления и понижают вязкость стекломассы, оксид калия (K_2O) увеличивает «длину» расплава стекла (вязкостную характеристику при формовании), глинозем (Al_2O_3) повышает прочность, термическую и химическую стойкость стекла, оксид цинка (ZnO) уменьшает линейное термическое расширение стекла, оксид свинца (PbO) изменяет оптические свойства стекла и т. д.

По виду стеклообразующего компонента различают стекло силикатное, боратное, фосфатное, боросиликатное и др. В названиях есть указание на определенные стеклообразующие оксиды.

Главенствующие позиции в стекольном ассортименте занимают силикатные стекла. Силикатными являются и стекла, применяемые в строительстве. Их распространенность объясняется благоприятным сочетанием сравнительной простоты их промышленного производства с комплексом хороших эксплуатационных свойств стеклоизделий. Под простотой промышленного производства подразумевается доступность сырьевых материалов, совокупность необходимых свойств расплавленной стекломассы, обеспечивающих выработку изделий.

В табл. 1 приведены, для примера, составы некоторых силикатных стекол, применяемых в строительстве.

Таблица 1

Химические составы некоторых стекол, применяемых в строительстве

Стеклоизделие	Содержание оксидов, % по массе							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3
Листовое стекло	71,7–72,6	1,5–2,15	0,06–0,12	6,7–8,2	3,8–4,3	13,4–15,0	0,58–1,5	0,4–0,5
Стеклоблоки	72,5–74,4	0,82–0,85	0,05–0,11	5,4–6,0	2,0–3,5	15,4–17,0	–	0,5
Пеностекло	72,5	1,87	0,18	6,7	4,1	14,23	0,42	0,23
Стеклянное волокно	71,0	3,0	–	8,0	3,0	15,0	–	–
Натриевое растворимое стекло (силикат-глыба)	73,0–73,29	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,26	0,2–0,6	25,94–26,0	–	0,12

По таблице видим, что преобладающим оксидом в силикатных стеклах является диоксид кремния (SiO_2). Это стеклообразующий компонент. Остальные оксиды металлов выполняют модифицирующую роль. Изменение химического состава силикатных стекол приводит к изменению их свойств, в том числе цвета, и является причиной структурной неоднородности. Например, можно обратить внимание на малое содержание CaO и большое содержание Na_2O в силикат-глыбе, что делает стекло растворимым.

Во всех приведенных выше определениях стекла подчеркивается его аморфность, образуемая специальным режимом охлаждения. Под аморфностью понимается такое состояние вещества (стеклообразное состояние), когда в его строении, т. е. в относительном расположении атомов (ионов) в пространстве, не наблюдается упорядоченность. В таком случае говорят, что отсутствует дальний порядок, присущий кристаллическим веществам.

По своей внутренней структуре стекло похоже на жидкость. В процессе охлаждения расплава (жидкости), вследствие его переохлаждения, кристаллизация не проявляется, а вязкость расплава увеличивается настолько, что он «замерзает», фиксируя свою ограниченно упорядоченную структуру, характерную для жидкостей. Стеклу, как и жидкостям, присущ ближний порядок расположения атомов.

Отмеченные выше особенности иллюстрирует схематичное изображение структуры кварца, кварцевого и силикатного стекла, показанное на рис. 2 в плоском разрезе.

В кристаллическом кварце (схема *а*) связи Si-O образуют непрерывную трехмерную решетку, распространенную на весь кристалл. В этой решетке атомы кремния и кислорода имеют идентичное окружение. Каждый атом кремния окружен в тетраэдрическом порядке четырьмя атомами кислорода, а каждый атом кислорода связан с двумя атомами кремния. И эта структура простирается по трем направлениям на далекое расстояние (бесконечно). В этом и заключается дальний порядок.

В кварцевом стекле (схема *б*) каждый атом кремния также окружен четырьмя атомами кислорода, и каждый атом кислорода связан с двумя атомами кремния, но здесь в отличие от кристаллического состояния угол между связями Si-O не везде одинаков. Взаимное расположение кремнекислородных тетраэдров оказывается произвольным. По этой причине дальний порядок, характерный для кристалла, не соблюдается. «Кольца», образуемые тетраэдрами SiO_4, имеют разные размеры, отсутствует идентичное повторение структурных элементов на дальнем расстоянии, характерное для кристаллического кварца. Вследствие этого внутренняя энергия кварцевого стекла

больше внутренней энергии кристалла кварца, что объясняет метастабильное состояние стекла. И все же отличие между структурами кристаллического кварца и кварцевого стекла не очень большое, поэтому кварцевое стекло знаменито своими высокими техническими свойствами.

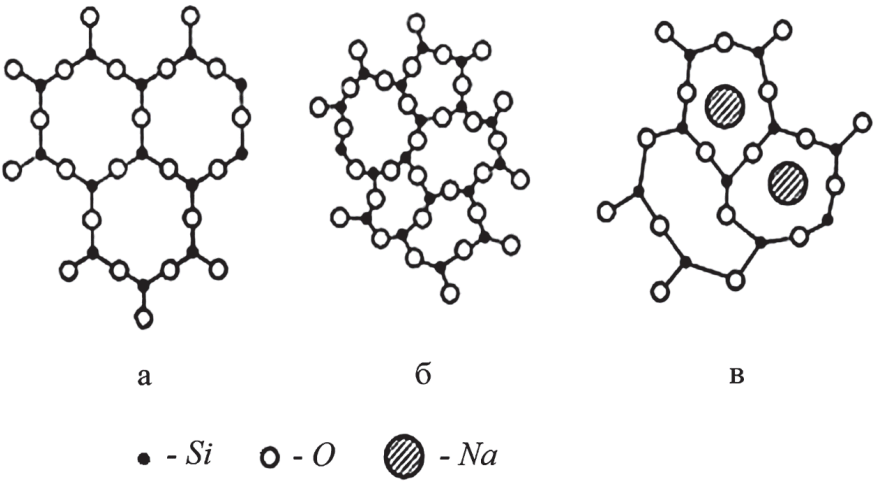

Рис. 2. Схематичное изображение структуры кварца, кварцевого и силикатного стекла в плоском представлении:
а – кристаллический кварц; *б* – кварцевое стекло (плавленый кварц);
в – силикатное (натриевое) стекло

В силикатном стекле (схема *в*) в ячейки тетраэдрической сетки внедрены положительные ионы металла (в нашем примере ионы натрия). Причем расположение этих ионов не подчиняется законам симметрии. Присутствие ионов металла в структуре стекла еще больше нарушает систему связей Si-O и вносит хаотичность, беспорядочность. Некоторые атомы кислорода оказываются связанными только с одним атомом кремния. В результате отдельные кольца валентных связей Si-O раскрываются. Все это повышает внутреннюю энергию и увеличивает термодинамическую неустойчивость стекла.

Таким образом, в строении силикатных стекол и кристаллического кварца наблюдаются определенные сходства, но и присутствуют существенные отличия. Сходство заключается в существовании в обоих состояниях непрерывного кремнекислородного каркаса. Различие состоит в отсутствии

в стекле структурной симметрии и правильного соотношения входящих компонентов на далеком расстоянии.

ГЛАВА 2. СТРОИТЕЛЬНОЕ СТЕКЛО

2.1. Свойства строительного стекла

Стекло выгодно отличается от других строительных материалов комплексом отличных свойств: прозрачность, высокая прочность и твердость, высокая химическая и биологическая стойкость, негорючесть. В то же время стеклу присуща повышенная хрупкость. Во многих случаях практического применения стекло, благодаря своим свойствам, является незаменимым строительным материалом.

2.1.1. Оптические свойства

Главным из оптических свойств строительного стекла является его прозрачность, т. е. способность пропускать через себя поток света. Это свойство делает стекло незаменимым во многих случаях применения в строительстве. К светопропусканию нужно добавить способность отражать, поглощать, преломлять и рассеивать свет. Все оптические свойства стекла обусловлены его аморфностью и степенью структурной неоднородности.

Поток света, падающий на стекло (I_0), разделяется на несколько частей (рис. 3).

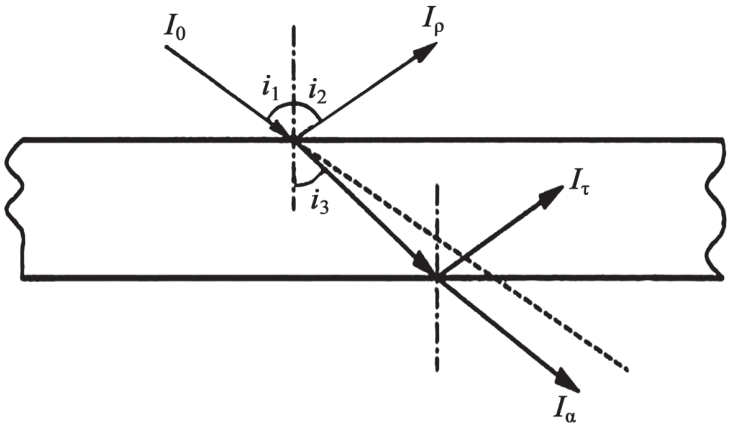

Рис. 3. Схема прохождения луча света через плоскопараллельную стеклянную пластину:
i_1, i_2, i_3 – соответственно угол падения, угол отражения и угол преломления луча света