

Современные тенденции развития жаростойкого остекления

Исторически для защиты от распространения огня внутри здания использовались кирпичная или каменная кладка. Эти массивные материалы физически блокировали распространение пламени и ограждали не горящие части здания. Современные строения включают большие объемы остекления, более открыты, стены и плиты перекрытий намного тоньше, чем ранее, и поэтому требуют использования специальных материалов для обеспечения разделения здания на безопасные отсеки.

Одним из таких специальных продуктов являются жаростойкие стекла. В обиходе такие стекла иногда называют «противопожарными», «огнестойкими», «огнезащитными», но, поскольку само по себе стекло не является противопожарной преградой и не всякий огонь является пожаром, то правильный термин, указанный в ГОСТ 51136, — жаростойкое стекло. Жаростойкость стекол измеряется временем, в течение которого достигаются предельные состояния E, I и W.

Целостность (E) — способность предотвращать появление пламени на необогреваемой поверхности стекла (имеется в виду появление устойчивого пламени длительностью 10 секунд и более) или проникновение горячих газов через трещины в стекле.

Поток тепловой энергии (W) связан с достижением предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции.

Теплоизолирующая способность по прогреву (I) — способность ограничить на определенное время повышение температуры на необогреваемой поверхности стекла в среднем более 140 °C или более чем на 180 °C в одной из контрольных точек, по сравнению с температурой образца на момент начала испытаний.

Потеря целостности (E) означает разрушение стекла, образование сквозных отверстий или трещин в конструкции, через которые на обратную (необогреваемую) поверхность проникают продукты горения и/или открытое пламя.

Для обеспечения полной защиты от пожара используется жаростойкое изолирующее стекло, объединяющее параметры целостности E и теплоизоляции I. Характеристики такого стекла практически эквивалентны свойствам обычной непрозрачной противопожарной перегородки: средняя температура на защищаемой стороне не должна превышать 140 °C, а максимальная — 180 °C. Для многослойного защитного стекла и противопожарных перегородок пользуются критерием EIW, а для противопожарных дверей — критерием EI.

В данной статье рассмотрим только жаростойкие стекла, обеспечивающие полную изоляцию по трем критериям (EIW).

Стекла с силикатными интумесцентными теплоизолирующими слоями

Первой компанией, изготовившей такое стекло, была компания Pilkington, создавшая в 70-х годах XX века продукт Pyrostop. Это было многослойное стекло, состоящее из листов тонкого стекла с прослойками из состава, основу которого составлял силикат натрия или калия, известный также как растворимое или жидкое стекло. Силикат щелочного металла являлся «рабочим телом», вспучивающимся при нагревании, образующим теплоизолирующий слой твердой пены и, тем самым, обеспечивающий жаростойкость стекла. В технологии, разработанной компанией Pilkington, раствор силиката натрия наносился и равномерно распределялся на горизонтальной поверхности стеклянной панели и высушивался при регулируемых условиях с получением тонкого слоя на стекле. Вторая панель помещалась сверху уже на высохший слой. Далее на вторую панель наносился следующий слой раствора силиката, и процесс повторялся до получения структуры, обеспечивающей заданную огнестойкость.

Технологический процесс получался трудоемким, требующим наличия больших чистых помещений и сложного оборудования. Доля дефектных стекол достигала 40 %. Кроме Pilkington эту технологию смогли освоить только бельгийская компания Glaverbel и швейцарская Glass Trösh. Японский концерн AGC после приобретения Glaverbel расширил производство продукции, открыл новый завод в Чехии и занял лидирующие позиции в поставках стекла данного типа. Стекло изготавливается в листах фиксированного размера, например, чешский завод AGC в Олови поставляет стекло с габаритами 3150 × 2250 мм.

На местных обрабатывающих предприятиях стекло разрезается на заданные размеры алмазной пилой, поэтому срок поставки готовой продукции может быть небольшим, что является несомненным преимуществом стекла данного типа. Силикатная прослойка мутнеет под действием ультрафиолетовой части солнечного спектра, поэтому для остекления освещаемых солнцем частей здания применяется специальная модификация, име-



Рис. 1
Воздушные полости в стекле Pyrobel, возникшие в результате нарушения изоляции кромки и попадания воды

ющая в своем составе дополнительную прослойку поглощающей ультрафиолет пленки и закрывающего ее дополнительного слоя стекла.

Силикат натрия, входящий в состав прослоек в стекле, растворяется в воде, поэтому распиленные стекла нуждаются в изоляции кромок, которая осуществляется специальной защитной лентой. В случае нарушения защитной изоляции в изолирующих слоях могут образоваться полости (рис. 1).

Основным недостатком стекол, производимых по технологии Pilkington-AGC-Glass Trösh, является высокая цена.

Второй метод получения огнезащитного остекления состоит в так называемом монолитном способе, при котором силикатный раствор заливается в пространство между двумя противоположными панелями с последующим отверждением и образованием оптически прозрачного геля. Сложность данного метода состоит в подборе оптимальной вязкости раствора, который с одной стороны должен свободно распределяться между панелями, т. е. иметь относительно низкую вязкость. С другой стороны, раствор должен обладать достаточно высокой вязкостью, чтобы не вытекать в процессе отвердевания и всего срока эксплуатации противопожарной конструкции.

Растворимые стекла (растворимые силикаты натрия и калия) представляют собой вещества в аморфном стеклообразном состоянии, характеризующиеся определенным содержанием оксидов M_2O и SiO_2 , где M — это щелочные металлы Na или K.

Мольное соотношение SiO_2 / M_2O составляет $2,6 \pm 3,5$ при содержании 69 ± 76 массовых процентов для натриевого стекла и 65 ± 69 массовых процентов — для калиевого.

Решение проблемы было найдено в способе, когда в пространство между стеклами заливается раствор, в состав которого входит жидкое стекло, обладающее малой вязкостью с добавкой тонкодисперсного порошка двуокиси кремния (аэросила). После заливки и герметизации стекло помещается в шкаф, где при повышенной температуре происходит неорганическая полимеризация силиката с образованием твердого геля. Данный метод требует значительно меньших

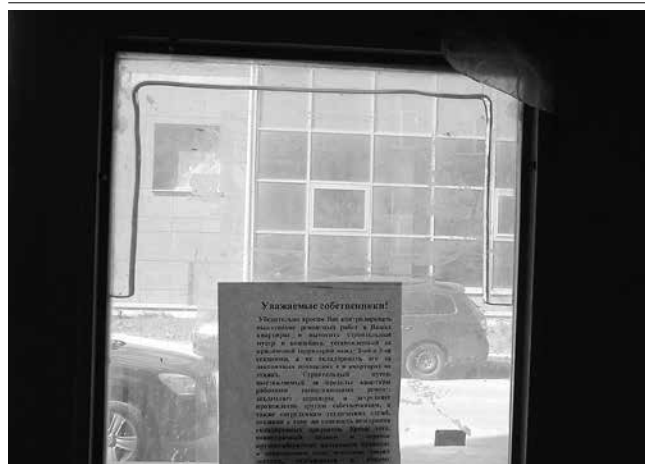


Рис. 2
Пример синерезиса в пожаростойком стекле с силикатным гелем. Силикатный гель сжался, уменьшившись в размерах, но сохранил исходную прямоугольную форму. Отделившаяся жидкость выделилась на периферию и частично вытекла. Стекло полностью потеряло защитные свойства.

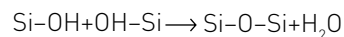
капитальных затрат на производство, но обладает целым рядом недостатков.

Проблемы технологии изготовления гелезаливных стекол с силикатным гелем

Синерезис

В процессе старения силикатного геля может возникнуть уплотнение пространственной структуры сетки молекул, образующих гель.

Синерезис запускается реакцией:



В результате гель уменьшается в размерах, а жидкость выделяется наружу. Если герметичность стекла не нарушена и жидкость не вытекла, то синерезис геля может быть внешне не виден, хотя стекло полностью теряет пожаростойкость. Если пожаростойкое стекло помутнело в центральной области, а по периметру осталась прозрачная область, то это также признак синерезиса. Такие стекла требуют замены.

Замерзание стекла

Температура замерзания жидкого стекла — от -2 до -11 °С. При падении температуры ниже точки замерзания вначале сильно увеличивается вязкость жидкого стекла, а затем, благодаря выделению кристаллов льда и хлопьевидных частиц, они превращаются в опаловидные беловатые массы.

Помутнение силикатного геля

Для отверждения силикатного гелевого заполнения используется неорганическая полимеризация жидкого стекла. По мере развития полимеризации жидкое стекло проходит через стадии: жидкий раствор \rightarrow полисиликат \rightarrow коллоидный кремнезем.



Рис. 3
Результат замерзания многослойного стекла
с силикатным гелем

В пожаростойком стекле силикатный гель находится в состоянии полисиликата, характеризующегося прозрачным бесцветным состоянием, но при определенных условиях полимеризация может продолжиться, тогда образуются частицы кремнезема и стекло мутнеет. Помутнению стекла способствуют также повышение температуры. Растворимое стекло хорошо поглощает ультрафиолет, эта часть спектра приводит к дальнейшей полимеризации и помутнению стекла.

Способ решения проблем пожаростойкого стекла с заливным силикатным гелем

Несколько лет назад компанией Evonik Industries из Германии был предложен новый рецепт для создания гелезаливного пожаростойкого стекла с силикатным гелем. Основу рецепта составляет специальный аэросил, состоящий из тонкодисперсных частиц двуокиси кремния вместе со стабилизирующими добавками. В охлаждаемый реактор с якорной мешалкой загружают концентрированный раствор КОН и аэросил. Перемешанный состав заливают в заранее подготовленные стеклопакеты, изготовленные из закаленного стекла, герметизируют и направляют в печь, где они находятся при температуре 75 °С до достижения прозрачности.

Для достижения огнестойкости EIW-30 достаточно 6 мм слоя геля, расположенного между двух закаленных стекол, для огнестойкости EIW-45 — 8 мм. По этой технологии изготавливают пожаростойкое стекло швейцарские компании Interver и Vetrotech.

Достоинством технологии, предложенной Evonik, является то, что силикат калия образуется в уже залитом стекле и может иметь изначально высокую вязкость при низкой степени полимеризации, которая при этом делает стекло стойким к ультрафиолету. Однако это преимущество оборачивается следующими проблемами.

Стабильность формы

Фактически, силикатный гель в стеклах, залитых по технологии Evonik, остается сильно вязкой жидкостью, которой присуща текучесть. Плотность силикатного геля приблизительно в 1,5 раза больше плотности воды, с те-



Рис. 4
Помутнение многослойного стекла
с силикатным гелем

чением времени гель начинает скапливаться в нижней части стекла, создавая утолщение внизу и утоньшение вверху. Помимо оптических искажений более тонкий слой геля может ухудшить защитные свойства стекла.

Взаимодействие со стеклом или покрытием на стекле

При высыхании силикатов на стекле, изготовленном по технологии Pilkington, стекло и силикат образуют единую монолитную конструкцию. Когда силикатный гель остается в вязко-жидком состоянии, как это имеет место в стекле, изготовленном по технологии Evonik, можно говорить скорее о смачивании стекла гелем, чем об адгезии. Адгезия должна возникнуть в момент затвердевания геля при пожаре или при огневых испытаниях стекла. В реальных испытаниях в некоторых случаях на более холодном стекле адгезия может не возникнуть, и гелевая прослойка может упасть внутрь печи вместе с разрушившимся горячим стеклом. Владение технологическими приемами, обеспечивающими адгезию, является производственным секретом фирм производителей.

Стекла с теплопоглощающим абляционным слоем

Идея использовать теплопоглощающие антипирены вместо теплоизолирующего прозрачного силиката возникла практически одновременно с появлением стекла Pyrostop. Такое стекло было представлено в 1980 году компанией Vegla-Werk Aachen под названием Contraflam. Стекло представляло собой конструкцию из двух закаленных стекол, собранных в специальный стеклопакет, заполненный гидрогелем на полимерной



Рис. 5
Оптические искажения,
вызванные изменением формы стекла

органической основе, содержащей прозрачный антипирен. При пожаре закаленное стекло, обращенное в сторону пожара, разрушается от перегрева, открывая доступ к пожаростойкому гелю. После этого вступает в действие антипирен — стекло охлаждается испаряющейся из гидрогеля водой, пламя тушится выделяющимся при кристаллизации геля азотом и дополнительно охлаждается за счет скрытой теплоты фазового перехода. Огнестойкость стекла пропорциональна толщине слоя геля.

Первое поколение стекол с теплопоглощающим слоем имело существенный недостаток — в процессе производства гидрогеля использовались токсичные материалы: формальдегид и акриламид. В 2004 г. было разработано новое поколение гидрогеля, не содержащее токсичных компонентов. Этот вид геля получил название Парафлам.

Однако стекла, изготовленные с использованием геля Парафлам, требовали осторожного обращения: из-за отсутствия адгезии геля и стекла при переноске и монтаже могла возникнуть деламинация, и в стекле появлялись пятна, напоминающие пузыри. Это явление было особенно заметно на стеклах больших размеров. Но в последние годы этот недостаток геля Парафлам был устранен.

Преимущества пожаростойкого стекла с гелем Парафлам:

- симметричная конструкция, свойства стекла не зависят от того, какой стороной оно установлено в конструкции;
- возможность изготовления стекол большого размера;
- в составе стекла не используются токсичные материалы;

- стекло не боится контакта с водой;
- может быть изготовлено пожаростойкое изогнутое (моллированное) стекло и стекла различных форм;
- устойчивость к УФ-излучению — нет необходимости использовать ПVB;
- высокая механическая прочность за счет использования закаленного стекла;
- меньший вес, чем у стандартных многослойных огнезащитных стекол других производителей.

К недостаткам можно отнести то, что каждое стекло изготавливается индивидуально, проходит несколько технологических операций, и это обуславливает длительность срока изготовления.

При проектировании противопожарных преград со светопрозрачным заполнением необходимо учитывать недостатки и преимущества каждого вида стекла. Пожаростойкие стекла могут дополнительно обладать свойствами шумопоглощения, защитными свойствами, селективным светопропусканием, разнообразным цветом.

Выводы

Противопожарная защита зданий регулируется национальным законодательством. По мере развития общества требования к защите зданий и обеспечению безопасности людей возрастают. В России основным документом является ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Закон обязателен для применения. С момента принятия закона в 2008 г. в него уже был внесен ряд изменений и дополнений. В законе регламентируется огнестойкость противопожарных преград в 15, 30, 45 и 60 минут. Аналогичные европейские нормативы предусматривают также огнестойкость 90 и 120 минут.

Каким бы детальным ни был федеральный закон, он не может предусмотреть всех особенностей применения. При проектировании противопожарных преград со светопрозрачным заполнением необходимо учитывать недостатки и преимущества каждого вида стекла, обращать внимание, в каких условиях будет эксплуатироваться проектируемая конструкция. Пожаростойкие стекла могут дополнительно обладать свойствами шумопоглощения, защитными свойствами, селективным светопропусканием, разнообразными цветом и формой. Во внутренних конструкциях также нужна стойкость к ультрафиолету (это могут быть как солнечные лучи, так и современные люминисцентные и светодиодные светильники). При транспортировке и хранении стекла важен температурный режим. Любые пожаростойкие стекла требуют внимательного и осторожного обращения как при монтаже, так и в эксплуатации.

Цена не должна быть единственным критерием при выборе поставщика. Вероятно, не стоит использовать стекла, имеющие вероятность полностью потерять защитные свойства в процессе старения. ■