



Технический бюллетень № 2 от 22.07.2022

Самопроизвольное разрушение закаленного стекла

Существует несколько возможных причин «самопроизвольного» (то есть без видимых причин) разрушения остекления (термошок, механические деформации и т.д.). При таком разрушении **закаленных** стекол наиболее вероятны следующие причины:

1. Включения сульфида никеля в объеме стекломассы.
2. Возможные механические повреждения элементов остекления (например, повреждения кромки стекла при монтаже, хранении или при перекосе конструкции, отсутствие эластичной прокладки между стеклом и рамой, контакт стекла с металлическим элементом крепления и т.д.).

Рассмотрим подробнее обе указанные вероятные причины.

1. Включения сульфида никеля в объеме стекломассы.

В состав оборудования стекловаренных печей входят различные детали, изготовленные из жаропрочных сталей, легированных никелем. Таким образом, небольшие количества никеля могут попадать в объем стекломассы. Вместе с тем, в состав атмосферы флоат-ванны входит сернистый газ. В результате химических реакций в стекломассе может образоваться некоторое количество микрочастиц сульфида никеля (NiS). Эти включения столь малы и содержатся в столь незначительном количестве, что не могут быть определены ни визуально, ни существующими методами контроля качества стекла во процессе производства. Кроме того, при существующих технологиях производства листового стекла, полностью предотвратить появление таких включений **невозможно**. Поэтому микровключения сульфида никеля **не включены в перечни дефектов**, установленных нормативными документами на листовые стекла (при том, что сам риск самопроизвольного разрушения закаленного стекла по этой причине в российской и международной НД не игнорируется). Например, в ГОСТ EN 14179-1-2015 указывается, что «закаленное ... стекло ... обладает определенным уровнем риска спонтанного разрушения из-за возможного присутствия критического количества включений сульфида никеля (NiS)...».

На свойства обычного листового стекла включения сульфида никеля никак не влияют, их влияние проявляется только после закалки стекла. В ходе процесса закаливания листы стекла подвергаются нагреву до температуры размягчения, а затем быстрому охлаждению. При высоких и низких температурах существуют две различные модификации кристаллической структуры сульфида никеля. Межатомное расстояние в кристаллической решетке сульфида никеля при низких температурах больше, чем при высоких. Иначе говоря, частица сульфида никеля при низких температурах занимает больший объем, а при высоких – меньший. При нагреве стекла в закалочной печи (приблизительно до 650°C) сульфид никеля переходит в кристаллическую структуру, устойчивую при высокой температуре. Быстрое охлаждение, применяемое в процессе закалки, не дает сульфиду никеля времени перейти в его устойчивую низкотемпературную структуру прежде, чем стекло затвердеет.

Таким образом, на выходе из закалочной печи в некоторых листах закаленного стекла могут содержаться включения сульфида никеля в термодинамически неустойчивой аллотропной форме. Переход к форме, устойчивой при низких температурах, происходит со скачкообразным увеличением объема частицы, что приводит к возникновению больших локальных напряжений в объеме стекломассы вокруг такого включения. Такой переход происходит случайным образом в течение от нескольких минут до нескольких лет со времени выхода листа из печи закалки. В результате листы закаленного¹ стекла, содержащие включения сульфида никеля разрушаются без видимых причин.

¹ Термически упрочненное стекло по ГОСТ 33087 или EN 1863, в отличие от закаленного (по ГОСТ 30698 или EN 12150) не подвержено риску разрушения из-за включений NiS.

Действующие нормативные документы на обычное закаленное стекло самопроизвольное разрушение из-за включений сульфида никеля **не рассматривают как несоответствие**². Например, ГОСТ 30698-2014 «Стекло закаленное. Технические условия» и евростандарт EN 12150 «Glass in building - Thermally toughened soda lime silicate safety glass» не содержат никаких требований в этом отношении. Более того, в приложении D стандарта EN 12150-1 прямо указано: «Включение сульфида никеля является редкой, но естественной примесью, присутствующей во всех стеклах, которая при определенных обстоятельствах может привести к самопроизвольному разрушению закаленного стекла в процессе эксплуатации».

Производители листового стекла также указывают в руководствах по переработке стекла, на невозможность полного исключения риска включения сульфида никеля, и предупреждают, что гарантия от самопроизвольного разрушения закаленного стекла не предоставляется.

Для снижения риска самопроизвольного разрушения, закаленные стекла могут быть подвергнуты испытаниям **термовыдержкой** (heat soak test). Закаленное стекло выдерживают в специальной камере при температуре 280°C в течение двух часов. При этом включения сульфида никеля успевают перейти в аллотропную форму, устойчивую при низкой температуре. В результате все листы, содержащие опасные включения сульфида никеля разрушаются в камере термовыдержки. На **термовыдержанное закаленное стекло** в РФ действует гармонизированный ГОСТ EN 14179-1-2015 «Стекло закаленное термовыдержанное. Технические требования». Он устанавливает следующее требование к риску самопроизвольного разрушения закаленного стекла, **прошедшего сплошной контроль термовыдержкой** («уровень остаточного риска»): не более 1 разрушения на 400 тонн стекла. Применяется также выборочный контроль партий закаленного стекла термовыдержкой.

Таким образом, если переработчиком в договорных документах на поставку закаленного стекла (либо стеклопакетов его включающих) не установлено требование соответствия закаленного стекла **именно ГОСТ EN 14179-1-2015** (или иным путем не оговорены требования по включениям NiS), то самопроизвольное разрушение закаленных стекол по этой причине **не рассматривается как несоответствие** и/или гарантийный случай.

Необходимо также отметить, что термоупрочненное стекло (по ГОСТ 33087-2014 / EN 1863) **не подвержено риску** самопроизвольного разрушения из-за **включений NiS**. При этом термоупрочненное стекло по прочности близко к закаленному, но обладает небезопасным («лущевым») характером разрушения.

2. Механические повреждения элементов остекления

Другой возможной причиной самопроизвольного разрушения закаленного стекла является **механическое повреждение**. Как известно, повышенную прочность закаленному стеклу придают механические напряжения, формируемые между поверхностью листа и его объемом в ходе быстрого охлаждения на выходе закалочной печи. Если закаленное стекло разрушается, эти напряжения буквально разрывают весь лист. При этом всегда формируются малотравматичные мелкие осколки с притупленными краями в отличие от острых крупных осколков («гильотин»), возникающих при бое обычного (отожженного) стекла. Благодаря этому свойству, закаленное стекло рассматривается нормативными документами как *безопасное в эксплуатации*.

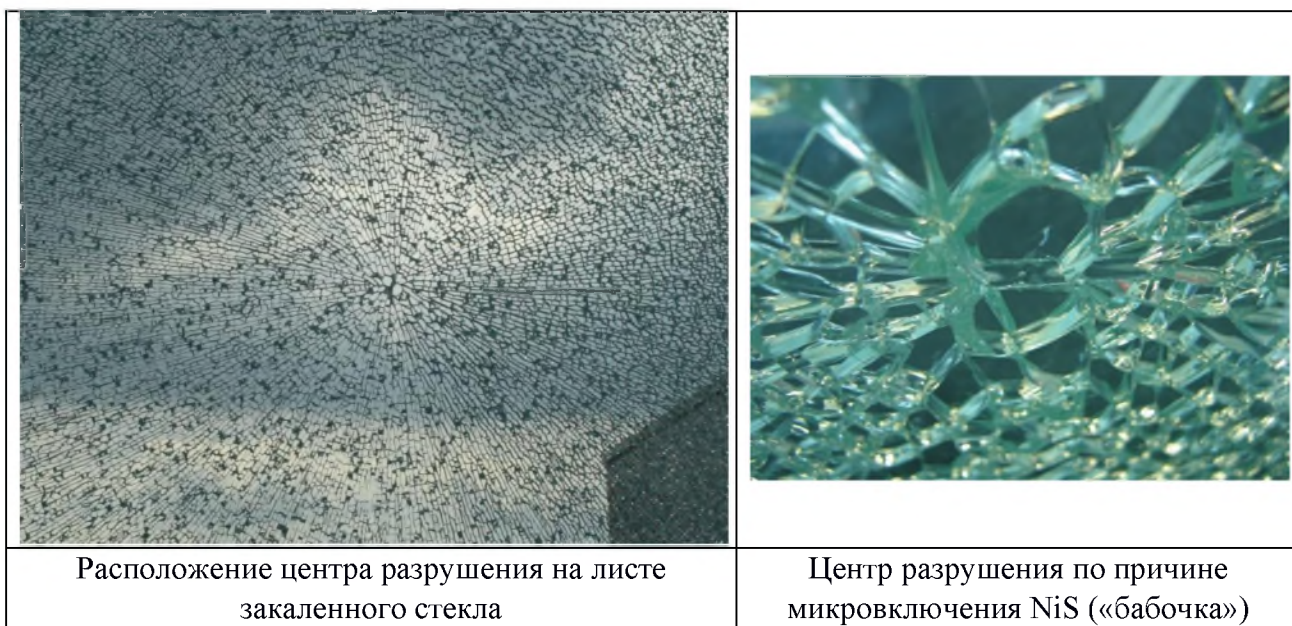
Оборотной стороной такого преимущества закаленного стекла является его самопроизвольное разрушение при незначительных механических повреждениях: глубокая царапина, отбитый угол, скол на торце листа и т.д. Такое повреждение может быть не замечено при поверхностном осмотре, однако из-за внутренних напряжений, весь лист закаленного стекла может разрушиться на мелкие осколки как сразу после повреждения, так и по прошествии некоторого

² Тем не менее, ведущие стекольные производители, как правило, при получении информации от переработчиков стекла о заметном числе самопроизвольных разрушений из-за включений NiS, поставку определенных партий флоат-стекла сопровождают соответствующей рекомендацией («не рекомендуется для закалки»).

времени, которое зависит от размеров листа, места повреждения, его глубины и т.д. («отложенное разрушение»).

Известно, что наиболее «чувствительной» зоной у закаленного стекла является торец листа. Поэтому при монтаже стеклопакетов с закаленным стеклом следует обращать внимание на правильную установку эластичных прокладок для предотвращения контакта стекла с металлом и возможного повреждения стекла при эксплуатационных деформациях фасада. Впрочем, это справедливо и для обычного стекла.

Центр самопроизвольного разрушения из-за механических повреждений чаще всего расположен на кромке стекла. При самопроизвольном же разрушении из-за микровключения NiS центр разрушения очень редко попадает на кромку и имеет характерный вид – «бабочки» (см. рисунки ниже). Следует отметить, что не каждая «бабочка» означает разрушение именно от микровключения NiS. Возможной (но более редкой) причиной является микродефект другого происхождения.



Можно попытаться установить, по какой именно из двух вышеописанных причин произошло самопроизвольное разрушение закаленного стекла, изъяв центр разрушения с помощью клейкой ленты и изучив его под лупой или микроскопом. В первом случае будет обнаружено микровключение (подтвердить, что это именно сульфид никеля можно соответствующим методом химического анализа), а во втором – можно найти следы исходного механического повреждения. Данный способ применим, если остекление еще удерживается в раме, поскольку в противном случае найти «исходный» осколок практически невозможно.

Имеются также сведения о том, что пороки флоат-стекла (включения, пузыри) также могут приводить к самопроизвольному разрушению закаленного стекла. Однако данная причина редко встречается на практике, поскольку дефекты такого рода как правило приводят к разрушению заготовки еще в печи в процессе закалки.

Смирнов М.И. 

Председатель Комитета по техническому регулированию Союза Стекольных Предприятий
tech@glassunion.ru