

Обзор причин появления радужных пятен в стеклопакетах

К.т.н. Смирнов М.И. (ООО «Главербель Восток»), к.т.н. Гладушко О.А., к.т.н. Чесноков А.Г. (ОАО «Институт Стекла»), Москва

Достижения в последние десятилетия в области технологии производства листового стекла привели к появлению на рынке не только существенно более высококачественной (как в смысле геометрических параметров – плоскопараллельности, так и в смысле качественных характеристик - отсутствия дефектности) продукции, но и к ее необычайному разнообразию. Это солнцезащитные, и энергосберегающие, и самоочищающиеся, и другие стекла. В свою очередь это сильно расширило области применения стекла, начиная от традиционного оконного остекления и заканчивая фасадным и декоративным. Получила широкое распространение новая технология остекления – стеклопакеты. Но, как это часто бывает, новые достижения приносят не только преимущества, но и создают новые проблемы.

В частности, в последнее время ряд оконных и фасадных компаний, изготовителей стеклопакетов сталкиваются с претензиями потребителей по поводу появления радужных пятен в остеклении, наблюдаемых при определенном освещении. Явление это неоднозначно и может быть обусловлено неустранимыми объективными причинами и, следовательно, неизбежным, а может быть связано с элементарными и весьма обыденными случаями нарушения технологического процесса и его можно избежать, если исключить соответствующие нарушения. Между потребителями и изготовителями возникают споры о причинах данного явления, о том, можно ли его считать браком (стеклопакетов) с точки зрения действующей нормативной документации и, следовательно, явлением, устранимым при соблюдении технологических требований. Чтобы прояснить ситуацию и помочь решать эти споры, авторы подготовили данный краткий обзор причин появления радужности в остеклении.

Итак, основные причины появления различных видов радужных пятен перечислены ниже.

1. Радужные разводы, возникающие вследствие загрязнения стекол.

При изготовлении стеклопакета поверхность стекол в результате нарушений технологического процесса может загрязняться, например, минеральным маслом или расклинивающей жидкостью, которые не были удалены при мойке стекол. За счет явления интерференции в тонких пленках на стеклопакете в данном случае могут наблюдаться радужные разводы неправильной формы, подобные тем, которые часто можно увидеть на поверхности воды, загрязненной тем же маслом или бензином. Эти разводы хорошо просматриваются как в проходящем, так и отраженном свете. Их можно увидеть как на отдельных листах стекла, так и в стеклопакетах. В соответствии с требованиями ГОСТ 24866 [1] это является дефектом стеклопакета.

2. Радужность поверхности стекла.

Поверхность стекла может подвергаться коррозии, в результате поверхность стекла приобретает радужный отлив (радужное выщелачивание). Такая радужность наблюдается на отдельных листах стекла. Коррозионный процесс развивается в результате нарушений правил хранения и транспортировки стекла (подмоченное стекло), указанных в ГОСТ 111-2001 [2]. Коррозии может подвергаться только стекло в пачках, поступающее с заводов. Готовое остекление и стеклопакеты в нормальных условиях эксплуатации, как известно, коррозии не подвержены. Такая радужность представляет собой дефект стекла, возникающий на этапе его хранения и транспортировки, и тоже отчетливо проявляется при обзоре отдельного дефектного листа или стеклопакета, в котором такое (дефектное) стекло использовалось.

3. Радужные пятна на нижней поверхности флоат стекла, образующиеся в результате налипания на поверхность стекла частиц оксидов олова (дросс):

Наблюдаются на отдельных листах стекла, и хорошо видны в отраженном свете. Представляют собой производственный дефект стекла, регламентированный ГОСТ 111-2001.

4. Радужные полосы, наблюдаемые под определенным углом на стеклопакетах с использованием закаленных стекол с отражающими покрытиями:

Этот эффект может возникать в результате отклонений от плоскостности стекла с отражающими покрытиями, возникающих в результате закалки и также хорошо заметен в отраженном свете. Если отклонение от плоскостности превышает установленные

ГОСТ 30698-2001 [3] значения, стекло считается дефектным, если нет, данное явление не рассматривается как дефект стекла или стеклопакета.

5. Небольшие радужные пятна, наблюдаемые под острым углом на стеклопакетах с закаленными стеклами («шкура леопарда»):

Если свет падает на стекло под углом, близким к углу Брюстера (для стекла 56,6°), то свет, отраженный от внутренней поверхности стекла, имеет большую степень поляризации. Таким образом, за счет эффекта двойного лучепреломления зоны напряжений в закаленных стеклах становятся видимыми. Это явление не рассматривается как дефект стекла или стеклопакета. В частности, в европейских стандартах на стеклопакеты (EN 1279), закаленное (EN 12150) и термоупрочненное (EN 1863) стекло имеются прямые указания на то, что данное явление не считается дефектом: EN 1279-1, приложение С [4], п. С1.3; EN 12150-, п. 9.2 [5]; EN 1863-1, п. 10.2 [6]. Как уже было отмечено выше, эти радужные пятна можно увидеть только при определенным (остром) угле обзора.

6. Радужные кольца, наблюдаемые на стеклопакете.

В стеклопакетах может возникать прогиб стекол (как правило, в результате изменения температуры или давления окружающей среды, нарушений технологического процесса изготовления стеклопакета, использования слишком тонких стекол при больших размерах стеклопакета, при слишком малом воздушном зазоре между стеклами и т.д.). В этом случае возникает классическая интерференционная картина в виде цветных концентрических колец (носящих название колец Ньютона), четко наблюдаемая при определенных условиях освещения и обзора. Такой стеклопакет рассматривается как дефектный по ГОСТ 24866, поскольку прогиб резко ухудшает его теплофизические свойства.

7. Параллельные радужные полосы (полосы Брюстера), наблюдаемые на стеклопакете.

Классическая интерференционная картина в виде параллельных радужных разводов (параллельных радужных *кривых* линий), проявляющаяся только при определенных условиях наблюдения (под определенным углом и при определенном освещении), и которая редко встречается в архитектурном остеклении. Она может возникать при установке в один стеклопакет стекол с высокой плоскостностью (плоскопараллельностью) и гладкостью поверхности, при условии высокой параллельности и равнотолщинности стекол

в стеклопакете, что и создает условия для возникновения явления интерференции. Это явление рассматривается мировыми производителями стекла как естественное следствие из законов оптики и высокого качества современного флоат-стекла и НЕ считается дефектом стеклопакета [7].

Брюстеровские интерференционные полосы имеют слабую интенсивность [8], поэтому их практически невозможно увидеть при хорошем солнечном освещении. Для обнаружения полос Брюстера требуется освещение с большой долей монохроматической составляющей (например, вечерний свет или галогенные источники) и специальные условия наблюдения: под углом, а не перпендикулярно стеклу, и с затененным пространством за стеклом, т.е. надо смотреть скорее **на** стекло а не **сквозь** него, что естественно для нетренированного глаза. Если по стеклу постучать или нажать на него, Брюстеровские разводы двигаются в соответствии с малым изменением геометрии.

Полной математической модели возникновения данного явления в стеклопакетах пока не существует, однако известно, что при замене в стеклопакете одного стекла любым стеклом из другой партии, эффект интерференции пропадает.

Все мировые и российские нормы и стандарты по остеклению также не рассматривают данное явление как дефект остекления, тем более, что оно не является сильно выраженным, постоянным и неизменным его атрибутом. В частности, в европейском стандарте на стеклопакеты имеется прямое указание на то, что данное явление не считается дефектом: **EN 1279-1**, приложение **C**, п. **C1.1**.

Таким образом, существуют разные причины появления радужности в остеклении, и, как видно из представленного обзора, большинство из них обусловлено дефектом продукции, и могут быть устранены. Тем не менее, имеют место и объективно неустраняемые причины возникновения интерференционных явлений (но, как правило, выраженных менее отчетливо). Поэтому в каждом конкретном случае необходим анализ природы указанного явления и этих самых причин, его вызывающих, в чем, полагаем, поможет разобраться настоящий обзор.

Литература

1. ГОСТ 111-2001. Стекло листовое. Технические условия.
2. ГОСТ 24866-99. Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия.
3. ГОСТ 30698-2000. Стекло закаленное строительное. Технические условия.
4. EN 1279-1:2004. Стекло в строительстве – Стеклопакеты – Часть 1:Общие положения, допуски на размеры и правила описания системы.
5. EN 12150-1:2000. Стекло в строительстве – Закаленное натрий-кальций-силикатное стекло – Часть 1:Определение и описание
6. EN 1863-1:2000. Стекло в строительстве – Термоупрочненное натрий-кальций-силикатное стекло – Часть 1:Определение и описание.
7. Nakert K. Optische Interferenzen bei Mehrscheiben-Isolierglas// Glaswelt. 1977, 4. P.191-192.
8. Глудушко О.А., Чесноков А.Г. К вопросу о явлении интерференционного окрашивания в стеклопакетах. Светопрозрачные конструкции // 2003. - №2. – с.63-65

2007