



УДК 343.983.25

**КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ
ВЕТРОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТЕКОЛ****Александр Михайлович Чугунов**Саратовская государственная юридическая академия, Саратов, Россия,
docentAMCh@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены причины разрушения ветровых автомобильных стекол триплекс, связанные с условиями их монтажа, эксплуатации, а также с криминальным взломом. Выявлен комплекс признаков, позволяющий проводить криминалистическую диагностику причин разрушения ветрового остекления по форме, размерам трещин и картине их распределения по поверхности.

Наиболее распространенной причиной появления трещин на ветровых стеклах является удар летящим камнем. При энергии удара до 0,5–0,6 Дж на наружном слое стекла образуется скол или «звездочка» из коротких радиальных трещин, при энергии порядка 18–20 Дж на обоих слоях стекла образуется сетка из радиальных и концентрических трещин, напоминающая по форме паутину, а при энергии 88–90 Дж и выше возможно сквозное пробивание триплекса с разрывом склеивающего поливинилбутирального слоя.

Второй важнейшей причиной разрушения ветрового остекления является наличие на его кромке дефектов в виде микротрещин. При разрушении остекления от дефекта кромки в процессе монтажа и эксплуатации возникает характерный веер трещин, расходящихся от точки повреждения.

Третья причина растрескивания ветровых стекол – разрушение от перепада температур (термоудар). При наличии дефектов кромки образование трещин возможно уже при градиенте температур 40 °С и менее. Характерные признаки разрушения от термоудара: извилистая форма трещин при отсутствии их ветвления, отсутствие видимого центра разрушения, зеркальная поверхность разлома стекла.

При использовании газовой горелки или сварочного аппарата характерным признаком криминального взлома является пузырение склеивающего ПВБ-слоя в зоне высокотемпературного воздействия.

Результаты данной работы могут быть использованы при производстве криминалистических экспертиз ветровых автомобильных стекол триплекс.

Ключевые слова: автомобильные стекла триплекс, причины разрушения, криминалистическая диагностика, разрушение от механического удара, пулевые повреждения, разрушение от монтажных и остаточных напряжений, разрушение от термоудара (перепада температур по поверхности)

Для цитирования: Чугунов А. М. Криминалистическое исследование причин разрушения ветровых автомобильных стекол // Судебная экспертиза. 2024. № 3 (79). С. 69–79.

© Чугунов А. М., 2024



**FORENSIC INVESTIGATION
OF THE CAUSES OF THE DESTRUCTION
OF CAR WINDSHIELDS**

Alexander Mikhailovich Chugunov

Saratov State Law Academy, Saratov, Russia,
docentAMCh@yandex.ru

Abstract. The article discusses the causes of the destruction of triplex car windshields related to the conditions of their installation, operation, as well as criminal hacking. A set of signs has been identified that allows for forensic diagnostics of the cause of the destruction of wind glazing in terms of shape, size of cracks and the pattern of their distribution over the surface.

The most common cause of cracks on windshields is the impact of a flying stone. At an impact energy of up to 0.5–0.6 J, a chip or "asterisk" of short radial cracks forms on the outer layer of glass, at an energy of the order of 18–20 J, a grid of radial and concentric cracks resembling a spider web is formed on both layers of glass, and at an energy of 88–90 J and above, through punching of a triplex with a rupture of the gluing polyvinyl butyral layer.

The second most important reason for the destruction of windscreen glazing is the presence of defects in the form of microcracks on its edge. When the glazing is destroyed from an edge defect during installation and operation, a characteristic fan of cracks appears, radiating from the point of damage.

The third reason for cracking windshields is the destruction from temperature changes (thermal shock). In the presence of edge defects, the formation of cracks is possible already at a temperature gradient of 40 °C or even less. Characteristic signs of thermal shock destruction: the sinuous shape of cracks in the absence of their branching, the absence of a visible center of destruction, the mirror surface of the glass fracture.

When using a gas burner or welding machine, a characteristic sign of criminal hacking is the bubbling of the bonding PVB layer in the zone of high-temperature exposure. The results of this work can be used in the production of forensic examinations of triplex windshields.

Keywords: triplex automotive glass, causes of destruction, forensic diagnostics, destruction from mechanical impact, bullet damage, destruction from installation and residual stresses, destruction from thermal shock (temperature difference over the surface).

For citation: Chugunov A. M. Forensic ballistic characteristics of the TG-2 hunting carbine (Paradox) calibre .366 TCM and traces of its use. Forensic Examination, 69–79, 2024. (In Russ.).

Стекла триплекс, используемые для ветрового остекления автомобилей, представляют собой светопрозрачный трехслойный материал, состоящий из двух слоев силикатного неорганического стекла, прочно склеенных эластичной поливинилбутиральной (ПВБ) пленкой. При образовании трещин в результате механического или термического воздействия склеивающий слой триплекса на-



дежно удерживает осколки стекла, обеспечивая безопасность (безосколочность) разрушения.

Ветровое остекление автомобиля может разрушаться в силу разных причин. Чаще всего трещины образуются в результате механического или термического воздействия. Иногда это воздействие носит криминальный характер, и тогда в процессе предварительного расследования могут возникать следующие вопросы:

1. Какова причина разрушения остекления?
2. Каково было направление действия разрушающей нагрузки? (Снаружи или внутри был нанесен удар?)
3. Могло ли разрушиться остекление в результате удара молотком или иным твердым предметом снаружи?
4. Могло ли разрушиться остекление в результате неравномерного нагрева или резкого охлаждения по поверхности либо воздействия источника высокой температуры (газовой горелки, сварочного аппарата и т. п.)?
5. Могло ли образоваться повреждение на ветровом стекле в результате удара головой при резком торможении?
6. Могло ли образоваться повреждение на ветровом стекле от удара пули, выстрелянной из огнестрельного оружия?
7. Могли ли служить источниками разрушения дефекты кромки или дефекты обрамления остекления?
8. Могло ли произойти самопроизвольное разрушение остекления в результате наличия твердых включений с иным температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) или остаточных напряжений в сочетании с дефектами кромки? и т. д.

Рост трещин в стекле подчиняется определенным закономерностям [1]. Стекло без дефектов имеет высокую теоретическую прочность на растяжение: 7–18 ГПа, но дефекты кромки и поверхности в виде микротрещин, выбоин, царапин и сколов могут снижать реальную прочность стекла в сотни и даже тысячи раз [2, с. 50–58]. Такие дефекты являются концентраторами механических напряжений. Согласно теории Гриффитса небольшие микротрещины не опасны, но если они достигают определенной критической длины, то при воздействии достаточно высокой внешней нагрузки напряжение в их вершинах может достигать критических значений, сопоставимых с прочностью кремнекислородных химических связей в пространственной сетке стекла. В результате происходит быстрый рост трещин, приводящий к его катастрофическому разрушению. Максимальные растягивающие напряжения при изгибе возникают в стекле, как правило, на его тыльной поверхности. Рост трещин происходит в поле растягивающих напряжений, направление которых всегда перпендикулярно росту трещин (закон нормальных напряжений). От главных (магистральных) трещин в местах расположения поверхностных дефектов под разными углами могут отходить вторичные трещины. Чем больше величина внешней нагрузки и ее энергия – тем больше образуется трещин, их разветвлений, тем с большей скоростью они растут. Окончания магистральных трещин, как правило, перпендикулярны краю остекления или траектории другой, ранее образовавшейся трещины (принцип ортогональности) [3, с. 574–594]. Таковы **основные закономерности роста трещин** в отожженном листовом силикатном стекле. При изучении общей картины разру-



шения можно определить место приложения нагрузки (центр разрушения), тип напряженного состояния перед разрушением, направление действия внешней нагрузки, а также последовательность роста трещин.

Рассмотрим более подробно признаки разрушения ветрового остекления от **механического воздействия**.

При ударе летящим камнем или любым другим твердым предметом **в среднюю часть ветрового остекления, закрепленного по периметру**, центр (фокус) разрушения всегда совпадает с точкой удара. Напряженное состояние, возникающее в остеклении при ударе в его среднюю часть, можно охарактеризовать как центрально-симметричный изгиб. Рост трещин начинается с тыльной стороны стекла, где возникают максимальные растягивающие напряжения. От центра разрушения во все стороны, подобно лучам, исходят радиальные трещины. Концентрические (тангенциальные) трещины при этом имеют вид окружностей разного диаметра и располагаются вокруг центра удара. Таким образом, вокруг точки удара образуется сетка из радиальных и концентрических трещин, похожая по форме на паутину (рис. 1).



Рис. 1. Сетка радиальных и концентрических трещин на ветровом стекле при ударе камнем в среднюю часть

Заостренные концы радиальных трещин, не дошедших до края остекления, всегда располагаются со стороны удара. Если энергия удара была сравнительно невелика (до 0,5–0,6 Дж), то в стекле может образоваться скол (рис. 2) или «звездочка», состоящая из коротких радиальных (лучевых) трещин на наружном (контактирующем) слое стекла. Эти трещины имеют форму, близкую к прямой и никогда не ветвятся (рис. 3).

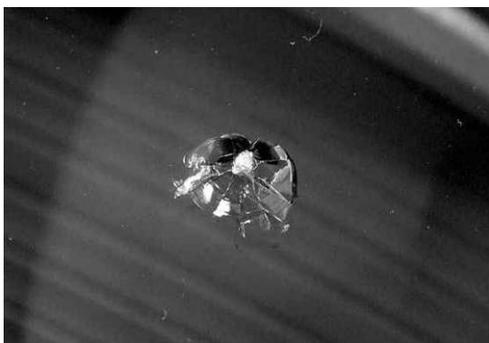


Рис. 2. Скол на поверхности ветрового стекла

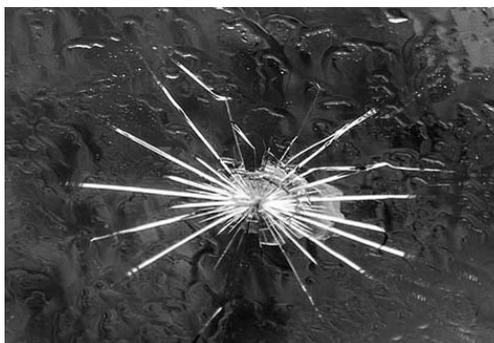


Рис. 3. Короткие радиальные трещины на наружном слое стекла в триплексе

На торцевой поверхности осколков можно наблюдать шероховато-раковистую зону и зону зеркального стрельчатого излома [3, с. 574–594] Склеивающий ПВБ-слой триплекса обладает высокой упругостью и эластичностью, он способен поглощать энергию удара и защищать внутренний слой стекла от растрескивания. При ударе с достаточно высокой энергией порядка 18–20 Дж радиальные (не ветвящиеся) и концентрические трещины образуются в обоих слоях стекла, а при энергии порядка 88–90 Дж возможно сквозное пробивание триплекса с разрывом склеивающего ПВБ-слоя (рис. 4) [4].



Рис. 4. Разрушение триплекса со сквозным пробиванием при энергии удара порядка 90 Дж

При ударе головой при резком торможении энергия удара составляет не менее 150 Дж. В обширной зоне контакта при этом происходит дробление стекла на мелкие осколки, часть которых отделяется от ПВБ-слоя, а сам склеивающий слой вытягивается в направлении удара и часто прорывается (рис. 5а). При ударе крупным камнем снаружи образуется похожая картина разрушения, но пластическая деформация ПВБ-слоя направлена вовнутрь салона (рис. 5б). Вокруг зоны контакта наблюдается сетка из радиальных и концентрических трещин, которая охватывает всю поверхность стекла.

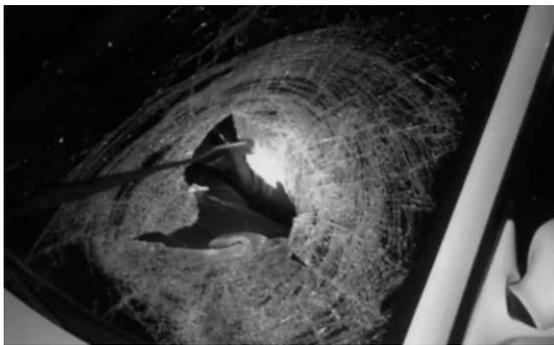


Рис. 5а. Картина разрушения ветрового стекла при ударе головой при резком торможении



Рис. 5б. Картина разрушения ветрового стекла при ударе большим камнем

Для **пулевых повреждений** характерно образование округлой сквозной пробоины, расширяющейся в направлении полета пули, вокруг которой располагается кольцевая зона дробления стекла на мелкие осколки, часть которых осыпается (рис. 6).



Рис. 6. Пулевое повреждение в стекле. Выстрел из 7,62-мм винтовки Мосина

За пределами зоны дробления располагается сетка из радиальных и концентрических трещин. В отличие от низкоэнергетического удара камнем, при пулевом повреждении и сравнительно невысокой скорости снаряда (300–500 м/с) радиальные трещины часто имеют извилистую форму и ветвятся с образованием узловых точек. Торцевые поверхности осколков всегда имеют шероховатую раковистую поверхность разлома. При очень высокой скорости снаряда (800–900 м/с и более) обычно образуются только короткие радиальные трещины, не успевающие вырасти за время пробития пулей остекления.

Часто причиной разрушения ветрового остекления от механического воздействия является дефект кромки стекла в виде микротрещины, выбоины, скола и т. п. В этом случае наблюдается образование **веера трещин** (рис. 7).



Рис. 7. Образование веера трещин от дефекта кромки

Подобные дефекты возникают при ударах по кромке, неосторожном обращении с ветровыми стеклами при их упаковке и транспортировке, небрежном монтаже остекления с приложением излишних механических нагрузок.

Одной из причин разрушения ветрового стекла могут быть **монтажные напряжения**, вызванные некачественной рихтовкой окна кузова или неправильным выбором клея. Некачественная рихтовка приводит к перекосу оконного проема кузова и неприлеганию стекла. При монтаже ветрового стекла с помощью клея (праймера, герметика) к неприлегающему проему монтажник часто прилагает избыточные усилия, в результате которых стекло трескается. Даже если оно не треснет при монтаже – в стекле и металлическом обрамлении кузова возникают остаточные напряжения, которые при последующей эксплуатации автомобиля в условиях толчков и вибрации могут инициировать рост трещин. Вторая причина образования монтажных напряжений – неправильный подбор клея, с помощью которого приклеивают сами ветровые стекла, зеркала заднего вида или датчики дождя [5]. Если клей недостаточно эластичный, дает большую усадку при полимеризации или его температурный коэффициент линейного расширения сильно отличается от соответствующего коэффициента стекла, то это может рано или поздно привести к образованию трещин в ветровом стекле. Третья возможная причина возникновения монтажных напряжений – постоянное давление на кромку стекла выступа обрамления кузова твердого инородного тела (например, застрявшего осколка стекла) или неправильно установленного датчика.

На практике может встретиться случай, когда остекление было разрушено **в результате его отжима за край** отверткой, фомкой или другим подобным инструментом. При таком воздействии на кромку остекления обычно образуются чешуеобразные сколы со стороны воздействующего предмета (рис. 8), а также может образовываться описанный выше веер трещин.



Рис. 8. Образование сколов на кромке ветрового стекла при попытке его отжима

Термическое разрушение остекления от перепада температур (термошок, термоудар) обычно происходит при неравномерном распределении температур по поверхности или толщине изделия. Термостойкость обычного силикатного отожженного стекла составляет 90 °С, а при наличии дефектов кромки – не более 40 °С [6]. В ветровом стекле могут образоваться трещины, если, например, водитель в зимнее время года включает электрообогрев стекла или обдув стекла горячим воздухом или в летнее время, когда автомобиль, долго стоявший на солнце, заезжает на мойку и струи холодной воды омывают нагретое ветровое стекло.

Для такого типа разрушения характерными признаками являются: извилистая форма трещин, малое количество осколков (рис. 9), отсутствие ветвления трещин и видимого центра разрушения, зеркальная поверхность разлома стекла.

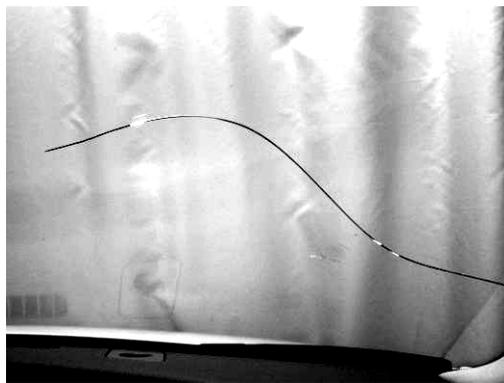


Рис. 9. Извилистая трещина в триплексе, возникшая в результате термоудара



При разрушении от термоудара в начальной точке разрушения трещина всегда перпендикулярна поверхности и торцу остекления.

На практике встречаются также случаи, когда взломщики в целях проникновения в салон или из хулиганских побуждений используют газовую горелку или сварочный аппарат. Для такой ситуации характерным признаком является пузырение клеивающего ПВБ-слоя в зоне высокотемпературного воздействия (рис. 10).

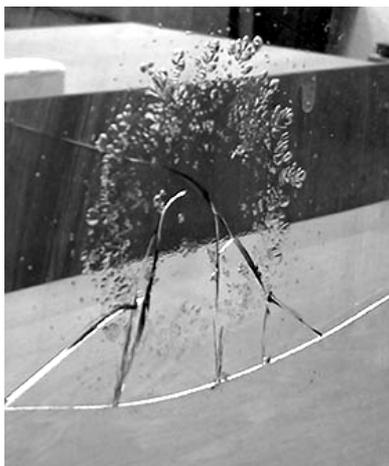


Рис. 10. Образование трещин и пузырения клеивающего ПВБ-слоя в ветровом стекле в месте воздействия пламени газовой горелки

При изучении картины разрушения остекления иногда можно установить **последовательность образования трещин и механизм разрушения в целом**. Рост трещины прекращается, когда ее вершина «упирается» в ранее образовавшуюся трещину. При этом обычно соблюдается упомянутый выше «принцип ортогональности». На схеме, изображенной на рис. 11, в качестве примера показано, что вначале образовались трещины от термоудара, обозначенные цифрой 1, а затем – трещины от удара камнем, обозначенные цифрой 2 (цифрой 3 обозначен центр удара).

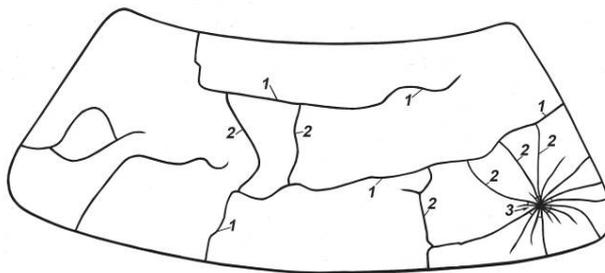


Рис. 11. Схема, показывающая последовательность образования трещин в ветровом стекле: цифрой 1 обозначены ранее образовавшиеся трещины от термоудара, цифрой 2 – позже образовавшиеся трещины от удара камнем, цифрой 3 – центр удара камнем



Саморазрушение ветровых стекол триплекс является редким явлением, поскольку для их изготовления используется только термически полированное стекло самого высокого качества, не имеющее твердых включений с иным температурным коэффициентом линейного расширения и существенных остаточных напряжений, характерных для закаленного стекла. Однако теоретически такое саморазрушение возможно при наличии на кромке достаточно крупных дефектов или точечных источников постоянно действующей механической нагрузки. Разрушение остекления под действием таких монтажных усталостных напряжений начинается внезапно в месте их концентрации, но распада триплекса на куски не происходит, так же как при механическом и температурном воздействии, поскольку осколки стекла прочно удерживаются склеивающим ПВБ-слоем.

Список источников

1. Солнцев С. С., Морозов Е. М. Разрушение стекла. Москва: Машиностроение, 1978. 152 с.
2. Казьмина О. В. Химическая технология стекла и ситаллов: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2011. С. 50-58.
3. Керкгоф Ф. Возникновение и распространение трещин в стекле // Виды брака в производстве стекла, *Glastechnische Fabrikationsfehler* / [X. Бах и др.]: под ред. Г. Ибсена-Марведеля и Р. Брюкнера; сокр. пер. с нем. Л. Г. Байбурт, Б. Г. Варшала, З. А. Михайловой-Богданской; под ред. Н. Н. Рохлина М.: Стройиздат, 1986. С. 574–594.
4. Suzuki Joji, Shirahashi Hidenori Studies on windshields glass fracture caused by flying objects // *Mech. Behav. Mater. Proc. Int. Conf. Kyoto*. 1971, Vol. 4. Kyoto, 1972. P. 495–503.
5. Александр Шубин. Дефекты лобового стекла автомобиля. URL: https://kuzov-media.ru/articles/kuzovnoy-tsekh/kuzovnoy-remont/avtomobilnoe_osteklenie_defekty_/?ysclid=lx3ksqhsf2534574404 (дата обращения: 07.06.2024).
6. Термошок стекла. URL: <https://www.solarblock.ru/termsoshock/?ysclid=lwuz5zczkk139211223> (дата обращения: 02.05.2024).

References

1. Solntsev S. S., Morozov E. M. Destruction of glass. M.: Mashinostroenie, 1978. 152 p.
2. Kazmina O. V. Chemical technology of glass and crystals: a textbook. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2011. 170 p.
3. Kerkhof F. The occurrence and spread of cracks in glass // Types of defects in glass production, *Glastechnische Fabrikationsfehler*/ [X. Bach et al.]: edited by G. Ibsen-Marvedel and R. Bruckner; short translation from German L. G. Bayburt, B. G. Varshala, Z. A. Mikhailova-Bogdanskaya; edited by N. N. Rokhlin M.: Stroyizdat, 1986. 648 p.
4. Suzuki Joji, Shirahashi Hidenori Studies on windshields glass fracture caused by flying objects // *Mech. Behav. Mater. Proc. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. Kyoto*. 1971. Vol. 4. Kyoto, 1972. P. 495–503.



5. Alexander Shubin. Car windshield defects. URL: https://kuzov-media.ru/articles/kuzovnoy-tsekh/kuzovnoy-remont/avtomobilnoe_osteklenie_defekty_/?ysclid=lx3ksqhsf2534574404 (accessed: 06.07.2024).

6. Thermoshock glass. URL: <https://www.solarblock.ru/termoshock/?ysclid=lwuz5zckk139211223> (accessed: 05.02.2024).

Чугунов Александр Михайлович,

доцент кафедры криминалистики
Саратовской государственной юридической академии,
кандидат технических наук, доцент;
docentAMCh@yandex.ru

Chugunov Alexander Mikhailovich,

Associate Professor of the Department of Criminalistics
Saratov State Law Academy,
candidate of technical sciences;
docentAMCh@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 04.07.2024; одобрена после рецензирования 12.07.2024; принята к публикации 03.09.2024.

The article was submitted 04.07.2024; approved after reviewing 12.07.2024; accepted for publication 03.09.2024.

* * *