

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ
АВТОМОБИЛЬНОГО СТЕКЛА ПРИ СЕРВИСНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ**
Simulation of brittle fracture automotive glass service in the examination

Ю. В. Панков, кандидат химических наук, доцент,

Л. А. Новопашин, кандидат технических наук, заведующий кафедрой,

О. М. Вырова, старший преподаватель,

А. А. Садов, аспирант

Уральского государственного аграрного университета

(г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42)

Рецензент: Е. Е. Баженов, доктор технических наук, профессор

Аннотация

В данной работе описаны процессы производства автомобильного стекла (триплекс). Пояснены рекомендуемые технологические процессы температуры закалки стекла для получения определенных свойств автомобильного стекла. Рассказывается о влиянии кристаллической решетки на структуру и свойства изделия. Анализируется структурное состояние стекла. Рассматривается возможная структура стекла и внутренняя энергия материала. Физико-механические свойства анализируемого изделия меняются от внешнего воздействия. При достаточном запасе прочности и надежности процесс внешнего физического воздействия не заканчивается процессом хрупкого разрушения. Существующие критерии хрупкого разрушения твердого тела – это энергетический (внутреннее объемное состояние) и силовой (внешнее локальное воздействие – локальное напряжение). Возникают признаки характерной картины разрушения изделия. По внешнему виду разрушения делается правильное суждение при сервисной экспертизе.

Ключевые слова: стекло, структура, моделирование, энергия, свойства, признаки, разрушение, энергетическое, силовое.

Summary

This work describes the process of production of automotive glass (triplex). The recommended processing temperature of the glass tempering process for obtaining certain properties for car-glass stably explains. It is told about the crystal lattice effects on the structure and properties of the product. It analyzes the structural condition of the glass. The possible structure of the glass and the internal energy of the material are analyzed. Physical and mechanical properties of the analyzed products vary from external influence. With a sufficient margin of safety and reliability, the process of external physical effects not ends the process of brittle fracture. Existing criteria for brittle solid body are energy (internal volume status) and power (external local exposure – local voltage). There are signs of a characteristic pattern of destruction products. Externally, the destruction of mind can make the right judgment in service examination.

Keywords: glass, structure, modeling, energy, properties, signs, destruction, energy, power.

Изделия, применяемые в жизненных ситуациях людей, являются материальными телами. Стекла автомобилей должны быть оптически прозрачными и обладать характерными физическими, химическими или механическими свойствами. Все эти свойства обязательно проявляются при эксплуатационных процессах применяемого изделия.

Имитационным моделированием является моделирование процессов жизни реального тела с многократным отслеживанием хода их протекания при различных условиях – техноло-

гических и эксплуатационных. При экспертном имитационном моделировании необходимо осуществить четыре информационных шага: функциональный, структурно-конструктивный, потоковый и размерный. Имитационное моделирование реального тела можно представить вербально, графически и аналитически.

Под словом «стекло» понимается в химическо-технологическом смысле простой или сложный сплав силикатов, каковые находятся в аморфном переохлажденном состоянии.

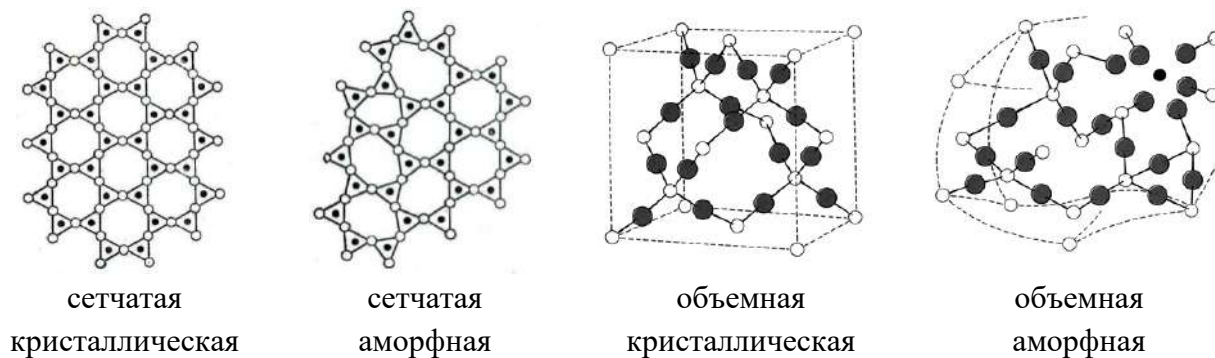


Рис. 1. Модели структуры стекла: кристаллическая и аморфная формы

При нагреве происходит поглощение тепловой энергии и преобразование поглощаемой энергии во внутреннюю потенциальную энергию с изменением структурного состояния до состояния расплава. При охлаждении идет обратный процесс – внутренняя энергия реализуется в поток «поля теплового излучения», и происходит преобразование из жидкости в вязкотекучее состояние и отвердевание. Понятно, что соединяясь хаотично в процессе отвердевания, атомные соединения не могут так легко вновь разъединиться, чтобы после бесчисленного повторения актов присоединения и отъединения закрепиться окончательно в термодинамически наиболее выгодных положениях (минимум потенциальной энергии), как это происходит при кристаллизации или аморфном отвердевании (рис. 1). Очень важно, чтобы условия окружающей среды и ее воздействия на стекло соответствовали всем характеристикам процесса изготовления и применения изделия. Нарушение технологических процессов при изготовлении стекла или процессов эксплуатации стекла в изделии приводит к разрушению. Если изделие обладает достаточным запасом прочности и надежности, процесс внешнего физического воздействия не закончится процессом хрупкого разрушения. Существуют два критерия хрупкого разрушения твердого тела: энергетический (внутреннее объемное состояние) и силовой (внешнее локальное воздействие – локальное напряжение).

Для плоского напряженного состояния освобождающаяся потенциальная энергия W при образовании в ней трещины длиной $2l$ по теории упругости определится по уравнению $W = \frac{\pi\sigma^2 \cdot l^2}{E}$. Можно утверждать, что чем больше освобождается потенциальной энергии, тем длиннее трещина. При энергетическом разрушении длина трещины растет в стекле, образуя замкнутую сетку новых поверхностей большой площади (рис. 2). Предполагается, что трещина растет с большой скоростью тогда, когда интенсивность освобождающейся внутренней энергии достигает критического значения G_c . Эта энергия определяется из условия равенства нулю производной от энергии ΔW по длине трещины l : $d\Delta W/dl = 4\gamma - G_c = 0$; тогда $G_c = 4\gamma$; где ΔW – энергия необходимая для распространения трещины; γ – удельная поверхностная энергия материала (энергия поверхностного натяжения).



Рис. 2. Фотографии энергетического хрупкого разрушения автомобильных стекол (экспертиза). По сетке трещин можно утверждать о большой потенциальной энергии, освободившейся при образовании новых поверхностей трещин

Накопление внутренней потенциальной энергии стекла происходит уже в технологических процессах. Законы термодинамики устанавливают связь между энергией системы и параметрами состояния внешней среды.

Возьмем расплав вещества (кремнезем) при некоторой температуре T_1 . Величина внутренней энергии U_1 является равновесной внутренней энергией расплава при температуре T_1 (рис. 3).

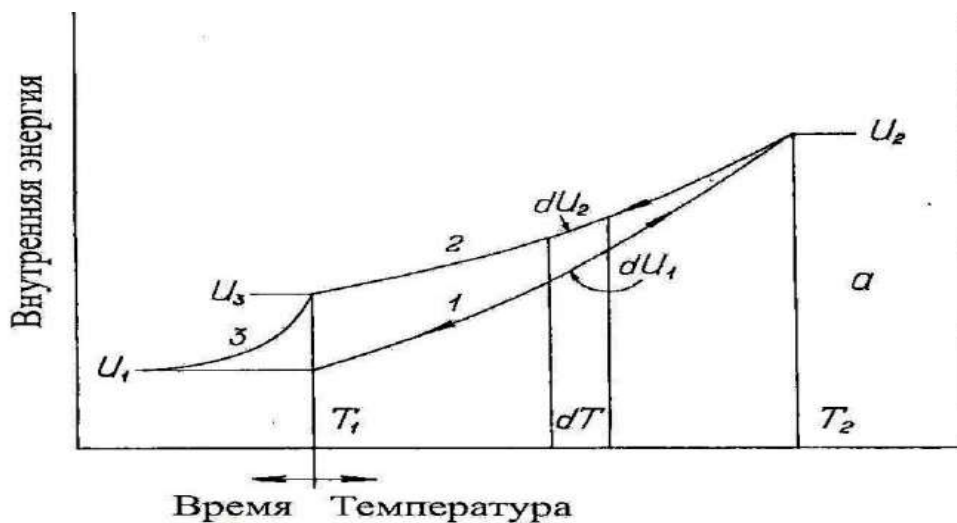


Рис. 3. Форма диаграммы процесса нагрева (линия 1) и процесс охлаждения (линия 2). Процесс охлаждения при большой скорости создает в стекле много внутренней энергии (напряжения). Медленное охлаждение (кривая 3) создает структуру кристаллическую, что нежелательно. Только быстрое охлаждение создает аморфное состояние материала

При очень медленном нагреве расплава до температуры T_2 (кривая 1 на рис. 3а) он будет при любой температуре в равновесном состоянии. Поэтому величина U_2 является равновесной внутренней энергией расплава при температуре T_2 . Если расплав теперь очень быстро охладить до температуры T_1 , его внутренняя энергия U_3 при температуре T_1 будет выше рав-

новесной U_1 (см. кривые 1 и 2). Это связано с тем, что внутренняя энергия расплава при его охлаждении уменьшается с конечной скоростью и поэтому кривая 2, относящаяся к большой скорости охлаждения, расположена выше кривой 1, отвечающей медленному охлаждению расплава [1]. При отвердевании в стекле остается много потенциальной энергии, которую снижают температурным режимом отпуска.

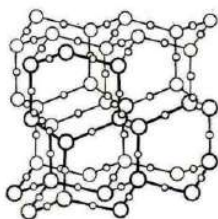
При хрупком силовом разрушении (рис. 4) трещина может развиваться при достижении коэффициента интенсивности напряжений $K_c = \text{const}$ своей критической величины. Для плоского напряженного состояния и плоской деформации освобождающаяся энергия определится: $G_c = K_c^2/E$.



Рис. 4. Фотография силового хрупкого разрушения стекла транспортного средства от удара камня. Импульс динамического удара создает дополнительную энергию разрушения

От локального динамического удара (удар маленького камня) микродеформация плоскости стекла получает напряжение материала. Напряжение концентрируется в точке удара (точечное напряжение, а не объемное), хрупкое тело увеличивает внутреннюю потенциальную энергию разрушения локально. Как результат локальной деформации – образование новых поверхностей трещины. Но форма трещины длинная линейная.

Для безопасного использования стекла в изделиях транспортных систем многие страны осуществляют остекление только безопасным при эксплуатации стеклом, которое получается при специальном режиме термической обработки и закалки. Автомобильное закаленное стекло – это структура тридимита (рис. 5а). Технологически правильное ведение процесса нагрева и охлаждения (закалки) определяет структуру тридимита [2]: от (1470°) до (870°C) – α -тридимит; от $(160^{\circ} \dots 120^{\circ}\text{C})$ – α -тридимит переходит в β -тридимит, затем в γ -тридимит. Получаемая структура соответствует закаленному стеклу с хрупким разрушением в форме гранул (рис. 5б).



а



б

Рис. 5. Хрупкое разрушение автомобильного стекла: а) структура тридимита; б) гранулы при разрушении

Структурные признаки стекла создаются в период технологии его получения [2]. Соответствие между структурой и свойствами – это объективный закон, который проявляется через ряд закономерностей физики материального мира. Для экспертизы структурные признаки и свойства стекла в различных условиях внешнего воздействия уже получены раньше путем экспериментальных исследований (рис. 6) и занесены в справочники. Поэтому эксперт, исследуя разрушение автомобильного стекла, умозрительно создает имитационную модель изделия, учитывая экспериментальные исследования в заключительном суждении.

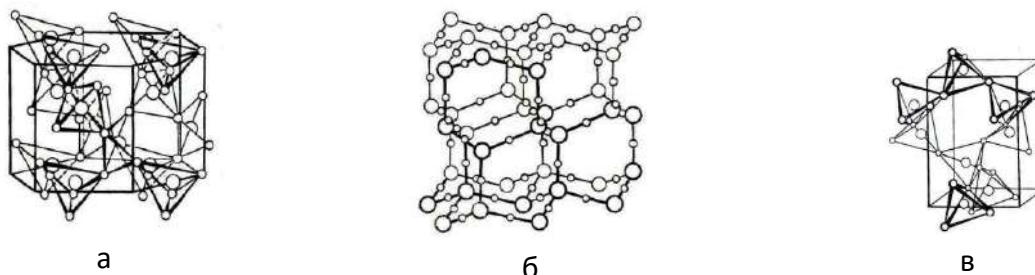


Рис. 6. Структуры кремнезема – стекла в зависимости от температуры состояния:
 а) β – кварц; кристаллический, область температур (5730) – α -кварц переходит в β -кварц;
 б) α -тридимит, область температур от (8700) до (14700); в) α -кристобалит, область температур от (14700) до температуры плавления (17100)

Определяющий элемент суждения при построении имитационной модели в цепочке познания – это изготовление изделия. Синтез материала с необходимыми для изделия свойствами – правильное рецептурное решение и оптимальное управление энергетическими потоками в выбранном способе производства технологического процесса плавления и процесса закалки (рис. 7) в режиме линии охлаждения тридимита.

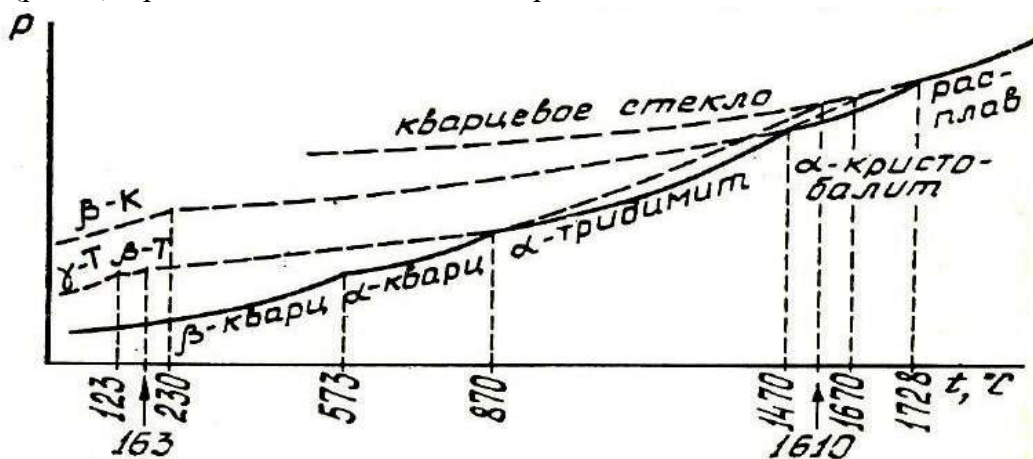


Рис. 7. Диаграмма структурного состояния кремнезема в процессе нагрева и охлаждения

Опыт эксплуатации реальных деталей показывает, что разрушение, состоящее из зарождения и развития трещины, возникает задолго до исчерпания несущей способности и достижения максимальной величины нагрузки, выдерживаемой деталью. Зачастую длительность процесса разрушения в результате роста трещины от начала ее возникновения до полного разрушения занимает до 90 % и более времени жизни изделия. При этом прочность материала детали изделия до конца не используется.

Библиографический список

1. Петер Булер. Физико-химическая термодинамика вещества. СПб. : Янус, 2001. 192 с.

2. *Стрелов К. К., Иванова А. В.* Кристаллохимия силикатов и тугоплавких оксидов : учеб. пособие. Свердловск : Изд. УПИ им. С. М. Кирова, 1984. 88 с.