

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039326**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.01.13

(51) Int. Cl. *E06B 3/66* (2006.01)
E06B 3/663 (2006.01)

(21) Номер заявки
202092785

(22) Дата подачи заявки
2019.05.22

(54) ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВАКУУМНЫЙ ИЗОЛЯЦИОННЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ

(31) **18174308.9**

(56) DE-U1-202011101242
WO-A1-2016089961
US-B1-9863184

(32) **2018.05.25**

(33) **EP**

(43) **2021.02.28**

(86) **PCT/EP2019/063196**

(87) **WO 2019/224238 2019.11.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АГК ГЛАСС ЮРОП (BE); АГК ИНК.
(JP); АГК ФЛЭТ ГЛАСС НОРС
АМЕРИКА, ИНК. (US); АГК ВИДРОС
ДО БРАЗИЛ ЛТДА (BR)**

(72) Изобретатель:
**Бен Град Абдерразак, Жанфилс
Жульен (BE), Шнайдер Пьер (FR)**

(74) Представитель:
Квашнин В.П. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к вакуумному изоляционному стеклопакету (VIG) (1), содержащему плоскую зону и содержащему первую стеклянную панель (1a) и вторую стеклянную панель (1b), к отдельным распоркам (Pi), распределенных по плоской зоне, расположенных между первой и второй стеклянными панелями и поддерживающих расстояние между первой и второй стеклянными панелями, где $k \in \mathbb{N}$ и $k > 8$, и периферийное скрепляющее уплотнение (4), герметично уплотняющее расстояние между первой и второй стеклянными панелями, определяя внутренний объем V, заключенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный внутренним периметром периферийного скрепляющего уплотнения, определяющим плоскую зону, причем внутренний периметр имеет по существу прямоугольную геометрическую форму, проходящую по длине L вдоль продольной оси X1 и по ширине W вдоль поперечной оси X2, перпендикулярной продольной оси X1, причем $L \geq W$, при этом внутренний объем находится под вакуумом. Вместо компонования в соответствии с регулярной решеткой отдельные распорки компонуются в соответствии с линиями поля напряжений комбинации, вызываемых атмосферным давлением напряжений σ_p , приложенных за счет атмосферного давления к поверхности вакуумного изоляционного остекления, и тепловых напряжений σ_t , возникающих в результате разности температур между внешней и внутренней средами. Такое новое распределение отдельных распорок придает VIG высокую механическую стойкость благодаря их концентрациям в стратегических областях с низкой теплопроводностью вследствие меньшего количества используемых отдельных распорок.

039326
B1

039326
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к вакуумному изоляционному стеклопакету (VIG), обладающему особенно хорошими теплоизоляционными свойствами. Уменьшено количество отдельных распорок, используемых для удерживания первой стеклянной панели на расстоянии от второй стеклянной панели, и их распределение по поверхности VIG оптимизировано для улучшения его теплоизоляционных характеристик и для обеспечения механической устойчивости даже тогда, когда VIG подвергается действию большой разности температур между внутренней и внешней средами.

Уровень техники

Вакуумный изоляционный стеклопакет обычно содержит два расположенных на расстоянии листа, или панели, из стекла, содержащих расположенный между ними "вакуум", т.е. область низкого давления с давлением, которое ниже атмосферного давления. Эти листы соединены друг с другом периферийным скрепляющим уплотнением и решеткой опорных отдельных распорок, также обозначаемых как распорки или опоры, которые удерживают указанные листы на определенном расстоянии друг от друга, обычно в диапазоне от 50 до 1000 мкм, предпочтительно от 500 до 500 мкм и более предпочтительно от 50 до 150 мкм.

При конструировании и изготовлении вакуумных окон низкого давления существуют несколько трудностей, требующих решения. Например, для достижения низкого уровня вакуума и для его поддержания в течение длительного промежутка времени необходимо создать уплотнение по периметру окна с использованием материалов, обладающих чрезвычайно низкой проницаемостью для газов и пренебрежимо малым газовыделением в течение длительных промежутков времени. В дополнение для обеспечения механической прочности, достаточной для выдерживания атмосферного давления, с одновременным удерживанием панелей из стекла на расстоянии друг от друга между листами стекла необходимо предусмотреть решетку отдельных распорок.

В VIG первая стеклянная панель содержит внутреннюю поверхность и внешнюю поверхность. Вторая стеклянная панель содержит внутреннюю поверхность и внешнюю поверхность. Внутренние поверхности обращены к внутреннему объему VIG и находятся в контакте с распорками. Внешние поверхности обращены наружу VIG.

Стойкость VIG к нагрузкам, которым он подвергается в ходе срока своей службы, является существенным требованием, которое обязательно должно удовлетворяться. За исключением случайных нагрузок, таких как удары, VIG главным образом подвергается действию нагрузок двух типов: нагрузке атмосферного давления, которая обуславливает вызываемые атмосферным давлением напряжения σ_p , и вызываемой тепловым расширением нагрузке, причиной которой является разность температур по толщине VIG между наружными поверхностями первой и второй стеклянных панелей (например, между внутренней и внешней средами или между холодным помещением и умеренно нагретым помещением), которая порождает тепловые напряжения σ_t на поверхностях указанных стеклянных панелей.

Для цели настоящего изобретения, связанной с конструированием VIG с хорошими теплоизоляционными свойствами, были учтены только напряжения растяжения на поверхностях стеклянных панелей. Действительно, как известно специалистам в данной области техники, напряжения растяжения являются главной причиной образования трещин в стеклянных панелях, которые в конечном итоге приводят к возникновению места разрушения. Более того учитываются лишь напряжения растяжения на внешних поверхностях. Действительно внутренний объем VIG находится под вакуумом и, следовательно, по существу не содержит воды. Специалистам в данной области техники хорошо известно, что внутренние поверхности VIG, так как они не подвергаются действию влаги или водяного пара, поэтому существенно более устойчивы механически, чем наружные поверхности.

Вызываемое атмосферным давлением напряжение.

Вызываемые атмосферным давлением напряжения являются результатом приложения равномерного давления приблизительно 10^5 Па (атмосферного давления) к внешним поверхностям стеклянных панелей, составляющих VIG, над отдельными распорками, поскольку внутренние поверхности панелей подвергаются действию вакуума, тогда как внешние поверхности панелей подвергаются действию атмосферного давления, изгибающего листы в направлении друг друга. Наличие отдельных распорок, разделяющих две стеклянные панели, однако, препятствует контакту двух стеклянных панелей, но вызывает постоянные напряжения растяжения на внешних поверхностях стеклянных панелей над каждой отдельной распоркой. Вызываемое атмосферным давлением напряжение σ_{p_i} , создаваемое над отдельной распоркой P_i на внешней поверхности стеклянной панели, хорошо известно, и для квадратной решетки отдельных распорок, отделенных одна от другой шагом λ , это напряжение можно охарактеризовать выражением

$$\sigma_p = 0,11\lambda^2/d^2 \text{ [МПа]},$$

где d - толщина стеклянной панели.

Например, вызываемые атмосферным давлением напряжения (напряжения растяжения), приложенные на внешних поверхностях VIG, который состоит из первой и второй стеклянных панелей толщиной $d=5$ мм и отдельных распорок, скомпонованных в квадратной решетке с шагом $\lambda=30$ мм, могут иметь

значение порядка 4 МПа. Распределение вызываемых атмосферным давлением напряжений σ_{r1} состоит из отдельных зон, расположенных над каждой распоркой. Из-за того что количество распорок на единицу площади является довольно большим, а также для упрощения расчетов и представлений, распределение вызываемых атмосферным давлением напряжений σ_{r1} в данном документе рассматривается как непрерывное распределение вызываемых атмосферным давлением напряжений σ_r . Например, VIG размера 1000×1000 мм с распорками, скомпонованными в квадратной решетке с шагом $\lambda=20$ мм, содержит $k=2500$ распорок.

Из уравнения для σ_r можно увидеть, что вызываемое атмосферным давлением напряжение, создаваемое над отдельной распоркой, уменьшается при уменьшении шага λ или, иными словами, при увеличении количества отдельных распорок. Однако каждая отдельная распорка образует тепловой мост между первой и второй стеклянными панелями. Даже если отдельные распорки выполнены из материалов с низкой проводимостью, теплопроводность через отдельные распорки всегда выше, чем через вакуумный зазор. Поэтому увеличение количества отдельных распорок уменьшает теплоизоляцию VIG.

Строго говоря, "шаг λ " применим только для характеристики квадратных решеток отдельных распорок. Для лаконичности определение "шага λ " в настоящем документе распространено на любую компоновку распорок как кратчайшее расстояние, отделяющее данную распорку от любой из соседних с ней распорок. Данное "неофициальное" определение учитывает исходное определение, применимое к квадратным решеткам, и позволяет по меньшей мере частично охарактеризовать любую компоновку отдельных распорок.

Вызванное тепловое напряжение.

Вызванные тепловые напряжения возникают, как только появляется разность температур между температурой T1 внешней поверхности первой стеклянной панели и температурой T2 внешней поверхности второй стеклянной панели, если первая и вторая стеклянные панели не могут свободно перемещаться одна относительно другой, например, из-за периферийного скрепляющего уплотнения (4) или по причине фиксации периметра VIG рамой. Тепловые напряжения увеличиваются с увеличением разностей между температурами T1 и T2. Тепловые напряжения σ_t могут быть вызваны на стеклянных панелях, например, тогда, когда VIG подвергается действию сильных разностей температур между внутренним и внешним пространствами, обычно тогда, когда VIG отделяет внутреннюю среду от внешней среды. В наиболее жестких условиях разность между внутренней и внешней температурами может достигать 40°C и более. При подвергании действию разных температур две стеклянные панели расширяются по-разному. Так как они не могут свободно перемещаться одна относительно другой из-за, с одной стороны, периферийного скрепляющего уплотнения и, с другой стороны, из-за рамы, фиксирующей VIG, разные тепловые расширения двух стеклянных панелей VIG изгибают панели и таким образом создают напряжения. В отличие от вызываемого атмосферным давлением напряжения для характеристики тепловых напряжений σ_t на внешних поверхностях VIG отсутствует аналитическое выражение и они не зависят от количества и компоновки отдельных распорок. В продолжение тепловые напряжения σ_t относятся к напряжениям растяжения, вызванным температурным градиентом на внешней поверхности первой панели, подвергаемой действию высокой температуры, при этом температурный градиент создается при подвергании первой панели VIG действию высокой температуры и второй панели действию низкой температуры.

Отдельные распорки должны быть распределены по внутренним поверхностям стеклянных панелей, составляющих VIG, для обеспечения механической устойчивости по отношению к по меньшей мере вызываемой атмосферным давлением нагрузке. Большинство VIG к настоящему времени содержат отдельные распорки, распределенные в соответствии с периодическими схемами, обычно с квадратной, центрированной квадратной или (центрированной) шестиугольной схемами. Однако тепловые напряжения, складывающиеся с вызываемыми атмосферным давлением напряжениями, не распределяются по плоской поверхности равномерно. Следовательно, распределение отдельных распорок в соответствии с регулярной периодической схемой может не являться оптимальной возможностью.

В документе DE 202011101242 U1 описан VIG с распределением скомпонованных по (центрированной) шестиугольной схеме распорок, проходящих по вьющейся внутрь эллиптической спирали. Данная компоновка описана как приблизительно следующая схеме поля напряжений, создаваемого сильной нагрузкой, приложенной к центру остекления. Важным является усиление краев распорками, скомпонованными по центрированной шестиугольной схеме, тогда как в центральной области вакуумного изоляционного остекления отдельные распорки скомпонованы по шестиугольной (нецентрированной) схеме. Распределение отдельных распорок, описанное в указанной полезной модели, как представляется, не следует схеме полей тепловых напряжений.

Как обсуждено выше, отдельные распорки ухудшают тепловые свойства VIG, так как они образуют столько тепловых мостов между двумя стеклянными панелями, сколько имеется распорок. Поэтому желательно уменьшить количество отдельных распорок для улучшения теплоизоляции и оптимизировать их распределение по поверхности вакуумного изоляционного остекления для обеспечения механической устойчивости. В настоящем изобретении предлагается согласовать распределение отдельных распорок с

распределением тепловых напряжений по площади вакуумного изоляционного остекления. С этой целью распределение тепловых напряжений было численно охарактеризовано при помощи моделирования по методу конечных элементов (fem) для проведения различий между зонами, подвергнутыми действию более высоких уровней напряжения, и зонами, подвергнутыми действию более низких уровней напряжения. Этот и другие аспекты настоящего изобретения более подробно описаны в следующих разделах.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение определяется независимыми пунктами приложенной формулы изобретения. Зависимые пункты определяют предпочтительные варианты осуществления. В частности, настоящее изобретение относится к вакуумному изоляционному стеклопакету (VIG), содержащему плоскую зону и содержащему

(a) первую стеклянную панель и вторую стеклянную панель;

(b) к отдельных распорок (P_i), распределенных по плоской зоне, расположенных между первой и второй стеклянными панелями и поддерживающих расстояние между первой и второй стеклянными панелями, причем каждая из указанных отдельных распорок (P_i) определяет ячейку (R_i), имеющую площадь (A_i) ячейки и образующую в комбинации с ячейками, связанными со всеми отдельными распорками, мозаику Вороного, характеризующую распределением площадей ячеек, где $k \in \mathbb{N}$ и $k > 8$;

(c) периферийное уплотнение, герметично уплотняющее расстояние между первой и второй стеклянными панелями, определяя внутренний объем V , заключенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный внутренним периметром периферийного скрепляющего уплотнения, определяющим плоскую зону, причем внутренний периметр имеет по существу прямоугольную геометрическую форму, проходящую по длине L вдоль продольной оси X_1 и по ширине W вдоль поперечной оси X_2 , перпендикулярной продольной оси X_1 , причем $L \geq W$, при этом внутренний объем находится под вакуумом.

Плоская зона разделена следующим образом:

четыре угловые области (B), каждая из которых имеет геометрическую форму четверти круга с радиусом R_b , который меньше, чем $W/2$, и каждая из которых центрирована на углу прямоугольного внутреннего периметра периферийного скрепляющего уплотнения; и

дополнительная область (A), которая охватывает плоскую зону за исключением четырех угловых зон и которая сама разделена на

первую область (AL) в виде продольной полосы, проходящую между первой и второй угловыми областями, и вторую область (AL) в виде продольной полосы, проходящую между третьей и четвертой угловыми областями, причем каждая область в виде продольной полосы проходит вдоль продольной оси X_1 смежно с продольным краем плоской зоны и имеет ширину, измеренную от продольного края вдоль поперечной оси X_2 , равную $0,1W$,

первую область (AW) в виде поперечной полосы, проходящую между первой и третьей угловыми областями, и вторую область (AW) в виде поперечной полосы, проходящую между второй и четвертой угловыми областями, причем каждая область в виде поперечной полосы проходит вдоль поперечной оси X_2 смежно с поперечным краем плоской зоны и имеет ширину, измеренную от поперечного края вдоль продольной оси X_1 , равную $0,1W$,

центральную область (AC), охватывающую зону дополнительной области (A) за исключением первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос.

10-й процентиль S_{B10} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B), меньше 10-х процентилей S_{AC10} , и S_{AL10} , и/или S_{AW10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), и в каждой из первой и второй областей (AL) в виде продольных полос, и/или в каждой из первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос соответственно, при этом значения S_{B10} , S_{AL10} и S_{AW10} определены без учета площадей ячеек, представляющих собой все ячейки, смежные с внутренним периметром.

10-й процентиль S_{AC10} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), должен быть больше 10-х процентилей S_{AL10} и S_{AW10} первых и вторых областей (AL , AW) в виде продольных и поперечных полос или равен им.

Ячейка (R_i) заключена в области (AC , AL , AW , B),

если соответствующая отдельная распорка (P_i) содержится внутри указанной области, или

в случае если соответствующая отдельная распорка находится на пересечении между двумя областями (AC , AL , AW , B), ячейка (R_i) заключена в области, содержащей наибольшую долю площади (A_i) ячейки, и

в случае если соответствующая отдельная распорка находится на пересечении между двумя областями (AC , AL , AW , B), а площадь ячейки равномерно распределена между двумя областями, указанная площадь ячейки не учитывается для определения 10-х процентилей S_{B10} , S_{AC10} , S_{AL10} и S_{AW10} .

В предпочтительном варианте осуществления площади ячеек, представляющих собой все ячейки,

расположенные в каждой из четырех угловых областей (B), которые являются смежными с внутренним периметром, меньше площадей ячеек, представляющих собой все ячейки, непосредственно смежные с ними, или равны им. В зависимости от типа рамы, несущей вакуумное изоляционное остекление, высокие тепловые напряжения могут сосредотачиваться смежно с краями угловых областей. Уменьшение площадей ячеек в этих областях освобождает стеклянные панели от части вызываемых атмосферным давлением напряжений.

Так как тепловые напряжения могут быть существенно ниже в центральной области (AC), чем в угловых областях (B), предпочтительно, что 90-й процентиль S_{AC90} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), больше, чем m , умноженное на 10-й процентиль S_{B10} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B) ($S_{AC90} > mS_{B10}$), где $m \geq 1,6$, предпочтительно $m \geq 1,8$, более предпочтительно $m \geq 2,0$.

Значение R_b фактически зависит от уровня теплового напряжения, ожидаемого в ходе срока службы вакуумного изоляционного остекления. Для вакуумного изоляционного остекления, подлежащего воздействию сильной разности температур между внутренней и внешней средами, угловая область с высоким уровнем теплового напряжения будет иметь большую ширину, что приводит к большему значению R_b . На практике предпочтительно, что R_b составляет от 20 до 40% ширины W , обычно $30 \pm 5\%$ ширины W , и может составлять от 15 до 35% длины L . Что касается абсолютных размеров, R_b может составлять от 80 до 400 мм, более предпочтительно от 100 до 300 мм.

10-й процентиль S_{B10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в угловых областях (B), предпочтительно составляет от 20 до 5000 мм², предпочтительно от 25 до 3600 мм², более предпочтительно от 100 до 2500 мм², наиболее предпочтительно от 150 до 900 мм². Для сравнения 10-й процентиль S_{AC10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (C), предпочтительно составляет от 50 до 9000 мм², предпочтительно от 100 до 7200 мм², более предпочтительно от 400 до 5000 мм², наиболее предпочтительно от 500 до 1800 мм².

Так как тепловые напряжения выше на краях VIG, чем в центральной области, 90-е процентиля S_{AL90} и S_{AW90} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и/или в каждой из первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос соответственно, предпочтительно меньше 90-го процентилля S_{AC90} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC).

Площади (A_i) ячеек, пересекающие диагональ плоской зоны, предпочтительно монотонно увеличиваются от угла к центру плоской зоны, необязательно включая одно или несколько плато постоянных значений, не учитывая ячейки, смежные с краем плоской зоны.

Настоящее изобретение также относится к способу изготовления вакуумного изоляционного стеклопакета по любому из предыдущих пунктов, включающему следующие этапы:

предоставление первой и второй стеклянных панелей (1a, 1b) с известными механическими и тепловыми свойствами и с заданной толщиной d ;

расчет максимальной площади A_{i_max} ячейки Вороного для получения максимально допустимого значения вызываемого атмосферным давлением напряжения, которое может выдержать каждая стеклянная панель VIG, например, с использованием уравнения

$$\sigma_p = 0,11 A_{i_max} / d_j^2 \text{ [МПа]},$$

предложенного авторами настоящего изобретения, которое аппроксимирует вызываемое атмосферным давлением напряжение, создаваемое над отдельной распоркой, на основе площади ячейки Вороного указанной отдельной распорки и которое является применимым к любому типу компоновки отдельных распорок, где d_j - толщина первой или второй стеклянной панели ($j=1$ или 2). Для компоновки в виде квадратной решетки отдельных распорок площадь ячейки Вороного $A_i = \lambda^2$, где λ - шаг. Замена A_{i_max} в указанном уравнении на $\lambda \max^2$ дает $\sigma_p = 0,11 \lambda \max^2 / d^2$ [МПа], как предложено в литературе;

определение распределения отдельных распорок, характеризуемого максимальной площадью A_{i_max} ячеек в центральной области (AC), и определение 10-го процентилля S_{AC10} этого распределения площадей ячеек отдельных распорок в центральной области (AC);

определение распределения отдельных распорок в первой и второй продольных областях (AL) и в первой и второй поперечных областях (AW), характеризуемого 10-ми процентилями S_{AL10} , S_{AW10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос, которые меньше 10-го процентилля S_{AC10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC), или равны ему;

определение распределения отдельных распорок в четырех угловых областях (B), характеризуемого 10-м процентилем S_{B10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в каждой угловой области (B), который меньше 10-го процентилля S_{AC10} , S_{AL10} и S_{AW10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC) и в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос;

помещение k отдельных распорок на поверхность первой стеклянной панели (1a) согласно выше-

упомянутому распределению отдельных распорок и наложение периферийного скрепляющего уплотнения (4) поверх указанной поверхности с определением периметра прямоугольной плоской зоны;

присоединение второй стеклянной панели (1b) поверх к отдельных распорок и периферийного скрепляющего уплотнения (4), оставляя зазор, расположенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный периферийным уплотнением;

откачивание газа из зазора между первой и второй стеклянными панелями для достижения давления ниже 1 мбар,

при этом S_{B10} определяют без учета ячеек, смежных с краем прямоугольной плоской зоны, и при этом S_{AL10} и S_{AW10} определяют без учета ячеек, смежных с краем прямоугольной плоской зоны.

Способ может дополнительно включать следующие этапы:

определение 90-го перцентиля S_{AC90} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC); и

определение распределения отдельных распорок в четырех угловых областях (B), характеризуемого 10-м перцентилем S_{B10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в каждой угловой области (B), который меньше, чем частное $1/m$, умноженное на 90-й перцентиль S_{AC90} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC), или равен ему, где $m \geq 1,6$, предпочтительно $m \geq 1,8$, более предпочтительно $m \geq 2,0$.

Краткое описание фигур

Для более полного понимания сущности настоящего изобретения делается отсылка к следующему подробному описанию в сочетании с сопроводительными графическими материалами, на которых

на фиг. 1 показан вакуумный изоляционный стеклопакет (VIG) (a) в виде спереди, (b) с увеличением фиг. 1(a) в углу VIG и (c) в поперечном разрезе;

на фиг. 2 показан пример распределения тепловых напряжений;

на фиг. 3 показаны примеры мозаик Вороного для (a) центрированной шестиугольной решетки отдельных распорок и (b) случайного распределения отдельных распорок;

на фиг. 4 показано деление плоской зоны, используемое для характеристики распределения площадей ячеек VIG согласно настоящему изобретению, на четыре угловые области (B), центральную область (AC) и области (AL, AW) продольных и поперечных полос;

на фиг. 5 показан пример VIG, содержащего распределение отдельных распорок согласно настоящему изобретению (a) в виде спереди и (b) в таком же виде с соответствующими ячейками Вороного и областями;

на фиг. 6 показано распределение площадей ячеек с 10-м, 50-м и 90-м перцентилем, указанными на графике;

на фиг. 7 представлена табличная запись геометрических форм различных ячеек в каждой области, их площадей (A_i) поверхности, их ранга i в упорядоченном списке значений, значение n -го ранга, соответствующего 10 и 90-му перцентилем, и значения площадей 10-го и 90-го перцентилей;

на фиг. 8 показано распределение площадей ячеек областей B, AC и AL для VIG по фиг. 5;

на фиг. 9 показан график площадей A_i ячеек для ячеек Вороного, пересекающих диагональ D;

на фиг. 10 показаны четыре варианта осуществления распределений распорок согласно настоящему изобретению;

на фиг. 11 представлены сравнения напряжений, приложенных по диагонали VIG (a) согласно настоящему изобретению, (b) согласно известному уровню техники, (c) согласно альтернативному варианту осуществления настоящего изобретения.

Подробное описание изобретения

Настоящее изобретение относится к вакуумному изоляционному стеклопакету (VIG), содержащему плоскую зону и содержащему первую стеклянную панель (1a) и вторую стеклянную панель (1b), как проиллюстрировано на фиг. 1(c). k отдельных распорок (P_i) распределены по плоской зоне, расположены между первой и второй стеклянными панелями и поддерживают расстояние между первой и второй стеклянными панелями (1a, 1b), где $k \in \mathbb{N}$ и $k > 8$, предпочтительно $k > 100$, более предпочтительно $k > 400$. На фиг. 1(a) показано центрированное шестиугольное распределение отдельных распорок VIG согласно известному уровню техники. Как обсуждено выше, шаг λ в данном документе определяется как кратчайшее расстояние между двумя смежными отдельными распорками.

Периферийное скрепляющее уплотнение (4) герметично уплотняет расстояние между первой и второй стеклянными панелями, определяя внутренний объем V , заключенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный внутренним периметром периферийного скрепляющего уплотнения, определяющим плоскую зону. Внутренний периметр имеет по существу прямоугольную геометрическую форму, проходящую по длине L вдоль продольной оси $X1$ и по ширине W вдоль поперечной оси $X2$, перпендикулярной продольной оси $X1$, причем $L \geq W$, при этом внутренний объем находится под вакуумом. На практике, как проиллюстрировано на фиг. 1(b), периферийное скрепляющее уплотнение может не образовывать отчетливые прямые углы на углах, так как оно может образовывать радиус кривизны. Внутренний периметр и плоская зона рассматриваются как вписанные в прямоугольник с углами (cs) 90° (ср. белая

пунктирная линия в углу (cs) по фиг 1(b)). В продолжение при геометрической отсылке к прямоугольнику, связанному с плоской зоной, такой как угол (cs) или диагональ (D), такая отсылка делается в отношении указанного прямоугольника, в который вписана плоская зона.

Размеры VIG согласно настоящему изобретению включают значения длины L, предпочтительно составляющие от 1000 до 5000 мм, предпочтительно от 2000 до 4000 мм, и значения ширины W, составляющие от 500 до 3000 мм, предпочтительно от 1000 до 2500 мм.

Распределение тепловых напряжений.

На фиг. 2 показано графическое представление распределения тепловых напряжений σ_t по четверти VIG, зафиксированного в деревянной раме и имеющего длину L и ширину W, причем $L=W=1000$ мм, образованного двумя стеклянными панелями толщиной 5 мм, подвергаемыми действию разности температур между внутренним и внешним пространствами в 40°C . На фиг. 2 представлено распределение напряжений растяжения, вызванных на внешней поверхности панели VIG, которая подвергается действию более высокой температуры. Уровни напряжений увеличиваются от белой зоны, соответствующей приблизительно 0 МПа, до самой темной зоны, соответствующей приблизительно 24 МПа. Эти данные являются оригинальными и представляют собой результат внутренней обработки авторами настоящего изобретения. Как обсуждено выше, для отдельных распорок, скомпонованных в квадратной решетке с шагом $\lambda=30$ мм, вызываемое атмосферным давлением напряжение σ_p может иметь значение порядка 4 МПа.

Деление плоской зоны.

Для отражения распределения напряжений плоскую зону можно разделить на несколько участков, включающих

четыре угловые области (B), каждая из которых имеет геометрическую форму четверти круга с радиусом R_b , который меньше чем $W/2$, и предпочтительно с радиусом R_b , который меньше чем $W/10$, и каждая из которых центрирована на углу прямоугольного внутреннего периметра периферийного скрепляющего уплотнения (4);

дополнительную область (A), охватывающую плоскую зону за исключением четырех угловых зон.

Дополнительную область (A) дополнительно делят на три подобласти, а именно:

первую область (AL) в виде продольной полосы, проходящую между первой и второй угловыми областями, и вторую область (AL) в виде продольной полосы, проходящую между третьей и четвертой угловыми областями, причем каждая область в виде продольной полосы проходит вдоль продольной оси X1 смежно с продольным краем плоской зоны и имеет ширину, измеренную от продольного края вдоль поперечной оси X2, равную $0,1W$;

первую область (AW) в виде поперечной полосы, проходящую между первой и третьей угловыми областями, и вторую область (AW) в виде поперечной полосы, проходящую между второй и четвертой угловыми областями, причем каждая область в виде поперечной полосы проходит вдоль поперечной оси X2 смежно с поперечным краем плоской зоны и имеет ширину, измеренную от поперечного края вдоль продольной оси X1, равную $0,1W$; и

центральную область (AC), охватывающую зону дополнительной области (A) за исключением первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос.

Мозаика Вороного.

Каждая отдельная распорка оказывает опорное воздействие на стеклянные панели в данной зоне влияния, ограниченной зонами влияния соседних отдельных распорок. Такую ситуацию можно описать с использованием ячеек Вороного, образующих мозаику Вороного. В математике мозаика, или диаграмма, Вороного представляет собой разбиение плоскости на области на основе расстояния до точек в конкретном подмножестве плоскости. Это множество точек образовано k отдельных распорок, распределенных по плоской зоне. Для каждой отдельной распорки имеется соответствующая область, состоящая из всех точек, более близких к данной отдельной распорке, чем к любой другой. Эти области называются "ячейками (R_i) Вороного", или просто "ячейками", имеющими площадь (A_i) ячейки, которая определяет зону влияния каждой отдельной распорки. Мозаика Вороного, образованная k ячеек, характеризуется распределением площадей ячеек. Площади (A_i) ячеек мозаики Вороного увеличиваются с увеличением количества k отдельных распорок на единицу площади. Например, первый VIG или первый участок VIG, содержащий количество k_1 отдельных распорок, которое меньше количества k_2 отдельных распорок второго VIG или второго участка VIG, характеризуется распределением площадей ячеек, имеющим большую среднюю площадь ячейки, чем во втором VIG или на втором участке VIG.

На фиг. 3 показаны два примера мозаик Вороного. На фиг. 3(a) проиллюстрирована мозаика Вороного решетки отдельных распорок, скомпонованных с регулярным шагом λ в соответствии с центрированным шестиугольным распределением. Все ячейки Вороного являются шестиугольными с одинаковыми размерами и с центрированной в них соответствующей отдельной распоркой. На фиг. 3(b) показана случайная компоновка отдельных распорок. Видно, что с данным распределением отдельных распорок любого типа можно связать одну и только одну мозаику Вороного.

Процентиль.

Как проиллюстрировано на фиг. 6, Р-й процентиль списка из N значений площадей ячеек, упорядоченного от наименьшего к наибольшему, в данном документе определяется как наименьшее значение в этом списке, для которого не более P% данных строго меньше указанного наименьшего значения и по меньшей мере P% из N значений площадей ячеек меньше этого наименьшего значения или равно ему, где P составляет от 0 до 100. Р-й процентиль упорядоченного списка из N значений площадей ячеек можно получить методом ближайшего ранга, который состоит в определении соответствующего ранга n для k упорядоченных значений по формуле $n = NP/100$. Если значение n, полученное по этой формуле, не является целым числом, то n округляют до ближайшего целого. Значение площади ячейки Р-го percentиля представляет собой значение, перечисленное в (округленном) n-м ранге упорядоченного списка из N значений площадей ячеек. Ясно, что при $N < 100$ возможно использование одного и того же значения для более чем одного percentиля. 50-й percentиль называется медианой, и 1-й и 100-й percentили определяются как наименьшее и наибольшее значения в упорядоченном списке соответственно.

Например, со ссылкой на фиг. 5(b) и табл. (a) по фиг. 7 в угловой области радиуса Rb заключено 12 ячеек Вороного. Имеются 11 ромбов, каждый из которых имеет площадь ячейки $A_i(B) = \frac{1}{2}\lambda^2$, где $i=1-11$, и одна ячейка имеет форму домика с площадью ячейки $A_{12}(B) = \frac{5}{8}\lambda^2$, где λ - шаг квадратной решетки распорок, присутствующих, например, в области (AL) в виде продольной полосы. 10-й percentиль этого списка из 12 значений, полученного методом ближайшего ранга, равен $A_1(B) = \frac{1}{2}\lambda^2$, что представляет собой значение площади, перечисленное в n-м ранге, где $n = NP/100 = 12 \times 10/100 = \text{округление}(1,2) = 1$. Аналогично 10-е percentили центральной области представляют собой значение площади, перечисленное при ранге $n=3$, которое равно $A_3(AC) = \lambda^2$. Одна ячейка Вороного области (AL) в виде продольной полосы имеет форму домика с площадью ячейки $A_1(AL) = \frac{3}{4}\lambda^2$, и 6 ячеек Вороного являются квадратными и имеют площадь $A_i(AL) = \lambda^2$, где $i=2-7$. Следовательно, 10-й percentиль области AL равен $\frac{3}{4}\lambda^2$. Все эти результаты сведены в табл. (a)-(c) по фиг. 7.

Распределение площадей ячеек.

Простым решением для повышения стойкости к атмосферному давлению VIG, выполненного из стеклянных панелей заданной толщины, является увеличение количества отдельных распорок (Pi). Однако увеличение количества отдельных распорок ухудшает теплоизоляционные свойства VIG. С целью уменьшения количества отдельных распорок, таким образом улучшения теплоизоляционных свойств VIG и в то же время оптимизации распределения отдельных распорок по плоской зоне для обеспечения механической стойкости к вызываемым атмосферным давлением напряжениям и к тепловым напряжениям в настоящем изобретении предложены следующие условия.

10-й percentиль S_{B10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B), меньше

10-х percentилей S_{AC10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), и

10-х percentилей S_{AL10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из первой и второй областей (AL) в виде продольных полос, и/или

10-х percentилей S_{AW10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос.

Значение 10-го percentиля S_{AC10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), больше 10-х percentилей S_{AL10} и S_{AW10} первых и вторых областей (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос или равно им.

Значения S_{B10} , S_{AL10} и S_{AW10} определены без учета площадей ячеек, представляющих собой все ячейки, смежные с внутренним периметром (ср. темные заштрихованные ячейки по краям четверти остекления, проиллюстрированные на фиг. 5(b)).

Ячейка (Ri) заключена в области (AC, AL, AW, B), если соответствующая отдельная распорка (Pi) содержится внутри указанной области, или,

в случае если соответствующая отдельная распорка находится на пересечении между двумя областями (AC, AL, AW, B), ячейка (Ri) заключена в области, содержащей наибольшую долю площади (Sk) ячейки, и,

в случае если соответствующая отдельная распорка находится на пересечении между двумя областями (AC, AL, AW, B), а площадь ячейки равномерно распределена между двумя областями, указанная площадь ячейки не учитывается для определения 10-х percentилей S_{B10} , S_{AC10} , S_{AL10} и S_{AW10} .

Площади ячеек, представляющих собой все ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B), которые являются смежными с внутренним периметром, меньше площадей ячеек, представляющих собой все ячейки, непосредственно смежные с ними, или равны им.

На фиг. 5(a) проиллюстрирован вариант осуществления настоящего изобретения, показывающий четверть VIG с определенным распределением распорок, характеризующимся меньшим шагом в углу, большим шагом в центральной зоне и промежуточным шагом между этими двумя зонами. Это распределение приблизительно соответствует распределению тепловых напряжений по плоской зоне, пример ко-

того проиллюстрирован на фиг. 2. Центральная область с наибольшим шагом между отдельными распорками должна иметь такие размеры, чтобы выдерживать в основном атмосферное давление, поскольку тепловые напряжения в этой области почти равны нулю (ср. фиг. 2). Наименьшие шаги сосредоточены в углах, потому что VIG должен выдерживать комбинацию вызываемых атмосферным давлением и тепловых напряжений большой величины в углах.

На фиг. 5(b) проиллюстрирован тот же VIG (его четверть) с тем же распределением отдельных распорок, что и на фиг. 5(a), с указанием угловой области (B), центральной области (AC) и областей (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос, а также ячеек Вороного отдельных распорок и диагонали D. На иллюстрации $R_b=0,25W$. На практике R_b может составлять от 20 до 40% ширины W , обычно $30\pm 5\%$ ширины W . По сравнению с длиной плоской зоны R_b может составлять от 15 до 35% длины L при $L\neq W$. Радиус R_b угловых областей предпочтительно составляет от 80 до 400 мм, более предпочтительно от 100 до 300 мм. Величина R_b сильно зависит от уровня тепловых напряжений, на которые VIG рассчитан, чтобы выдерживать их механически. При высоких требованиях к тепловому сопротивлению значение R_b увеличивается, тогда как при низких требованиях к тепловому сопротивлению значение R_b может уменьшаться.

На фиг. 8 проиллюстрированы распределения площадей ячеек вакуумного изоляционного остекления, проиллюстрированного на фиг. 5, в угловых областях (B) (=белые кружки и короткая пунктирная линия), центральной области (AC) (черные кружки и сплошная линия) и области (AL) в виде продольной полосы (белые квадраты и длинная пунктирная линия). На графике указаны значения 10-го и 90-го перцентилей площадей ячеек в указанных областях.

Отдельные распорки, учитываемые для определения 10-го перцентиля S_{B10} B-области, на фиг. 5(b) заштрихованы. Площади ячеек, представляющих собой все ячейки Вороного, которые являются смежными с внутренним периметром, не учитываются и обозначены на фиг. 5(b) темной заштрихованной зоной. В примере по фиг. 5 два типа ячеек Вороного рассматриваются только для определения 10-го перцентиля S_{B10} B-области: одиннадцать квадратных ячеек с площадью ячейки $A_i=1/2\lambda^2$ и одна ячейка в форме домика с площадью ячейки $A_i=5/8\lambda^2$, как указано в табл. (a) по фиг. 7. Как указано в таблице по фиг. 7 и проиллюстрировано на фиг. 8, 10-й перцентиль S_{B10} B-области в примере по фиг. 5 представляет собой $S_{B10}=1/2\lambda^2$. Меньший шаг, описанный выше со ссылкой на фиг. 5, между распорками, требуемыми в B-области, отображается низким значением 10-го перцентиля S_{B10} B-области по сравнению с остальной частью VIG (ср. фиг. 8).

Со ссылкой на фиг. 5(b) все ячейки Вороного области (AL) в виде продольной полосы, кроме одной, идентичны и являются квадратами с шагом λ , а одна ячейка, имеющая форму домика, имеет площадь ячейки $3/4\lambda^2$ (ср. горизонтальная пунктирная зона в верхнем ряду на фиг. 5(b)). 10-й перцентиль площадей ячеек в AL-области находится в ранге $n=1$ и, следовательно, $S_{AL10}=3/4\lambda^2$ (ср. табл. (b) по фиг. 7 и 8).

Как проиллюстрировано в табл. (c) по фиг. 7, центральная область (AC) содержит около 27 ячеек, причем более половины (18) представляют собой квадратные ячейки с площадью ячейки $A_i=\lambda^2$. Как указано в табл. (c) по фиг. 7, метод ближайшего ранга дает значение 10-го перцентиля центральной области как находящейся в ранге $n=3$, так что $S_{AC10}=\lambda^2$. 90-й перцентиль соответствует значению в ранге $n=25$, что дает $S_{AC90}=2\lambda^2$ (ср. табл. (c) по фиг. 7 и 8).

В таблицах по фиг. 7 представлены доли ячеек, потому что расчеты были сделаны на основе четверти VIG, представленной на фиг. 5, с ячейками, перекрывающимися с другими четвертями.

В предпочтительном варианте осуществления 90-й перцентиль S_{AC90} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), больше чем m , умноженное на 10-й перцентиль S_{AB10} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B) ($S_{AC90}>mS_{B10}$), где $m\geq 1,6$, предпочтительно $m\geq 1,8$, более предпочтительно $m\geq 2,0$. Значение отношения $m=S_{AC90}/S_{B10}$ должно отражать отношение $\sigma_{r,\max}(AC)/\sigma_{r,\min}(B)$ наибольшего вызываемого атмосферным давлением напряжения $\sigma_{r,\max}(AC)$, создаваемого над отдельными распорками в центральной области (AC) VIG (тепловое напряжение может быть приближено к нулю в центральной области) к наименьшему вызываемому атмосферным давлением напряжению $\sigma_{r,\min}(B)$, создаваемому над распорками в угловых областях (B) VIG. Значения вызываемого атмосферным давлением напряжения σ_r максимальны над распорками, расположенными в центральной области (AC), поскольку площади A_i ячеек Вороного, представляющих собой ячейки Вороного центральных зон, являются наибольшими в плоской зоне и в то же время являются самыми низкими в четырех угловых областях (B), потому что площади A_i ячеек Вороного, представляющих собой ячейки Вороного угловых областей, там самые маленькие. Напротив, как показано на фиг. 2, тепловые напряжения σ_t являются самыми высокими в угловых областях (B) и самыми низкими в центральной области (AC). Как может быть видно из табл. (a) и (c) по фиг. 7, значение отношения $m=S_{AC90}/S_{B10}$ для распределения отдельных распорок, проиллюстрированного на фиг. 5, равно $2\lambda/\lambda=2$.

Во многих случаях 10-й перцентиль S_{B10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, содержащиеся внутри угловой области (B), может составлять от 20 до 5000 мм², предпочтительно от 25

до 3600 мм², более предпочтительно от 100 до 2500 мм², наиболее предпочтительно от 150 до 900 мм². Чтобы лучше понять физический смысл таких значений площадей ячеек, если распорки скомпонованы в соответствии с квадратной решеткой, шаг λ , соответствующий указанным диапазонам площадей ячеек, будет составлять от 4,5 до 71 мм, предпочтительно от 5 до 60 мм, более предпочтительно от 10 до 50 мм, наиболее предпочтительно от 12 до 30 мм.

Комбинируемое напряжение $\sigma_{tot}=(\sigma_r+\sigma_t)$, создаваемое над каждой отдельной распоркой на стеклянной панели, составляющей VIG, складывается из суммы вызываемого атмосферным давлением напряжения σ_r и теплового напряжения σ_t . Как обсуждалось выше, вызываемое атмосферным давлением напряжение σ_r над заданной распоркой P_i может быть приблизительно равно $\sigma_r=0,11A_i/d_j^2$ [МПа] (или $\sigma_r=0,11\lambda/d_j^2$ [МПа] для квадратных решеток), где d_j - толщина первой или второй стеклянной панели ($j=1$ или 2). Тепловое напряжение следует тенденции, изображенной на фиг. 2. Стеклянная панель должна быть спроектирована так и иметь такие размеры, чтобы комбинируемое напряжение $\sigma_{tot}=(\sigma_r+\sigma_t)$ не превышало расчетное значение прочности на изгиб указанной стеклянной панели в любой точке. Расчетное значение прочности на изгиб стеклянной панели дает значение максимально допустимого напряжения растяжения, которое может выдерживать стеклянная панель.

Поскольку тепловые напряжения существенно увеличиваются в угловых областях (B) (ср. фиг. 2), комбинируемые напряжения $\sigma_{tot}=(\sigma_r+\sigma_t)$, создаваемые над каждой распоркой, значительно выше в угловых областях VIG, чем в других областях, в частности центральной области (AC). Изоляционные свойства VIG, состоящего из регулярной компоновки отдельных распорок в плоской зоне, могут быть улучшены путем удаления отдельных распорок в центральной области, где тепловые напряжения локально ниже, так что увеличение вызываемых атмосферным давлением напряжений в центральной области поддерживает комбинируемые напряжения $\sigma_{tot}=(\sigma_r+\sigma_t)$ значительно ниже расчетного значения прочности на изгиб стеклянных панелей. И наоборот, стеклянные панели, составляющие VIG, могут иметь такие размеры, чтобы получить значение комбинируемых напряжений в угловых областях (B), которое остается ниже, чем расчетное значение прочности на изгиб VIG. Поскольку вызываемое атмосферным давлением напряжение σ_r пропорционально площади A_i ячейки Вороного (т.е. пропорционально квадрату шага для квадратных решеток), вызываемые атмосферным давлением напряжения могут быть локально уменьшены за счет уменьшения площадей ячеек Вороного (или шага для квадратных решеток) в угловых областях. И наоборот, на фиг. 11 проиллюстрированы вызываемое атмосферным давлением напряжение σ_r (короткая пунктирная линия), тепловое напряжение σ_t (длинная пунктирная линия) и комбинируемое напряжение $\sigma_{tot}=(\sigma_r+\sigma_t)$ (сплошная линия) по диагонали (D) для (a) VIG согласно настоящему изобретению, имеющего площадь ячейки Вороного $A(B)=A_1$ в угловых областях и $A(AC)=2A_1$ в остальных областях, и (b) VIG согласно известному уровню техники (P.A.) с решеткой отдельных распорок, скомпонованных периодически по всей плоской зоне, характеризующейся площадью ячейки Вороного $A(b)=A_1$ по всей плоской зоне. На фиг. 11(c) показано VIG согласно настоящему изобретению, в котором площадь ячейки Вороного равна $A(B)=\frac{1}{2}A_1$ в угловых областях (B) и $A(AC)=A_1$ в центральной области.

Сравнивая фиг. 11(a) с фиг. 11(b), начиная с VIG известного уровня техники, разработанного для стойкости к максимальному общему напряжению σ_{max} , можно увидеть, что за счет увеличения площадей ячеек Вороного в центральной области согласно настоящему изобретению, где тепловые напряжения незначительны, VIG согласно настоящему изобретению выдерживает такое же максимальное напряжение, локализованное в угловых областях (B), что и VIG известного уровня техники, но с существенно меньшим количеством отдельных распорок, что, соответственно, повышает изоляционные свойства VIG.

Одновременно сравнивая фиг. 11(c) и фиг. 11(b), можно увидеть, что локальное увеличение количества отдельных распорок на единицу площади в угловых областях, т.е. локальное уменьшение площадей ячеек Вороного $A(B)$ до $\frac{1}{2}A_1$, локально снижает вызываемое атмосферным давлением напряжение в углах, которое пропорционально площадям A_i ячеек. Максимальное атмосферное давление σ_{max} , которому подвергается VIG, таким образом, ниже для VIG согласно настоящему изобретению (ср. фиг. 11(c)), чем для VIG известного уровня техники (ср. фиг. 11(b)). Это приводит к тому, что панели с меньшими значениями толщины могут использоваться для получения тех же изоляционных свойств в тех же тепловых условиях, что и VIG известного уровня техники.

На фиг. 11 показано, что VIG согласно настоящему изобретению имеет более высокие изоляционные свойства при такой же механической стойкости к комбинируемым вызываемым атмосферным давлением и тепловым напряжениям, чем VIG известного уровня техники, или одновременно может содержать более тонкие стеклянные панели для сравнимых изоляционных свойств, чем VIG известного уровня техники.

10-е процентиля S_{AL10} , S_{AW10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, содержащиеся внутри продольной или поперечной области (AL, AW), могут составлять от 25 до 9000 мм², предпочтительно от 36 до 7200 мм², более предпочтительно от 121 до 5000 мм². Чтобы лучше понять физический смысл таких значений площадей ячеек, если отдельные распорки скомпонованы в соответствии с квадратной решеткой, шаг λ , соответствующий указанным диапазонам площадей ячеек, будет составлять

от 5 до 95 мм, предпочтительно от 6 до 85 мм, более предпочтительно от 11 до 71 мм. Поскольку уровни комбинированных вызываемых атмосферным давлением и тепловых напряжений ниже в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос, чем в угловых областях, шаги между отдельными распорками в этих областях могут быть больше, чем в угловых зонах, и меньше шагов в центральной области (AC) или равны им.

10-е процентиля S_{AL10} , S_{AW10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, содержащиеся внутри продольной или поперечной области (AL, AW), предпочтительно меньше 10-го процентиля S_{AC10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, содержащиеся внутри центральной области (AC).

Предпочтительно, чтобы 90-е процентиля S_{AL90} и S_{AW90} площади ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и/или в каждой из первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос соответственно, были меньше 90-го процентиля S_{AC90} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC). Обращаясь к фиг. 2, можно увидеть, что уровни теплового напряжения по краям и вдали от углов (т.е. в областях AL и AW) явно ниже, чем в угловых областях (B), но все же выше, чем в центре вакуумного изоляционного остекления, определяющего центральную зону (AC). Это резко контрастирует со сведениями из документа DE 2020111242 U1, обсуждавшегося во введении, в котором накладывается более плотная решетка отдельных распорок (т.е. более низкие значения площадей A_i ячеек, представляющих собой соответствующие ячейки Вороного) по краям с центрированной шестиугольной решеткой отдельных распорок по краям, чем в центре VIG, с (нецентрированной) шестиугольной решеткой отдельных распорок. Это объясняется тем, что в этом документе рассматривается распределение напряжений по площади VIG в результате нагрузки, приложенной перпендикулярно к и в центре вакуумного изоляционного остекления, в то время как настоящее изобретение фокусируется на тепловых напряжениях, которым подвергается VIG при приложении существенной разности температур между внутренней и внешней средами. Температура внутренней среды составляет, как правило, от 20 до 25°C, тогда как температура внешней среды может варьироваться от -20°C зимой до +35°C летом. Следовательно, разность температур между внутренней средой и внешней средой может достигать более чем 40°C в тяжелых условиях.

90-й процентиль S_{AC90} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, содержащиеся внутри центральной области (AC), может составлять от 50 до 9000 мм², предпочтительно от 100 до 7200 мм², более предпочтительно от 400 до 5000 мм², наиболее предпочтительно от 500 до 1800 мм². Преобразованные в шаг λ квадратной решетки отдельных распорок, эти значения площадей ячеек соответствуют шагам от 7 до 95 мм, предпочтительно от 10 до 85 мм, более предпочтительно от 20 до 71 мм, наиболее предпочтительно от 22 до 42 мм. Размер шагов в центральной зоне должен быть достаточным, чтобы выдерживать вызываемое атмосферным давлением напряжение σ_r и значения тепловых напряжений σ_t от нулевых до умеренных при воздействии сильных температурных градиентов.

Как показано на фиг. 9 для VIG, проиллюстрированного на фиг. 5, предпочтительно, чтобы площади (A_i) ячеек, пересекающие диагональ плоской зоны, монотонно увеличивались от угла к центру (с) плоской зоны. Кривая может включать одно или несколько плато постоянных значений. В примере, проиллюстрированном на фиг. 9 и 5, площади ячеек увеличиваются в четыре раза от угла (cs) к центру остекления. Заштрихованная зона на графике по фиг. 9 соответствует ячейкам Вороного, смежным с краями, которые не учитываются.

В настоящем изобретении предоставляются VIG, которые для заданной толщины стеклянных панелей могут выдерживать самые высокие тепловые нагрузки, сохраняя при этом более высокие изоляционные свойства, чем до сих пор достигаемые с помощью современных VIG, поскольку количество отдельных распорок может быть существенно уменьшено и тем самым уменьшено соответственно количество тепловых мостов между первой и второй стеклянными панелями.

Ячейки (Ri) Вороного, связанные с распорками VIG, должны иметь такие размеры, чтобы стеклянные панели, составляющие VIG, выдерживали самые высокие пики уровней напряжения, возникающие на их внешних поверхностях, даже если указанные пики очень локализованы в определенных областях остекления. Из этого следует, что, как и в случае с типовыми VIG, известными в данной области, если повторяющаяся решетка отдельных распорок распределена по всей плоской зоне, шаг λ должен быть рассчитан таким образом, чтобы стеклянные панели, составляющие VIG, выдерживали наибольшие пики напряжений, даже если некоторые области VIG никогда не будут подвергаться таким высоким уровням напряжения в течение всего срока службы, как показано на фиг. 2 для незаштрихованной центральной области. Это приводит к использованию количества отдельных распорок, которое намного больше, чем это требуется.

По сравнению с типовым VIG, известным в данной области техники, содержащим отдельные распорки, скомпонованные в соответствии с такой повторяющейся схемой по всей плоской зоне, количество отдельных распорок, необходимых для изготовления VIG согласно настоящему изобретению с отдельными распорками, сосредоточенными в местах, где ожидаются высокие пики тепловых напряжений, та-

ких как угловые области (В), может быть уменьшено на 40-60%. Например, с учетом VIG, проиллюстрированного на фиг. 5, уменьшение количества отдельных распорок составляет порядка 45% по сравнению с VIG, в котором отдельные распорки распределены по всей плоской зоне в соответствии с решеткой центрированных квадратов, ограниченных угловыми зонами (В) на фиг. 5. Это может привести к увеличению теплоизоляции приблизительно на 30% с помощью VIG согласно настоящему изобретению по сравнению с соответствующим типовым VIG, известным в данной области техники.

На фиг. 10 проиллюстрированы четыре варианта осуществления четвертой VIG, содержащих отдельные распорки, скомпонованные согласно настоящему изобретению. На фиг. 10(a) проиллюстрирована регулярная квадратная решетка отдельных распорок с большим количеством отдельных распорок на единицу площади (=плотность), образующих квадрат в каждом углу плоской зоны. Области (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос имеют ту же схему отдельных распорок, что и центральная зона (AC), и имеют 10-е процентиля площадей ячеек S_{AL10} , S_{AW10} , S_{AC10} , которые существенно больше 10-го процентиля S_{B10} ячеек, расположенных в угловых областях (В).

VIG по фиг. 10(b) аналогичен VIG по фиг. 10(a), но область (AW) в виде поперечной полосы имеет более высокую плотность отдельных распорок, чем центральная область (AC) и чем область (AL) в виде продольной полосы. 10-й процентиль S_{AW10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, расположенные в области (AW) в виде поперечной полосы, такой же как и в В-областях.

На фиг. 10(c) и (d) показана более высокая плотность отдельных распорок, локализованных в углах и скомпонованных так, чтобы образовать треугольник, имеющий общий угол с прямоугольной плоской зоной. Области (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос могут иметь или не иметь более высокую плотность отдельных распорок, чем центральная область (AC) (ср. фиг. 10(c) и (d) соответственно). На фиг. 10(d) 10-е процентиля площадей ячеек в областях AL, AW, AC и В следующие:

$$S_{B10} < S_{AL10} = S_{AW10} < S_{AC10}$$

Способ изготовления VIG согласно настоящему изобретению.

Настоящее изобретение также относится к способу изготовления VIG, как описано выше. Способ включает следующие этапы:

предоставление первой и второй стеклянных панелей (1a, 1b) с известными механическими и тепловыми свойствами и с заданной толщиной d ;

расчет максимальной площади A_{i_max} ячейки Вороного для получения максимально допустимого значения вызываемого атмосферным давлением напряжения, например, по формуле

$$\sigma = 0,11 A_{i_max} / d^2 \text{ [МПа];}$$

определение распределения отдельных распорок, характеризуемого максимальной площадью A_{i_max} ячейки Вороного в центральной области (AC), и определение 10-го процентиля S_{AC10} этого распределения площадей ячеек отдельных распорок в центральной области (AC);

определение распределения отдельных распорок в первой и второй продольных областях (AL) и в первой и второй поперечных областях (AW), характеризуемого 10-ми процентилем S_{AL10} , S_{AW10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос, которые меньше 10-го процентиля S_{AC10} площадей ячеек распорок, расположенных в центральной области (AC), или равны ему;

определение распределения отдельных распорок в четырех угловых областях (В), характеризуемого 10-м процентилем S_{B10} площадей ячеек распорок, расположенных в каждой угловой области (В), который меньше 10-го процентиля S_{AC10} , S_{AL10} и S_{AW10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC) и в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос;

помещение k отдельных распорок на поверхность первой стеклянной панели (1a) согласно вышеупомянутому распределению отдельных распорок и наложение периферийного скрепляющего уплотнения (4) поверх указанной поверхности с определением периметра прямоугольной плоской зоны;

присоединение второй стеклянной панели (1b) поверх k отдельных распорок и периферийного скрепляющего уплотнения (4), оставляя зазор, расположенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный периферийным уплотнением;

откачивание газа из зазора между первой и второй стеклянными панелями для достижения давления ниже 0,1 мбар,

при этом S_{B10} , S_{AL10} и S_{AW10} определяют без учета ячеек, смежных с краем прямоугольной плоской зоны. Ячейки Вороного, смежные с краем, не учитываются, поскольку их геометрические формы нарушаются наличием периферийного скрепляющего уплотнения (4).

Площади ячеек Вороного отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC), должны быть меньше или равны максимальной площади A_{i_max} , чтобы часть центральной зоны не разрушилась под атмосферным давлением.

Распределение отдельных распорок в угловых областях (В) должно быть подходящим для выдерживания требуемой суммы вызываемых атмосферным давлением и тепловых напряжений, причем тепловые напряжения концентрируются в указанных угловых областях (В). Для каждого нового VIG может быть выполнен анализ методом конечных элементов. Однако, как показывает опыт, 10-й процентиль S_{B10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в каждой угловой области (В), может быть опреде-

лен как имеющий значение, которое меньше, чем частное $1/m$, умноженное на 90-й процентиль S_{AC90} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC), или равно ему, где $m \geq 1,6$, предпочтительно $m \geq 1,8$, более предпочтительно $m \geq 2,0$.

Стеклопакетные панели

Первая и вторая стеклопакетные панели VIG согласно настоящему изобретению могут быть выбраны из стекол, изготовленных по технологиям термополированного листового прозрачного стекла, сверхпрозрачного стекла или цветного стекла. Под термином "стекло" в настоящем документе понимают любой тип стекла или эквивалентного прозрачного материала, такого как минеральное стекло или органическое стекло. Используемые минеральные стекла могут представлять собой независимо один или несколько известных типов стекла, таких как натрий-кальций-силикатное, алюмосиликатное или боросиликатное, кристаллическое и поликристаллическое стекла. Стеклопакетная панель может быть получена посредством флоат-процесса, процесса вытягивания, процесса проката или любого другого известного процесса для изготовления стеклопакетной панели, начиная с расплавленного состава стекла. Стеклопакетные панели могут необязательно иметь шлифованные края. Шлифование краев превращает острые края в гладкие края, которые намного безопаснее для людей, которые могут контактировать с вакуумным изоляционным остеклением, в частности с краем остекления. Предпочтительно по меньшей мере одна из первой и/или второй стеклопакетных панелей согласно настоящему изобретению представляет собой панель из натрий-кальций-силикатного стекла, алюмосиликатного стекла или боросиликатного стекла. Более предпочтительно и из соображений меньших производственных затрат стеклопакетная панель согласно настоящему изобретению представляет собой панель из натрий-кальций-силикатного стекла.

Предпочтительно композиция для первой и/или второй стеклопакетных панелей VIG согласно настоящему изобретению содержит следующие компоненты в весовых процентах, выраженных относительно общего веса стекла (сравнение А). Более предпочтительно состав стекла (сравнение В) представляет собой натрий-кальций-силикатное стекло с основной стеклопакетной матрицей состава, содержащего следующие компоненты в весовых процентах, выраженных относительно общего веса стекла.

| | Сравнение А | Сравнение В |
|--------------------------------|-------------|---|
| SiO ₂ | 40–78% | 60–78 вес.% |
| Al ₂ O ₃ | 0–18% | 0–8 вес.%, предпочтительно 0–6 вес.% |
| B ₂ O ₃ | 0–18% | 0–4 вес.%, предпочтительно 0–1 вес.% |
| Na ₂ O | 0–20% | 5–20 вес.%, предпочтительно 10–20 вес.% |
| CaO | 0–15% | 0–15 вес.%, предпочтительно 5–15 вес.% |
| MgO | 0–10% | 0–10 вес.%, предпочтительно 0–8 вес.% |
| K ₂ O | 0–10% | 0–10 вес.% |
| BaO | 0–5 % | 0–5 вес.%, предпочтительно 0–1 вес.% |

Другие предпочтительные составы стекла для первой и второй стеклопакетных панелей VIG согласно настоящему изобретению содержат следующие компоненты в весовых процентах, выраженных относительно общего веса стекла.

| Сравнение С | Сравнение D | Сравнение E |
|---|--|---|
| $65 \leq \text{SiO}_2 \leq 78 \text{ вес.}\%$ | $60 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$ | $65 \leq \text{SiO}_2 \leq 78 \text{ вес.}\%$ |
| $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20 \text{ вес.}\%$ | $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$ | $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20 \text{ вес.}\%$ |
| $0 \leq \text{K}_2\text{O} < 5 \text{ вес.}\%$ | $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 12\%$ | $1 \leq \text{K}_2\text{O} < 8 \text{ вес.}\%$ |

| | | |
|--|---|--|
| $1 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 6$ вес.%, предпочтительно $3 < \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 5\%$ | $4,9 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 8\%$ | $1 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 6$ вес.% |
| $0 \leq \text{CaO} < 4,5$ вес.% | $0,4 < \text{CaO} < 2\%$ | $2 \leq \text{CaO} < 10$ вес.% |
| $4 \leq \text{MgO} \leq 12$ вес.% | $4 < \text{MgO} \leq 12\%$ | $0 \leq \text{MgO} \leq 8$ вес.% |
| $(\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{CaO})) \geq 0,5$, предпочтительно $0,88 \leq$ $[\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{CaO})] < 1$. | | $\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$: $0,1-0,7$. |

В частности, примеры основных стеклянных матриц для состава согласно настоящему изобретению описаны в публикациях РСТ заявок на патент WO 2015/150207 A1, WO 2015/150403 A1, WO 2016/091672 A1, WO 2016/169823 A1 и WO 2018/001965 A1.

Стеклянные панели могут иметь одинаковые размеры или разные размеры и образовывать тем самым ступенчатый VIG. В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения первая и вторая стеклянные панели содержат первые и вторые периферийные края соответственно, при этом первые периферийные края углублены относительно вторых периферийных краев или при этом вторые периферийные края углублены относительно первых периферийных краев. Эта конфигурация позволяет усилить соединение герметично скрепляющего уплотнения.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения и для более высокой механической стойкости первая стеклянная панель и/или вторая стеклянная панель могут представлять собой предварительно напряженное стекло. Под предварительно напряженным стеклом имеется в виду термоупрочненное стекло, термически закаленное ударопрочное стекло или химически упрочненное стекло.

Термоупрочненное стекло подвергают тепловой обработке с применением способа контролируемого нагрева и охлаждения, при котором наружные стеклянные поверхности подвергают сжатию, а внутреннюю стеклянную поверхность - растягивающему напряжению. Этот способ тепловой обработки предоставляет стекло с прочностью на изгиб, большей, чем отожженное стекло, но меньшей, чем термически закаленное ударопрочное стекло. Термически закаленное ударопрочное стекло подвергают тепловой обработке с применением способа контролируемого нагрева и охлаждения, при котором наружную стеклянную поверхность подвергают сжатию, а внутреннюю стеклянную поверхность - растягивающему напряжению. Такие напряжения приводят к тому, что стекло при воздействии на него разрушается на небольшие частицы в виде гранул вместо раскалывания на острые осколки. Частицы в виде гранул с меньшей вероятностью ранят людей или повреждают объекты. Химическое упрочнение стеклянного изделия представляет собой вызванный нагреванием ионный обмен, заключающийся в замене в поверхностном слое стекла щелочных ионов натрия, обладающих малым размером, на более крупные ионы, например щелочные ионы калия. Повышение напряжения поверхностного сжатия происходит в стекле по мере "внедрения" ионов большего размера в небольшие участки, ранее занимаемые ионами натрия. Такую химическую обработку обычно осуществляют, погружая стекло в ванну с ионообменным расплавом, содержащим одну или несколько расплавленных солей с ионами большего размера, при точном контроле температуры и времени. Составы стекла алюмосиликатного типа, такие как, например, происходящие из продуктовой линейки DragonTrail® производства Asahi Glass Co. или происходящие из продуктовой линейки Gorilla® производства Corning Inc., также известны высокой эффективностью химической закалки.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения пленки, такие как пленки с низким коэффициентом излучения, пленки для защиты от солнечного излучения (пленки, отражающие тепловые лучи), антибликовые пленки, пленки против запотевания, предпочтительно пленка, отражающая тепловые лучи, или пленка с низким коэффициентом излучения, могут быть предусмотрены на по меньшей мере одной из внутренних поверхностей и/или внешних поверхностей первой и/или второй стеклянных панелей (1a, 1b) вакуумного изоляционного стеклопакета. В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения внутренняя поверхность второй стеклянной панели (1b) VIG оснащена пленкой, отражающей тепловые лучи, или низкоэмиссионной пленкой.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения внешняя поверхность первой и/или второй стеклянных панелей (1a, 1b) может представлять собой многослойный узел, образованный по меньшей мере одним листом стекла и по меньшей мере одним полимерным промежуточным слоем, по соображениям безопасности и надежности. Многослойное стекло является типом ударопрочного стекла, которое не рассыпается при разбивании. В случае разрушения оно удерживается на месте термопластичным промежуточным слоем между его двумя или более слоями стекла. Промежуточный слой сохраняет слои стекла скрепленными даже при разрушении, и его высокая прочность предотвращает разрушение стекла на большие острые куски.

В многослойном узле по меньшей мере один лист стекла предпочтительно имеет толщину Z_s , равную или больше 0,5 мм ($Z_s \geq 0,5$ мм). Толщина измеряется в направлении, перпендикулярном внешней

поверхности панели. По меньшей мере один полимерный промежуточный слой представляет собой прозрачный или полупрозрачный полимерный промежуточный слой, содержащий материал, выбранный из группы, состоящей из этиленвинилацетата (EVA), полиизобутилена (PIB), поливинилбутирала (PVB), полиуретана (PU), поливинилхлоридов (PVC), полиэфиров, сополиэфиров, полиацеталей, циклоолефиновых полимеров (COP), иономера и/или адгезива, активируемого ультрафиолетом, и других, известных в области производства многослойного стекла. Также подходящими могут быть смешанные материалы, в которых используется любая совместимая комбинация этих материалов. Для улучшения эксплуатационных характеристик окна или двери с концепцией настоящего изобретения также может быть совмещена усиленная звукоизоляция с помощью стекла со звукоизоляционным покрытием. В этом случае полимерный промежуточный слой содержит по меньшей мере один дополнительный акустический материал, размещенный между двумя пленками из поливинилбутирала.

Настоящее изобретение также применимо к любому типу стеклопакета, содержащему стеклянные панели (две, три или более), ограничивающие изолирующие или неизолирующие внутренние пространства (также называемые многокамерными стеклопакетами), при условии что частичный вакуум создается в по меньшей мере одном из этих внутренних пространств. Следовательно, в одном варианте осуществления для улучшения механических характеристик VIG согласно настоящему изобретению третья дополнительная стеклянная панель может быть присоединена к по меньшей мере одной из внешних поверхностей первой и/или второй стеклянных панелей (1a, 1b) вдоль периферии VIG посредством периферийной дистанционной рамки, создающей изоляционную полость, уплотненную периферийным краевым уплотнением. Указанная периферийная дистанционная рамка поддерживает определенное расстояние между третьей стеклянной панелью и по меньшей мере одной из внешней поверхности одной из первой и второй стеклянных панелей. Обычно указанная дистанционная рамка содержит поглотитель влаги и обычно имеет толщину от 6 до 20 мм, предпочтительно от 9 до 15 мм. В целом, указанный второй внутренний объем заполнен заданным газом, выбранным из группы, включающей воздух, сухой воздух, аргон (Ar), криптон (Kr), ксенон (Xe), гексафторид серы (SF₆), углекислый газ или их комбинацию. Указанный заданный газ является эффективным для предотвращения теплообмена и/или может быть использован для уменьшения пропускания звука.

Распорки

Вакуумный изоляционный стеклопакет согласно настоящему изобретению содержит множество отдельных распорок, зажатых между первой и второй стеклянными панелями (1a, 1b), чтобы поддерживать две панели отдельно друг от друга и таким образом образовывать внутренний объем V. Отдельные распорки распределены по плоской зоне в соответствии с решеткой, определяемой ячейками Вороного, как обсуждалось выше.

Отдельные распорки могут иметь разные формы, например, цилиндрическую, сферическую, нитеобразную форму, форму песочных часов, С-образную, крестообразную, призматическую форму. Предпочтительно использовать небольшие распорки, т.е. распорки, обычно имеющие поверхность контакта со стеклянной панелью, равную или меньшую 5 мм², предпочтительно равную или меньшую 3 мм², более предпочтительно равную или меньшую 1 мм². Как указано выше, эти размеры могут обеспечивать хорошую механическую стойкость к вызываемым атмосферным давлением напряжениям, будучи при этом эстетически незаметными.

Отдельные распорки должны быть выполнены из материала, обладающего достаточной стойкостью, чтобы противостоять давлению, прилагаемому внутренними поверхностями стеклянных панелей под действием атмосферного давления. Они должны быть способны выдерживать высокотемпературные процессы, такие как горение и сильное нагревание, и должны выделять малое количество газа после изготовления VIG. Такой материал является предпочтительно твердым металлическим материалом, кварцевым стеклом или керамическим материалом, в частности металлическим материалом, например железом, вольфрамом, никелем, хромом, титаном, молибденом, углеродистой сталью, хромовой сталью, никелевой сталью, нержавеющей сталью, никелево-хромистой сталью, марганцевой сталью, хромомарганцевой сталью, хромомолибденовой сталью, кремнистой сталью, нихромом, дюралем или т.п., или керамическим материалом, например корундом, оксидом алюминия, муллитом, магнезией, иттрий оксидом, нитридом алюминия, нитридом кремния или т.п.

Периферийное скрепляющее уплотнение

Внутренний объем V между стеклянными панелями (1a, 1b) вакуумного изоляционного стеклопакета согласно настоящему изобретению заключен в пределах герметично скрепляющего уплотнения (4), размещенного смежно с периферией стеклянных панелей. Герметично скрепляющее уплотнение непроницаемо для воздуха или любого другого газа, присутствующего в атмосфере, окружающей VIG, и предпочтительно является твердым.

Существуют различные технологии выполнения герметично скрепляющего уплотнения. Первый тип уплотнения (наиболее распространенный) – это уплотнение на основе припойного стекла, температура плавления которого ниже, чем у стекла, из которого состоят стеклянные панели стеклопакета. Использование этого типа уплотнения ограничивает выбор низкоэмиссионных слоев теми слоями, которые не разрушаются тепловым циклом, необходимым для нанесения припойного стекла, т.е. теми слоями, кото-

рые способны выдерживать температуру, возможно, до 250°C.

Второй тип уплотнения представляет собой металлическое уплотнение, например металлическую полосу небольшой толщины (< 500 мкм), припаянную к периферии стеклопакета посредством стяжного нижнего слоя, покрытого по меньшей мере частично слоем способного припаяваться материала, такого как мягкий припой из оловянного сплава. Одно существенное преимущество этого металлического уплотнения по сравнению с вышеупомянутым стеклянным уплотнением состоит в том, что оно может частично деформироваться и, таким образом, частично поглощать относительные расширения между первой и второй стеклянными панелями при воздействии температурного градиента по толщине VIG.

В заявке на патент WO 2011/061208 A1 описан один пример периферийного скрепляющего уплотнения, выполненного из металла, для вакуумного изоляционного стеклопакета. Описанное уплотнение представляет собой металлическую полосу, например, выполненную из меди, припаянную с помощью способного припаяваться материала к клейкой ленте, предусмотренной на периферии стеклянных панелей.

Внутренний объем

Вакуум с абсолютным давлением менее 0,1 мбар, предпочтительно менее 0,01 мбар, может быть создан во внутреннем объеме V, ограниченном первой и второй стеклянными панелями и набором отдельных распорок и закрытом периферийным скрепляющим уплотнением внутри VIG согласно настоящему изобретению.

Внутренний объем VIG согласно настоящему изобретению может содержать газ, например, но не исключительно, воздух, сухой воздух, аргон (Ar), криптон (Kr), ксенон (Xe), гексафторид серы (SF₆), диоксид углерода или их комбинацию. Перенос энергии через изолирующий блок, имеющий эту обычную структуру, уменьшается по причине присутствия газа во внутреннем объеме относительно стеклянной панели из одного стекла.

Из внутреннего объема может также быть откачан любой газ, создавая тем самым вакуумный стеклопакет. Перенос энергии через вакуумный изоляционный стеклопакет сильно уменьшается из-за вакуума. Для создания вакуума во внутреннем объеме стеклопакета на основной поверхности одной из стеклянных панелей обычно предусмотрена полая стеклянная трубка, сообщающая внутренний объем с внешним. Таким образом, частичный вакуум создается во внутреннем объеме путем откачки газов, присутствующих во внутреннем объеме, с помощью насоса, подключенного к внешнему концу стеклянной трубки.

Для поддержания заданного уровня вакуума в вакуумном изоляционном стеклопакете в течение продолжительного периода времени в стеклопакете может использоваться газопоглотитель. В частности, внутренние поверхности стеклянных панелей, составляющих стеклопакет, могут со временем выделять газы, предварительно абсорбированные стеклом, тем самым увеличивая внутреннее давление в вакуумном изоляционном стеклопакете и тем самым снижая характеристики вакуума. Как правило, такой газопоглотитель состоит из сплавов циркония, ванадия, железа, кобальта, алюминия и т.д. и осаждается в виде тонкого слоя (толщиной несколько микрометров) или в виде блока или пластинки, помещенных между стеклянными панелями стеклопакета, чтобы их не было видно (например, скрытых внешней эмалью, частью периферийного непроницаемого уплотнения или рамой). Газопоглотитель на своей поверхности при комнатной температуре образует пассивирующий слой, и, следовательно, он должен быть нагрет для устранения пассивирующего слоя и, таким образом, активации газопоглощающих свойств его сплава. Считается, что газопоглотитель является "активируемым нагревом".

| ПОЗИЦИОННОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ | ПРИЗНАК |
|---------------------------------|---|
| 1 | Вакуумный изоляционный стеклопакет |
| 1a, 1b | Первая и вторая стеклянные панели |
| 4 | Периферийное скрепляющее уплотнение |
| A | Дополнительная область |
| AC | Центральная область |
| A _i | Площадь ячейки R _i Вороного |
| AL | Область в виде продольной полосы |
| AW | Область в виде поперечной полосы |
| B | Угловая область |
| c | Центр прямоугольной плоской зоны |
| cs | (экстраполированный) угол прямоугольной плоской зоны |
| d | Толщина VIG |
| D | Диагональ прямоугольной плоской зоны |
| k | Количество отдельных распорок |
| L | Длина прямоугольной плоской зоны |
| n | Ранг |
| N | Общее количество значений списка |
| P | Процентиль |
| P _i | Отдельная распорка i |
| R _b | Радиус B-области |
| R _i | Ячейка Вороного, связанная с распоркой P _i |
| S _{xp} | p-я процентиль площадей ячеек, расположенных в области x = A, AL, AW или B |
| W | Ширина прямоугольной плоской зоны |
| X1, X2 | Продольная и поперечная оси |
| λ, λ _{max} | Шаг и максимальный шаг при заданной стойкости к вызываемому атмосферным давлением напряжению σ _p |
| σ _p , σ _t | Вызываемые атмосферным давлением и тепловые напряжения |

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Вакуумный изоляционный стеклопакет (VIG) (1), содержащий плоскую зону и содержащий

(a) первую стеклянную панель (1a) и вторую стеклянную панель (1b);

(b) k отдельных распорок (P_i), распределенных по плоской зоне, расположенных между первой и второй стеклянными панелями и поддерживающих расстояние между первой и второй стеклянными панелями, причем каждая из указанных отдельных распорок (P_i) определяет ячейку (R_i), имеющую площадь (A_i) ячейки и образующую в комбинации с ячейками, связанными со всеми отдельными распорками, мозаику Вороного, характеризуемую распределением площадей ячеек, где $k \in \mathbb{N}$ и $k > 8$;

(c) периферийное скрепляющее уплотнение (4), герметично уплотняющее расстояние между первой и второй стеклянными панелями, определяя внутренний объем V, заключенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный внутренним периметром периферийного скрепляющего уплотнения, определяющим плоскую зону, причем внутренний периметр имеет по существу прямоугольную геометрическую форму, проходящую по длине L вдоль продольной оси X1 и по ширине W вдоль поперечной оси X2, перпендикулярной продольной оси X1, причем $L \geq W$, при этом внутренний объем находится под вакуумом,

при этом плоская зона разделена следующим образом:

четыре угловые области (B), каждая из которых имеет геометрическую форму четверти круга с радиусом R_b, который меньше чем W/2, и каждая из которых центрирована на углу прямоугольного внутреннего периметра периферийного уплотнения; и

дополнительная область (A), которая охватывает плоскую зону за исключением четырех угловых зон и которая сама разделена на

первую область (AL) в виде продольной полосы, проходящую между первой и второй угловыми областями, и вторую область (AL) в виде продольной полосы, проходящую между третьей и четвертой угловыми областями, причем каждая область в виде продольной полосы проходит вдоль продольной оси X1 смежно с продольным краем плоской зоны и имеет ширину, измеренную от продольного края вдоль

поперечной оси X2, равную $0,1W$,

первую область (AW) в виде поперечной полосы, проходящую между первой и третьей угловыми областями, и вторую область (AW) в виде поперечной полосы, проходящую между второй и четвертой угловыми областями, причем каждая область в виде поперечной полосы проходит вдоль поперечной оси X2 смежно с поперечным краем плоской зоны и имеет ширину, измеренную от поперечного края вдоль продольной оси X1, равную $0,1W$,

центральную область (AC), охватывающую зону дополнительной области (A), за исключением первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос,

отличающийся тем, что 10-й процентиль S_{B10} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B), меньше 10-х процентилей S_{AC10} , и S_{AL10} , и/или S_{AW10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), в каждой из первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и/или в каждой из первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос соответственно, при этом 10-й процентиль S_{AC10} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), больше 10-х процентилей S_{AL10} и S_{AW10} первых и вторых областей (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос или равен им,

при этом значения S_{B10} , S_{AL10} и S_{AW10} определены без учета площадей ячеек, представляющих собой все ячейки, смежные с внутренним периметром, и при этом ячейка (Ri) заключена в области (AC, AL, AW, B),

если соответствующая отдельная распорка (Pi) содержится внутри указанной области, или

в случае если соответствующая отдельная распорка находится на пересечении между двумя областями (AC, AL, AW, B), ячейка (Ri) заключена в области, содержащей наибольшую долю площади (Ai) ячейки, и

в случае если соответствующая отдельная распорка находится на пересечении между двумя областями (AC, AL, AW, B), а площадь ячейки равномерно распределена между двумя областями, причем указанная площадь ячейки не учитывается для определения 10-х процентилей S_{B10} , S_{AC10} , S_{AL10} и S_{AW10} .

2. Вакуумный изоляционный стеклопакет по п.1, отличающийся тем, что площади ячеек, представляющих собой все ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B), которые являются смежными с внутренним периметром, меньше площадей ячеек, представляющих собой все ячейки, непосредственно смежные с ними, или равны им.

3. Вакуумный изоляционный стеклопакет по п.1 или 2, отличающийся тем, что 90-й процентиль S_{AC90} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC), больше чем m , умноженное на 10-й процентиль S_{B10} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из четырех угловых областей (B) ($S_{AC90} > mS_{B10}$, где $m \geq 1,6$, предпочтительно $m \geq 1,8$, более предпочтительно $m \geq 2,0$).

4. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что Rb составляет от 20 до 40% ширины W, обычно $30 \pm 5\%$ ширины W, и предпочтительно составляет от 15 до 35% длины L, более предпочтительно составляет от 80 до 400 мм, более предпочтительно от 100 до 300 мм.

5. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что S_{B10} составляет от 20 до 5000 мм², предпочтительно от 25 до 3600 мм², более предпочтительно от 100 до 2500 мм², наиболее предпочтительно от 150 до 900 мм².

6. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что S_{AC90} составляет от 50 до 9000 мм², предпочтительно от 100 до 7200 мм², более предпочтительно от 400 до 5000 мм², наиболее предпочтительно от 500 до 1800 мм².

7. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что 90-е процентиля S_{AL90} и S_{AW90} распределений площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в каждой из первой и второй областей (AL) в виде продольных полос и/или в каждой из первой и второй областей (AW) в виде поперечных полос соответственно, меньше 90-го процентиля S_{AC90} распределения площадей ячеек, представляющих собой ячейки, расположенные в центральной области (AC).

8. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что 10-е процентиля S_{AL10} , S_{AW10} площадей ячеек, представляющих собой ячейки Вороного, содержащиеся внутри продольной или поперечной области (AL, AW), составляют от 25 до 9000 мм², предпочтительно от 36 до 7200 мм², более предпочтительно от 121 до 5000 мм².

9. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что площади (Ai) ячеек, пересекающие диагональ плоской зоны, монотонно увеличиваются от угла к центру (с) плоской зоны, необязательно включая одно или несколько плато постоянных значений, не учитывающая ячейки, смежные с краем плоской зоны.

10. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем,

что по меньшей мере одна из первой и второй стеклянных панелей выполнена из натрий-кальций-силикатного стекла, алюмосиликатного стекла или боросиликатного стекла.

11. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что первая и вторая стеклянные панели имеют внутреннюю поверхность соответственно и внешнюю поверхность соответственно, при этом внутренние поверхности обращены к внутреннему объему V , и при этом по меньшей мере одна из внутренних поверхностей и внешних поверхностей оснащена по меньшей мере пленкой, отражающей тепловые лучи, или пленкой с низким коэффициентом излучения.

12. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что первая стеклянная панель и вторая стеклянная панель имеют внешнюю поверхность соответственно, при этом внешние поверхности обращены наружу вакуумного изоляционного стеклопакета, и при этом по меньшей мере одна из внешних поверхностей наложена на по меньшей мере один лист стекла посредством по меньшей мере одного полимерного промежуточного слоя, образуя многослойный узел.

13. Вакуумный изоляционный стеклопакет по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что по меньшей мере одна из внешних поверхностей первой и второй стеклянных панелей присоединена к третьей стеклянной панели вдоль периферии вакуумного изоляционного стеклопакета посредством периферийной дистанционной рамки, создавая изоляционную полость, уплотненную периферийным краевым уплотнением.

14. Способ изготовления вакуумного изоляционного стекла по любому из предыдущих пунктов, в котором для первой и второй стеклянных панелей (1a, 1b) с известными механическими и тепловыми свойствами и с заданной толщиной d осуществляют

расчет максимальной площади A_{i_max} ячейки Вороного для получения максимально допустимого значения вызываемого атмосферным давлением напряжения;

определение распределения отдельных распорок, характеризуемого максимальной площадью A_{i_max} ячейки Вороного в центральной области (AC), и определение 10-го перцентиля S_{AC10} этого распределения площадей ячеек отдельных распорок в центральной области (AC);

определение распределения отдельных распорок в первой и второй продольных областях (AL) и в первой и второй поперечных областях (AW), характеризуемого 10-ми перцентилем S_{AL10} , S_{AW10} площадей ячеек распорок, расположенных в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос, которые меньше 10-го перцентиля S_{AC10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC), или равны ему;

определение распределения отдельных распорок в четырех угловых областях (B), характеризуемого 10-м перцентилем S_{B10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в каждой угловой области (B), который меньше 10-го перцентиля S_{AC10} , S_{AL10} и S_{AW10} площадей ячеек распорок, расположенных в центральной области (AC) и в областях (AL, AW) в виде продольных и поперечных полос;

помещение k отдельных распорок на поверхность первой стеклянной панели (1a) согласно вышеупомянутому распределению отдельных распорок и наложение периферийного скрепляющего уплотнения (4) поверх указанной поверхности с определением периметра прямоугольной плоской зоны;

присоединение второй стеклянной панели (1b) поверх k отдельных распорок и периферийного скрепляющего уплотнения (4), оставляя зазор, расположенный между первой и второй стеклянными панелями и ограниченный периферийным скрепляющим уплотнением;

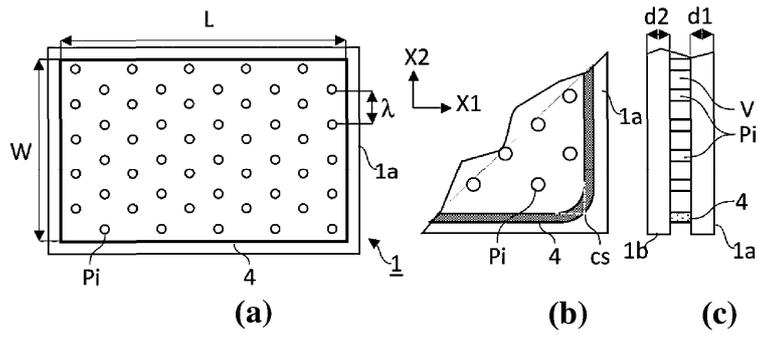
откачивание газа из зазора между первой и второй стеклянными панелями для достижения давления ниже 0,1 мбар,

при этом S_{B10} определяют без учета ячеек, смежных с краем прямоугольной плоской зоны, и при этом S_{AL10} и S_{AW10} определяют без учета ячеек, смежных с краем прямоугольной плоской зоны.

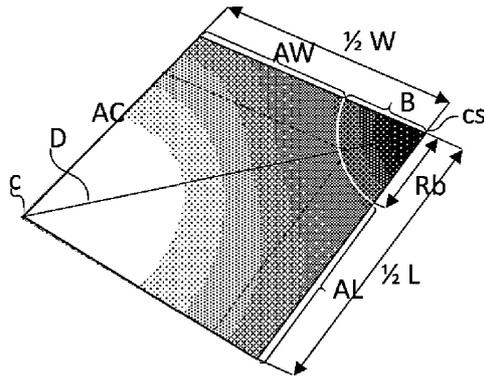
15. Способ по п.14, отличающийся тем, что дополнительно включает следующие этапы:

определение 90-го перцентиля S_{AC90} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в центральной области (AC); и

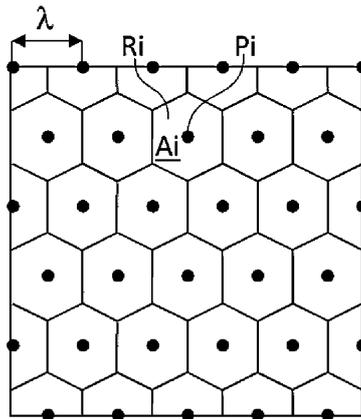
определение распределения отдельных распорок в четырех угловых областях (B), характеризуемого 10-м перцентилем S_{B10} площадей ячеек отдельных распорок, расположенных в каждой угловой области (B), который меньше, чем частное $1/m$, умноженное на 90-й перцентиль S_{AC90} площадей ячеек распорок, расположенных в центральной области (AC), или равен ему, где $m \geq 1,6$, предпочтительно $m \geq 1,8$, более предпочтительно $m \geq 2,0$.



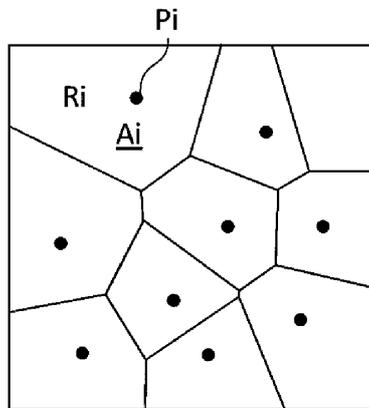
Фиг. 1



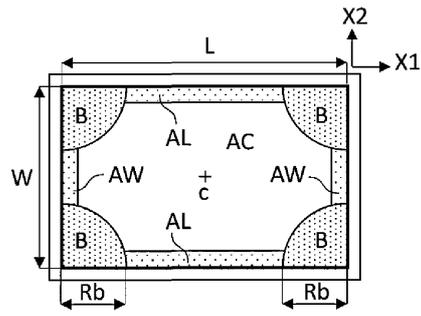
Фиг. 2



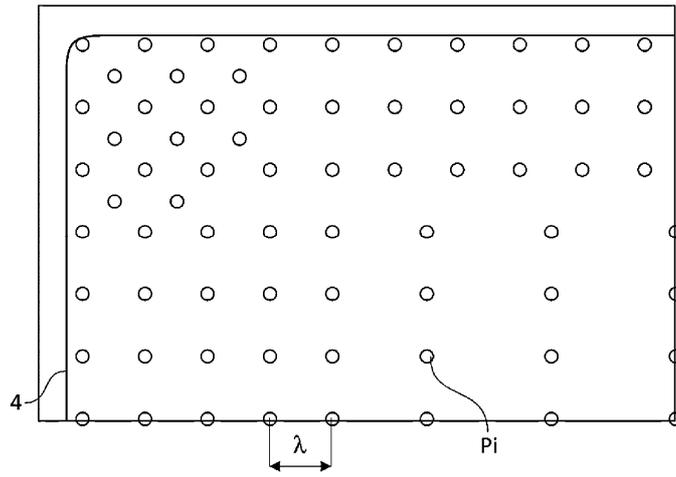
Фиг. 3(a)



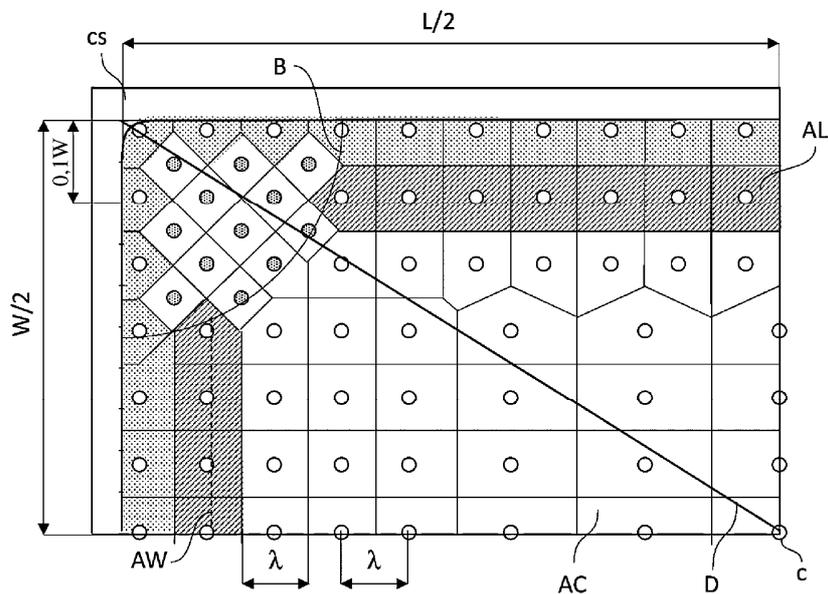
Фиг. 3(b)



Фиг. 4



Фиг. 5(a)



Фиг. 5(b)



Фиг. 6

| | | |
|----------------------------------|------------|------------|
| B | | |
| i (Ntot = 12) | 1-11 | 12 |
| A / λ ² | 0,5 | 0,6 |
| | | |
| B | 10-й проц. | 90-й проц. |
| n | 1 | 11 |
| S _{Bp} / λ ² | 0,5 | 0,5 |

(a)

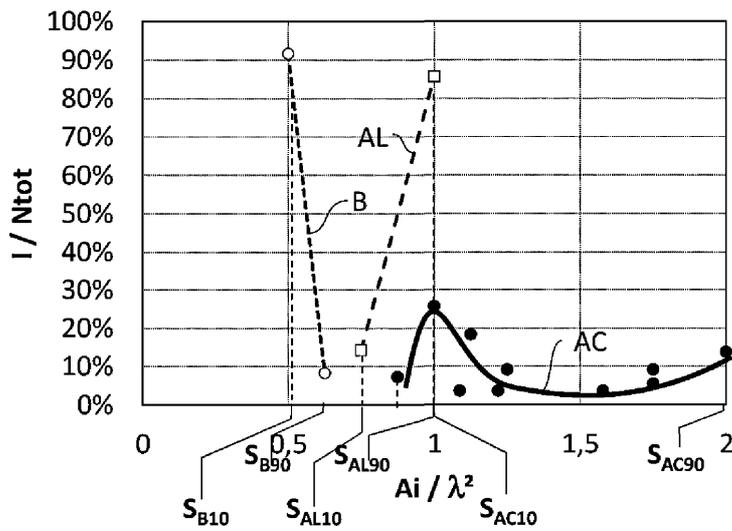
| | | |
|-----------------------------------|------------|------------|
| AL | | |
| i (Ntot = 7) | 1 | 2-7 |
| A / λ ² | 0,8 | 1,0 |
| | | |
| AL | 10-й проц. | 90-й проц. |
| n | 1 | 6 |
| S _{ALp} / λ ² | 0,8 | 1,0 |

(b)

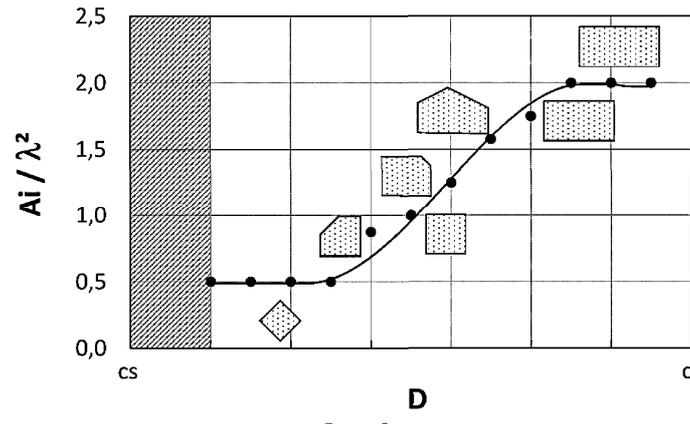
| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|------------|------|-------|------|---------|---------|-------|---------|---------|
| AC | | | | | | | | | | |
| i (Ntot = 27,25) | 1-2 | 3-9 | 10 | 11-15 | 16 | 17-18,5 | 19-19,5 | 20-21 | 21-23,5 | 24-27,5 |
| A / λ ² | 0,9 | 1,0 | 1,09 | 1,13 | 1,22 | 1,25 | 1,58 | 1,75 | 1,75 | 2,00 |
| | | | | | | | | | | |
| AC | 10-й проц. | 90-й проц. | | | | | | | | |
| n | 3 | 25 | | | | | | | | |
| S _{ACp} / λ ² | 1,0 | 2,0 | | | | | | | | |

(c)

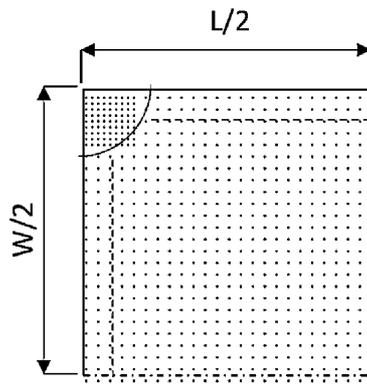
Фиг. 7



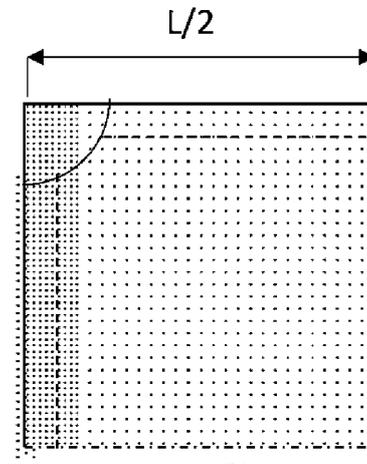
Фиг. 8



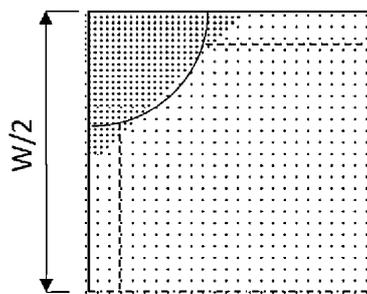
Фиг. 9



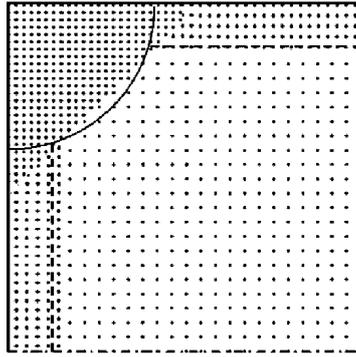
Фиг. 10(a)



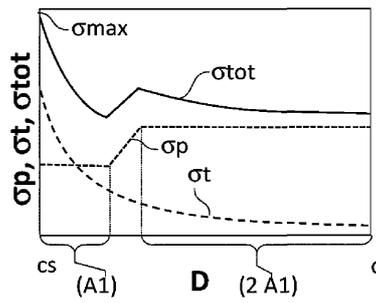
Фиг. 10(b)



Фиг. 10(c)

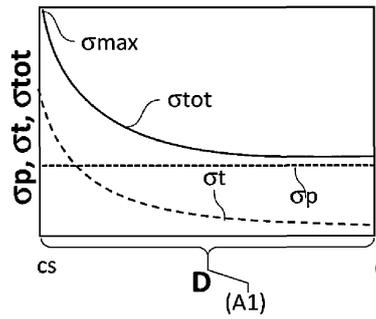


Фиг. 10(d)



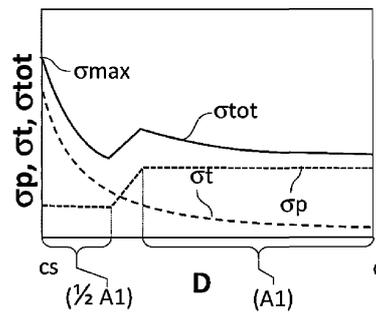
Фиг. 11(a)

(Настоящее изобретение)



Фиг. 11(b)

(P.A.)



Фиг. 11(c)

(Настоящее изобретение)

