

ОГРАЖДАЩИ КОНСТРУКЦИИ ОТ СЪКЛО И АЛУМИНИЙ. ОБЗОР НА ОБЛАСТТА И ТЕМАТИКА ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

Стефан Трифонов¹

Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия, катедра „Метални, Дървени и Пластмасови конструкции”

GLASS- ALUMINIUM BUILDING SKINS. SURVEY OF THE FIELD AND DIRECTIONS FOR FUTURE RESEARCH.

Stefan Trifonov

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, “Metal, Timber and Plastic Structures” department

***Abstract:** This article aims to show the general aspects of using glass as a structural material. A general overview of the popular methodology for designing standart aluminium- glass facades is also a part of this article. Some directions for future studies of the author in the field are given.*

1. Увод.

Непрекъснатото увеличаване на мащаба на строителство със стъкло води до необходимостта от възприемане на ограждащите елементи като самоносещи се конструкции, а не просто като „неносеща” обвивка.

Класификацията на остъклените ограждания включва най- общо следните комбинации- конструкции от стъкло и алуминиеви сплави, конструкции от стъкло и неръждаема или обикновена стомана, конструкции от стъкло и дърво, и най- новия вид „чисто стъклен” конструкции (вж **Фиг.1**).



Фиг. 1. „Apple Store”, New York. „Чисто стъклена” конструкция.

¹ Стефан Трифонов, инж., София, ж.к. Толстой, бл. 15, ап. 28, e-mail: eng.st.trifonov@gmail.com

2. Стъклото като конструктивен материал.

2.1. Основни характеристики.

Стъклото е изкуствен, неорганичен продукт, получен чрез топене и последващо охлаждане без кристализация. В строителството се използва основно „кварц-натриево” стъкло (69-74% кварцов пясък, 26-31% вар, натриев оксид и други). Основните му характеристики са дадени в **Таблица 1**.

Стъклото практически е идеално еластичен и крехък материал. Разрушава се внезапно, на големи, остри, опасни за здравето парчета. Поради това в стандартите на развитите държави има строги правила, предписващи в какви случаи се допуска използването на обикновено стъкло.

Теоретично якостта на стъклото достига около 32GPa. Действителната, по-ниска якост на стъклото (около 45MPa якост на опън) се дължи на неизбежните при производството му дефекти по повърхността и зависи от много фактори (напр. продължителността на натоварването).

Подобряване на конструктивните качества на стъклото се постига чрез два основни типа обработки- закаляване и ламиниране (вж т. 2.2 и т.2.3)

Таблица 1. Основни характеристики на стъклото.

ВЕЛИЧИНА	ОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. МЯРКА	СТОЙНОСТ
Обемна маса	g	kN/m ³	25
Модул на линейна деформация	E	MPa	70 000
Коефициент на Поасон	ν	-	0,22+0,24
Коефициент на температурно разширение	α_T	m/mK	9.10 ⁻⁶

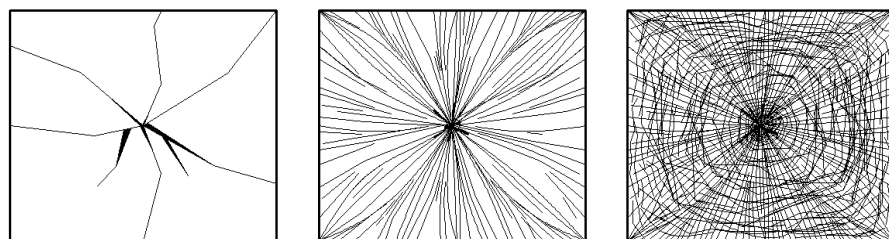
2.2. Закаляване.

Тъй като стъклото е особено податливо на опънни напрежения, а същевременно има огромна якост на натиск, закаляването цели създаване на натиск по повърхността (където се очаква опън от огъване при експлоатация). Най-общо закаляването представлява нагриване на стъклото и последващо бързо охлаждане. При изстиването се получават натискови напрежения по двете повърхности на стъклото, уравновесени от опънни във вътрешността (където няма дефекти и якостта на опън е много висока).

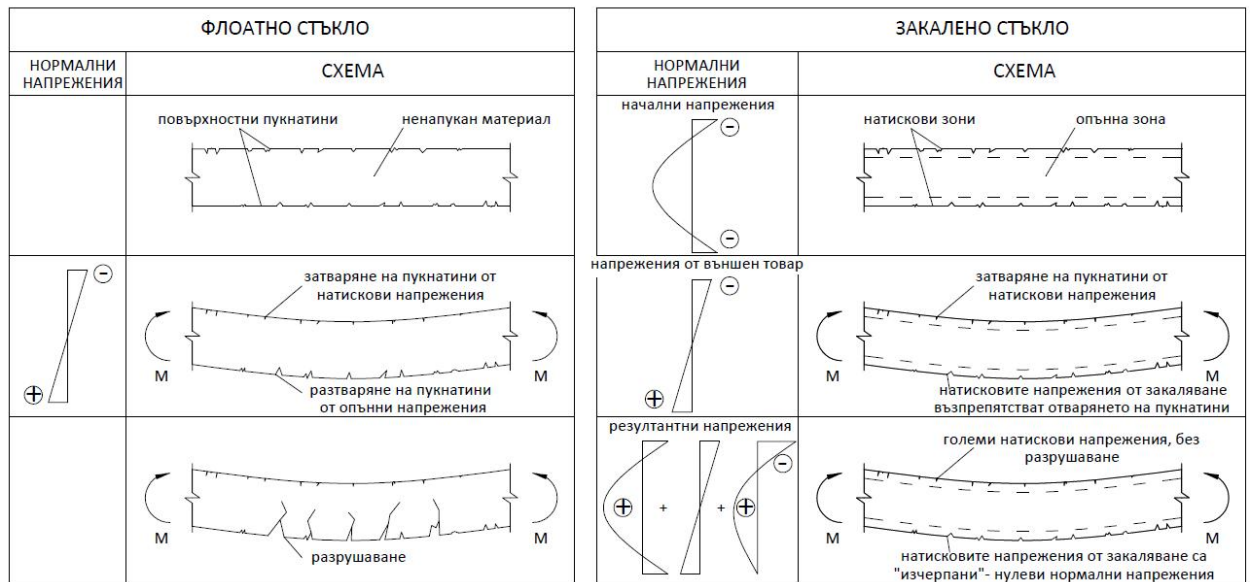
В зависимост от технологията закаляването бива два типа- пълно и частично закаляване. Стъклата с различна степен на закаляване се различават по начина на разрушаване (**Фиг.2**), поведението при огъване и опънната якост.

Повишената якост на закалените стъкла се дължи на натисковите напрежения, получени вследствие от закаляването. При огъване те се суперпонираат с опънните напрежения от външното натоварване и трябва да се „изчерпят” преди стъклото да се разруши (вж **Фиг. 3**).

Практически якостта на закалените стъкла е сума от вродената якост на обикновеното стъкло и натисковите напрежения от закаляване (**Таблица 2**).



Фиг. 2. Начин на разрушаване на стъклото (от ляво надясно: обикновено стъкло, частично закалено стъкло и пълно закалено стъкло)



Фиг. 3. Поведение при огъване на флоатно и закалено стъкло [3].

Таблица 2. Якост при огъване на различните типове стъкла [6]

ТИП СЪТЪКЛО	ЯКОСТ ПРИ ОГЪВАНЕ, МРa
Обикновено (не-закалено стъкло)	45
Частично закалено стъкло	70
Пълно закалено стъкло	120

2.3. Ламиниране.

Закаленото стъкло е с много висока якост и се разрушава на малки, обли парчета, които са безопасни за здравето (безопасно стъкло). Характерът на разрушението му обаче е крехък и то не е подходящо, когато е необходимо да се постигне така наречената „остатъчна носеща способност“. В стъклени елементи остатъчна носимоспособност се постига чрез ламиниране.

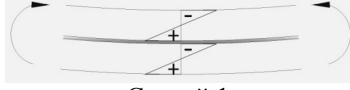

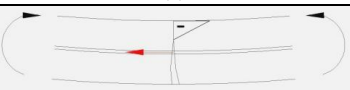
Ламинираното стъкло се състои от две или повече стъкла (най-общо с различни дебелини и степен и наличие на закаляване), слепени помежду си чрез някакъв прозрачен полимер (обикновено поливинилбутирал- PVB). След разрушение ламинираните стъкла запазват положението си благодарение на полимера и могат да продължат да поемат външен товар до момента на подмяната им.

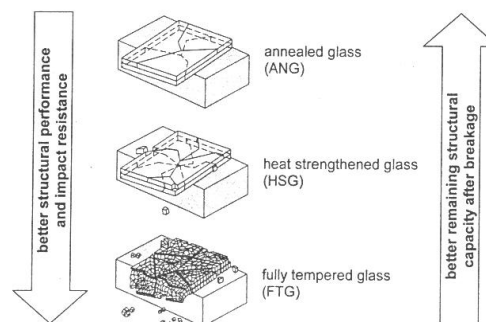
Поведението на ламинираното стъкло при огъване зависи от много фактори: продължителност на натоварването, температура и други. При определени условия ламинираното стъкло може да се приеме за монолитно при оразмеряването, но по-често се използва консервативният подход показан в **Таблица 3**.

Остатъчната носимоспособност на ламиниран елемент е в пряка зависимост от големината на счупените парчета в елемента, съответно от наличието и степента на закаляване. Така например пълно закаленото стъкло, макар да е с голяма якост, има най-малка остатъчна носимоспособност в ламинат спрямо другите видове стъкла. Това се дължи на много малкия размер и големия брой на парчетата при разрушение (вж **Фиг. 4**).

Изборът на степен на закаляване на стъклата в ламината е от първостепенно значение за сигурността на елемента. Използването на ламинати, съставени изцяло от пълно закалено стъкло невинаги е правилно.

Таблица 3. Стадии на работа на ламинирано стъкло при огъване [3]

 Стадий 1	Двата слоя стъкло работят на огъване.
 Стадий 2	Долното стъкло се е разрушило. Приема се, че елементът е разрушен /следгранична носеща способност/. Горното стъкло поема всички товари.
 Стадий 3	Горното стъкло също се разрушава, но парчетата му се „уплътняват” от натиска и продължават да поддържат формата на елемента. Опънните напрежения се поемат PVB- слой (подобно на армировката в стоманобетона).



Фиг. 4. Носимоспособност и остатъчна носимоспособност на ламинирани стъкла от обикновено, частично закалено и пълно закалено стъкло (отгоре надолу) [3].

2.4. Оразмеряване на стъклени елементи.

В България не съществуват стандарти за оразмеряване на стъклени елементи. В практиката се използват чужди стандарти, които се основават на метода на допустимите напрежения (вж Таблица 4).

Към настоящия момент в Европа се работи по нов хармонизиран стандарт за оразмеряване на стъклени елементи. Той ще бъде базиран на метода на граничните състояния, в съответствие със съвременните тенденции в конструктивното инженерство.

Таблица 4. Допустими напрежения в стъклени елементи

ДОПУСТИМИ НОРМАЛНИ НАПРЕЖЕНИЯ σ_{adm} , MPa ЗА СЪТЪКЛО ПО ДАННИ НА „PILKINGTON GLASS”			
ВИД НА ТОВАРА	ПРИМЕР ЗА ТОВАР	ОБИКНОВЕНО СЪТЪКЛО	ЗАКАЛЕНО СЪТЪКЛО
Краткотрайни временни натоварвания	Вятър	28 ⁽¹⁾ 17,8 ⁽²⁾	59
Продължителни временни натоварвания	Сняг	10,75	22,7
	Експлоатационни натоварвания /подове/	8,4	35
Постоянни и квазипостоянни натоварвания	Собствено тегло, вода в аквариуми и други	7	35

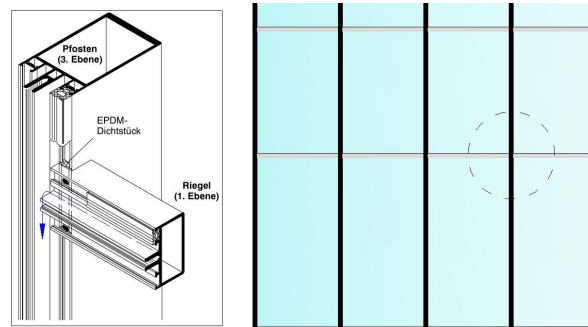
(1) За дебелини $t \geq 10mm$. За $t = 6mm$ могат да се увеличат с до 40%;
(2) Ръбови напрежения

3. Ограждащи конструкции от стъкло и алуминий.

3.1. Общи сведения. Характеристики на алуминиевите фасади.

Ограждащите конструкции от стъкло и алуминий заемат основно място във фасадното строителство в света. Най-често се използва така наречената „пфостен-ригелова конструкция” (колонно-редова конструкция) показана на Фиг. 5.

Основните характеристики на най- популярната сплав за стандартни фасадни профили (използвана например за екструдиране на профилите „Schüco“) са дадени в Таблица 5.



Фиг. 5. Пфостен- ригел фасада от стъкло и алуминий

Таблица 5. Основни характеристики на алуминиева сплав EN AW 6060 T66 [2]

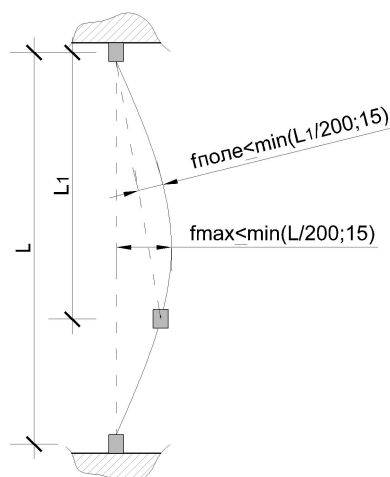
ХАРАКТЕРИСТИКА	ЕД. МЯРКА	СТОЙНОСТ
Модул на линейна деформация- E	MPa	70 000
Характеристична стойност на условната граница на провлачане /0,2% остатъчно удължение/- fo	MPa	150
Коефициент на Поасон- ν	-	0,3

3.2. Оразмеряване на алуминиеви елементи в ограждащи конструкции.

Р. България, за разлика от други европейски държави, няма собствени стандарти за проектиране на ограждащи конструкции от алуминий и стъкло. От 2010г. е в сила европейският стандарт БДС EN 1999, част 1.1. В практиката обаче властите не изискват проекти за ограждащи конструкции, а проектантите в повечето случаи са без необходимото инженерно- строително образование и базират оразмеряването само на обобщени препоръки от производителите за предварителен избор на сечения.

Така например, поради ниския E-модул на алуминиевите сплави и относително високата им условна граница на провлачане, в повечето препоръки се дава процедура за оразмеряване единствено по експлоатационни гранични състояния (вж **Фиг. 6**).

Изключването на проверките по крайни гранични състояния в никакъв случай не е оправдано. Съгласно проучване на автора например, ниският E- модул на алуминиевите сплави може да доведе в някои случаи до загуба на устойчивост преди настъпването на експлоатационно гранично състояние.



Фиг. 6. Допустими провисвания на колонен фасаден профил [4].

4. Насока на бъдещите изследвания.

В практиката често се налага проектирането на остъклени фасади и покриви с големи подпорни разстояния (20m и повече). Стандартните системи за остъкляване не могат да премостват такива отвори, поради което често се изпълняват върху така наречената „подконструкция“. Подконструкцията обикновено е система от мощни стоманени пълностенни или прътови греди. Тя накърнява сериозно еlegantността и прозрачността на остъкляването. Поради това много съвременни изследователи се насочват към търсенето на нови ефективни решения за голямо-отворни остъклявания с увеличена прозрачност: въжени конструкции, греди от ламинирано стъкло и други.

Според автора на настоящия материал едно практично и ефективно решение в тази насока би било създаването на комбинирани греди със затворено сечение, съставено от алуминиеви пояси и стебла от ламинирано стъкло (вж **Фиг. 7**).



Фиг. 7. Комбинирано затворено сечение от алуминий и стъкло

Бъдещото докторантско изследване на автора ще бъде посветено на анализиране на поведението на този нов тип греди и подготовка за популяризирането им в практиката.

Изводи

Младата професия на фасадния инженер изисква, освен интердисциплинарна подготовка, и познаване в детайли на свойствата на специфични конструктивни материали като стъкло и алуминий.

В България фасадното строителство е недостатъчно развито, но този специфичен дял на строителната наука постепенно добива повече разпознаваемост и се очаква да се радва на голяма популярност в бъдеще.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] BDS EN 1990, BIS, 2010, Sofia (in Bulgarian)
- [2] BDS EN 1999, BIS, 2010, Sofia (in Bulgarian)
- [3] Haldiman, Luible, Overend, (2008), Structural Use of Glass, IABSE, 2008, Berne (in English)
- [4] Schüco Technische Kataloge, Schüco AG, 2010, Bielefeld (in German)
- [5] Wurm, (2007), Glass Structures: Design and Construction of Self-supporting Skins, Birkhäuser, 2007, Bazel (in English)
- [6] Yourglasspocket, AGC Flat Glass Europe, 2007, Brussels (in English)