

Жерновой Ф. Е., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Красильникова Е. А., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЗАКАЛЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИ МАТИРОВАННЫЕ СТЕКЛА

fedor.zhernovoj@gmail.com

В ходе лабораторно-промышленного эксперимента установлена возможность успешного применения альтернативных технологий изготовления закаленных матовых стекол, отличающихся последовательностью операций механического матирования и термической закалки. Показано, что при выполнении операций в режиме «закалка → механическое матирование» получаются более прочные (на 12–15 %) стекла, чем в режиме «матирование → закалка». Выбор наиболее приемлемой технологии закалки, по-видимому, может быть сделан с учетом особенностей конкретного производства и ассортимента изделий.

Ключевые слова: листовое стекло, закалка, матирование, пескоструйная обработка, шлифовка, прочность, светопропускание, эффективность

Закаленное матовое листовое стекло с каждым днем приобретает все большую популярность. Его используют в стеклопакетах, витринах магазинов, при изготовлении офисных перегородок, межкомнатных дверей, стеклянных потолков, полов, лестниц, душевых кабин, мебели и др. Создавая мягкое освещение, такое стекло исключает прямую видимость, оно безопасно, красиво, современно.

Известно множество вариантов матирования стекла и стеклоизделий [1], отличающихся как методами воздействия на стекло, так и теоретическими основами и механизмами потери прозрачности. Для листового стекла наибольшее распространение получили механические способы – шлифование и пескоструйная обработка, приводящие к

созданию под воздействием абразивного материала неровной поверхности стекла. При попадании световых лучей на шероховатую отражающую поверхность (причем размеры неровностей превышают длину световой волны) наблюдается диффузное отражение (рассеяние) света – отраженные лучи направлены хаотично относительно друг друга (рис. 1), в результате чего создается непрозрачность, матовость стекла.

Изучая процесс производства матовых закаленных стекол, мы обнаружили, что не существует единого четкого мнения о последовательности выполнения технологических операций механической обработки и закалки, как нет и обстоятельных исследований в этом направлении.

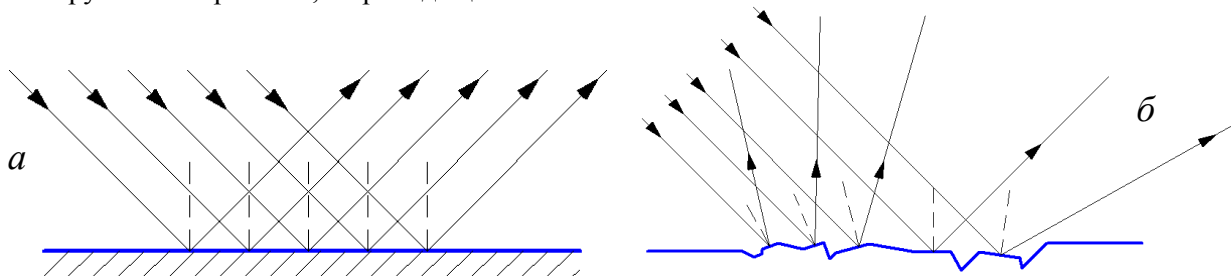


Рис. 1. Зеркальное (а) и диффузное (б) отражение света от прозрачного и матового стекла соответственно

соответственно пескоструем.

Согласно классическим представлениям, пескоструйную обработку (шлифовку), как и все остальные виды механической обработки, во избежание разрушения стекла следует производить до закалки [2].

В то же время, многие специалисты считают, что пескоструйная обработка закаленных стекол это один из немногих видов обработки, которому они могут подвергаться, пройдя процесс закалки и, как правило, пескоструйная обработка стекол и зеркал является завершающим этапом оформления поверхностей из стекла. При этом обращают внимание на то, что закаленное стекло нельзя обрабатывать глубоким

Нередки утверждения, что выполнять пескоструйную обработку стекла можно как до, так и после закалки, причем эффективность обеих технологий равнозначна и проверена практикой.

Производители матовых закаленных стекол акцентируют внимание также на следующих нюансах использования альтернативных технологий:

– нередко специалисты отказываются закалять стекло после пескоструйной обработки поверхности, опасаясь его разрушения вследствие роста микротрещин и микросколов, образовавшихся от ударов зерен абразива;

– зачастую, наоборот, предпочитают пескоструйную обработку производить до закалки, так как при закалке шероховатая структура поверхности немного сглаживается и впоследствии не так сильно пачкается и лучше очищается;

– при изготовлении гнутых матовых закаленных стекол существует опасность оплавления шероховатостей, созданных пескоструйной обработкой, в процессе моллирования стекла, и потери необходимого эффекта рассеяния света;

– выбор предпочтительной технологии зависит как от параметров пескоструйной обработки (давление воздуха, тип и размер зерен аб-

разива, глубина слоя), так и характеристик стекла (толщина, габаритные размеры);

– имеет значение также, какое матирование поверхности стекла производится: сплошное, частичное или художественное (узоры, наносимые через трафарет).

Учитывая существующее разнообразие мнений и отсутствие в литературе сведений о целенаправленных обстоятельных исследованиях по рассматриваемому вопросу, была поставлена задача – изучить влияние очередности процессов механического матирования и закалки на прочностные и оптические характеристики стекол (рис. 2)

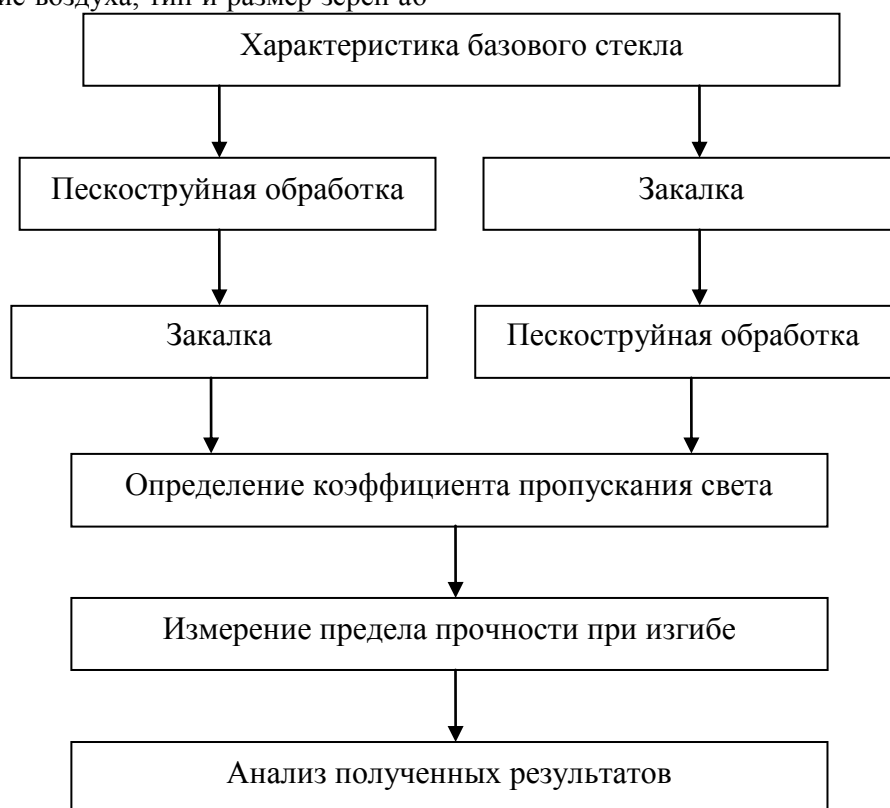


Рис. 2. Блок-схема исследований

В работе использовали бесцветное флоат-стекло («AGC Борский стекольный завод») следующего химического состава, мас. %: SiO₂ – 73; Al₂O₃ – 1,5; CaO – 8,5; MgO – 3,2; Na₂O –

13,5; SO₃ – 0,3, с нормативным комплексом физико-механических свойств (табл. 1), в виде пластин размером 120×40×4 мм.

Таблица 1

Свойства полированного флоат стекла (результаты расчета)

Стекло	Свойства					
	ρ, кг/м ³	σ _{изг} , МПа	Е, ГПа	с, кДж/(кг·град)	λ, Вт/(м·град)	α×10 ⁷ , град ⁻¹
Бесцветное листовое	2474,0	85,8	69,4	0,853	0,933	89,2

Закалка стекла представляет собой сложный технологический процесс, эффективность которого во многом зависит от правильности выбора основных параметров: температуры нагрева, времени выдержки и интенсивности охлаждения [3, 4].

Для определения температуры закалки ($t_{зак}$)

использовали формулы: $t_{зак} = t_g + 80$ и $t_{зак} = t_9$, где t_g – температура стеклования (соответствует вязкости 10^{12,3} Па·с), t_9 – температура, соответствующая вязкости 10⁹ Па·с. Температуры стеклования и закалки находили по уравнению температурной

зависимости вязкости Фогеля–Фулчера–Таммана (ФФТ), выведенному на основе химического состава стекла и метода расчета вязкости Охотина [5]:

$$\lg \eta = -3,03 + \frac{5005}{t - 220,3}; \quad t = 220,3 + \frac{5005}{\lg \eta + 3,03}$$

Закалка стекол осуществлялась на установке вертикально-щелевого типа ООО ПСО «Белплекс» при следующих параметрах процесса: температура нагрева плоского стекла (635±5)°С (температура печи по газовому пространству 680°С), время выдержки – 4 мин, давление воздуха при обдуве 6 кПа.

1-я схема экспериментов «закалка → шлифовка»

Стекла закалили по указанному режиму. Прочность закаленных стекол при центральном симметричном изгибе изменялась от 310 до 340 МПа (прочность исходных базовых отожженных стекол изменялась в диапазоне от 48 до 60 МПа). Коэффициент общего светопропускания прозрачных стекол толщиной 4 мм составляет 0,86.

Закаленные стекла подвергли механической шлифовке в лабораторных условиях двумя абразивами: песок фракции <0,4 мм и фракции 0,4÷0,8 мм (пескоструйную обработку заменили шлифовкой по причине отсутствия

оборудования). Несмотря на априорные предположения относительно разрушения закаленных стекол в процессе механической обработки, ни один образец не разрушился. Шлифовка позволила создать на закаленных стеклах равномерно-матовые светорассеивающие поверхности. Более ровная, качественная, шелковистая поверхность образовалась при использовании мелкого абразива.

2-я схема экспериментов «шлифовка → закалка»

Образцы стекол вначале подвергли шлифовке двумя фракциями песка, затем закалили в условиях ООО ПСО «Белплекс». Разрушения стекол при закалке не отмечалось.

Далее все образцы, прошедшие закалку и матирование по двум альтернативным экспериментальным схемам, были подвергнуты испытаниям (табл. 2):

- определение общего светопропускания на приборе ПОС-1;
- определение предела прочности при центральном симметричном изгибе на разрывной машине R-0,5;
- микроскопическое исследование качества шлифованной поверхности.

Таблица 2

**Результаты испытаний закаленных матированных стекол
(в таблице представлены среднестатистические значения свойств)**

Стекло	Размер абразива, мм	Коэффициент пропускания света, %	Снижение пропускания света, %	Прочность при изгибе, МПа	Потеря прочности, %
Закаленное прозрачное	–	86,0	–	322	–
Схема обработки «закалка → шлифовка»					
Закаленное матовое	<4	66,7	22,4	272,0	15,5
	0,4÷0,8	56,3	34,5	263,0	18,3
Схема обработки «шлифовка → закалка»					
Закаленное матовое	<4	64,0	25,6	236,0	26,7
	0,4÷0,8	54,0	37,2	220,0	31,7

Визуальный сравнительный анализ качества поверхности матовых закаленных стекол, полученных по альтернативным технологиям, существенных различий не выявил.

Светопропускание стекол в значительной мере зависело от размера зерен абразива, снижаясь на 22–26% при обработке песком фракции <0,4 мм и на 34–37% песком фракции 0,4÷0,8 мм. Очередность стадий пескоструйной обработки и закалки заметного влияния на величину светопропускания не оказывала.

Прочность при изгибе закаленных матированных стекол на 15–30% ниже прочности закаленного прозрачного стекла и весьма существенно зависит как от крупности

абразива, так и от порядка выполнения технологических операций (см. табл. 2 и рис. 3).

Естественно, шлифовка абразивом с более крупными зернами приводит к большему снижению прочности, так как в результате ударно-вибрационного воздействия формируется шероховатая поверхность с большей глубиной сколов, выколов и микротрещин.

Обращают на себя внимание следующие результаты исследований:

- ни один образец закаленного стекла в процессе шлифовки, как мелким, так и более крупным абразивом не разрушился;
- изготовленные по общепринятой схеме «шлифовка → закалка» матовые стекла имели

прочность при изгибе на 12–16% ниже прочности стекол, полученных по схеме «закалка → шлифовка». По-видимому, наличие на стекле одной шлифованной (непрозрачной) поверхности, имеющей иные коэффициенты теплопоглощения и теплоотдачи (в сравнении с прозрачной поверхностью стекла) затрудняет процесс формирования закалочных напряжений и приводит к их снижению, то есть при одних и тех же параметрах режима степень закалки

прозрачного стекла, всегда выше, чем матового со шлифованной поверхностью. С другой стороны, в процессе закалочной термообработки матового стекла определенное развитие получают микротрещины, образовавшиеся на этапе шлифовки, они не достигают критических размеров, однако снижают прочность матового стекла, полученного по схеме «шлифовка → закалка».

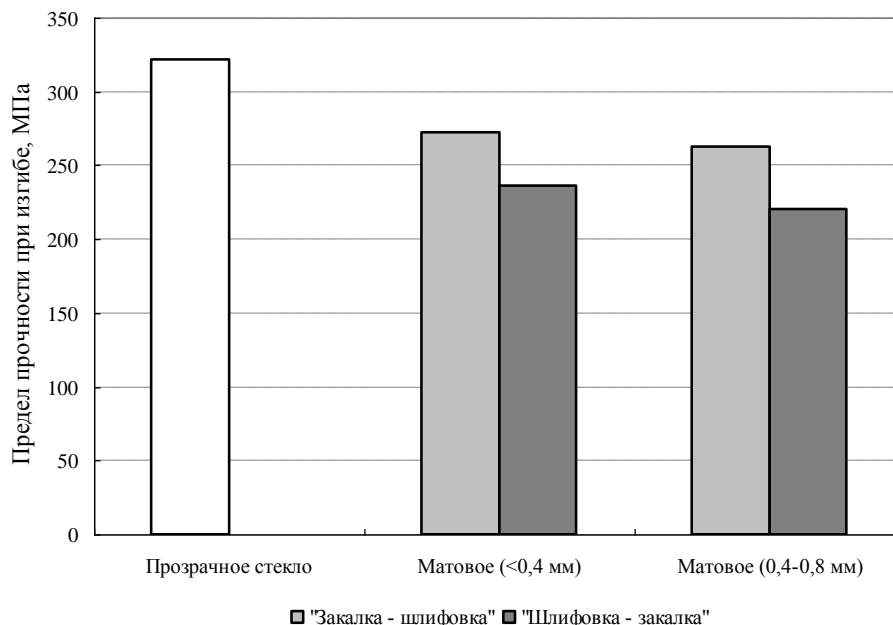


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе матовых закаленных стекол от крупности зерен абразива и схемы матирования

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- матирование стекол способом пескоструйной обработки (шлифовки) можно при необходимости проводить как до, так и после закалки, так как этот вид механической обработки не приводит к разрушению закаленных стекол; исключение составляет «глубокая» механическая обработка с применением крупного абразива;

- внешний вид и показатели степени рассеяния света стекол, полученных по альтернативным технологиям, существенно не различаются;

- предел прочности при изгибе стекол, матированных после закалки выше, чем закаленных после матирования, разница достигает 15%;

- с целью повышения степени достоверности и надежности полученных результатов эксперименты следует повторить в заводских условиях на образцах больших размеров, с применением аппарата для пескоструйной обработки стекла.

Учитывая возможность успешной реализации любой из рассматриваемых технологий получения закаленных матовых стекол, произво-

дители могут выбирать наиболее удобную, обосновывая и согласуя свой выбор с возможностями производства, ассортиментом стекол и видом матовости (сплошная, узорчатая), пожеланиями заказчиков и т.п.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матирование – современный способ декорирования стеклоизделий/ Н.И. Минько, В.С. Бессмертный, В.А. Панасенко, С.В. Семенов, С.Н. Зубенко, Н.И. Волошко// Стекло и керамика. 2003. №6. С. 3–5.
2. Шабанов А. Г. Методика прогнозирования разрушения стекла при закалке/ А. Г. Шабанов, А. И. Шутов, В. П. Марков// Стекло и керамика. 1991. №8. С. 10–12.
3. Шутов А. И. Модель закалки листового стекла / А. И. Шутов, С. В. Алексеев, Т. В. Яшуркаев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. №10. С. 329–331.
4. Мазурин О.В. Отжиг и закалка стекла : учебное пособие / О. В. Мазурин, Ю. Л. Белосусов. М.: МИСИ, 1984. 114 с.
5. Мазурин О.В. Расчет вязкости стекол : учеб. пособие / О. В. Мазурин, Г. П. Николина,

М. Л. Петровская. Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1988.
– 46 с.