

УПРОЧНЕНИЕ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, УСТОЙЧИВЫХ К УДАРНЫМ НАГРУЗКАМ

In present work result of the influence of chemical pickling on proper by of sheet glass, with purpose of creation technology of formation of lightening many-layered anty-blow construction from the glass are consicered. As result four-divisible increase of initval (material) glass after pickling is uchived. This is allowed to reduce of the mass many-loyered proteclive construction from the glass without change for the worse of protective propertis.

В настоящее время возрастает роль стекла как средства защиты людей и имущества от случайных и намеренных повреждений, а также от нападений.

Предприятиями Республики Беларусь производятся ударостойкие многослойные конструкции из стекла 4-х классов, пуленепробиваемые стекла 3-х классов и др.

Основной проблемой, с которой сталкиваются предприятия-производители безопасных стекол является большая масса получаемых конструкций, что требует применение особых систем крепления, осложняет эксплуатацию подвижных средств, на которых их устанавливают, удорожает производство. Предварительное упрочнение листового стекла – основа безопасных стекол – позволяет добиться существенного снижения толщины изделий при сохранении ими требуемых защитных характеристик.

В настоящей работе приведены результаты исследований по изучению влияния химического травления на свойства листового стекла, имеющего конечной целью создание оптимизированной технологии производства облегченных многослойных конструкций на их основе. Хотя данный метод упрочнения стекла хорошо известен, тем не менее работы по совершенствованию режимов травления, адаптации их к конкретным составам стекол продолжают в настоящее время [1, 2].

Как известно, механизм упрочнения стекол при их химическом травлении состоит в удалении различного типа дефектов, образующихся, например, при воздействии на их поверхность абразивных частиц в процессах резки, транспортирования [3]. Сюда же следует отнести микротрещины, возникающие при формовании стекла под действием термоупругих напряжений, а также субмикротрещины, появляющиеся при охлаждении листового стекла, имеющего в целом неоднородную (слоистую) структуру.

Непредсказуемое распределение дефектов по площади образцов приводит к необходимости проведения большого числа измерений для оценки, например, прочности стекла (не менее 15–20) и применения специальных методов их обработки, что учитывалось в настоящей работе.

Проведенные исследования показали определяющее влияние состава травильной ванны на скорость травления и характер поверхности листового стекла.

Изучение влияния концентрации HF на процессы, протекающие при травлении листового стекла Борского стеклозавода при использовании:

- а) ее смесей с H_2SO_4 (98%);
- б) ее водных растворов различной концентрации (без H_2SO_4) показало следующее:
 - наибольшая скорость травления достигнута при концентрации 20% HF (водный раствор);

Таблица 1

Зависимость степени шероховатости поверхности стекла от состава травильной ванны и продолжительности травления

Показатель	Иходное стекло	Упрочненное стекло							
		в водном р-ре HF				в смеси HF + H ₂ SO ₄			
Средняя толщина стравленного слоя	0	36	70	115	151	17,0	43	77	99
Степень шероховатости*, $\Delta d \cdot 10^3$ мм	4,9	9,1	11,2	15,2	18,4	6,2	8,3	9,7	11,1

* Степень шероховатости $\Delta d \cdot 10^3$, мм, определялась как среднее квадратичное отклонение толщины образца.

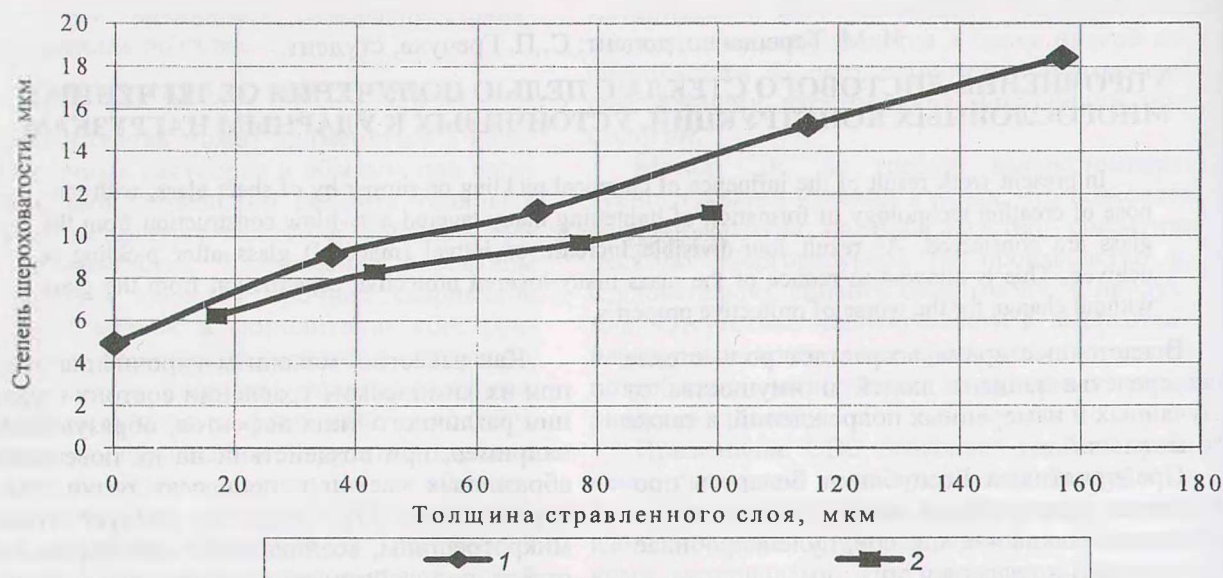


Рис. 1. Влияние состава ванны и продолжительности травления на качество поверхности образцов: 1 – водный раствор HF; 2 – смесь HF + H₂SO₄ + H₂O

– повышение скорости травления сопровождается ухудшением качества поверхности листового стекла;

– при травлении смесью кислот HF + H₂SO₄ проявляется полирующий эффект, что позволяет при достаточно больших скоростях травления получать поверхность стекла удовлетворительного качества.

Данные табл. 1 и рис. 1 демонстрируют изменение степени шероховатости поверхности образцов стекла в зависимости от состава травильной ванны и продолжительности травления.

Как следует из приведенных данных, присутствие H₂SO₄ в травильном растворе благоприятно влияет на качество поверхности стекла, снижая шероховатость его поверхности, что особенно заметно при продолжительных режимах травления.

Это явление следует объяснить растворением в H₂SO₄ солей, образующихся при взаимодействии HF со стеклом. Именно за счет удаления их с поверхности стекла происходит более равномерное ее протравливание по всей площади образца.

Таблица 2

Механические характеристики листового стекла до и после травления

Материал	Толщина стравленного слоя	Прочность при изгибе $\sigma_{изм}$, МПа	Удельная ударная вязкость a , кДж/см ²	Модуль Юнга E , ГПа
Исходное стекло	0	69,6	4,39	63,6
Упрочненное	19,0	106,1	7,10	62,6
	43,0	140,8	8,30	63,5
	66,3	171,0	9,82	62,2
	77,5	185,0	16,6	60,1
	99,0	208,2	17,40	55,5
	120,0	228,0	17,03	51,2
	162,5	236,2	18,53	51,13

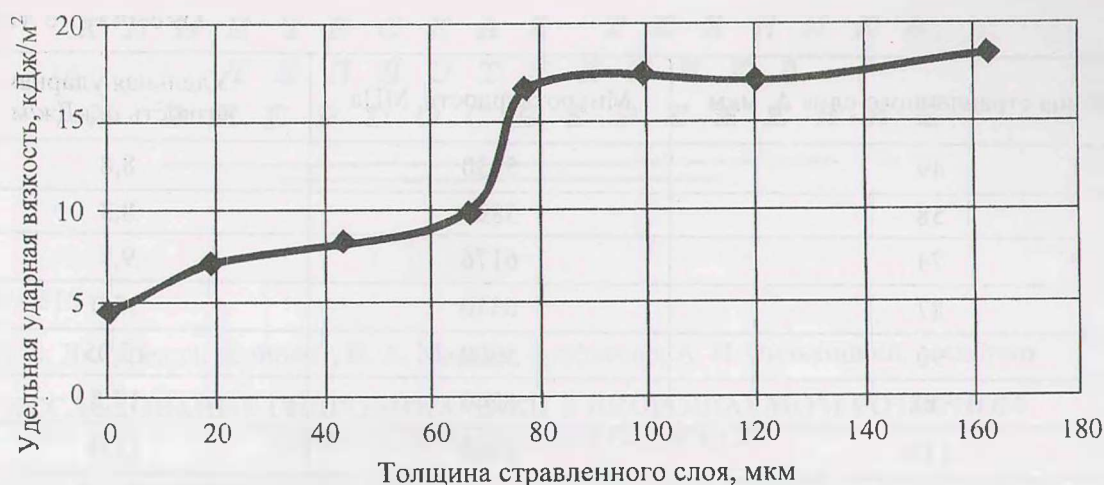


Рис. 2. Зависимость удельной ударной вязкости стекол от продолжительности травления в смеси кислот HF + H₂SO₄

Изучение влияния химического травления на степень упрочнения листового стекла при возрастании толщины стравленного поверхностного слоя Δ от 20 до 170 мкм показало следующее:

- быстрый рост механической прочности образцов происходит при достижении значений $\Delta = 75-80$ мкм, дальнейшее травление обеспечивает относительно небольшой прирост прочности (рис. 2);

- прочность образцов в результате травления увеличилась в 4,2–4,4 раза.

В табл. 2 представлены механические характеристики листового стекла до и после травления в водном растворе HF и в смеси HF + H₂SO₄ (усредненные значения).

Как показывают экспериментальные данные, в ходе травления достигается примерно одинаковая степень упрочнения образцов независимо от способа испытаний: трехточечный изгиб либо ударная прочность. Однако при проведении испытаний на ударную вязкость упрочненных стекол обратил на себя внимание существенно меньший разброс результатов в сравнении с методом трехточечного изгиба (дисперсия 6–7% против 18–19% соответственно). Этот факт следует связать с проявлением влияния краевого эффекта, возникающего при медленном нагружении образцов. Мгновен-

ное разрушение их при испытании на удар устраняет влияние на прочность дефектов краевых зон образцов, получаемых путем резки листового стекла.

Кроме того, ударная вязкость листового стекла напрямую определяет уровень защитных свойств многослойных конструкций на его основе, поэтому в дальнейшем мы ориентировались на этот показатель.

Как показывают данные исследования, после достижения толщины стравленного слоя, превышающей 80–85 мкм, фиксируется заметное возрастание прочностных характеристик опытных стекол, что соответствует средней глубине дефектной поверхностной зоны флот-стекла, определяемой условиями его получения, хранения и эксплуатации. Дальнейшее травление обеспечивает лишь легкий прирост прочности образцов. Таким образом, в совокупности данные по изменению прочностных показателей и степени шероховатости поверхности образцов показывают, что травление флот-стекла необходимо производить на глубину $\Delta = 85-90$ мкм. Именно при данных условиях достигается высокий прирост прочности образцов без заметного ухудшения их оптических характеристик (отсутствие искажения объектов при просмотре их через стекло, проверка образцов по методу «зебра»).

Таблица 3
Микротвердость опытных образцов (травление в водном растворе HF + H₂SO₄)

Толщина стравленного слоя Δ , мкм	Микротвердость, МПа	Удельная ударная вязкость a , кДж/м ²
0	5050	5,2
32	5390	7,0

Толщина стравленного слоя Δ , мкм	Микротвердость, МПа	Удельная ударная вязкость a , кДж/м ²
49	5430	8,8
58	5890	8,3
74	6176	9,9
87	6330	12,0
90	5900	15,05
108	6240	17,8
130	6480	17,0

Определение микротвердости опытных образцов и связь получаемых значений для упрочненных при различных режимах стекол представляет большой интерес, позволяя, например, уточнить механизм их упрочнения. Проведенными исследованиями установлена корреляция между значениями микротвердости упрочненных стекол и продолжительностью их травления.

Как следует из данных табл. 3, увеличение продолжительности травления (возрастание толщины стравленного слоя) вызывает рост значений микротвердости с 5050 до 6480 МПа.

Это может объясняться снижением уровня микронапряжений в поверхностном слое травленного стекла за счет повышения степени его химической однородности.

В свою очередь, последнее обстоятельство связано с усилением миграции ионов Na , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} в раствор в ходе длительного травления.

Таким образом, говоря о механизме упрочнения стекол при химическом травлении, наряду с удалением опасных поверхностных дефектов необходимо учитывать также и этот, менее выраженный эффект.

Литература

1. Леоников А. К., Быкодорова И. С. Новый метод упрочнения кварцевого стекла // Стекло и керамика. – 1998 – № 2. – С. 7–9.
2. Вацек М., Купф В. Химическая обработка стекла. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 104 с.
3. Дятлова О. Н. Химическая полировка стекла. – М.: Легкая индустрия, 1968. – 60 с.