

ТЕХНОЛОГИЯ СТЕКЛА

И. И. КИТАЙГОРОДСКИЙ

**САМОЗАКАЛКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
УСТОЙЧИВОСТИ (ПРОЧНОСТИ) СТЕКЛА**

*(Представлено академиком И. В. Гребенниковым 2 IV 1938)*

Основным недостатком стекла является его хрупкость. Обычное стекло способно выдерживать небольшие деформации и при разрушении дает осколки с очень острыми краями.

В течение ряда лет ведутся работы по борьбе с хрупкостью стекла. Работы идут по двум основным направлениям:

1. Проклеивание или склеивание стекол эластичной или прозрачной прокладкой, на которой при разбивании задерживаются осколки стекла (триплекс).

2. Увеличение механической прочности стекла путем его термической обработки. Триплекс, обладая вполне удовлетворительными механическими свойствами, имеет ряд недостатков, из которых основным является уменьшение прозрачности с течением времени и появление пожелтения.

Независимо от достижений в области производства стекол с прокладкой одновременно велись работы по повышению механической прочности самого стекла путем закалки.

При быстром охлаждении стекла наружные слои быстро затвердевают, в то время как внутренние находятся еще в размягченном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои, стремясь сжаться, создают в наружных слоях напряжения сжатия, а во внутренних—напряжения растяжения. Многочисленные попытки использовать это свойство стекла для повышения его прочности увенчались практическим успехом лишь за последние годы. Искусственным воздушным охлаждением обыкновенного зеркального стекла получено безопасное стекло «секюрит», обладающее высокими механическими свойствами. При раскалывании лист секюрита дает мелкие, тупые осколки величиной с горошину, не причиняющие порезов.

Однако при охлаждении поверхностей листа воздухом, подаваемым через многочисленные мелкие сопла, закалка по всей поверхности протекает неравномерно. Сильнее охлаждаются те части поверхности листа, которые расположены против вылета воздуха из сопел; между ними охлаждение идет менее интенсивно; поэтому надо полагать, что натяжения по поверхности распределяются синусоидально продольно и поперечно. Интересно отметить, что при испытании секюрита получаются различные данные в зависимости от того, служил ли шар или цилиндр с заостренным концом для разрушения стекла.

Нами была поставлена задача получения стекла высокой механической прочности путем создания натяжений (после спекания и последующего охлаждения на воздухе) двух или нескольких слоев стекла, обладающих одинаковыми или близкими коэффициентами термического расширения, но различными скоростями твердения, без применения специального охлаждения. Снаружи находится слой быстро твердеющего, а внутри медленно твердеющего стекла.

Предполагалось, что при охлаждении в таком стекле—«бисквите»—должны возникнуть сильные напряжения, обусловленные разницей в скоростях твердения. Если бы этот принцип себя оправдал, не представляло бы затруднений практическое производство накладного листового стекла таким способом.

В лаборатории технологии стекла Московского химико-технологического института им. Менделеева была поставлена экспериментальная работа\*, имевшая целью проверку указанного выше принципа получения механически прочного стекла.

Были сварены быстро и медленно твердеющие стекла, обозначаемые в дальнейшем соответственно через «N» и «W» («N»—наружный слой и «W»—внутренний слой).

Кроме того было опробовано обычное натрово-известковое стекло, вырабатываемое по способу Фурко (стекло «O» и стекло «CO»), скорость твердения которого была значительно повышена введением окиси кобальта в количестве 0.1% (стекло «CO»). Коэффициент расширения этого стекла при этом почти не изменяется.

Из сваренных стекол были изготовлены пластинки размером  $2 \times 2$  см и толщиной 2 мм для стекол «N» и «CO», составлявших наружные слои, и в 3, 4, 5 мм толщиной для стекол «W» и «O», составлявших внутренние слои. Таким образом суммарная толщина «бисквита»—накладных стекол—соответственно составляла 7, 8 и 9 мм. Пластинки, предназначенные для внутреннего слоя, были сделаны толще, чем для наружных, так как предполагалось, что, чем толще будет внутренний слой, препятствующий в состоянии размягчения сжатию наружных слоев, тем сильнее будут возникающие в образце напряжения.

Толщина образцов в 7, 8 и 9 мм примерно соответствует толщине вынуждаемого за границей стекла секюрит.

Спекание образцов производилось в электрической муфельной печи при температурах 700, 750 и 800°. Образцы помещались в печь, после чего она нагревалась до требуемой температуры, по достижении которой образцы быстро извлекались и охлаждались при комнатной температуре (18—20°).

Для сравнения были испытаны образцы из соответствующих стекол, имеющие такую же толщину, отожженные и закаленные при указанных температурах.

Качественная оценка натяжений, возникших в образцах, производилась при осмотре их в полярископе, количественная оценка—по шкале Кнаппа.

Оказалось, что степень натяжения в однослойных закаленных образцах примерно в 3 раза меньше, чем для образцов, полученных спеканием.

Полученные образцы были подвергнуты испытанию на удар. Прочность на удар определялась работой, которая затрачивалась на разрушение

---

\* Экспериментальная часть выполнена студентом-дипломантом Московского химико-технологического института им. Менделеева И. А. Смирновой в 1935 г.

стекла. Для характеристики прочности принималась средняя величина из четырех определений.

Данные результатов испытания всех стекол сведены в таблице.

Стекло	Толщина образ. в мм	Прочность на удар в килограммометрах при различных температурах закалки			Примечание
		700°	750°	800°	
Стекло «СО», отожженное . . . . .	9	—	0.08 (при норм. темп.)		Разбивается на острые осколки
Стекло «СО», закаленное . . . . .	7	0.11	0.14	0.19	Разбивается на мелкие острые осколки
	8	0.14	0.22	0.27	
	9	0.19	0.32	0.38	
Стекло «СОСО» . . . . .	7	0.21	0.21	0.21	Разбивается на мелкие осколки, в основной массе имеющие тупые края
	8	0.34	0.34	0.34	
	9	0.55	0.72	0.79	
Стекло «N», отожженное . . . . .	9	—	0.095	(при норм. темпер.)	То же, что для стекла «СО», отожженного
Стекло «N», закаленное	7	0.14	0.21	0.30	То же, что для стекла «СО», закаленного
	8	0.17	0.23	0.32	
	9	0.22	0.26	0.37	
Стекло «NWN» . . . . .	7	0.38	0.38	0.38	То же, что для стекла «СОСО»
	8	0.53	0.53	0.53	
	9	0.90	1.07	1.20	

Из рассмотрения полученных данных экспериментальной работы следует:

1. Прочность на удар образцов, изготовленных спеканием, значительно выше обычных отожженных и закаленных стекол. Прочность образцов, изготовленных из стекол «NWN», по сравнению с отожженным стеклом «N» в 12 раз выше. По сравнению с закаленным стеклом «N» прочность стекла «NWN» в 3 раза выше.

Прочность образцов, изготовленных спеканием стекол «СОСО», по сравнению с отожженным стеклом «СО» почти в 10 раз выше.

По сравнению с закаленным стеклом «СО» прочность стекла «СОСО» в 2 раза выше.

2. Абсолютная величина прочности образцов из стекол «NWN» выше стекол «СОСО». Для первых максимальная работа для разрушения образцов составляет 1.2 килограммометра, а для вторых только 0.79 килограммометра при прочих равных условиях. Основная причина этого лежит повидимому в большой разности скоростей твердения первых стекол по сравнению со вторым.

3. Зависимость прочности от толщины образца и температуры «само-закалки» во всех случаях выражается кривыми второго порядка, что особенно ярко выражено у образцов, полученных спеканием.

4. Увеличение прочности при повышении температуры закалки происходит гораздо медленнее, чем при увеличении толщины.

В образцах, полученных спеканием, толщиной 7 и 8 мм, прочность практически не изменяется с температурой. Влияние ее сильно выражено при толщине образцов в 9 мм.

Для обычных закаленных стекол прочность, наоборот, возрастает сильнее с повышением температуры закалки, нежели с увеличением толщины образца. Это указывает, что на прочность образца, полученного спеканием, большее влияние оказывает соотношение толщин слоев быстро и медленно твердеющего стекла, чем температура закалки.

5. Техническое требование, предъявляемое к «секюриту» в отношении прочности на удар, выдерживают все полученные стекла (стекла «*N W N*» при толщине от 8 мм и при всех температурах закалки, стекло «*CO O CO*» при толщине 9 мм и температуре закалки 800°).

Из результатов данной работы можно сделать следующие выводы:

1) Предложенный нами принцип получения механически прочных стекол, проверенный в лабораторных условиях на совершенно различных по составу стеклах, вполне себя оправдал.

2) Стекла «*N W N*» и «*CO O CO*» по прочности на удар не уступают «секюриту».

3) Характер осколков, получаемых при разбивании образца, таков, как у «секюрита».

4) По указанному принципу можно получать цветные стекла, комбинируя окрашенные слои с неокрашенными.

5) Предложенный способ увеличения механической прочности стекла может быть осуществлен как обработкой готового стекла, так и в процессе его изготовления.

6) Следует полагать, что, комбинируя метод самозакалки с дополнительным охлаждением (по принципу получения «секюрита»), возможно еще больше повысить механическую прочность стекла.

Московский химико-технологический  
институт им. Менделеева.

Поступило  
7 IV 1938.