

И.М. Терещенко, доц., канд. техн. наук;  
Ю.А. Климош, декан факультета ХТиТ, канд. техн. наук;  
Ю.Г. Павлюкевич, зав кафедрой ТСиК, канд. техн. наук;  
А.П. Кравчук, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **СТЕКЛО В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА (ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР)**

Стекла, издавна используемые человечеством, имели силикатную основу. В настоящее время показана возможность получения практически неограниченного числа составов стекол, не содержащих кремнезема, то есть  $\text{SiO}_2$  не является необходимым элементом стекла, хотя 95% промышленных стекол – силикатные.

Более того, природа стекол не обязательно должна быть неорганической и неметаллической.

В настоящее время получено большое число органических стекол, получают нарастающее применение и металлические стекла, получаемые из расплавов при условии достижения высочайших скоростей охлаждения. Таким образом, определение стекла не может базироваться на химической природе материала.

Традиционно стекло получали из расплавов, путем их переохлаждения. Однако этот способ не является единственным. В настоящее время стекла, например, получают методом осаждения паров, путем реализации золь–гель процессов в растворах, в ходе облучения кристаллических веществ нейтронами. В итоге способ получения стекла также является вторичным признаком.

Признаками же, определяющими понятие стекла, могут служить две его характерные особенности:

- стекла относятся к одному из типов аморфных структур, не обладающих упорядоченным расположением атомов;
- любое стеклообразное вещество характеризуется отсутствием определенной температуры плавления.

При нагреве стекло постепенно размягчается, переходя в итоге в жидкое состояние. Таким образом, для стекла в зависимости от температуры возможны следующие состояния: хрупкое, пластичное и жидкое.

В итоге стекло может быть определено как аморфное тело, не обладающее упорядоченной структурой и имеющее температурный интервал плавления.

В окружающей нас обстановке стекло настолько привычно, что его присутствие воспринимается как нечто само собой разумеющееся.

Однако отношение к данному материалу не всегда было таким. В египетской цивилизации стекло рассматривалось как драгоценность, свидетельством чему являются стеклянные бусы, украшающие золотые погребальные маски египетских фараонов в их захоронениях.

В ранний период человеческой истории люди использовали вулканическое стекло – обсидан для изготовления орудий труда и оружия – скребков, ножей, топоров, наконечников стрел и копий.

Традиционно стекло получали путем плавления исходных компонентов. По последним данным возраст наиболее древних египетских стекол составляет не менее 5,5–6 тыс. лет.

Как впервые человеком было получено стекло?

По одной из версий сочетание соли  $\text{NaCl}$ , известняка  $\text{CaCO}_3$  и кремнезема  $\text{SiO}_2$ , находившихся в горячей золе костра на берегу моря, могло настолько снизить температуру плавления  $\text{SiO}_2$ , что привело к получению остеклованной массы. Вероятно, на этот феномен было обращено внимание, а затем какой-либо гений древности сообразил, что стекло можно получать специально, и установил тип и соотношение его основных компонентов.

По другим данным возникновение стекла связано с развитием гончарного ремесла, в частности с освоением производства глазурованной водонепроницаемой керамики. Процесс получения стекловидных покрытий в ходе обжига изделий из глины, неизбежно должен был привести к идее использования стеклообразующих смесей в качестве материала, имеющего самостоятельное значение.

Существует и еще одна версия, согласно которой зарождение стеклоделия связано с развитием техники плавления металлов. Возможно, именно поэтому составы стекол древних египтян близки по виду и свойствам к шлаковым металлургическим расплавам. Именно Египет стал центром стекольного производства к середине второго тысячелетия до н. э. В этот период изделия оформлялись примитивным способом, поскольку во все времена техника стеклоделия была связана с техникой получения высоких температур. Из получаемой на кострах пластической массы формовались бусы, браслеты, сосуды примитивной формы раскатыванием и прессованием с помощью глинисто-песчаных стержней. Первобытные стекла применялись для изготовления бус, предметов религиозного культа и инструментов с режущим краем. Постепенно были введены в практику методы изготовления изделий заданной формы. Так бутылки получались наматыванием ленты стекла на шаблон из уплотненного песка, который после охлаждения изделий соскребался с внутренней поверхности и удалялся. Конечно, подобные изделия имели грубые полупрозрачные стенки,

зачастую искривленные.

Позднее Рим становится центром стеклоделия (I век до н. э.). В античную эпоху из стекла изготавливали различные сосуды, вазы, кувшины, бутылки, чаши, стаканы. Стекло уже плавилось в горнах, использовалось дутье с помощью мехов, что позволило увеличить температуру и получать жидкотекучую массу, из которой возможно было осуществить вытягивание стеклянных нитей, получать более совершенные изделия. Методы отливки и прессования, введенные в практику, позволили улучшить качество стеклянной посуды, получать прозрачное, хотя и плохо осветленное (запузыренное) стекло, характеризующееся также наличием ряда других пороков.

Изобретение около I века до н. э. стеклодувной трубки стало крупным шагом в истории стеклоделия, а с ней и способа выдувания изделий. В итоге резко расширились области использования стекла, а также улучшилось качество получаемых изделий. Стеклянная посуда стала намного доступнее, появилась возможность получать тонкое плоское стекло, что в итоге привело к практике остекления окон в жилищах.

Далее в повседневную жизнь вошли окрашенные стекла. Методы получения ряда цветовых оттенков стекол сохранялись как семейные секреты и передавались из поколения в поколение. Например, секрет получения «золотого рубина» был открыт, затем утерян и лишь через сотни лет был открыт повторно. Умение окрашивать стекло в различные тона в сочетании с выдувным методом формования позволило получать изящные высокохудожественные изделия: кубки, бокалы, посуду, великолепные цветные витражи больших соборов и др.



**Чаша Ликурга (предположительно александрийской работы IV века н. э.)**



**Портлендская ваза (предположительно I век н. э.)**

Изготовление изделий из стекла превратилось в искусство. Особых успехов добились венецианские мастера, куда переместился мировой центр стеклоделия в XIII–XVII веках. Венецианское стекло, окрашенное в различные цвета, отличалось изяществом формы, художественной ценностью, отделывалось золотом и филигранью, и составляло важную часть бюджета Венеции. Особую известность приобрели венецианские зеркала и посуда. В обиход вошли тигельные, горшковые (XVII в.) и ванные печи периодического действия (XVIII в.).



**Венецианские изделия из синего стекла, которое окрашено кобальтом и украшенное сусальным золотом и эмалью (Италия, Мурано, около 1500 г.)**



**Ваза из бесцветного муранского стекла, конец 16 века**



**Блюдо из муранского стекла (около 1510 г.)**

Способы ручного формования господствовали до начала XIX века, достигнув, впрочем, высокого художественного исполнения, техники и искусства декора.

Период технических революций (конец XVIII – начало XIX вв.) обусловил переход к массовому производству изделий из стекла и одновременно создал предпосылки для создания новых областей их использования.

Этот отрезок времени ознаменовался рядом изобретений, предопределивших последующий качественный скачок стеклоделия. К ним относятся:

- изобретение пирометра в 1789 г., что позволило контролировать температуру варки стекла;
- освоение массового производства плоского стекла методом цилиндров;
- начало производства зеркального стекла методом периодической прокатки;
- появление способа формования прессованием в формах на рычажном прессе;
- использование экономичного генераторного газа для отопления печей;
- изобретение газогенераторного отопления, появление первых газогенераторов.

Сименс в 1870 г. предложил конструкцию непрерывной ванной регенеративной печи с высокой производительностью, являющейся прототипом современных тепловых агрегатов для варки стекла. Таким образом, были заложены предпосылки для поточных технологических процессов с высоким уровнем механизации.

В итоге за весьма короткий период производство стеклоизделий было оснащено высокопроизводительным формующим оборудованием, в котором были реализованы идеи использования сжатого воздуха, получение изделий методом прессовывдувания, способом механического вытягивания плоского стекла и трубок.

Основными вехами на пути создания механизированных способов производства массовой продукции на основе стекла стали:

- освоение механизированного производства прессованных полых изделий (стаканы);
- разработка Ф. Арбогастом принципов механического выдувания изделий из стекла, изобретение первой машины для формования бутылок (ручной привод).

Особо следует выделить период 1910–1920 гг., в течение которого были изобретены:

- способы вакуумного непрерывного (1911 г.) и капельного фидерного (1913г.) питания формующих машин стекломассой;

- освоены способы вертикального и вертикально-горизонтального вытягивания листового стекла (метод Фурко и Либбей–Оуэнс);
- полностью механизированное производство бутылок с двухстойной формующей машиной Линча (1913г.);
- освоение технологии непрерывного вытягивания трубок (горизонтальное вытягивание, метод Даннера) – 1917 г.;
- в 1925 г. появились первые секционные формующие машины фирмы Гартфорд; затем наступила эра роторных стеклоформующих машин типа Руаран–7 и им подобных. В настоящее время стеклотарное производство полностью ориентируется на секционные линейные автоматы (выдувные и прессовыдувные), доказавшие в ходе эволюции свои преимущества перед другими типами формующих машин;
- освоены безлодочный способ вытягивания плоского стекла (метод Питсбурга, 1928 г.), способ вертикально-горизонтального вытягивания трубок (Велло) – 1929 г. и, наконец, метод вертикального вытягивания труб большого диаметра (Корнинг Гласс) – 1932 г.;
- разработана технология непрерывного проката листового стекла – 1930 г.

В последующий период расширяется роль стекла в технике (изоляторы, колбы электрических ламп накаливания, оптическое и сигнальное стекло, стеклянное волокно и др.), что в итоге привело к созданию соответствующих высокопроизводительных поточных производств.

Так в 1930 году появились карусельные машины Вест-Лейка для автоматического формования тонкостенных бесшовных изделий (колбы ламп накаливания, стаканы), которые явились прототипом для автоматов ВК-24 и ВС-24, до нынешнего времени используемые отечественной стекольной индустрией. Затем появились машины типа Оливотто, способные формовать широкий ассортимент тонкостенных полых изделий, а также конвейерные формующие машины Риббон (Корнинг Гласс), поражающие воображение своей производительностью (до 1,5 млн. колб в сутки).

Открытие химически устойчивых боросиликатных стекол оказало сильное влияние на развитие химии и во многом обусловило переход от изысканий алхимиков к современной науке.

История непрерывного производства стекловолокна и материалов на его основе началась в 1930 году реализацией центробежного способа Хагера, который был предназначен для получения непрядильных штапельных волокон. Далее были разработаны дутьевой способ (Оуэнс– Иллинойс, 1933 г.), при котором непрерывные струйки расплава, вытекающие из платинового фильерного сосуда, подвергаются воздействию высокоскоростного газового потока, и наконец TEL – способ (Сент–Гобен, 1951 г.), сочетающий действие центро-

бежных сил (центрифуга) на стеклообразующий расплав и раздув с помощью скоростных горелок, что позволяет получать весьма тонкое качественное волокно.

Для получения непрерывного стекловолокна наибольшее распространение получил метод фильерного вытягивания (Оуэнс-Корнинг, 1937 г.). Особое значение для систем связи получили непрерывные оптические волокна из кварцевого стекла, освоение производства которых привело к революционным преобразованиям в индустрии передачи информации, поскольку замена металлических кабелей на стекловолоконные во много раз увеличила объем и качество передаваемой информации по всему миру.

Наконец в 50-х годах прошлого столетия фирмой «Пилкинтон Бразерс», возглавляемой Аластером Пилкингтоном, предложена новая непрерывная технология получения полированного стекла на расплаве олова (флоат-процесс). В настоящее время технология «плавающей ленты» практически вытеснила традиционные способы производства листового стекла.



**Аластер Пилкингтон**

В ряде отраслей промышленности, например, в химической, на первом плане находится синтез новых веществ, в других (автомобильной, станкостроительной) – процессы обработки и формования изделий. В отличие от них производство изделий из стекла включает как синтез (варку) стекла и формование изделий, так и их обработку (термическую, механическую, химическую и т. д.).

Стекольная индустрия не относится к ведущим определяющим мощь государств, тем не менее, производство изделий из стекла на душу населения является важным показателем экономического благосостояния стран. В развитых странах производится 40–66 кг/человека стекла (Россия – 15 кг/человека). Стекло все чаще является составной частью готовых изделий и конструкций, растет его использование в самых разнообразных областях техники и быта. Это обусловлено ря-

дом замечательных свойств стекла, которыми не обладают другие типы материалов. Стекло однородно и химически устойчиво, негорюче, не подлежит гниению, обладает достаточной прочностью и твердостью.

Однако на первое место среди свойств стекла следует поставить его оптические характеристики, придающие изделиям красоту и привлекательность при высокой практичности. В основе их лежат особенности взаимодействия видимого света со стеклом.

В природе известно очень мало веществ, способных пропускать видимое излучение, и, видимо, именно поэтому человечество всегда привлекали, привлекают и будут привлекать яркие, блестящие предметы. Свидетельством тому многие драгоценные и полудрагоценные камни, ценящиеся и по нынешний день за цветовой оттенок либо его отсутствие, прозрачность, блеск. Металлы же и практически все природные органические материалы непрозрачны, многие жидкости обладают прозрачностью, но не устойчивы химически, и не могут длительное время сохранять свои свойства.

Таким образом, особенностью изделий из стекла в сравнении с другими материалами является их эстетическая привлекательность, благодаря чему стекло, наряду с техническим применением, широко используется в быту для изготовления различных видов посуды, емкостей для напитков, люстр, окон, зеркал, художественных изделий.

Приведем лишь некоторые примеры использования стекольной продукции:

- прозрачными листами стекла заполняют световые проемы зданий и сооружений, а также остекляют транспортные средства, в особенности часто здесь используется закаленное и многослойное стекло;

- стеклянная посуда и тара, электроосветительная арматура и электролампы, зеркала и очки – являются неотъемлемыми аксессуарами нашего быта;

- узорчатое и армированное стекло, стеклоблоки находят применение в строительной индустрии, архитектуре;

- легкое, пористое пеностекло используют как тепло- и звукоизоляционный материал;

- трубки, аппараты и реакторы из стекла широко используют в химической и пищевой промышленности;

- высокопрочные нити, тянутые из расплава стекла, используют для изготовления технических тканей: химически устойчивых, электро-, тепло- и гидроизоляционных, а также в качестве арматуры пластполимерных материалов (стеклопластиков). Особенно большое значение приобрела волоконная оптика:

- световоды в медицине и связи;

– в защитных стеклах–фильтрах используется способность некоторых стекол избирательно поглощать и пропускать электромагнитные волны – световые, инфракрасные, проникающее излучение и др.

В последние десятилетия области применения стекла непрерывно расширяются, усиленно развивается производство солнцезащитных и энергосберегающих стекол, стеклопакетов, просветленного, неотражающего, противопожарных и броневых стекол.

Таким образом, стекло к настоящему моменту стало материалом широкого пользования, утвердившись в качестве неизменного элемента транспортных средств, строительных конструкций, в атомной, ракетной, электронной и других отраслях техники.

В настоящее время в стекольной индустрии можно выделить следующий ряд основных отраслей, специализирующихся на выпуске массовых видов продукции:

- производство тарного стекла;
- производство листового стекла;
- производство сортового стекла;
- производство стекловолокна;
- производство технического стекла.

Соотношение объемов мирового производства основных видов стекольной продукции (по массе), вырабатываемой перечисленными отраслями, приведено ниже.



**Диаграмма, представляющая удельный вес основных видов продукции, выпускаемой стекольной промышленностью**

Ниже приведена краткая характеристика ведущих отраслей стекольной промышленности:

1) промышленность плоского стекла в основном ориентируется сегодня на производства флоат-стекла, которое находит широкое применение в различных областях: строительство и архитектура,

остекление транспортных средств, мебельной промышленности. Особенное значение приобрела промышленная обработка базового прозрачного флоат-стекла с целью получения безопасных, терморегулирующих, зеркальных, стекол с покрытиями, поскольку, таким образом, качественно изменяются его основные физико-химические свойства;

2) промышленность полого стекла включает большую группу тарных стекол, сюда же часто включают производство сортового стекла (изделия из высококачественного бесцветного, цветного стекол и хрусталя);

3) к отрасли стекловолокна относится изготовление тепло-, электро-, звукоизоляционных изделий из штапельных волокон, текстильных и упрочняющих волокон для композитных материалов (непрерывное волокно), волокна для систем оптической связи (электронная индустрия);

4) отрасль технического (специального стекла) выпускает продукцию для техники и науки, в частности изделия для оптики, химии, светотехники, электроники и электротехники, фармацевтики и медицины. Сюда же относится производство стеклокристаллических материалов.

Что касается отечественной стекольной отрасли, то здесь наблюдается устойчивый рост сменивший стагнацию и упадок 90-х годов прошлого века, в ходе которых прекратил функционировать ряд предприятий. Тенденция к подъему в стекольной отрасли Республики Беларусь проявилась в начале нового тысячелетия благодаря энергичным мерам, предпринятым государством, притоку инвестиций в подотрасли, интенсивному техническому перевооружению предприятий, оснащению современным стеклоформирующим оборудованием, качественными огнеупорами и автоматизацией технологических процессов. «Программа развития стекольной промышленности Республики Беларусь» принятая на 2006–2010 годы полностью выполнена. В результате чего выросли объемы производства листового и тарного стекла, теплоизоляционных материалов на основе стекло- и минерального волокна. По одному из критериев ЮНЕСКО для развитых стран: производство стекла на душу населения Республики Беларусь с показателем 53 кг/чел находится в ряду развитых стран. Это достигнуто за счет строительства новых цехов большой производительности в условиях ОАО «Гомельстекло», СЗАО «Стеклозавод «Елизово», ОАО «Стеклозавод «Неман», строится новое производство на ОАО «Гродненский стеклозавод».

В настоящее время предприятия Республики полностью удовлетворяют внутреннюю потребность в стеклопродукции, значительная доля ее экспортируется в ближнее и дальнее зарубежье.