

И. С. ШУР

БОРЬБА С БРАКОМ  
В СТЕКЛЯННЫХ  
ИЗДЕЛИЯХ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ленинград ● 1935 ● Москва

31554



6A

[X] 91

23.01.91 n75

31554

P2260

666  
Ш 967

И. С. ШУР

БОРЬБА С БРАКОМ  
В СТЕКЛЯННЫХ  
ИЗДЕЛИЯХ

АРХИВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ленинград ● 1935 ● Москва

КНИГОХРАНИЛИЩЕ  
ОБЛ. БИБЛИОТЕКИ  
Г. СВЕРДЛОВСК

Автор книги „Борьба с браком в стеклянных изделиях“ — И. С. Шур подробно останавливается на описании причин происхождения и на классификации пороков стеклянных изделий. Одновременно описывается процесс изготовления стеклянных изделий, причем автор знакомит читателя со способами работы, позволяющими избежать образование пороков.

Книга может быть рекомендована в качестве пособия для технического персонала стекольных фабрик, а так же и в качестве вспомогательного пособия для учащихся техникумов и ВТУЗ'ов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Происхождение и классификация пороков стеклянных изделий . . . . .	3
Изготовление шихты . . . . .	12
Плавка стекла . . . . .	21
Процесс осветления стекломассы . . . . .	34
Студка стекла . . . . .	44
Выработка стеклянных изделий . . . . .	52
Отжиг стекла . . . . .	76
Обработка стеклянных изделий . . . . .	83
Упаковка, хранение, транспортировка и использование стеклянных изделий .	90
Контроль производства . . . . .	96

Отв. редактор М. Гессен.

Технический редактор Ф. Каган.

Сдано в набор 2 июля 1935 г. Подписано к печати 20/XI 1935 г. Учетно-авторских листов 8¼.

Печатных листов 7¼. Бум. листов 3⅝. Формат бумаги 62×94<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Кол. зн. в бум. листе 96288. Тир. 2175. Ленгорлит № 30894. Гизлегпром № 2015. Индекс С-6. Заказ № 2432.

Тип. им. Володарского, Ленинград, Фонтанка, 57.



## **ПРОИСХОЖДЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОКОВ СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Повышение качества стеклянных изделий является в настоящее время одной из важнейших задач, стоящих перед стекольной промышленностью. Для этого необходимо, прежде всего, освободить стекло от всякого рода пороков и недостатков, понижающих его качество, а также улучшить некоторые отдельные свойства стекла (в зависимости от рода вырабатываемых изделий).

Настоящая книга ставит своей целью разрешение первой из этих задач и должна ознакомить читателя с причинами появления в стекле различных недостатков и со способами их предупреждения и борьбы с ними, если они все же появляются в стекле.

Недостатки в стеклянных изделиях весьма разнообразны и возникают в различных стадиях производства. Уже в процессе подготовки сырья, его обработки, смешивания и транспортировки может создаться ряд моментов, которые обуславливают образование различных дефектов в стекле в последующих стадиях работы. Эти зародыши пороков оформляются в процессе плавки стекла; кроме того, во время этого процесса может образоваться ряд новых, добавочных недостатков. То же самое относится и к процессам выработки и последующей обработки стеклянных изделий. Наконец, некоторые недостатки могут возникнуть при упаковке, транспортировке и хранении готовых изделий.

Пороки в стеклянных изделиях могут быть разделены на две группы. К первой, весьма многочисленной, относятся все те недостатки, которые непосредственно заметны в стекле невооруженным глазом и для обнаружения которых не требуется ни проведения специальных исследований, ни особых приборов.

Ко второй группе относятся те недостатки, которые в обычных условиях обнаруживаются лишь во время различных манипуляций со стеклом, либо в условиях службы этих изделий. Для того чтобы заранее обнаружить такие недостатки, требуется проведение специальных физических и химических исследований и опытов.

Первая группа недостатков может быть, в свою очередь, подразделена на несколько отдельных видов, первым из которых

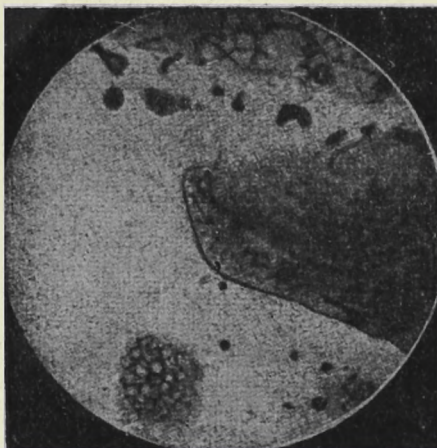


Рис. 1. Камни из шихты (увел. в 51 раз).

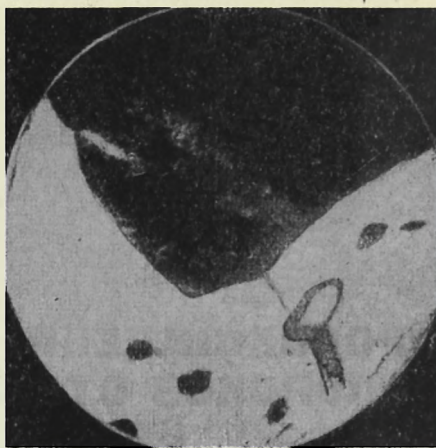


Рис. 2. Камни из мела (увел. в 16 раз).

являются недостатки стекломассы, из которой изготовлено изделие.

Изучение физико-химической природы стекла выявило, что стекломасса, представляющая собою в расплавленном состоянии однородную жидкость, в охлажденном виде является той же, но лишь застывшей жидкостью. Поэтому стекло и в этом состоянии сохраняет все свойства жидкостей, и мы можем подходить к нему с тем же мерилем, как и к жидкостям.

Мы называем жидкость чистой в том случае, если она вполне однородна, если в ней не имеется никаких прослоек, не плавают какие-либо инородные тела и не имеется пены и пузырей.

Эти же самые требования должны предъявляться и к стекломассе, свободной от каких-либо недостатков. Всякого рода факторы, нарушающие однородность, различные вкрапления, представляющие собою инородные тела, — снижают качество стекломассы и требуют своевременной борьбы для их устранения.

Отметим основные недостатки этого рода.

Камни являются инородными телами, резко выделяющимися в стекломассе своим внешним видом; представляя собою совершенно отличную от стекломассы материю, они отличаются от нее и коэффициентом расширения, вследствие чего часто являются причиной образования в стекле трещин.

Камни попадают в стекло или из материалов, входящих в шихту, или же из огнеупорных материалов стеклоплавильной печи (рис. 1, 2, 3).

Такое же значение, как и камни, имеют случайные материалы, попадающие тем или иным путем в стекло; таковы кусочки железа, проволоки, фарфора и фаянса, которые чаще всего вносятся со стекольным боем (рис. 4).

Совершенно отличны по своей природе от описанных камней непрозрачные крупинки или крупные скопления кристаллических





Рис. 3. Сырой песок в стекле  
(увел. в 51 раз).

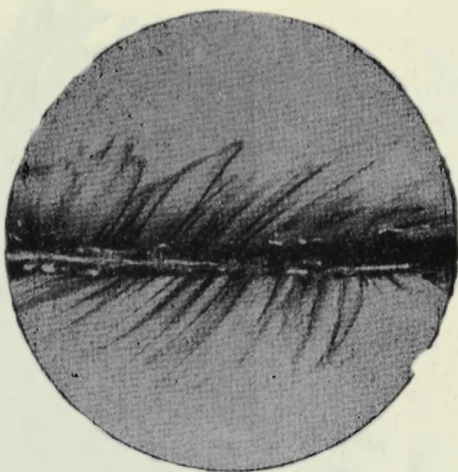


Рис. 4. Гвоздь в стекле.

образований, выделяющихся при определенных условиях из стекломассы. Однако внешний вид этих выделений часто таков, что их трудно отличить от других камней, хотя причины их образования совершенно иные.

Большая часть камней, поглощая флюсы из шихты, при определенных условиях плавки имеет стремление превратиться в стекловидную массу. Эта стекловидная масса может сильно отличаться по своему составу от основной, в которой она плавает. При благоприятных условиях такая масса постепенно и бесследно растворяется в основном стекле, не нарушая его однородности.

Но если условия плавки неблагоприятны для растворения, то в стекле остаются скопления в виде бугорков или комков, чаще всего отличающихся по своей окраске от общей массы. Это так называемые шлиры (рис. 5). Кругом каждого шлира часто можно заметить ряд concentричных поясов, которые представляют собою отдельные стадии постепенного растворения шлира в основном стекле. Иногда от шлира отделяются жгутики или волоски, вдоль которых происходит смешивание разнородных масс стекла.

Следующим дефектом стекломассы является свиль. Подобно шлирам, свиль представляет собою инородное стекло, заключенное в основной стекломассе, но не сосредоточенное в виде отдельных вкраплений, а растянутое длинными полосами или отдельными нитями (прямыми или витыми).

При большом количестве такого инородного стекла в основном — оно выступает на поверхности изделия в виде ощутимых неровностей. Но и при малых количествах свиль выделяется в основном стекле вследствие того, что отличается от него коэффициентом преломления и степенью светопрозрачности. Таким образом, наличие этого порока нарушает однообразный вид поверхности изделия (рис. 6, 7, 8, 9, 10).

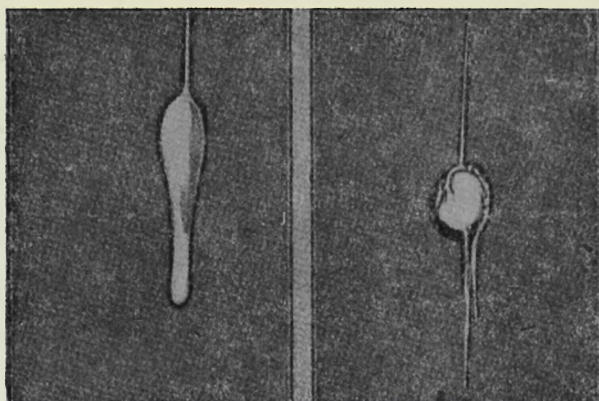


Рис. 5. Шлиры в стекле.

Существует и несколько иное объяснение свили: считают, что в данном случае выделяется не самая стекломасса иного состава, чем основная, но что видимой является граница между разнородными стекломассами вследствие их различных коэффициентов преломления.

Как бы то ни было, основой этого порока является неоднородность стекломассы.

Пузыри в стекле образуются различного рода газами, выделяющимися в процессе химического разложения шихты. Если в процессе плавки эти пузыри не успевают выделиться из стекла, то они, оставаясь в нем, образуют весьма нежелательный порок. Пузыри могут быть мелкими (так называемая мошка) или же крупными, различных размеров и форм (рис. 11 и 12).

К числу внешних недостатков стекломассы следует отнести также разного рода неправильности окраски, которые могут проявляться различным образом. Сюда относятся также:

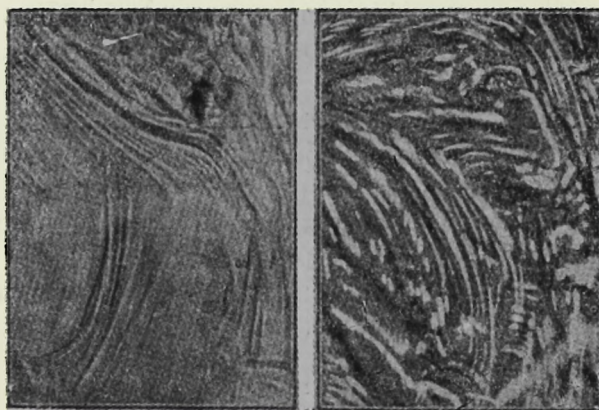


Рис. 6.  
Мелкая свиль

Рис. 7.  
Крупная свиль.



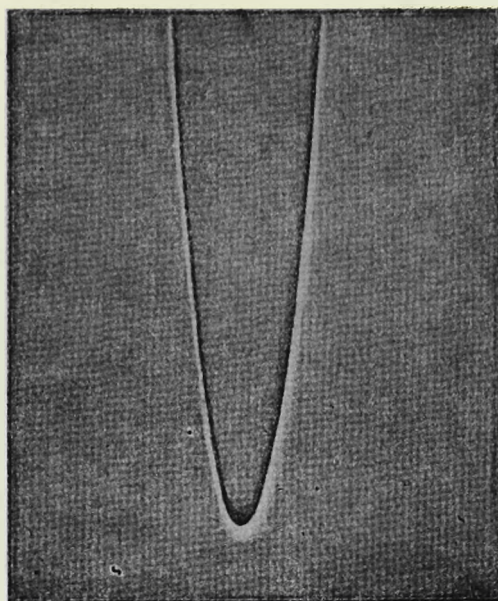


Рис. 8. Свиль в виде нити.

а) недостаточная прозрачность или наличие цветных оттенков в стекле, которое должно было быть бесцветным,

б) неправильная окраска, получившаяся в цветном стекле в силу тех или иных причин, и, наконец,

в) неоднородность окраски, проявляющаяся в виде полос или пятнистости.

К недостаткам самой стекломассы относится еще и так называемое **расстекловывание** (или зарухание). Расстекловывание представляет собою, как известно, превращение аморфной массы стекла в кристаллическую. В зависимости от

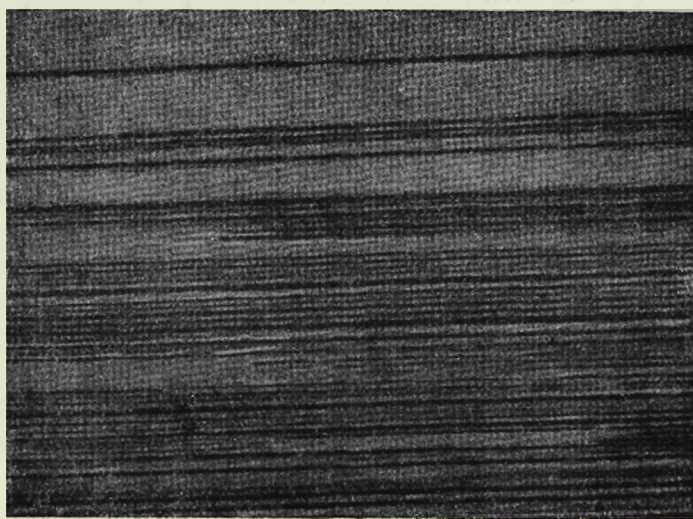


Рис. 9. Свиль в виде прямых полос.

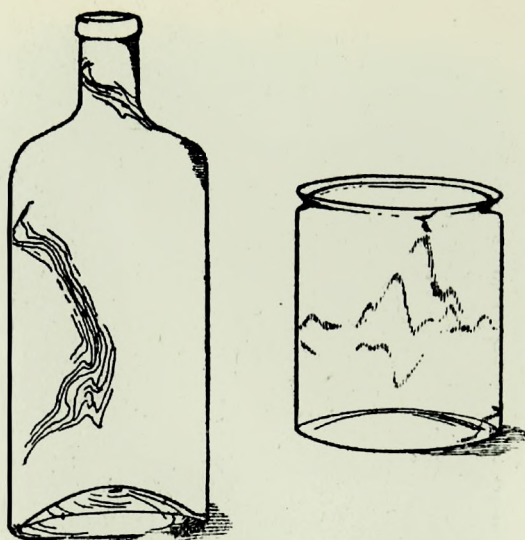


Рис. 10. Свиль в готовых изделиях.

условий, вызывающих кристаллизацию, это явление может происходить различным образом. В стекломассе могут выделиться отдельные мелкие кристаллы в виде точек или игл, часто рассыпанных по всей массе в большом количестве; иногда же кристаллические образования возникают в виде отдельных комков, которые, как было указано выше, нередко трудно отличить от камней (рис. 13). Порою кристаллические образования расплываются в стекломассе в виде белых или мутных пятен; при особенно же благоприятных условиях для кристаллизации, стекло сплошь переходит в кристаллическую форму и становится непрозрачным.

К следующему виду внешних пороков относятся те пороки, которые вносятся в изделия во время их выработки и обработки. Мы имеем ввиду, прежде всего, всякого рода отступления от формы, толщины и распределения стекла, заданных стандартом или требованиями заказчика. Во время изготовления изделия или его окончательной обработки могут получиться различного рода повреждения. Сюда относятся повреждения поверхности, деформация изделия в процессе термической обработки или же более или менее значительные нарушения целостности изделия (щербинки, сколки, отбитые части, трещины и т. д.). Характер этих дефектов находится в зависимости от применяемых способов выработки и обработки изделий, так как, помимо общих недостатков, каждому роду работы присущи свои специальные дефекты. Поэтому мы имеем особые дефекты ручной работы, наряду со специфическими пороками машинной выработки; последние, в свою очередь, зависят от того, какие машины и какие способы выработки применялись для изготовления изделий.

Во время изготовления стеклянных изделий возможно также образование таких недостатков, как изменение цвета стекла, а также появление различных налетов.



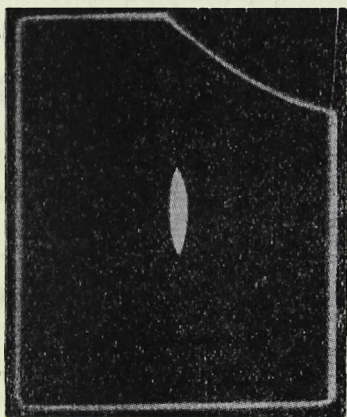


Рис. 11. Крупный пузырь.

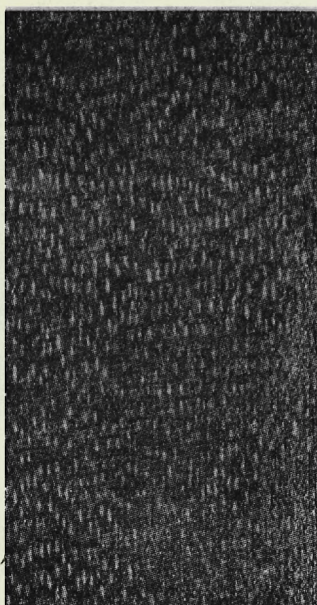


Рис. 12. Мелкие пузыри (мошка).

Кто второй основной группе недостатков относятся все неявные пороки, которые обнаруживаются в изделиях лишь при соответственных благоприятных условиях или же могут быть выявлены независимо от них при помощи особых исследований.

Эти пороки сводятся, главным образом, к недостаточной стойкости стекла, причем эта нестойкость может быть химической, термической или, наконец, механической.

Химическая нестойкость стекла характеризуется тем, что такое стекло легко подвержено разрушающему действию различных химических реагентов, как-то: воды, кислот, щелочей. Такое стекло легко тускнеет, покрывается белыми или радужными налетами, темными пятнами, а при соответствующих условиях совершенно разрушается.

Термическая нестойкость стекла выражается в том, что стекло не выдерживает резких изменений температуры, вызывающих в нем растрескивание. Чем меньше пределы тех температурных колебаний, которые стекло может выдерживать, — тем хуже оно с точки зрения термической стойкости.

Наконец, недостаточная механическая стойкость выражается в повышенной хрупкости стекла, а также в недостаточной твердости его, вследствие чего оно легко покрывается царапинами и теряет свой блестящий вид.

Причиной всех этих пороков является неудовлетворительный, неправильно подобранный состав стекла, не соответствующий условиям службы изделий.

Одинаковым образом влияют на термическую и механическую стойкость также те остающиеся напряжения, которые не были



Рис.13. Растекловывание.

уничтожены во время отжига (кроме особых случаев, которые будут отмечены ниже).

Как уже было сказано, все перечисленные недостатки образуются в изделиях или проявляются в них на различных стадиях производства.

При этом некоторые пороки могут возникать лишь в одной определенной стадии, тогда как другие возникают на протяжении ряда последовательных стадий, если только для

их образования имеются подходящие условия.

Перечисление различных пороков стекла, возможность их появления на различных стадиях производства и причины, вызывающие их образование, наглядно представлены в помещенной ниже таблице (стр. 110), заимствованной из журнала «Шпрехзаль» № 34 за 1934 г. (с некоторыми дополнениями и исправлениями).

Эта таблица составлена следующим образом. По горизонтали расположены последовательные стадии изготовления стеклянных изделий. По вертикали нанесены основные группы пороков стекла.

Конечно, надо иметь в виду, что процесс изготовления шихты является подготовительным и не создает пороков; однако он часто служит основой для образования пороков в дальнейшем.

Наоборот, упаковка, хранение и употребление не создают пороков, но многие из ранее образовавшихся недостатков становятся видимыми в этих стадиях. Поэтому помещение их в таблице является вполне обоснованным.

В поле, которое образуется пересечением полосы, соответствующей какому-либо из производственных процессов, с полосой, соответствующей тому или иному пороку, — указана возможность образования этого порока на рассматриваемой стадии работы. Если в какой-либо стадии этот порок образоваться не может, то поле остается белым; если же образование такого порока здесь возможно, то в рассматриваемом поле указаны те причины, которые на данной стадии вызывают его образование.

Таким образом эта таблица дает наглядное представление о том, в течение каких стадий производства можно ожидать появления того или иного порока стекла. В то же время таблица показывает, какие недостатки свойственны каждой из производственных стадий. И, наконец, эта таблица дает возможность сразу же определить причины, вызывающие образование того или иного недостатка. Так, например, относительно первого из недостатков — «каменей» — мы видим, что возможность их образования ограничена следующими тремя производственными стадиями:



изготовлением шихты, плавкой и осветлением. Если в течение этих трех процессов не имелось соответствующих условий для образования камней, то в последующих стадиях уже не приходится ждать их появления.

Изучая таблицу по вертикали, мы видим, например, что недостатки шихты могут служить причиной образования пяти видов недостатков стекла: камней, шлиров, свили, пузырей и неправильной окраски.

В дальнейшем мы перейдем к изучению каждой производственной стадии с точки зрения возможности и причин появления в ней различного рода дефектов. Переходя от одной производственной стадии к другой, мы получим таким образом картину постепенного нарастания и видоизменения дефектов.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШИХТЫ

При подготовке компонентов (составляющих), из которых составляется шихта, а также при сборке и смешивании шихты, — непосредственно какие-либо дефекты стекла, как мы уже указали выше, образоваться не могут, так как эта стадия является лишь подготовительной для процесса плавки стекла. Но именно вследствие этого здесь кроются зародыши ряда дефектов, которые перечислены в приведенной таблице.

В этой главе мы будем рассматривать лишь влияние неправильностей в изготовлении компонентов и шихты на возможность образования пороков. Что касается состава шихты, то мы будем исходить из предположения, что он подобран надлежащим образом (в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному стеклу). В дальнейшем нам придется, однако, касаться состава стекла постольку, поскольку влияние его проявляется в образовании пороков на различных стадиях производства стекла.

### 1. КАМНИ

Из числа пороков, которые могут быть внесены в стекло непосредственно шихтой, отметим, прежде всего, камни.

Мы уже знаем, что камень является инородным телом, заключенным в однородной стекломассе. Шихта может служить источником образования камней в том случае, если в ней содержатся крупные куски материалов, размеры которых не соответствуют условиям успешной плавки. Наблюдения над ходом плавки показывают, что успешное протекание всех химических и физических процессов, сопровождающих образование стекломассы, обусловлено определенным соответствием величины зерен отдельных компонентов. Все процессы образования стекла (начиная от плавки в горшковой или в ванной печи) ограничены определенным промежутком времени. Все те частицы, которые имеют необходимую величину, — быстрее и энергичнее заканчивают свои реакции, нежели те частицы, которые по своим размерам выделяются из шихты. Поэтому, когда все реакции для основной массы шихты уже закончены, — для отдельных больших и, притом, не распадающихся крупинок какого-либо материала может



уже не оказаться необходимых свободных компонентов для превращения их в стекло. В этом случае они остаются в стекле в своем первоначальном состоянии, в виде камней, известных под названием шихтных или материальных.

Основным компонентом шихты, как известно, является песок, который в нашем стеклоделии применяется почти исключительно в естественно измельченном виде. В таком материале нередко встречаются, однако, различного рода твердые камешки, известковые отложения, крупинки каолина или глинистых соединений; под влиянием различных цементирующих примесей песчинки также могут образовывать твердые и плотные комки большего или меньшего размера. Такие примеси, выделяющиеся по своим размерам, а, с другой стороны, часто отличающиеся неблагоприятным составом, — неспособны к быстрому и интенсивному соединению со щелочами и, конечно, остаются в стекле в виде камней. Если они к тому же по своей физической природе представляют плотную и твердую массу, то это, конечно, сильно способствует тому, чтобы они оставались в стекле в своем естественном состоянии. Поэтому всякий песок, применяемый для изготовления как лучших видов стекла, так и простого бутылочного стекла, должен подвергаться предварительной обработке, которая дала бы возможность удалить из песка все крупные комки посторонних тел. Только самые чистые и однородные пески могут идти в дело без предварительной обработки.

Чтобы отделить от песка все те посторонние тела, которые могут превратиться в стекле в камни, песок должен быть просеян через сито с такими отверстиями, которые пропускали бы лишь зерна максимально допустимых размеров и задерживали бы все комки, превышающие этот размер. Применяемые для песка сита имеют обычно отверстия размером не более одного миллиметра.

Очевидно, что посторонние тела, не представляющие собою чистого кремнезема, все же могут и при просеивании попадать в шихту. Однако благодаря мелкому размеру они могут вступать в реакцию с остальными компонентами и остекляться. Лишь при особенно неблагоприятных условиях они будут оставаться в стекле в виде очень мелких камней.

Без изменения остаются однако всякие посторонние вещества, не являющиеся стеклообразователями и неспособные растворяться в стекломассе. Поэтому особенное значение имеет требование чистоты компонентов.

Пропускание песка через сито может производиться успешно лишь в том случае, если песок будет в достаточной мере сухим; пропускание через достаточно тонкие сита сырого или смерзшегося (во время зимнего хранения) песка является невозможным; через крупные же сита будут проскакивать такие комки, которые в дальнейшем образуют камни.

Поэтому важнейшей операцией до просеивания песка является его просушка в соответствующих печных установках. Хорошо просеянный песок достаточно гарантирует от попадания в стекло

камней вместе с песком. Существенным условием является, однако, конструкция просеивающих аппаратов и состояние сит в них.

Просеивающие аппараты должны иметь такое устройство, чтобы материал не мог выпадать из прибора не пройдя через сито. Ручные сита с невысокими бортами, очевидно, такому условию не удовлетворяют, так как при неловком движении или толчке просеиваемый материал легко и незаметно может попасть непосредственно в сборный ящик. Большого внимания к себе требует проволочная сетка сита, которая всегда должна находиться в совершенно исправном состоянии: прорыв хотя бы одного отверстия совершенно нарушает правильную работу сита. Поэтому необходимо практиковать частые предупредительные осмотры сит и смену их до того, как в них обнаружится какой-либо прорыв.

Щелочноземельные материалы (известняки, мел, известковые шпаты, бариты, доломиты), представляя собою обычно очень плотные и твердые массы, легко образуют камни в стекле, если они недостаточно хорошо размолоты и просеяны (вследствие чего в шихту попадают крупные частицы этих материалов). Поэтому предварительная обработка перечисленных компонентов (состоящая обычно в дроблении, сушке, помоле и просеивании) требует чрезвычайно внимательного и целесообразного подбора помольной аппаратуры и установления надлежащего режима сработки. Особенное значение играет здесь последняя стадия — просев, в отношении которого должно быть принято во внимание все то, что было сказано выше относительно песка.

Щелочные материалы (сода, сульфат, поташ, селитра) представляют собой рыхлые материалы, которые легко плавятся в жару стеклоплавильной печи, а потому и не образуют камней. Применяемый для них помол имеет целью главным образом предупредить возможность появления других недостатков, о чем будет сказано ниже.

Лишь естественные виды сульфата, которые часто содержат твердые глинистые и другие примеси, — легко могут образовать камни в стекле; поэтому этот вид щелочей требует помола и просева.

Применяемый в стекловарении бой часто является источником образования камней, так как вместе с боем в стекло легко могут попадать совершенно посторонние тела, не принадлежащие к числу стеклообразующих компонентов. Даже в обратном бое, собираемом непосредственно на заводе, при недостаточно аккуратном обращении с ним и хранении его, легко могут попадаться инородные тела (куски железа, огнеупорных материалов, обыкновенного кирпича и т. п.). Еще хуже, конечно, обстоит дело с покупным боем, который собирается в самых разнообразных местах и попадает на заводы часто в сильно загрязненном виде.

В таком бое (особенно если он получается от бутылок), встречаются часто металлические части, куски проволоки, осколки фарфора; попадая в изделия в виде посторонних тел, эти при-



меси нарушают как прочность, так и внешний вид изделий. Это делает необходимым очень тщательную промывку и переборку боя, а также пропускание его через электромагнитные сепараторы для отделения железных частей.

## 2. ШЛИРЫ

Крупные зерна стеклообразующих материалов (особенно в том случае, если они имеют более рыхлое строение), все же, могут остеклиться насквозь; но часто при этом образуется стекло, отличающееся по своему составу от основного и притом значительно более вязкое. Такое стекло не всегда успевает раствориться в общей массе и остается в виде комка или сгустка, который переходит в изделие в виде бугорка. Это так называемые шлиры. Внутри таких шлиров можно иногда найти ядро еще не разложившегося компонента.

Таким образом одни и те же недостатки шихты служат причиной образования или камней или шлиров — в зависимости от условий протекания последующих процессов плавки.

Поэтому предупредительная борьба с образованием шлиров этого рода носит такой же характер, как и борьба с образованием камней.

## 3. СВИЛЬ

Мы определили выше свиль, как явление неоднородности в стекломассе, которая возникает в изделиях в силу того, что в основной массе стекла имеются нерастворившиеся в нем стекловидные образования иного состава. Совершенно понятно, что одной из причин возникновения в стекломассе неоднородности является неоднородность той шихты, из которой она плавится.

Каждая шихта составляется путем ряда определенных отвесов стдельных компонентов, после чего собранная порция подвергается тщательному смешиванию до получения однородной смеси. Теоретически однородность шихты определяется тем, что любая проба, в каком бы месте она не была взята, должна иметь одинаковый состав, соответствующий заданному. Практически, конечно, достигнуть такой однородности не представляется возможным. Проверка шихты при самом тщательном смешивании показывает, что пробы, взятые в разных местах, все же отличаются друг от друга по содержанию отдельных компонентов не менее чем на 2 — 3%.

Причиной отклонений от однородности в стекломассе являются, прежде всего, ошибки взвешивания, допущенные при собирании компонентов. В этом случае состав одной порции будет отличаться от состава другой порции, в результате чего в ванной печи или в горшке будут образовываться слои разного состава, что легко может порождать явления свили.

Как видим, простой процесс взвешивания приобретает большое значение в деле борьбы с пороками стекла. При взвешивании

небольших доз на заводах с ручным производством применяются обыкновенные десятичные или сотенные весы, требующие чрезвычайно внимательного отношения к делу со стороны обслуживающего их персонала. На крупных заводах часто применяются автоматические весы. Однако, опыт применения последних показал, что они не всегда оправдывают возлагаемые на них надежды и нередко служат источником крупных ошибок. Незначительные расстройства в сложном механизме этих весов или застревание материала в узких проходах, трудно поддающихся непрерывному контролю, — часто приводят к ошибкам взвешивания и дают неоднородную шихту. Повидимому более целесообразными являются полуавтоматические весы, обслуживаемые непосредственно рабочим, им же непрерывно контролируемые и отмечающие на циферблате результаты каждого отвеса.

Каждая взвешенная порция компонентов должна быть смешана до полной однородности. В противном случае уже в пределах одного отвеса мы будем иметь предпосылки для получения неоднородного стекла, а следовательно и для образования свили.

Смешивание шихты может производиться вручную путем многократного перелопачивания шихты лопатами в деревянных ящиках или колодах.

Как и все виды ручной работы в стекольной промышленности, ручное смешивание исчезает из обихода стекольного производства и с успехом заменяется машинным. Типы машинных мешалок весьма разнообразны.

Основные требования, которые должны быть предъявлены к машинным мешалкам заключаются в том, чтобы смешивающий механизм захватывал и приводил в движение все частицы компонентов и заставлял их двигаться по сложным, многократно пересекающимся путям; в этих условиях получается наиболее быстрое и действительное смешивание.

Конструкция мешалки должна обеспечивать удаление всей порции без остатка из резервуара смесителя по окончании смешивания. Всякие остатки шихты, присоединяясь ко вновь засыпанной порции, неблагоприятно отражаются на ее составе. Поэтому из двух видов мешалок, — работающих непрерывно и порционно, — последний безусловно заслуживает предпочтения для получения ответственной шихты, так как первый вид мешалок не всегда обеспечивает постоянство состава.

В интересах производства скорость смешивания должна быть возможно больше. В новейших мешалках полная однородность шихты в объеме до 1 000 литров достигается за 1½—2 минуты. Однако даже самым лучшим образом смешанная шихта может потерять до некоторой степени свою однородность в зависимости от условий ее транспортировки и хранения. Это зависит от того, что равномерно распределенные в шихте компоненты, — в силу различия удельных весов, а также разной крупности их зерен — обладают стремлением разъединиться и образовать скопления



отдельных материалов. Это приводит к так называемому расслаиванию шихты, которое несомненно является одной из основных причин образования свили в готовом стекле.

По исследованиям проф. Г. Ю. Жуковского и Э. Э. Житомирской, степень расслаивания шихты зависит от следующих факторов:

1. Основным фактором, влияющим на расслаивание шихты, является соотношение величин зерен отдельных составляющих; сближение этих величин резко снижает расслаивание.

2. Чем крупнее зерна отдельных компонентов, тем сильнее происходит расслаивание.

3. Больше всего склонны к расслаиванию сода, известняк и песок.

4. Отвесное падение шихты способствует значительному расслаиванию ее; наоборот, ссыпание под углом от 45 до 60° снижает расслаивание.

В небольших ручных производствах, где изготовление шихты производится в отдельных корытах небольшой емкости непосредственно перед засыпкой, факторы, приводящие к расслаиванию шихты, в значительной мере отсутствуют.

Вопрос этот обратил на себя внимание лишь после пуска в ход крупных механизированных заводов, где изготавливаются большие массы шихты. Последнюю приходится транспортировать из составной к ванным печам по длинным путям, нередко при помощи перемежающихся движений горизонтальных и вертикальных; кроме того здесь часто происходит довольно длительное хранение шихты в объемистых бункерах.

Все эти условия чрезвычайно благоприятствуют расслаиванию шихты. Между тем до развития механизации стекольного производства этот вопрос, как уже было сказано, не привлекал к себе особенного внимания и не был учтен в соответствующих конструкциях. Вследствие этого первым механизированным заводам приходилось иметь дело с усиленным появлением свили в стекломассе.

Для предупреждения расслаивания шихты весьма важно, чтобы она содержала около 4—5% влаги. Лишь тогда зерна кварца равномерно облепляются плавнями, которые при слишком большой сухости собираются в отдельные комки. Далее необходимо избегать транспорта шихты по длинным путям, а также устройства объемистых бункеров, рассчитанных на хранение больших запасов шихты. В этом случае шихта, прежде чем дойти до выходного люка бункера, также должна пройти длинный путь, благоприятствующий ее расслоению и потере однородности.

Лучше всего смешивать шихту в количестве, требующемся для одной засыпки, непосредственно у печи, засыпку же производить тонким слоем при помощи непрерывной подачи.

Подобно тому как бой стекла, применяемый для засыпки в стеклоплавильную печь, нередко является источником попада-

ния камней в стекло,— в такой же мере он может являться и причиной образования свили.

Как показывает практика стекольных заводов, усиленное применение боя способствует снижению качества стекла и образованию различных пороков, в том числе и свили. Наиболее благоприятное отношение количества боя к засыпаемой шихте составляет повидимому около 25 — 30 %. Особенно вредное влияние в отношении образования свили может оказать применение боя, резко разнящегося по всему составу от того стекла, которое должно получиться из свежей шихты.

Так как скорости плавления боя и образования стекломассы из шихты неодинаковы, то часто в таких случаях не получается надлежащего полного смешивания разных видов стекломассы, что приводит к получению сильно свилезатого стекла.

Размеры кусков боя, применяемых при засыпке, также повидимому играют определенную роль с точки зрения образования этого порока. Проф. Тернер приводит пример образования стекла с большим количеством свили, явившейся результатом применения боя в крупных кусках. Когда бой стали измельчать, это явление прекратилось. С другой стороны имеется указание о том, что сильно измельченный бой также способствует образованию свили. Очевидно, что в том и другом случае вопрос упирается во взаимную скорость плавления боя и шихты. При определенных размерах боя, повидимому, достигается та оптимальная скорость, при которой успешнее всего происходит смешивание разнородных видов стекла.

Чтобы предупредить вредные влияния, связанные с применением боя, необходимо было бы бой, поступающий на заводы со стороны, разделять по сортам и каждый из них подвергать анализу; результаты анализа определили бы возможность применения того или иного боя в каждом отдельном случае.

Отметим в заключение, что применение недостаточно чистого боя (даже вполне подходящего состава) также приводит к образованию свили. Различного рода загрязнения в этом случае попадают в состав стекла и образуют нередко прослойки другого состава, отличающиеся в отношении вязкости, а потому и остающиеся нерастворенными в общей массе. Конечно, эти загрязнения способствуют образованию свили.

#### 4. НЕПРАВИЛЬНАЯ ОКРАСКА

Различного рода неправильности в отношении окраски стекла также часто являются результатом несоответственного состава шихты. Но так как получение стекла надлежащей окраски является задачей основного технологического процесса плавки стекла, который должен определить состав шихты, необходимый для получения надлежащего цвета, а также установить соответствующий режим, то эти вопросы в наше рассмотрение входить не могут. Мы ограничимся лишь изучением тех обстоятельств,



которые при изготовлении шихты могут вызвать в дальнейшем неправильности в окраске стекла.

Прежде всего необходимо обратить особое внимание на способы введения в шихту всякого рода красителей (в особенности тех из них, которые добавляются в шихту в небольших количествах).

Для получения вполне равномерной окраски необходимо, прежде всего, чрезвычайно равномерное распределение красителей по всей массе шихты. В этих целях необходимо применение красителей самого тонкого помола, после чего они должны быть пропущены через тончайшие сита. Всякого рода более крупные крупинки красителей, допущенные в шихту, могут дать темные пятна или даже не раствориться в массе стекла. Так например хромистый железняк придает стеклу ярко-зеленую окраску. Если, однако, хромистый железняк применяется недостаточно тонко размолотым, то он остается в стекле в виде черных точек.

Количество вводимого красителя обычно крайне невелико по сравнению с общей массой шихты. Это затрудняет равномерное распределение красителя в шихте и в результате при плавке получается неравномерность окраски, полосность и пятнистость. Это затруднение чаще всего обходят следующим образом: предварительно краситель чрезвычайно тщательно перетирают с некоторым количеством тонкого песка, соды или бесцветной шихты, а затем уже это более значительное количество смеси вводят в шихту. Другой способ заключается в изготовлении эмульсии из тонко истертого порошка стекла с красителями, которые при помощи аммиака осаждаются из раствора солей, содержащих красящие окислы. Эта эмульсия может быть очень равномерно распределена в шихте. Однако этот способ не может быть применен ко всем красителям.

Многие из красителей могут при плавке выгорать или оказываются подверженными влиянию печных газов, под действием которых красители могут видоизменяться и давать неправильную окраску. Поэтому уже при введении таких красителей в шихту необходимо предусмотреть защиту их от указанных влияний. К числу защитных средств относится только что описанное предварительное смешивание с различными нейтральными веществами, которые, обволакивая частицы красителей, устраняют возможность вредного воздействия на них со стороны печных газов. То же достигается введением красителей в связанном состоянии, в виде солей или сплавов.

Другим условием получения стекла надлежащей окраски является отсутствие в шихте таких примесей, которые могли бы вредно отражаться на требующейся окраске и нарушали бы ее чистоту. Значение таких примесей зависит, конечно, в сильной мере от назначения стекла. Так, например, стекло, предназначенное для изготовления бесцветной посуды высокого качества, должно отличаться полной бесцветностью; даже слабые цветные

оттенки (зеленые, желтые, голубые) представляют в таком стекле порок, понижающий его ценность.

Как известно, основной причиной образования в стекле цветных оттенков является содержание окислов железа во всех сырых материалах, но главным образом в песке. Пределом содержания окислов железа в песке, предназначенном для лучших видов посуды, можно считать 0,05%. Для менее ответственного стекла содержание окислов железа может быть допущено до 0,1%. При более высоком содержании никакие обелители не могут заглушить цветные оттенки, которые принимают в этом случае все более темный цвет и приближаются к буроватым. Песок с содержанием окислов железа от 0,1% до 0,25% пригоден только для полубелого стекла. При еще большем содержании железа стекло получается окрашенным в зеленоватый цвет, который делается все интенсивнее по мере увеличения содержания железа.

В последнее время установлено, что еще большее значение в смысле образования цветных оттенков в стекле имеют встречающиеся иногда в песке окислы хрома, так как их красящее значение значительно больше, нежели у окислов железа. Повидимому ряд дефектов окраски, не находящих себе объяснения в содержании окислов железа, должен быть всецело отнесен за счет содержания в стекле окислов хрома.

Для цветных стекол с различного рода нежными окрасками отстаются в силе указанные выше ограничения в отношении содержания окислов железа, так как в этом случае цветные оттенки отражаются на чистоте окраски. Лишь для простых видов стекла (в особенности для темного бутылочного) содержание железа не влияет на окраску стекла.

Для лучших сортов стекла имеют значение всякие случайные примеси, которые могут отражаться вредным образом на его цвете. Сюда относятся различные органические вещества, сернистые соединения и др. Такого рода примеси в применяемых сырых материалах должны быть установлены с помощью соответствующих тщательных химических анализов сырья, которое не должно употребляться в производстве, если только анализ его внушает какие-либо опасения.

Чрезвычайно большое влияние на цвет стекла может оказать стеклянный бой, так как практика стекольных заводов самым наглядным образом показывает, что именно вместе с боем в стекло легко попадают различного рода загрязнения, которые вызывают дефекты в его окраске.

---



## ПЛАВКА СТЕКЛА

Выше мы изучили те пороки, которые вносятся в стекломассу недостатками шихты. Однако надо иметь в виду, что в шихте мы имеем лишь зародыши этих недостатков. Свое же оформление и развитие эти пороки получают лишь в последующем, когда шихта, засыпанная в стеклоплавильную печь, в результате термохимических процессов превращается в стекломассу. Для этого, конечно, нужны определенные условия в процессе плавки. В то же время, в результате надлежащего режима плавки эти недостатки могут быть ослаблены или даже уничтожены.

С другой стороны, во время процесса плавки могут образоваться дополнительно пороки из ряда уже рассмотренных (независимо от состояния шихты), а также и совершенно новые, как это наглядно видно из таблицы, помещенной на стр. 110. Эти новые пороки опять-таки могут получить свое полное развитие в процессе плавки; частично же они лишь зарождаются в этой фазе и окончательно развиваются в последующих стадиях процесса.

### 1. КАМНИ И СЫРОЕ СТЕКЛО

Мы видели, что крупные и жесткие крупинки основных материалов отстают в процессе стеклообразования. Поэтому по окончании процесса плавки, когда вся шихта кругом крупинок превратилась уже в стекло, — они могут остаться в своем первоначальном состоянии. В таком виде они проходят затем все последующие стадии стекловарения и попадают в готовое изделие. Мы имеем в этом случае явление непровара отдельных крупинок сырых материалов, которое прежде всего обязано недостаткам в приготовлении шихты.

В процессе варки два момента в значительной мере способствуют тому, чтобы такие крупинки в шихте сохранились без изменения. Первой из этих причин является недостаточно высокая температура в печи, что обуславливает недостаточно интенсивное протекание процессов плавки. Вторым моментом является несоответствие между варочной способностью печи и количеством вырабатываемого из нее стекла (или, другими словами, несоответствующий рабочий режим печи).

Каждая стадия варки стекла требует, как известно, вполне определенного времени для своего завершения. Если же стекло

преждевременно переходит в следующую стадию, то оно чаще всего остается в виде незаконченной фазы, с рядом недостатков, которые уже не могут быть устранены в последующих стадиях работы. В результате изделия получаются с рядом дефектов и дают брак.

Это явление может происходить в горшковой печи в том случае, когда последующая засыпка шихты в горшок производится в то время, когда предыдущая засыпка не успела еще свариться. В этом случае сырая шихта, обволакивая непроваренную стекломассу, легко может создать такие условия, при которых дальнейшее поспевание непроваренного стекла может прекратиться. Непроваренные крупинки остаются в стекломассе и в таком виде попадают в изделие (рис. 1, 2, 3).

В ваннных печах непрерывного действия мы встречаемся с такими явлениями тогда, когда усиленная выработка из печи заставляет стеклоvara увеличивать количество засыпаемого материала или учащать засыпки для того, чтобы удержать стекло в печи на установленном уровне. Но проваривание шихты в ванной печи, как известно, совершается по мере продвижения частиц материала из зоны засыпки в зону выработки. Каждую из этих зон частицы шихты должны проходить с определенной скоростью для того, чтобы все физические и химические процессы данной зоны имели достаточно времени для своего завершения. Если же скорость движения превышает определенный предел, то стекло остается непроваренным.

Описанные явления, а также неблагоприятный температурный режим, очевидно, способствуют тому, чтобы отдельные крупинки шихты сохранились в своем первоначальном состоянии.

С другой стороны, эти же самые факторы могут являться и самостоятельной причиной появления нового порока, называемого сырым стеклом; этот порок является, таким образом, результатом самого процесса плавки. Порок заключается в том, что в силу указанных причин по всей стекломассе остается значительное количество мелких частичек, не успевших превратиться в стеклообразное состояние. Так как флюсы (щелочи и щелочноземельные окислы) всегда энергично реагируют с кремнеземом в различных соотношениях, то в большинстве случаев они всегда вступают в соединение и образуют стекловидную массу. В свободном состоянии остаются главным образом чистые песчинки, которые распределяются в стекломассе и придают изделиям такой вид, который делает их непригодными для употребления. Очевидно, что крупинки в сыром стекле имеют значение того же порядка, как и описанные выше камни. Основное отличие этих крупинок от камней заключается главным образом в их количестве и размерах: камни являются единичными и имеют более крупную величину; в сыром же стекле мы имеем мелкие частицы, распределенные по всей массе.

Сырое стекло является результатом неудовлетворительных условий плавки в самой печи. Однако необходимо отметить, что



состояние шихты также может способствовать образованию этого вида порока. Недостаточно хорошее смешивание или расслоение шихты (о чем мы подробно говорили выше), конечно, сильно способствует образованию сырого стекла. При наличии в шихте слоев с большим и меньшим содержанием флюсов образование стекла будет происходить неравномерно, и в определенных точках будет происходить отстаивание в варке.

Недостаточно высокая температура плавки или резкие колебания ее, затрудняющие превращение шихты в стекломассу, также представляют собою благоприятные условия для образования описанного порока.

Способы предупреждения и борьбы с отмеченным явлением могут быть установлены довольно легко. Они сводятся, прежде всего, к требованию, чтобы шихта удовлетворяла — в отношении подготовки компонентов и смешивания — всем тем условиям, о которых мы говорили выше.

Далее, нужно, чтобы в печи поддерживалась температура, необходимая для успешной плавки. Особенно вредно в этом случае временное понижение температуры, которое часто остается незамеченным, но во время которого успевает образоваться некоторое количество сырого стекла, достаточное для того, чтобы в дальнейшем получилось значительное количество брака в изделиях.

Наконец, необходим определенный режим засыпки и выработки, вполне соответствующий варочной способности данной горшковой или ванной печи.

Если после завершения процесса плавки в горшках оказалось сырое стекло и доварить его представляется затруднительным, то вопрос разрешается обычно вычерпыванием стекла из таких горшков. После этого остается лишь установить причины появления этого порока и принять меры к тому, чтобы он не повторялся.

Сложнее обстоит дело в ванной печи, где в этом случае имеется лишь один исход: вычерпать сырое стекло тем или иным способом до тех пор, пока все слои, зараженные вышеуказанным недостатком, не будут удалены из ванны. В данном случае, как и в горшковой печи, необходимо по возможности установить причину порчи стекла и принять все меры к тому, чтобы в периоде очистки ванны при доварке не могло произойти нового загрязнения сырым стеклом.

Процесс плавки шихты сопровождается, как известно, неизбежным разрушением огнеупорного материала всех частей стеклоплавильной печи; в особенности сильно разъедаются все те ее части, которые находятся в непосредственном соприкосновении с шихтой. При этом весь разрушающийся огнеупорный материал в том или ином виде переходит в стекломассу. В известных пределах это явление протекает совершенно безболезненно для стекломассы.

Однако в ряде случаев разрушение печи служит источником

различных пороков стекла. Огнеупорный материал может разрушаться двояким образом: он может при этом переходить в стекловидное состояние или же отдельные крупинки его могут оставаться без изменения и в таком виде попадать в изделие. В последнем случае мы получаем в стекле камни, которые называются шамотными. Они сильно отличаются от основного стекла своим коэффициентом расширения, а потому вызывают образование радиальных трещин; при более крупных камнях изделие разрушается на части.

Появление шамотных камней в стекле порождается чисто случайными причинами; но иногда оно принимает упорный и затяжной характер, не поддающийся никакому излечению. Это бывает тогда, когда материал печи или горшков образует камни в результате своего неудовлетворительного состава или способов изготовления. В этом случае единственное мероприятие, к которому остается прибегнуть, заключается в смене горшков (если мы имеем дело с горшковой печью) или же в приостановке работы ванной печи и производстве в ней капитального ремонта, с заменой интенсивно разрушающихся брусьев более стойкими.

Итак, образование камней в стекле может явиться следствием различных причин.

Во-первых, камни могут представлять собою крупинки основных компонентов стекла, недостаточно измельченных и не задержанных ситами.

Во-вторых, камни могут быть занесены со стороны (например с боем стекла), причем они могут представлять собою вещества, по своему составу совершенно разнородные с его компонентами.

В третьих, камни могут образоваться в результате разрушения шамотных материалов.

Во всех своих видах камни являются крайне тяжелым пороком стекла, не только портящим внешний вид изделий, но и снижающим также их стойкость, а чаще всего приводящим их к разрушению еще в периоде производства.

Способы борьбы с камнями зависят, конечно, от их происхождения. Мы уже видели, каким образом должна вестись борьба с возможностью образования камней при изготовлении шихты. Были указаны и меры, которые можно применять в отношении шамотных камней. Но для этого необходимо, очевидно, прежде всего установить характер камней. В некоторых случаях камни отличаются как своим внешним видом, так и по характеру своего действия. Материальные камни имеют более округленный характер, нежели шамотные, которые чаще всего появляются в виде угловатых крупинок (в особенности если пребывание их в печи было непродолжительным). Шамотные камни отличаются часто и окраской: они имеют желтоватый или бурый цвет.

Коэффициент расширения материальных камней близок к коэффициенту расширения стекла, вследствие чего эти камни не всегда вызывают его разрушение. В то же время шамотные камни всегда приводят к образованию в стекле трещин.



Мы останавливались выше на причинах образования шлиров. Однако шлиры могут образоваться не только из шихты и из огнеупорной массы того бассейна, в котором происходит плавка, но также и из огнеупорного припаса, расположенного над плавильным резервуаром в боковых стенах и в своде печи.

Процесс образования шлиров в этом случае заключается в следующем. Щелочная пыль (образующаяся даже при самых осторожных способах засыпки шихты), а также щелочные пары подхватываются печными газами и, пролетая мимо свода и боковых стенок, частично на них осаждаются. Здесь они встречают весьма благодарный материал для образования стекловидной массы, что происходит тем интенсивнее, чем выше температура печи. Таким образом в этом случае происходит постепенное остекление открытых огнеупорных масс. Если при этом температура в печи поднимается выше, чем это допускается условиями огнеупорности материала, то остекление масс и их расплавление происходят особенно интенсивно. Огнеупорный материал начинает тогда усиленно течь и образует свисающие сосульки, или сталактиты, которые свешиваются над стекломассой. По мере нарастания этих сосулек с их концов срываются капли, более или менее остекленные, различной величины, которые падают в стекло.

Если по ходу плавки эти капли не успевают раствориться или если этому препятствуют состав их и вязкость, то они остаются в виде таких же шлиров какие были описаны выше.

Можно лишь отметить, что шлиры, получившиеся из чистых компонентов шихты, — бесцветны или не отличаются по окраске от основного стекла, тогда как шлиры, образовавшиеся из огнеприпаса, чаще всего окрашены в буровато-грязный цвет с постепенно убывающей интенсивностью окраски в направлении от ядра к основному стеклу.

Образование шлиров последнего вида зависит от неудовлетворительного качества огнеупорного припаса, из которого сложены боковые стены и свод, или же от случайных явлений (например, от чрезмерного повышения температуры в результате недосмотра).

Образовавшиеся от последней причины свисающие сосульки дают в стекле шлиры в течение некоторого времени, а затем капанье прекращается обыкновенно само собой. Первая же из указанных причин (осаждение щелочной пыли), действующая в течение всего периода работы печи, при недостаточно высоком качестве припаса приводит к образованию чрезмерного количества брака и может вызвать необходимость приостановки работы печи и производства в ней капитального ремонта.

Иногда все же удастся приостановить (или по крайней мере ослабить) образование шлиров путем снижения температуры в печи, за счет применения более легкоплавкой шихты.

Предупредительные мероприятия в отношении образования шлиров заключаются, прежде всего, в соответственном подборе

огнеупорного материала для той части печи, которая расположена над стекломассой и которая подвержена наиболее высокой температуре. Эта часть печи должна быть выложена исключительно из динасового кирпича высшего качества. Применявшиеся прежде в этих частях шамотные кирпичи постоянно служили причиной образования шлиров.

Далее необходимо самое внимательное наблюдение за температурой печи, которая не должна повышаться выше установленного предела. Отсюда вытекает необходимость оборудования стеклоплавильной печи соответственными измерительными приборами, которые должны быть расположены в удобных для наблюдения местах. Обслуживающий персонал должен хорошо разбираться в показаниях измерительной аппаратуры для того, чтобы своевременно заметить угрожающие отклонения.

Засыпка шихты должна производиться такими способами, которые по возможности предупреждали бы образование пыли, так как осаждение пыли во всех случаях способствует образованию шлиров.

В противоположность камням, шлиры не нарушают прочности стеклянных изделий и не вызывают в них образования трещин. Поэтому в неответственных видах изделий (бутылки, всякого рода упаковочная тара и простое оконное стекло) единичные мелкие шлиры часто пропускаются (хотя, конечно, они всегда портят внешний вид изделий).

## 2. СВИЛЬ

Образование шлиров, как было уже отмечено, сопровождается возникновением поясов стекла, отличающихся по своему составу от основного и резко выделяющихся вследствие разницы в лучепреломлении. Это же самое явление может возникнуть совершенно самостоятельно и тогда этот порок стекломассы называется свилью.

Основной причиной образования свили является неоднородность шихты, что способствует образованию во время плавки неоднородной стекломассы. Следующая причина образования свили обусловлена растворением огнеупорного материала, из которого изготавливаются резервуары, служащие для плавки стекла (горшки и ванны печи). Стекольная техника не смогла подобрать для их изготовления более подходящего материала, чем огнеупорная глина. Все изменения в этом отношении касаются исключительно способов обработки глины и выработки из нее изделий. Эти огнеупорные массы, как известно, состоят, в основном, из кремнезема и глинозема в различных пропорциях, т. е. из стеклообразователей, которые под действием щелочей, имеющихся в шихте, неминуемо должны остекляться и растворяться в основной стекломассе. Растворение шамота при нормальных условиях не отражается заметным образом на состоянии стекломассы. Это может быть доказано следующим простым подсчетом.



Если составить теоретический график ремонтов большой ванной печи производительностью в 75 тонн стекломассы в сутки за период кампании печи, заканчивающейся полной сменой окружки и дна, то этот период может быть определен приблизительно в 50 месяцев. За это время сменяется около 460 тонн брусьев. Если принять средний износ брусьев в 25 %, то мы получим, что за указанное время растворяется в стекломассе 115 тонн угнеупорного материала. За то же время выработка стекломассы (при указанной производительности в 75 тонн) составляет около 100 000 тонн. Количество огнеупорного материала, перешедшего в стекло, составляет таким образом в этом случае около 0,1 %. В меньших ваннных печах и в горшках это соотношение может возрасти до 0,5 %.

Очевидно, что если разбить такое незначительное количество огнеупорного вещества по отдельным компонентам, то мы получили бы весьма небольшие изменения в составе стекла, которые не могут существенным образом отражаться на свойствах стекломассы. И, действительно, стекольное производство издавна получает как в горшках, так и в ваннных печах вполне чистое, свободное от свили стекло. Но вместе с тем практика стекловарения хорошо знает, что такое положение никогда не бывает вполне устойчивым и что во вполне чистом стекле совершенно неожиданно может появляться в большом количестве свиль, делающая его совершенно непригодным для выработки хороших изделий.

Причина таких явлений заключается в следующем. Незначительное количество инородной стекломассы не образует свили в том случае, если оно сразу же равномерно растворяется в основной стекломассе. Однако не всегда имеются достаточно благоприятные условия для такого растворения. Для этого прежде всего необходимо, чтобы вязкость основного стекла и вязкость стекла, образовавшегося в результате разъедания шамотных масс, находились в определенном соотношении, зависящем и от состава растворяющихся масс и от температурного режима печи. Эти факторы неодинаковы для различных видов стекла. Стекловидная масса, образующаяся непосредственно из шамотного припаса, содержит значительное количество глинозема, поскольку в брусьях даже обыкновенного состава содержится около 22—25 % глинозема и около 69—75 % кремнезема.

Очевидно, что образовавшаяся в этом случае стекломасса отличается большой вязкостью и «короткостью», т. е. способностью чрезвычайно быстро менять степень вязкости при изменении температуры.

Что касается основного стекла, то здесь, конечно, мы встречаемся с различными составами. Многие оптические и химические стекла также отличаются повышенной степенью вязкости, вследствие чего взаимное растворение таких разнородных видов стекла сильно затрудняется. Поэтому даже самые незначительные количества стекла, образующегося из припаса, могут оказать большое

влияние на образование свилеватости, так как даже инородные тончайшие нити и прослойки, присутствие которых не может быть установлено каким-либо аналитическим путем, все же совершенно ясно выступают на поверхности изделий.

Образование свили из огнеупорного материала может иметь не только общий характер для всей печи, но и чисто-местный. Другими словами, оно может появляться в каком-либо одном стеклоплавильном горшке или в каком-либо одном участке печи, где почему-либо сказалось изменение режима печи, затруднившее растворение, вследствие чего произошло нарушение однородности.

Необходимо обратить внимание еще на один фактор, влияющий на образование этого вида свили. Уже давно замечено, что по мере удлинения срока службы стеклоплавильных горшков или брусьев ванной печи количество свили в вырабатываемом стекле возрастает весьма заметным образом. Поэтому в ответственных производствах смена горшков производится через определенные промежутки времени, которые зависят не столько от износа горшка, сколько от увеличения содержания свили и повышения вследствие этого брака изделий.

Большое влияние на разрушение огнеприпаса оказывает высокая температура плавки. Чем температура выше, тем сильнее происходит разъедание шамотных масс, так как реакции остекления и растворения их усиливаются вместе с повышением температуры. Несмотря на то, что с повышением температуры вязкость стекла уменьшается и подвижность его повышается (что, конечно, способствует гомогенизации), тем не менее при слишком высокой температуре эти условия не компенсируют усиления разъедания и свилеватость в стекле сильно возрастает.

Таким образом температурный режим печи сильно отражается на образовании свили, получающейся от разложения огнеупорных масс. Однако этот фактор оказывает влияние не только на образование этого вида свили. Образование стекломассы в периоде плавки протекает далеко неравномерным и неодинаковым образом. Та однородность, которая необходима для высококачественной стекломассы, получается благодаря тому, что в периоде плавки (а отчасти и в последующих стадиях) непрерывно происходит перемешивание стекольной массы при помощи непрерывных потоков в горшках и в резервуарах ванн печей. Все те неоднородности, которые неминуемо возникают при плавке больших масс шихты и боя, выравниваются при помощи внутреннего перемешивания в стекломассе, происходящего благодаря этим потокам.

Условия, благоприятные для протекания процесса смешивания стекломассы, зависят как от вязкости, так и от соответствующего температурного режима печи. Если эти условия в силу каких-либо причин ухудшаются, то правильное протекание процесса нарушается, вследствие чего в стекломассе образуются слои стекла с различными свойствами, что опять-таки приводит к образова-



нию сильно свилеватого стекла. Чаще всего свиль в этом случае проявляется в виде широких полос (прямых или винтообразных).

Определить аналитически причину появления свили в большинстве случаев довольно затруднительно. Тончайший слой стекломассы, отличающейся по своему составу от основной массы, — резко в ней выделяется, но вследствие незначительной своей массы не может быть выделен и подвергнут химическому анализу для выяснения причин, вызвавших его образование. Чаще всего эти причины приходится устанавливать не столько путем изучения самой стекломассы, сколько изучением всей совокупности явлений, сопровождающих образование стекла, как-то: способов приготовления шихты, качества и состояния огнеприпаса, из которого сложена печь, и наконец температурных условий в печи, а также их изменений.

Для иллюстрации остановимся здесь на одном случае, описанном в журнале «Керамика и стекло» за 1928 г. и имевшем место на заводе «Червонна Гута» в Киеве.

Вскоре после пуска совершенно новой ванной печи — против одного из рабочих окон появилась свиль, которая постепенно стала распространяться по всей ванной печи. Несмотря на ряд принятых мероприятий образование свили не удалось остановить. В конце концов свиль получила такое развитие, что все изделия стали получаться совершенно непригодными, вследствие чего пришлось остановить работу и выпустить все стекло. Оказалось, что ванная печь всего за шесть месяцев была совершенно изъедена с верху до низу, причем особенно сильное разъедание было обнаружено против того рабочего окна, в котором прежде всего появилась свиль.

Таким образом вполне подтвердилось высказанное мнение, что свиль получается вследствие усиленного разъедания шамотного припаса, качество которого при повторном исследовании оказалось в данном случае очень низким.

Свиль обычно не нарушает стойкости стекла, но чрезвычайно портит внешний вид изделий в особенности тогда, когда количество ее значительно. В оптическом стекле свиль является совершенно недопустимым пороком, так как она изменяет условия лучепреломления.

Нужно отметить, что свиль является одним из самых распространенных пороков стекла, чрезвычайно упорным и трудно поддающимся излечению. Легче всего бороться с той свилью, которая вносится недостатками шихты (если, конечно, удастся констатировать, что свиль происходит именно по этой причине), так как приготовление шихты, ее транспорт и хранение — легче поддаются воздействию и надзору, чем какой-либо другой процесс.

Сохранение постоянства температурного режима в печи также может быть достигнуто сравнительно легко при достаточно внимательном наблюдении и регулировании хода горения.

Труднее всего обстоит дело в отношении той свили, которую дает шамотный припас. Эта свиль, как мы только что видели, может вызвать необходимость в остановке печи для капитального ремонта. В горшковых печах усиление свили вызывает необходимость досрочной смены горшков.

В силу сказанного надо обращать особое внимание на те мероприятия, которые могут предупредить появление свили или, по крайней мере, ослабить ее образование. К числу таких мероприятий относятся следующие:

а) Шихта должна отличаться чистотой и однородностью, для чего должны быть приняты во внимание все указанные выше условия подготовки, смешивания и транспортировки шихты. Надо полагать, что непрерывная засыпка шихты (вместо применяемой в настоящее время засыпки большими массами) должна была бы оказать благотворное влияние в этом отношении.

б) Необходимо применение огнеупорного припаса самого высшего качества. Хотя стеклотехника и не достигла в этом отношении какого-либо коренного переворота, все же несомненно, что огнеупорный припас, изготовленный из многошамотной массы или из силиманита или муллита, а также выработанный при помощи специальных методов уплотнения (трамбованием, высоким давлением, отливкой и в особенности плавкой), является гораздо более стойким, чем обыкновенный брус. Поэтому применение такого вида огнеупорного припаса несомненно является одним из важнейших средств для борьбы со свилью.

в) Конструкция ванн печей также может отзываться на уменьшении свили. Такое устройство печи, которое увеличивает интенсивность внутренних потоков и способствует таким образом гомогенизации стекломассы, должно благотворно отражаться на уменьшении свили. Особенно большое значение имеет устранение так называемых мертвых масс, которые скопляются на дне и в углах бассейна ванной печи и не участвуют (или мало участвуют) в образовании потоков. В таких местах происходит скопление глиноземистых масс и других стеклообразований, отличающихся от основной стекольной массы. По мере накопления или под действием термических причин частицы такого стекла могут проникать в основную чистую массу и, не растворяясь в ней, давать свиль.

Новейшие типы американских печей с отдельными варочным и рафинажным пространствами, соединенными протоком, а также углубление протока ниже дна ванной печи, — являются весьма существенным средством для борьбы с образованием свили. В горшках увеличение интенсивности перемешивания достигается искусственным образом — путем установки в них специальных мешалочных машин, действие которых продолжается в течение ряда часов. Однако такой способ варки — в виду его сложности и дороговизны — может применяться только при плавке особо ответственного стекла.

г) Чрезвычайно большое значение имеет постоянство режи-



ма как в отношении состава шихты, способа засыпки, так и температурных условий. Необходимо также, чтобы температура плавки не повышалась выше тех пределов, которые нужны для успешного ее протекания. Поэтому в борьбе со свилью (также как и с другими пороками) особенное значение приобретает правильно поставленный заводский контроль, осуществляемый химической и теплотехнической лабораториями.

### 3. ИЗМЕНЕНИЕ ОКРАСКИ

В стадии плавки в печи происходит ряд физико-химических процессов, в результате которых шихта превращается в однородную аморфную массу. Нормальное протекание этого процесса может нарушаться различными причинами, вследствие чего в стекле получают различные дефекты и, в частности, недостатки окраски. Основное значение имеет в этом случае температурный режим печей и, наряду с ним, состав печной атмосферы и характер пламени. Под действием избыточного кислорода могут происходить окислительные процессы; наоборот, дымное пламя вызывает раскисление. Эти причины обуславливают выгорание легко окисляющихся красителей и восстановление окислов при помощи углерода, содержащегося в газах. Вследствие этого может происходить изменение правильного цвета стекла или появление в нем нежелательных цветных оттенков, которые нередко снижают ценность изделия или делают его непригодным для употребления.

В качестве примера можно указать на работу ванн печей Константиновского механизированного бутылочного завода, где применение неустойчивых органических красителей, подверженных действию переменных температурных условий печи, а также влиянию печных газов, вызывало постоянные дефекты в окраске бутылок: вместо темнозеленой окраски бутылки получались то пятнистыми, то разных неправильных цветных оттенков; вследствие этого брак бутылок из-за цвета был чрезвычайно велик. Лишь переход на стойкие минеральные красители устранил все эти недоразумения.

Основная работа на этом участке заключается в выборе надлежащих компонентов и в правильной подготовке шихты. В последующей стадии особенно большое значение имеет недопущение резких изменений температурного режима и характера пламени.

### 4. ОБРАЗОВАНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ ПЕНЫ

К числу явлений, протекающих в процессе плавки и служащих причиной ряда пороков, должно быть отнесено образование так называемой щелочной пены. Когда плавится шихта, содержащая большое количество сульфата, то в нее должно быть введено достаточное количество раскислителя, необходимого для разложения сульфата. Если количество раскислителя недостаточно,

если он распределен неравномерно в шихте или, наконец, если он преждевременно выгорает, то процесс плавки протекает неправильно, и часть сульфата, не встречая необходимого ему раскислителя, может остаться неразложившейся. Этот сульфат плавится, поглощает некоторое количество песка, окиси кальция и других компонентов, образует с ними нестекловидные, неопределенные по составу смеси; последние всплывают на поверхность стекла (обыкновенно после завершения процесса плавки) и резко выделяются на ней своей голубоватой окраской. Эти плавающие массы втягиваются затем вглубь стекла и переходят, таким образом, в изделия, в которых они обнаруживаются различным образом, в зависимости от характера щелочной пены.

Совершенно расплавленная щелочная пена попадает в стекло отдельными кусками, выявляется в изделиях тусклогрязными пятнами, которые служат причиной браковки изделий. Если в щелочной пене содержатся нерасплавленные компоненты, то они образуют конгломераты, которые распадаются на отдельные крупинки. Последние втягиваются в изделия и выступают в виде мелких и крупных камней. Характерным признаком их служит значительное содержание серноокислых соединений.

Приведем три старых анализа щелочных камней, заимствованных у Шнурпфейля:

Состав	1	2	3
Вода . . . . .	1,65	0,10	1,00
Серноокислый натрий . . . . .	83,30	90,51	55,92
Поваренная соль . . . . .	1,43	0,04	0,20
Серноокислый кальций . . . . .	10,35	6,00	25,11
Стекло	3,35	3,30	17,17
Песок			
Прочие			

Наконец, поскольку щелочная пена представляет собою неразложившийся сырой материал, часто содержащий в себе воздух и пары воды, — она обладает свойством выделять эти газы; последние, оставаясь в массе щелочной пены, образуют обычно крупные круглые пузыри с серо грязной пленкой. Все недостатки, обязанные своим происхождением щелочной пене, нарушают прочность стекла или портят его внешний вид, вследствие чего создается значительное количество брака изделий.

При избытке раскислителя плавка сульфатной шихты принимает иной характер, также вызывающий крупные дефекты в стекломассе. В этом случае происходит бурное газообразование, вследствие чего вся стекломасса резко вспенивается и нередко начинает выливаться через край горшка или бассейна ванной печи. Под действием избытка углерода часть серноокислого натрия может раскисляться до сернистых соединений, окрашивающих стекло в бурый или желтый цвет. Такое стекло после пре-



кращения пенообразования сохраняет в течение долгого времени неправильную окраску и крупные пузыри; изделия, вырабатываемые из такого стекла, являются непригодными для употребления.

Эти пороки развиваются в процессе плавки; но главной их причиной является неправильная основная дозировка компонентов. Из практики стекольного производства можно привести ряд примеров, иллюстрирующих сказанное. Так, например, при изготовлении бутылочного стекла из сульфатной шихты произошло бурное вспенивание и окраска стекломассы. Причина этого явления заключалась в том, что бутылочный бой был загружен в печь с большим количеством пробок в горлышках, которые не были предварительно удалены. Таким образом получался избыток раскислителей. Нормальное качество стекла было восстановлено при помощи провара стекломассы в окислительном пламени.

Другой подобный случай произошел на заводе ручной выработки оконного стекла при применении сульфата, представлявшего собою отходы химического производства. И в этом случае внезапно произошли вспенивание и окраска, после чего все халавы получались испещренными крупными пузырями. Оказалось, что в сульфате содержалось значительное количество сульфита; между тем расчет раскислителя был произведен на полное количество сульфата.

Пути для предупреждения пороков, вносимых щелочной пеной, совершенно ясны и сводятся в основном к правильной дозировке раскислителя. Горячий ход печи также предупреждает ее образование.

Остановимся еще на одной возможности образования щелочной пены в процессе плавки, независимо от состава шихты. Если печные газы содержат в себе значительное количество сернистого ангидрида, то возможно взаимодействие этих газов с окислами натрия и образование в результате сернокислых солей. Вследствие отсутствия благоприятных условий для превращения этих солей в стекло они расплавляются и образуют щелочную пену. Это явление замечается в особенности в ваннах печах в канале Фурко. Наиболее верным способом для предупреждения этого явления (наблюдаемого при применении углей с высоким содержанием серы) является предварительная очистка газа от содержащихся в нем сернистых компонентов.

## ПРОЦЕСС ОСВЕЩЕНИЯ СТЕКЛОМАССЫ

Начальным процессом при образовании стекла из загруженной в печь шихты является удаление содержащихся в ней воздуха и влаги. По мере развития химических процессов в шихте к ним присоединяются те газы, которые образуются в значительном количестве при реакциях разложения и двойного обмена различных компонентов, входящих в состав шихты. Эти газы состоят главным образом из углекислоты (получающейся при разложении карбонатов соды, поташа, известняков и других) и сернистого газа (образующегося из сульфатов натрия, калия, кальция). К ним присоединяются в некоторых плавках фтористый кремний, кислород и другие газы.

Общее количество газов весьма велико и без учета воздуха (количество которого не может быть определено) достигает 25% (а иногда и больше) от веса засыпаемой шихты.

Удаление газов происходит в течение всего процесса плавки по мере развития химических процессов, обуславливающих образование стекломассы. Однако к концу этой стадии производства, когда все остатки сырых материалов должны исчезнуть и шихта превращается в однородную, достаточно гомогенизированную массу, процесс удаления газов отнюдь не является законченным. Проба стекла, взятая из печи по окончании плавки, представляется сплошь пронизанной тесно примыкающими друг к другу пузырьками, наполненными газами.

Дальнейшая задача производства заключается в том, чтобы совершенно освободить стекло от этих пузырей и придать ему тот прозрачный однообразный вид, которым характеризуется высококачественное стекло. Этот производственный процесс называется обыкновенно осветлением стекломассы.

Образование газовых пузырьков и постепенное освобождение от них стекломассы до полной ее чистоты являются естественным и неизбежным этапом в процессе стекловарения. Однако, если процесс не доведен до конца, в стекле появляется еще один вид порока, заключающийся в наличии в готовых изделиях пузырей, которые проявляются различным образом. Иногда в готовом стекле, в результате неудовлетворительного процесса осветления, могут сохраниться отдельные единичные, мелкие или крупные, круглые пузыри. Число их, однако, может возрастать, и при



особенно неблагоприятных условиях освещения количество их может дойти до того, что изделие получается густо усеянным множеством мелких пузырей. Этот недостаток называют *мошкой*.

Все пузыри, имеющиеся в готовом изделии (независимо от их количества), представляют собою определенный порок стекла. Но все же отдельные (в особенности мелкие) пузыри допускаются в стекле в неособенно ответственных изделиях и не служат причиной браковки изделий. Однако по мере возрастания числа пузырей качество изделия понижается и приводит к тому, что изделие должно быть признано негодным и бракуется.

Но помимо того, что пузыри ухудшают внешний вид изделий, — этот порок может иметь и худшие последствия. Если пузыри располагаются не в толще стекла, а у самой поверхности и ограничены лишь тонкой стеклянной пленкой, то эта пленка под действием различных механических и термических причин может отскакивать. Попадая внутрь стеклянных резервуаров (бутылок, банок, стаканов), она может быть незаметно проглочена вместе с напитком или пищевым продуктом и может вызвать различного рода болезненные явления. В этом случае такой порок представляет уже прямую опасность для здоровья потребителей.

Обратимся к рассмотрению той группы пузырей, которые получаются вследствие указанного выше естественного и нормального процесса стеклообразования.

Образование таких пузырей является неизбежным для процесса стекловарения; однако они должны быть своевременно удалены из стекла. Остающиеся в стекле пузыри представляют собою порок, хотя довольно часто встречающийся в стеклянных изделиях, но являющийся недопустимым при повышенных требованиях в отношении качества. Поэтому предупреждение этого недостатка и борьба с ним требуют не меньшего внимания, чем перечисленные выше дефекты.

Удаление газов, содержащихся в расплавленной стекломассе, является весьма сложным процессом, зависящим от взаимодействия различных причин физического и химического характера. Наши знания в этом вопросе, как и в ряде других, связанных с плавкой стекла, далеко еще не достигли того уровня, который дал бы возможность изменять этот процесс в заранее определенном направлении, с полной уверенностью в успехе.

Удаление пузырей, выделяющихся внутри стекломассы, прежде всего требует преодоления тех сопротивлений, которые встречают газовые пузыри на путях своего подъема. Эти сопротивления и та энергия, которая движет газовые пузыри, определяются следующим образом.

Всякая жидкость (в том числе и расплавленное стекло) стремится принять шарообразную форму, если она не встречает к тому внешних сопротивлений. Это показывает, что на поверхности жидкости действуют стягивающие силы, которые, очевидно, препятствуют образованию и движению газовых пузырей,

содержащихся в жидкости. Эти пузыри соприкасаются с поверхностью жидкости и испытывают действие поверхностного натяжения. Но поверхностные натяжения непосредственно зависят от вязкости стекла: чем больше вязкость, тем больше и поверхностное натяжение.

В силу определенного гидростатического закона газовый пузырь, заключенный в стекломассе (как и во всякой другой жидкости), стремится подняться на ее поверхность. Но для этого необходимо, чтобы подъемная сила его могла преодолеть то сопротивление, которое создается вязкостью расположенного над ним столба жидкости, в данном случае — стекломассы. Если подъемная сила газовых пузырьков достаточно велика, то пузыри преодолевают сопротивления, имеющиеся на пути их движения, и выходят наружу. Если же подъемная сила недостаточна, то пузыри застревают на своем пути, остаются в стекломассе и проявляются в дальнейшем в виде порока.

Для подъемной силы газового пузыря, находящегося в жидкости, может быть выведено вполне определенное математическое выражение, согласно которому подъемная сила чрезвычайно быстро возрастает по мере увеличения радиуса газового пузыря, а именно она пропорциональна третьей степени радиуса. Поэтому, если радиус возрастает в 2 раза, то подъемная сила увеличивается в 8 раз, при увеличении радиуса в 3 раза — в 27 раз и т. д.

Сопротивление, которое должна преодолевать подъемная сила, зависит от радиуса пузыря, от вязкости жидкости и от скорости. С увеличением радиуса сопротивление возрастает, но лишь пропорционально первой степени радиуса. Происходящее одновременно увеличение подъемной силы так значительно, что оно во много раз перекрывает эту часть увеличения сопротивления подъему пузыря.

Основное значение в сопротивлении имеет таким образом вязкость стекломассы.

Сказанное определяет два важных условия, от которых в значительной мере зависит удаление пузырей из стекломассы, а именно:

- 1) увеличение подъемной силы пузырьков (что достигается увеличением их размера); очевидно, что повышение температуры, способствующее расширению пузырьков (а, следовательно, и увеличению их размера) благоприятствует возрастанию подъемной силы;

- 2) уменьшение во время процесса осветления вязкости стекломассы, являющейся сопротивлением.

При этих условиях получается наибольшая скорость удаления пузырей из жидкости.

Конечно, вполне очевидно, что чем больше разжижено стекло, тем меньше сопротивление, возникающее при движении пузырей вверх.

Процесс удаления пузырей происходит различным образом в горшках и ваннах печах. Плавка в горшках, как известно, рас-



падает на отдельные по времени стадии с определенно выраженными началом и концом процесса. Когда в горшке плавка закончилась и получилась однородная пузырчатая масса, заполняющая горшок до верха, стекловар переходит к осветлению стекла, которое требует прежде всего значительного повышения температуры в силу указанных выше причин. Это повышение температуры частично устанавливается и само по себе ввиду того, что основные химические процессы к этому времени являются законченными и не поглощают больше тепла; поэтому все тепло расходуется на подъем температуры в печи.

При нормальном ходе процесса мы видим прежде всего, что сплошная пузырчатость начинает исчезать; пузыри как бы рассеиваются по стекломассе, а затем начинают сливаться и превращаются в более крупные, обладающие большей подъемной силой. По мере увеличения размера пузыри интенсивно стремятся вверх и выходят на поверхность стекла. Иногда замечается, что процесс слияния пузырей совершается медленно и вяло. Несмотря на длительную выдержку пузыри остаются на месте без движения, и необходимого очищения стекла не получается. Вероятной причиной такой задержки является состояние вязкости жидкой стекломассы, в силу которой движение пузырьков задерживается.

Как известно, вязкость стекла при данной температуре находится в зависимости от состава стекла; при изменении же температуры она изменяется чрезвычайно быстро и растет при снижении температуры с большой быстротой. Поэтому основным приемом для облегчения выхода пузырьков газа является повышение температуры, благодаря которому достигается соответственное уменьшение вязкости.

Наряду с этим в горшковых печах всегда применяют искусственный прием для облегчения выхода газов из жидкости, — так называемое «бурление стекла». Оно заключается в том, что в стекломассу вводятся большие количества газа, которые, выделяясь крупными, мощными пузырями, раскрывают пути для выхода мелких пузырьков, увлекая их за собою. Бурление производится обычно парами воды, которые выделяются из какого-либо органического тела (например, из кусков сырого дерева, картофеля и т. п.), вводимого вглубь стекломассы на железном стержне. Попытки вводить в стекло для бурления пары воды или газы непосредственно, хотя и делались, но не получили широкого распространения. Однако этот прием несомненно заслуживает большого внимания. Бурление при помощи сжатого кислорода, применяемое на одном из заводов, дает весьма хорошие результаты.

При производстве стекла в горшковых печах бурление является приемом, который почти всегда применяется для улучшения очистки стекла. Если очистка после этого протекает недостаточно успешно, то бурление совершается повторно. Бурление надо производить при несколько пониженной температуре, так как слишком жидкое стекло легко переходит в пену, которая

может выливаться через край горшка. По окончании бурления повышают температуру для усиления прогрева.

В последующих процессах мы встречаемся часто еще с одним явлением в отношении газообразования, которое может сильно отражаться на условиях очистки стекла от пузырей. Давно уже предполагалось, что стекломасса обладает способностью растворять в себе все виды газов. Это явление подтверждено опытным путем, в результате чего установлено, что стекломасса может содержать в себе довольно значительное количество газов.

Одно из новейших исследований было произведено над натро-известковым стеклом состава  $\text{SiO}_2$ —72%,  $\text{Na}_2\text{O}$ —15% и  $\text{CaO}$ —10%, к которому было добавлено  $\frac{1}{2}\%$   $\text{As}_2\text{O}_3$  и  $\frac{3}{4}\%$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; а также боросиликатное стекло.

Количества различных газов (в куб. сантиметрах), которые были выделены из 100 г различных видов стекла, выражаются следующим образом:

	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$	$\text{O}_2$ + инертные газы	$\text{SO}_2$
Натро-известковое стекло . . . . .	33	7	2	—
С добавлением $\frac{1}{2}\%$ $\text{As}_2\text{O}_3$ . . . . .	33	3	47	—
$\frac{3}{4}\%$ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . . . . .	25	2	13	16
Боросиликатное стекло . . . . .	74	1	1	—

При последующем нагреве газы, растворенные в стекле, часто обнаруживают стремление выделиться из стекла, что и сказывается образованием в чистом стекле мелких пузырьков.

Обычно такие пузырьки не обладают достаточной подъемной силой и застревают в стекле. Этим приходится объяснить довольно часто встречающееся явление, при котором стекло, оказавшееся в пробе совершенно чистым, — в изделиях обнаруживает значительное число пузырей. Образование этих пузырей приходится отнести за счет выделения газов из стекломассы уже после того, как стекломасса повидимому очистилась от пузырей.

Если в горшковой печи процесс осветления протекает (как и все прочие процессы) совершенно отдельно, то в ванной печи непрерывного действия мы имеем несколько иную картину. Очистка стекломассы от пузырей происходит в этом случае на определенной части того пути, который совершает стекломасса от засыпки до места выработки. В небольших ручных ваннах этот путь часто очень короткий, так как место выработки почти совпадает с варочным пространством; в этом случае горизонтальное перемещение для значительной части стекла чрезвычайно сокращено.

В больших ваннах печей оконного стекла плавильный бассейн разделяется плавающими заграждениями на несколько отдельных участков. Благодаря этому те пути, которые частицы стекломассы вынуждены совершать в силу естественной температурной разницы, приобретают извилистый характер: опущенные



в стекло перегородки преграждают движение частиц по прямолинейным траекториям и заставляют их то опускаться, то подниматься. В американских ваннах для бутылочного и посудного стекла это достигается устройством глубоко заложённых протоков между варочным и рафинажным отделениями.

Вследствие сказанного, значение конструкции ваннных печей для устранения различных дефектов плавки чрезвычайно велико и должно быть основано, прежде всего, на использовании тех тепловых потоков, которые образуются в стекле. Изучение этих потоков далеко еще не закончено и в дальнейшем должно дать благотворные результаты для улучшения режима плавки, а следовательно и для улучшения ряда свойств стекла, которые связаны с режимом.

Возможность получения вполне чистого стекла в ваннных печах прежде всего обусловлена надлежащей скоростью прохождения стекломассой отдельных участков пути при таких термических условиях, которые обуславливали бы соответственное вязкостное состояние стекломассы.

Таким образом в ванной печи вопрос получения массы надлежащего качества без рассматриваемых дефектов в значительной степени зависит от конструкции печи, а также от условий ее рабочего режима.

Выше мы уже установили, что теми же условиями определяется полный провар стекломассы и однородность стекла. Слишком быстрое прохождение шихты через зону плавки дает в дальнейшем сырое стекло; если превращение шихты в стекломассу закончилось своевременно, то для того, чтобы предупредить образование свилеватого стекла, необходима гомогенизация стекломассы при помощи интенсивного перемешивания. И наконец для того, чтобы однородное стекло освободилось от заключенных в нем пузырей, оно должно пройти в бассейне печи достаточно длинный путь, так как удаление пузырей происходит лишь постепенно.

Все эти условия доброкачественности стекломассы ограничиваются варочной способностью печи. Под этим выражением надо понимать то предельное количество шихты данного состава, которое может быть сварено в печи при условии нормального температурного режима, т. е. при такой температуре, которая была бы вполне безопасной для печи.

Стремление усилить выработку выше указанного предела неминуемо приводит к образованию перечисленных пороков. При сравнительно небольшом форсировании печи чаще всего замечается образование мошки, к которой при более повышенной выработке присоединяются явления усиленной свили и, наконец, образование сырого стекла.

Эти же явления выступают не только при форсировании работы, но и при обыкновенной выработке, если температурные условия в различных частях печи не соответствуют тем, которые нужны для успешного протекания процесса варки. Поэтому,

в тех случаях, когда требуется плавка шихты определенного состава, не подлежащего каким-либо изменениям, появление признаков незаконченного процесса стекловарения (выражающегося в наличии крупки, свили или пузырчатости) требует прежде всего изучения вопроса о том, находятся ли в соответствии валочная способность печи и установленная на ней выработка. Далее необходимо проверить все условия, при которых протекает плавка (как-то: распределение температуры, направление и скорость потоков и т. д.). При этом надо отметить, что выяснение первого вопроса не представляет больших затруднений. Второй же вопрос, требующий изучения процессов плавки, совершающихся внутри ванной печи, разрешается часто с большим трудом, так как имеющиеся в нашем распоряжении средства для этого далеко еще не достаточны.

Таким образом получение в ванной печи стекломассы, чистой от пузырей, всегда сопровождающих образование стекла, — находится в зависимости от глубоких внутренних процессов, совершающихся в процессе плавки. При сложности этих явлений не представляется возможным дать законченные и вполне определенные указания о том, каким образом следует вести процесс осветления для того, чтобы безусловно избежать появления мошки и пузырей в готовых изделиях.

Мы укажем ниже те мероприятия, которые выработаны практикой стекловарения, а также те объяснения, которые им обычно даются.

В отношении шихты обычно считают полезным вводить такие компоненты, которые выделяют большие массы газа, образующие крупные пузыри; последние, как мы видели, обладают большей энергией для преодоления сопротивлений их продвижению к поверхности стекла.

Рекомендуется также введение в шихту таких компонентов, которые выделяли бы газы в то время, когда основной процесс газообразования уже закончен и когда удаление крупных пузырей из стекла завершилось. Их благотворное влияние обыкновенно объясняют тем, что образующееся в этом случае в более поздние периоды стеклообразования дополнительное количество газа увлекает за собой мелкие застрявшие в стекле пузыри, которые самостоятельно не могут найти себе выхода. К таким веществам относится, главным образом, сульфат. В качестве примера можно привести работу небольшой ванной печи для сортового стекла системы Сименса, которая упорно давала стекло с большим количеством мошки. После того как в состав шихты было введено около 1% сульфата, — появление мошки совершенно прекратилось.

Определенное влияние на степень очистки стекла от пузырей оказывают также размеры зерен компонентов. При известных соотношениях скорость очистки является более успешной, между тем как при других размерах зерен она замедляется. Так, существовало глубокое убеждение, что успешная очистка стекла от



пузырей происходит лишь в случае применения песка с достаточно крупными зернами и что, наоборот, применение очень мелких песков затрудняет очистку стекломассы, которую в этом случае редко удается получить свободной от пузырей.

Для подтверждения этого явления разрабатывались различные теории (Мак-Свиней и др.). Чаще всего пытались объяснить задержку в очистке стекла явлениями физического характера (например плотностью шихты, составленной из мелких компонентов, которая препятствует выделению газа). Новейшие опыты в этом направлении не подтверждают, однако, этих предположений, так как во многих случаях удавалось получать вполне чистое стекло из очень измельченных материалов.

Опыты последнего времени приводят к выводам, что суть вопроса повидимому, заключается здесь во взаимных размерах зерен различных компонентов, которые должны определенным образом соответствовать друг другу. Если относительные размеры зерен, независимо от их абсолютной величины, подобраны надлежащим образом, то скорость протекания процесса плавки во всех его стадиях будет такова, что и очистка стекломассы от пузырей сможет происходить достаточно успешно. Если же частицы компонентов подобраны по величине неправильно, то процессы плавки протекают негладко и удаление пузырей встречает затруднения.

Еще сложнее представляются вопросы осветления с точки зрения режима печи. До сих пор установление наиболее благоприятных условий плавки достигается опытным путем, в зависимости от качества шихты и индивидуальных особенностей печи. Во всяком случае надо считать установленным, что процесс осветления должен совершаться, начиная от высокой температуры, по непрерывно снижающейся кривой, так как повышение температуры может вызвать вторичное появление мелких пузырей в очистившемся стекле, о чем уже говорилось.

В горшковой печи все вопросы плавки (в том числе и очистка) разрешаются значительно легче. Поскольку здесь продолжительность каждого периода работы зависит от стеклоара (который к тому же может приспособлять тепловой режим к условиям плавки), получение стекла, свободного от всяких дефектов (в том числе и от пузырей), — является в горшковой печи значительно более легким и доступным, чем в ванной. Отсюда вытекает необходимость применения горшковых печей для всех видов ответственного стекла, в которых количество дефектов должно быть доведено до минимума.

В стадию осветления стекломасса приходит уже в химически совершенно законченном виде и должна здесь пройти лишь один процесс освобождения от пузырей. Тем не менее, поскольку стекломасса продолжает находиться под действием высокой температуры и кроме того может подвергаться дополнительному воздействию печной атмосферы, в которой она находится, то и

в этом периоде всегда возможно дополнительное образование пороков из числа тех, которые были рассмотрены выше.

Прежде всего мы имеем здесь продолжающееся действие стекломассы на шамотную часть печи. Интенсивное движение стекломассы, искусственно создаваемое во время бурления, которое всегда производится в этой стадии в горшковых печах, — оказывает сильное влияние на шамотный материал и способствует выкрашиванию из него крупинки. Высокая температура стекломассы также сильно способствует остеклению шамотных масс за счет химических реакций с расплавленной стекломассой.

Шамотный материал, переходящий в это время в стекломассу, имеет еще меньше возможностей для равномерного растворения в стекле, чем раньше, так как вследствие отсутствия достаточного количества свободных щелочей образуется сильно вязкая масса, растворение которой является чрезвычайно затрудненным. На этой стадии мы имеем продолжающееся образование камней и свиля (притом иногда очень усиленное).

Повышенная температура, поддерживаемая во время стадии осветления в горшковой печи, может усилить отделение капель от свода и образование из них шлиров.

Хотя основное назначение процесса осветления заключается в освобождении стекла от пузырей, тем не менее случайные причины, не связанные с нормальным процессом стекловарения, могут способствовать образованию новых пузырей тогда, когда очищение стекла должно было бы быть закончено. К числу именно таких явлений относится прежде всего образование пузырей из щелочной пены по каким либо причинам в процессе плавки, продолжающих действовать в течение следующих стадий производства, в которых при правильном протекании процесса образование пузырей из щелочной пены не должно было бы иметь места. К числу таких явлений может быть отнесено также выделение воздуха из шамотных масс горшков, брусьев, вспомогательных шамотных частей, которые вследствие значительной пористости выделяют непосредственно в стекломассу пузырьки воздуха, уже остающиеся в ней. Об этом явлении подробнее мы будем говорить ниже.

Образование таких добавочных пузырей может происходить и от случайно попавших в стеклоплавильные резервуары посторонних тел (в особенности кусков железа и других материалов), которые потоками стекла уносятся из плавильного пространства в более отдаленные зоны ванной печи. В таких кусках железа происходит окисление углерода и других составных частей, вследствие чего непрерывно образуются газы, которые устремляются по направлению к поверхности стекла. В зависимости от различных причин эти потоки то усиливаются, то ослабевают; но, поскольку они происходят независимо от основного процесса плавки, действие их чаще всего не может быть приостановлено и является самостоятельной причиной образования пузырей в готовых изделиях.



В продолжении процесса осветления (в особенности в горшковых печах) возможно также возникновение различных химических реакций между компонентами стекла и печными газами, которые могут действовать окисляющим или раскисляющим образом. В зависимости от этого происходит выгорание селена, изменения в степени окисления марганца и окислов железа и тому подобные явления. Вследствие этого могут происходить очень существенные изменения в окраске изделий или могут появиться цветные оттенки в бесцветном стекле. И, действительно, очень часто замечается, что хотя пробы, взятые в области плавки, отличаются полной бесцветностью, тем не менее в зоне осветления стекло начинает приобретать цветные оттенки.

Все эти более или менее случайные явления могут быть предупреждены чрезвычайно тщательным отношением к предварительным процессам изготовления шихты, применением только самых чистых материалов для ответственных видов стекла и, наконец, применением шамотного припаса, изготовленного из самой лучшей глины. Далее требуется правильный состав шихты в зависимости от вырабатываемого стекла, сохранение оптимального температурного режима (который пока что приходится устанавливать главным образом путем опыта и наблюдения) и, наконец, чрезвычайно внимательное отношение к ходу плавки. Необходимость всех этих мер была известна стекловарам давно, но раньше они проводились исключительно на основе интуиции и опыта. В настоящее же время в ряде случаев эти мероприятия базируются на результатах химического анализа, теплового и других видов контроля.

---

## СТУДКА СТЕКЛА

После процесса осветления мы получаем совершенно готовую стекломассу, в которой должны быть закончены все процессы превращения и преобразования. Но для того, чтобы можно было приступить к выработке изделий из этой стекломассы, ее необходимо привести сначала в такое состояние вязкости, которое соответствовало бы условиям данной работы.

Во время процесса очищения стекломасса настолько разжижается, что она не могла бы сохранять самостоятельно ту форму, которая ей придается тем или иным способом.

Поэтому после осветления стекломасса должна пройти еще одну стадию, назначение которой заключается в увеличении ее вязкости, что достигается соответственным снижением температуры. Это требование удовлетворяется в горшковых и ваннных печах различным образом.

В горшковой печи, после того как стекло совершенно очистилось, производится непосредственное снижение температуры, для чего сокращают приток горючего газа и таким образом создают необходимые тепловые условия для увеличения вязкости стекла.

В ваннных печах применяется постепенное продвижение стекла с определенной скоростью из одной термической зоны в другую. В данном случае используется продвижение стекла в холодных зонах, во время которого происходит возрастание вязкости. В ваннных печах ручной выработки для использования более холодной стекломассы устанавливаются боты, из которых и производится наборка стекла. Боты опускаются в стекло на определенную глубину, вследствие чего в них поступает более холодное, а, следовательно, и более вязкое стекло. Для того, чтобы можно было регулировать степень вязкости и по мере надобности, уменьшать ее, в верхней части бота прорезываются отверстия, через которые можно устанавливать сообщение между внутренней полостью бота и ванной печью и таким образом регулировать вязкость стекла. В механизированных печах для этой цели служит специальный рафинажный бассейн отделенный от варочного пространства и обычно не имеющий самостоятельного отопления. Необходимая температура в нем поддерживается лучеиспусканием и регулируется особым кирпичным экраном, отделяющим его от варочного пространства.



В ванне для выработки оконного стекла по способу Фурко необходимая вязкость устанавливается в особых рабочих отростках-каналах, ответвляющихся от основной ванны.

В каналах бельгийской системы эта часть печной установки имеет специальное отопление, при помощи которого точно регулируется температура рабочего пространства.

В каналах чехословацкой системы нужная температура устанавливается за счет лучеиспускания ванной печи.

Процесс установления рабочей вязкости является прямым продолжением и окончательным завершением рассмотренного нами процесса плавки и совершается в тех же горшках или в той же ванной печи (но лишь в других ее зонах). Соответственно этому и во время студки стекло может воспринять под действием случайных причин различные недостатки из числа рассмотренных выше.

Камни (в значительно меньшем количестве и значительно реже) могут получаться вследствие выкрашивания шамотных частиц из материала горшков, брусьев, а также тех вспомогательных приспособлений, ботов, кранцев, заградительных лодок, фидерных частей и т. п., которые служат для выработки стекла и устанавливаются в рабочей зоне ванной печи.

Мы уже отмечали, что хотя здесь в отношении времени и температуры условия для разъедания шамотных масс не столь благоприятны, тем не менее разъедание все же продолжается и в этом периоде. Поэтому возможно дальнейшее образование свилю или усиление этого порока, если он уже имелся в стекле.

Основным средством для предупреждения этих явлений служит изготовление шамотных изделий из особенно высококачественных материалов, возможно лучшим образом обеспечивающих их стойкость в отношении разъедания.

В ваннных печах, где эти шамотные части находятся непосредственно в зоне выработки, они могут оказать прямое влияние на образование пузырей и мошки. При первой вставке в печь вместе с ними в стекло попадает воздух, который постепенно выходит наружу в виде пузырей. Вследствие пористости материала, изделия заключают в себе часто значительное количество воздуха (в особенности, если в них имеются свищи и раковины). Воздух, заключенный в порах и пустотах, выделяется непосредственно в стекло и в силу указанных выше причин остается в нем в виде мелких пузырьков.

Эти явления проявляются особенно сильно в первое время после вставки новой партии горшков, ботов, кранцев, лодок, фидерных частей и т. п. и продолжаются в течение нескольких дней, причем их интенсивность постепенно убывает. Поэтому выработка стеклянных изделий после ремонта ванной печи или смены горшков, ботов и других шамотных частей всегда приводит к увеличению пороков в стекле. Все это требует изготовления всех шамотных изделий из лучшего материала и возможно более плотного (для

уменьшения в них количества пор) и, конечно, без раковин, пустот и свищей.

Другая причина возможного образования пузырей указана в предыдущей главе и заключается в повышении температуры, вызывающей, повидимому, выделение из стекломассы растворенных в ней газов.

Период перехода стекломассы в рабочее состояние является более благополучным в отношении всей рассмотренной группы пороков, которые в этом периоде образуются лишь в слабой мере и главным образом вследствие случайных причин. Но зато в этом периоде могут образоваться новые виды пороков: период студки особенно благоприятен для расстекловывания или кристаллизации стекломассы, что вызывается снижением температуры, необходимым для придания массе требуемой рабочей вязкости. Происходящее в этом случае нарушение аморфного состояния стекла является источником образования пороков, известных под названием «зарухание», «рух»; этот порок сильно снижает качество стекла и требует такой же борьбы, как и другие пороки в стекле.

Стекло представляет собою раствор силикатов и алюмосиликатов натрия, калия, кальция, а также других окислов, солей и газов. При охлаждении этого раствора (как и всякого другого) содержащиеся в нем компоненты проявляют стремление выпадать из него в виде кристаллов. Однако при соблюдении определенных условий возможно охлаждать раствор значительно ниже температуры образования кристаллов, не вызывая их выпадения. Наличие в растворе значительного числа компонентов способствует такой возможности.

Поэтому, если расплавленное стекло охлаждается надлежащим образом, то в нем не происходит выделения кристаллов и оно застывает в виде твердой, аморфной, однородной массы. Такое застывание является необходимым условием для получения стекломассы, свободной от пороков зарухания.

Застывание стекла зависит от ряда факторов, первым из которых является стремление содержащихся в расплавленной стекломассе компонентов выпадать из раствора по мере его охлаждения. Это стремление возрастает по мере снижения температуры и достигает максимума около  $1000^{\circ}$  (в зависимости от состава стекла), после чего оно начинает быстро убывать. Под действием этого фактора в стекломассе образуются отдельные узловые точки, от которых происходит нарастание кристаллов. Число центров кристаллизации, образующихся в единицу времени, характеризует величину стремления к кристаллизации, которая непрерывно изменяется в зависимости от температуры.

Вторым фактором является скорость кристаллизации, которая определяется быстротой линейного нарастания кристаллов, исходящего из узловых точек, образовавшихся под влиянием первого фактора. Скорость нарастания кристаллов также является функцией от падения температуры. Скорость кристаллизации



нарастает сначала медленно, достигает максимума, после чего начинает быстро убывать. Однако скорость нарастания опережает стремление к кристаллизации. Это обстоятельство имеет очень большое значение как для образования кристаллов, так и с точки зрения тех форм, которые они принимают.

Третий фактор, с которым приходится считаться, определяется следующими соображениями. Одного снижения температуры еще недостаточно для того, чтобы началась кристаллизация. Между компонентами, находящимися в растворе, существует определенное равновесие, которое должно быть преодолено силою стремления к кристаллизации. Но для того, чтобы преодолеть инерцию этого равновесного состояния, необходимо определенное время, которое и является третьим фактором и зависит главным образом от состава стекла (т. е. от наличия в нем тех или иных окислов, влияющих различным образом на равновесное состояние стекломассы).

Взаимоотношением этих трех факторов и определяется как возможность кристаллизации, так и те формы, в которых она проявляется.

Ход образования кристаллов при охлаждении стекла следующий. Если температура стекла понижается достаточно быстро, то кристаллизационная способность, существующая в растворе в данный момент, не успевает нарушить равновесного состояния раствора, который остывает в этом случае без выделения кристаллов. Если при этом пройдены те наиболее опасные зоны, с которых мы говорили выше, то дальнейшее охлаждение происходит уже без угрозы выпадения кристаллов. Но если при охлаждении падение температуры задерживается в тех пределах, в которых стремление к кристаллизации имеет достаточно ощутимую величину, то равновесное состояние может нарушиться, и тогда начинается образование отдельных центров кристаллизации.

Если и последующее охлаждение совершается достаточно медленно, то вокруг выделившихся отдельных центров кристаллизации начинается быстрое нарастание кристаллов, так как раствор вступает в температурную зону максимальной скорости нарастания кристаллов. Если, однако, эта зона проходится достаточно быстро и охлаждение начинает замедляться за ее пределами, то мы будем наблюдать образование многих отдельных центров кристаллизации, поскольку раствор в этом случае вступает в зону наибольшей интенсивности кристаллизации; однако нарастание этих центров будет происходить медленно, так как возможность быстрого их развития уже пройдена.

В зависимости от того, каким образом происходит кристаллизация, — зарухание в стекле проявляется в различных формах, происхождение которых понятно после сказанного выше.

Мы можем иметь в стекле отдельные крупные гнезда в виде непрозрачных белых вкраплений в стекле. Часто они имеют характерную правильную округленную форму. Но иногда они

имеют неправильные очертания и на-глаз трудно отличить их от описанных выше видов камней.

Другой формой руха являются расплывчатые пятна, белые или тусклые, представляющие собою скопления выделившихся из стекла кристаллов. Такие пятна также иногда с трудом распознаются от всякого рода других налетов, а в особенности от тех пятнистых наслоений, которые образуются щелочной пеной.

Наконец, третьей формой зарухания являются разбросанные по всей массе стекла мелкие центры кристаллизации в виде отдельных точек и крупинок или продолговатых игл, испещряющих все изделие. Рухлое стекло такого вида иногда очень похоже на стекло непроваренное, сырое, содержащее в себе крупинки песка или других материалов, не вступивших в химическую реакцию. Значительная рухлость отражается и на поверхности стекла, которая из гладкой становится неровной, шершавой на-ощупь.

Остановимся еще на химической природе описанных выше кристаллических образований, нарушающих однородность стекломассы.

В зависимости от состава стекла и различных условий, в которых протекает кристаллизация, кристаллы могут иметь различный состав. Основной компонент стекломассы — кремнезем — лишь редко выделяется в чистом виде; наличие кристаллов кремнезема чаще всего приходится относить за счет несваренного стекла. В этих случаях кремнезем появляется в различных своих модификациях, в виде тридимита или кристобалита. Окись кальция выделяется в виде силикатов  $\text{CaSiO}_3$  также в двух модификациях — в виде волластонита или псевдоволластонита, которые имеют различную стойкость в зависимости от температуры.

Окись бария дает силикат химического состава  $\text{BaSiO}_3$ , а окислы свинца образуют силикат  $\text{PbSiO}_3$ .

Глинозем дает несколько различных кристаллических образований. Он может кристаллизоваться самостоятельно в виде корунда  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Вместе с кремнеземом он образует силлиманит  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . С окислами натрия и глиноземом получается нефелин состава  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ . Наконец, в зарухшем стекле установлено наличие сложного соединения, так называемого девитрита, имеющего состав  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$ .

Кристаллизация приводит к нарушению однородного состояния стекла, выражающегося в готовых изделиях уменьшением прозрачности и появлением в них образований, вследствие чего теряется однообразный гладкий вид их поверхности. Поэтому кристаллизация представляет собою один из недопустимых пороков стекла, для предупреждения которого необходимы соответствующие предупредительные меры.

Так как побудительной причиной к заруханию стекла является снижение температуры до критической зоны и более или менее длительная выдержка стекломассы в пределах опасных



температур, то отсюда вытекает и основное условие борьбы с этим явлением. Необходимо, чтобы рафинаж и выработка стекломассы происходили по возможности в термических условиях, неблагоприятных для возникновения и нарастания кристаллов; ниже, однако, мы увидим, что далеко не всегда представляется возможным удовлетворить этому требованию.

Далее, необходимо, чтобы установленный наиболее благоприятный температурный режим работы сохранялся без изменения. Для этого, конечно, прежде всего надо, чтобы в печь поступал газ определенного качества, который обеспечивал бы необходимую температуру горения. В этом отношении особенно вредно отражается повышенная влажность газа из-за сырого топлива. Определенное влияние оказывает также и состояние печной установки. Зашлаковывание газогенераторов или засорение и заливы решеток регенераторов вносят расстройство в действие печи и приводят к тому, что удерживать температуру на должной высоте не представляется возможным.

Наконец третьей причиной является недостаточный производственный теплотехнический контроль или неправильное регулирование горения на основе этого контроля.

Кристаллизационная способность растворов находится в прямой зависимости от состава раствора, поскольку различные компоненты не только самостоятельно выделяются из раствора при снижении температуры, но и обладают способностью влиять на общее состояние равновесия в растворе и взаимно задерживать или облегчать кристаллизацию.

Отсюда вытекает возможность с помощью надлежащего подбора компонентов (как в количественном, так и в качественном отношении) влиять на кристаллизационную способность стекломассы и увеличивать стойкость стекломассы в этом отношении. Это является особенно важным, если принять во внимание, что рабочая вязкость стекломассы (в особенности для некоторых видов производства) достигается на самой границе зоны усиленной кристаллизации стекломассы. При этом надо иметь в виду, что расстекловывание не ограничивается стадией студки стекломассы, но продолжается и в последующих процессах выработки, а частично и в процессах обработки стекла. Поэтому увеличение стойкости стекла в отношении зарухания является чрезвычайно важным условием для предупреждения появления в стекле пороков, связанных с этим явлением.

Способность стекла к кристаллизации, как уже сказано выше, зависит от его состава. Влияние основных компонентов стекла на способность его к кристаллизации за последние два десятилетия подверглось разностороннему изучению, благодаря чему мы имеем в настоящее время довольно ясную картину в этом отношении. Суммируя эти данные, мы можем представить влияние различных элементов следующим образом.

В обыкновенном натро-известковом стекле при содержании кремнезема от 77 до 72% не замечается выделения кристаллов

кремнезема. Лишь при повышенном содержании кремнезема начинается выделение кристаллов этого компонента.

Известково-калиевое стекло, даже при повышении содержания кремнезема до 80%, — не обнаруживает стремления к кристаллизации ни в процессе плавки, ни при повторном нагреве. Отсюда вытекает целесообразность ввода окиси калия в стекло в том случае, когда оно подвергается многократному нагреванию и огневой обработке (каковы, например, различные виды посудного стекла).

Натро-свинцовое стекло при содержании кремнезема свыше 71,9% дает выделение кремнезема при вторичном нагреве. Такое стекло очень неустойчиво; улучшение его свойств в отношении зарухания достигается повышением содержания окислов свинца свыше 27,5%. Калиево-свинцовое стекло и в этом случае более устойчиво, чем натровое.

Натро-бариевое стекло при содержании кремнезема свыше 70% предрасположено к кристаллизации при вторичном нагреве. Замена окиси натрия окисью калия производит такое же действие, как и в указанных выше составах стекла.

При сохранении содержания кремнезема в пределах максимальной его устойчивости (соответствующей примерно 70%), увеличение содержания окислов кальция от 5 до 20% за счет уменьшения окислов натрия от 25 до 10% — не отражается на стойкости при первоначальной плавке. Однако при повторной плавке такое стекло получается уже менее устойчивым и в нем замечается выделение силикатов кальция, которое постепенно все более усиливается.

Окись калия производит на окислы кальция такое же стабилизирующее действие, как и на кремнезем. Окислы свинца являются чрезвычайно устойчивыми в отношении кристаллизации, и увеличение их содержания за счет кремнезема все же не приводит к образованию свинцовых силикатов, которые образуются лишь при повторных плавках. В бариевых стеклах (как натровых, так и калиевых) уменьшение содержания кремнезема за счет увеличения содержания окислов бария не ведет к усилению кристаллизации при первоначальной плавке. Однако при повторных плавках оно чрезвычайно усиливается, вплоть до полного выделения окислов бария.

Щелочи сами по себе не обнаруживают стремления к образованию кристаллических отложений. Присутствие их в составе стекла (если только кремнезем и окись кальция не возрастают свыше обычных норм) влияет на увеличение стойкости стекла. Поэтому в стеклах машинной выработки (в особенности в первые периоды механизации) применялось усиленное введение щелочей. Рабочая вязкость такого стекла сильно приближается к зонам интенсивной кристаллизации и увеличение стойкости стекла достигалось именно этим способом.

Влияние глинозема в определенных условиях является благо-



приятным для получения повышенной устойчивости в отношении кристаллизации.

Как показали новейшие исследования, содержание глинозема до 4% понижает кристаллизационную способность стекла в тех случаях, когда содержание щелочей равно или превышает 14%. При содержании щелочей свыше 16% повышение содержания глинозема никакого действия уже не обнаруживает. Если содержание глинозема возрастает свыше 4%, то он уже начинает действовать ухудшающим образом, а именно усиливается способность стекла к заруханию.

Чрезвычайно полезным является введение в стекло окиси магния в количестве от 1 до 2%. Это свойство магния открыто недавно и широко используется при выработке таких видов стекла, рабочая вязкость которых очень близка к зоне усиленной кристаллизации (например в процессе Фурко).

Такое же благотворное влияние оказывают и окислы бора в небольшом количестве.

## **ВЫРАБОТКА СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Процесс выработки изделий стекла как ручным, так и механизированным способами начинается с выемки стекломассы из плавильной печи, после чего следует оформление взятой порции стекла в готовое изделие. Первая стадия процесса выработки производится частично, — а в некоторых видах механизированного производства (например в процессе Фурко) полностью — в пределах плавильной печи; вторая же стадия происходит уже вне печи, в совершенно других температурных условиях.

Во время первой части процесса подвергающаяся переработке стекломасса подвержена различным влияниям, связанным с высокой температурой, а также с воздействием печной атмосферы и с рядом других обстоятельств, зависящих от условий режима работы. Поэтому и на этой стадии возможно образование некоторых недостатков стекломассы из числа рассмотренных выше; во второй же половине процесса мы встречаемся с возникновением новой группы дефектов, которые относятся к разряду недостатков формования.

Так как различные способы работы отличаются своими характерными недостатками, то рассмотрение пороков выработки будет производиться нами отдельно для различных видов производства.

Прежде всего мы остановимся на ручной выработке полых изделий, затем перейдем к механической выработке этих изделий и, наконец, к механизированному изготовлению листового стекла.

### **1. РУЧНАЯ ВЫРАБОТКА ПОЛОЙ ПОСУДЫ (БУТЫЛКИ И ВСЯКОГО РОДА СОРТОВАЯ ПОСУДА).**

При ручной выработке полых и других изделий стекломасса, служащая для наборки, находится к этому времени внутри бота, наборной лодочки или кранца. Если были соблюдены все требования, обеспечивающие получение стекломассы, свободной от недостатков, то в наборных аппаратах мы всегда должны были бы иметь вполне безупречный материал, совершенно свободный от пороков и доведенный до такой степени вязкости, которая благоприятствовала бы успешному формованию. Однако, как показывает практика стеклоделия, и в такой стекломассе возможно возникновение изменений, отражающихся на ее качестве. Отметим главнейшие из этих пороков.



При применении неудачных и неумелых методов засыпки шихты в ваннах печей непрерывного действия в печном пространстве образуется густая пыль, которая захватывается печными газами и разносится по всему печному пространству. Если в этот момент производится наборка стекла или разогревание набранной пульки для дальнейшей ее обработки, то пыль садится на поверхность пульки, вследствие чего изделие покрывается налетом, который портит его гладкую поверхность. Это будет продолжаться до тех пор, пока вся пыль не будет унесена печными газами в трубу.

Для предупреждения этого явления необходимо производить засыпку таким образом, чтобы шихта ложилась в сторону движения печных газов ближе к их выходу из печи, а не наоборот; это необходимо для того, чтобы печные газы возможно скорее унесли пыль из печного пространства. Кроме того, конечно, необходимо применение таких способов засыпки, которые предупреждали бы образование пыли.

При выработке бесцветного и цветного стекла может происходить порча цвета от следующего обстоятельства. Если наборщик не очищает достаточно хорошо конец наборной трубки или прута от приставшего к нему стекла, то окалина железа, растворяющаяся в этом стекле, может попасть в изделие и дать в нем бурые и желтые потеки. Поэтому при изготовлении высококачественной сортовой посуды применяется даже специальная очистка трубок от набега. Полезно также смачивать конец трубки в эмульсии каолина, чем облегчается сбивание набега.

Часто при неумелой или небрежной наборке стекла в совершенно чистую стекломассу вносится свиль, происхождение которой может быть объяснено следующим образом. Разъедание стекломассой огнеупорного материала, в котором совершается варка стекла, продолжается, как мы уже указывали, во всех стадиях, следующих за плавкой (хотя, конечно, и значительно менее интенсивно). Получающаяся в результате стекломасса инородного состава, чаще всего насыщенная глиноземом, не имеет возможности раствориться в основной стекломассе и остается плавать на поверхности внутри ботов или других наборочных приспособлений. Количество образующегося в этом случае нерастворяющегося стекла невелико. Однако, если принять во внимание незначительное количество стекла, набираемого для выработки одного изделия, то понятно, что даже самое малое количество посторонней примеси, затягиваемое в наборку, может оказать весьма заметное влияние на ухудшение качества стекла в изготавливаемых изделиях.

Другой вид свиля образуется при наборке в результате следующих моментов. При наборке нередко происходит обратное стекание стекла, поднятого над поверхностью зеркала; еще чаще за поднятую пульку тянутся тонкие нити стекла, которые ложатся на зеркало стекломассы в боте или в кранце. Эти застывшие потоки и нити часто не успевают раствориться в общей

массе стекла, захватываются при наборке и в готовом изделии нарушают однородность его поверхности, так как они резко выделяются на ней наподобие свили в виде полос и нитей.

Недостатки этого рода являются результатом исключительно небрежной и неумелой работы и легко могут быть устранены. Для этого прежде всего необходимо перед каждой сменой производить очистку (хальмование) рабочей поверхности стекла, с которой производится наборка. Эту очистку надо производить и чаще, если только замечается более интенсивное всплывание различного рода загрязнений и пены. Весьма полезно производить основательное стягивание загрязнений при всех перерывах в работе, после чего необходимо закрывать все рабочие окна и открывать пробки в ботах для повышения температуры в рабочих пространствах, что создает благоприятные условия для смешивания стекломассы и восстановления в ней однородности.

При наборке мастер должен наблюдать за состоянием зеркала стекла и избегать наборки в тех местах, где замечается большое скопление свили. Наконец, наборщик должен следить за тем, чтобы при наборке у него не образовались обратные потоки и нити (дроты), лежащие на стекле. При работе из ботов в наклонной нижней плоскости шейки бота иногда прорезывают длинную поперечную щель, которая преграждает таким излишкам обратный путь в бот и дает им возможность стекать непосредственно в бассейн ванной печи.

Небрежность в работе приводит к появлению и другого недостатка, довольно часто встречающегося в изделиях; мы имеем в виду образование наборочных пузырей. При недостаточно осторожной наборке стекла на трубку, одновременно со стекломассой захватывается воздух, который остается заключенным в изделиях и образует в них пузыри более или менее крупного размера (чаще всего имеющие растянутый вид). Поскольку наборка стекла для выработки производится при температуре еще более низкой, чем та, при которой происходит студка, то в этой стадии производства легко может происходить и образование рухлого стекла.

Этот порок может появляться в особенности при работе из ботов. Зарухание стекла в этом случае может происходить, с одной стороны, на поверхности рабочего зеркала бота; с другой же стороны, вследствие того, что боты опускаются внутрь бассейна на значительную глубину, в них может подниматься вверх стекломасса из глубоких донных слоев, которые находятся уже в сильно охлажденном состоянии и имеют все данные для того, чтобы зарухать. Куски такой стекломассы, отрываясь от дна, попадают в изделие и образуют на нем пятна или отдельные вкрапления, портящие его вид.

Следует отметить, что при работе из ботов, в силу указанных причин возможно не только появление в изделиях руха, но и дополнительное образование свили, так как попадающее с больших глубин стекло может значительно отличаться и по своему составу и по своей температуре от основного стекла.



В силу той же причины может происходить ухудшение окраски стекла или появление в бесцветном стекле цветных оттенков, понижающих его качество. Возможность такого явления подтверждается тем, что в ваннах обыкновенного устройства при выпуске стекла для холодного ремонта всегда обнаруживается, что нижние слои стекла отличаются по окраске от верхних. В обесцвеченном стекле нижние слои отличаются желтыми, зелеными, голубыми оттенками, интенсивность которых усиливается по мере приближения ко дну. Чем дольше работает ванная печь без холодного ремонта, тем выше проникает ухудшение в цвете стекла, тем больше данных к порче цвета рабочего стекла, а следовательно и к появлению дефектной окраски в готовых изделиях.

Отсюда возникает необходимость (по крайней мере при выработке высокосортного стекла) не затягивать сроки между холодными ремонтами, связанными с полной очисткой бассейна от содержащегося в нем стекла. Еще более радикальным средством является такая конструкция ванной печи, которая способствовала бы интенсивному перемешиванию стекла и не допускала бы образования застойных слоев.

Существенным мероприятием для устранения ряда пороков является правильный подбор погружения ботов в стекло. Величиной их заглубления можно в широкой мере регулировать поступление стекла с определенной глубины и таким образом подбирать условия поступления наиболее благоприятного для работы слоя стекла. В этом отношении помогает также надлежащее регулирование температурных условий в рабочей части печи, изменяющее в ту или другую сторону вязкость стекла и тем самым препятствующее всплыванию недоброкачественного стекла на поверхность.

Таким образом мы видим, что и в процессе сборки стекла в стекломассе может образоваться в значительной мере целый ряд недостатков, которые, проникая в изделия, портят их и заставляют относить их в брак. Происхождение этих недостатков в значительной мере зависит от небрежности и невнимательности; в этом случае, конечно, они могут быть устранены сравнительно легко. Значительная часть описанных недостатков может возникнуть лишь в ваннах печах, поскольку они зависят от наличия в них больших масс застойного стекла. В горшках такие недостатки проявляются лишь в том случае, если в них имеет место значительная недовыработка и стекло переходит от одной смены на другую, что, поэтому, является весьма нежелательным.

Другая совокупность пороков при выработке относится уже к самому формованию изделий и отличается большим разнообразием.

Прежде всего мы встречаемся здесь с неправильной толщиной стенок изделий, которые могут быть или слишком толстыми или, наоборот, слишком тонкими. Этот недостаток имеет различное значение в зависимости от рода изделий. Например для высококачественной столовой посуды типа стаканов и бокалов чаще

всего требуется тонкостенность, вследствие чего излишняя толщина является недостатком, понижающим ценность изделия. Однако в тех случаях, когда изделия подвергаются в дальнейшем глубокой шлифовке, определенная толщина стенок является необходимым условием, так как слишком тонкие изделия при обработке прорезываются насквозь.

Слишком тонкие стенки представляют крупный недостаток в таких изделиях, как бутылки, банки и другие виды тары, которые подвержены толчкам и ударам во время наполнения, укупорки и транспорта, а также подвергаются внутреннему давлению газов.

В бутылках изменение толщины стенок сильно отражается на емкости изделия. Даже незначительное увеличение толщины стенки чувствительно уменьшает емкость и может вызвать переливание жидкости через горлышко при наполнении установленным, точно отмеренным количеством жидкости. Это особенно чувствительно в условиях автоматического наполнения и укупорки бутылок, которые в этом случае будут разрываться при закупорке.

Так как выдувание бутылок и других изделий производится в металлических формах определенных размеров, то неправильности в толщине стенок возникают от того, что мастер набирает для изготовления изделия несоответствующее по весу количество стекла. Поскольку внешние размеры изделия всегда точно определены формой, в которой производится выдувание, то при слишком малом весе набранной пульки толщина стенок получается уменьшенной, а емкость соответственно большей, чем это требуется. Наоборот, при большем весе набранной пульки толщина стенок увеличивается, а емкость бутылки или банки уменьшается. Единственным мерилom правильной весовой наборки при ручной работе являются глазомер и та чувствительность в отношении веса, которая развивается благодаря опыту; они-то и дают возможность опытному мастеру набирать стекло с точностью до нескольких граммов. Для того, чтобы корректировать точность наборки, полезно устанавливать контрольное взвешивание факката у верстака немедленно по окончании изготовления изделия; это дает возможность сигнализировать мастеру об ошибках при наборке.

Однако и при вполне правильной по весу наборке изделие может получиться с неправильной толщиной стенок, а именно с увеличенной толщиной стенок в одних местах за счет недостаточной толщины в других.

Основным видом этого недостатка в практике ручного производства является прежде всего так называемая однобокость изделия, которая характеризуется тем, что изделие имеет стенки неравномерной толщины (с одной стороны более тонкую, чем с другой). Часто также дно стакана или бутылки получается значительно толще, чем это требуется (конечно, за счет уменьшения заданной толщины стенок). При этом иногда в толщине дна получается значительная неправильность (утолщение с одной стороны



по сравнению с другой). Недостатки такого рода определяются термином «залив дна». Нередко бывает обратное явление, когда дно в сопряжении со стенками получается слишком тонким. Этот недостаток называется «продутым дном». При изготовлении бутылок и банок довольно часто стенки в переходе от цилиндрической части к горловой получаются слишком тонкими; этот дефект называют термином «продутые плечики».

Все такие недостатки прежде всего портят внешний вид изделия, причем при производстве высококачественной сортовой посуды даже небольшие отклонения в отношении толщины стенок и равномерного распределения стекла являются крупными недостатками, сильно снижающими ценность изделия. В других видах изделий эти недостатки отражаются на емкости и прочности в отношении как термической, так и механической стойкости.

Устранение такого рода недостатков зависит прежде всего от искусства мастера в отношении наборки и последующих операций формования изделия. Необходимо, чтобы та первоначальная баночка, на которую производится наборка стекла (для большинства изделий кроме мелких, которые набираются сразу), была вполне правильной формы. Отклонение от правильной шаровой формы способствует неправильной наборке стекла и приводит к образованию «однобокой пульки».

Когда наборка стекла для образования пульки закончена, то дальнейшее распределение стекломассы производится при помощи ряда разнообразных приемов размахивания, вращения, опускания и поднимания трубки, которые сопровождаются дутьем то усиленным, то ослабленным. Благодаря этим приемам нормальная шаровая форма пузыря превращается в яйцевидную, растянутую или сплюсненную, и стекло собирается в тех частях пузыря, из которых должны образоваться утолщенные части изделий.

В основном дефекты в формировании изделий зависят больше всего от правильности указанных выше приемов и определяются умением мастера, который в значительной мере может приспособляться к различным условиям работы. Однако все же на образование этих недостатков до некоторой степени оказывает влияние и рабочая вязкость стекла, а также способность стекломассы более или менее быстро изменять свою вязкость при охлаждении. Неудовлетворительные свойства стекла в этом отношении, даже при самом большом искусстве мастера, будут способствовать возникновению дефектов, так как мастеру, конечно, гораздо труднее работать со стекломассой, не вполне удовлетворяющей требованиям выработки изделий. В этом случае одинаково вредно отражается как слишком жидкое и медленно стынущее стекло, так и густое, быстро застывающее. В первом случае стекло, вследствие своей подвижности, растекается и не сохраняет той формы и того распределения, которое сообщается ему мастером; для того, чтобы улучшить условия работы, мастеру приходится замедлять темп своей работы, вследствие чего чугун-

ные формы, в которых производится выдувание, не поддерживаются в надлежащих термических условиях и стынут. От совокупности этих причин в изделиях получаются заливы, продутость, кованая поверхность и другие пороки.

Во втором случае, когда мастеру приходится работать с быстро стынувшим стеклом, он иногда не поспевает в отношении формообразования за состоянием обрабатываемого материала, вследствие чего в изделиях опять-таки появляются в большом обилии указанные выше пороки. Примером может служить сильно глиноземистое стекло с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  свыше 4—5%. При изготовлении изделий из такого стекла всегда замечается понижение качества изделий и увеличение количества брака.

При определенной температуре вязкость стекла непосредственно зависит как от качественного, так и от количественного состава стекла. Поэтому для улучшения качества работы и устранения дефектов большое значение приобретает подбор состава стекла, соответствующего как способам выработки изделий, так и их размерам. Например для выработки изделий, требующих различной отделки в горячем состоянии, очевидно желательно иметь медленно стынувшее стекло.

Мы рассмотрели формование только в стадии выдувания. Однако целый ряд изделий требует после этого еще дальнейшей обработки и отделки в горячем состоянии, причем в это время также могут быть внесены различные недостатки в отношении формы изделия; они заключаются в неправильности формы, несимметричности и в различных отступлениях от основных заданий. Такие дефекты проявляются весьма различным образом и зависят от формы и от других требований, предъявляемых к изделию. Поэтому не представляется возможным дать исчерпывающий перечень таких недостатков, и мы ограничимся лишь указанием характерных примеров этого рода в зависимости от типа изделий.

При изготовлении бутылок, горлышко которых обрабатывается вручную, отделка горлышка для образования бурта может быть неудовлетворительной, недостаточно отчетливой, что портит внешний вид изделия. Кроме того отверстие в горлышке может получиться не круглым, а растянутым или угловатым. Само горлышко может быть искривлено при этой обработке и не выправлено.

При изготовлении изделий типа кувшинов, в которых производится обрезка края, этот край может получиться неровным, несимметричным, недостаточно гладким вследствие неудовлетворительной затопки; ручки могут быть изготовлены неправильно, слишком толстыми или тонкими, и могут быть приклепаны несимметрично и неправильно, с образованием заусенцев и неровностей в местах прилепки.

То же самое относится к изготовлению ножек на рюмках и вазах, которые могут оказаться неправильными по форме, кривыми и т. д.



Все эти недостатки зависят главным образом от неправильного глазомера, от недостаточной твердости и уверенности мастера в обращении с быстро стынувшим стеклом; частично они зависят и от недостатков инструмента, которым производится обработка (например тупые ножницы). Поэтому для устранения этих недостатков необходимо прежде всего повышение квалификации мастера и соответствующий уход за инструментом.

К разряду таких дефектов относится также деформация готовых изделий, которая может произойти при недостаточно осторожном обращении с готовым изделием, еще не вполне остывшим и окрепшим. Таким образом часто круглые изделия, не выдержанные надлежащим образом, получаются овальными (плоскими). Также легко получают искривления ножек и ручек на изделиях.

Различного вида деформация получается в тех случаях, когда изделия подвергаются повторному нагреву. Поэтому нужно обращать особое внимание на восстановление формы в таких изделиях в процессе отделки.

Следующей группой являются дефекты, образующиеся от влияния металлических форм, в которых производится выдувание изделий.

В этом случае различное влияние оказывают применяемые в производстве два способа выдувания: 1) когда выдуваются изделия круглого сечения по всей высоте, то при выдувании их все время вращают в форме; 2) когда выдуваются изделия сложной формы, то выдувание их происходит без вращения.

Действие форм проявляется следующим образом. Если горячее стекло соприкасается с холодным металлом формы, то, вследствие резкого охлаждения поверхности стекла, в нем появляются натяжения, неравномерно стягивающие стекло на поверхности изделия. Под их действием поверхность стекла теряет гладкий однообразный вид и принимает чешуйчатый характер. Такое состояние поверхности стекла называется кованостью.

Устранение этого явления зависит исключительно от теплового состояния формы и требует правильного соотношения между темпом работы и числом форм, находящихся в обращении. Если вырабатываются крупные предметы в формах большого размера, то они всегда должны предварительно разогреваться горячим стеклом или каким-нибудь другим способом для того, чтобы по возможности сократить первоначальный брак, зависящий от холодных форм. Однако и слишком сильный разогрев формы также неблагоприятно отражается на изделии, так как в этом случае стекло прилипает к горячему металлу, вследствие чего на поверхности изделий появляются изъяны.

Большое влияние на образование поверхностных недостатков на изделиях имеет механическое состояние поверхности формы. При выдувании изделий с вращением — для облегчения вращения форма смазывается каким-либо составом. Такая смазка при соприкосновении с горячим стеклом сгорает и при вращении стекла

равномерным слоем разносится по поверхности формы, способствуя образованию гладкой поверхности изделия. Основным требованием в отношении смазки является условие получения тончайшей и мягкой сажи без каких-либо комков или твердых угольков.

Практика стекольного производства установила, что наилучшим видом смазки является хорошо очищенное растительное масло (подсолнечное) самого высшего сорта, а также пшеничная мука очень тонкого помола.

При выдувании стакана в форму бросают полоску папиросной бумаги или соломинку. Если смазка не способна дать ровного, мягкого слоя или если вместе с нею в форму попадают какие-либо твердые крупинки или комки, то поверхность изделия получается неровной или на ней образуются даже круговые царапины. В этом случае говорят, что форма режет, чертит стекло.

Такие же круговые царапины могут получиться и в том случае, если состояние самой формы неудовлетворительное и в ней имеются крупные выбоины и зазубрины, которые не затягиваются смазкой. Во время процесса выдувания мастер все время должен следить за тем, в каком виде получается поверхность изделия. Если он замечает какие-либо недостатки, то он должен немедленно принять меры к их устранению. Для этого необходима очистка формы, проверка, смазка или замена формы другой, если в ней имеются какие-либо крупные дефекты.

Если изделие выдувается без вращения, то влияние формы еще более усиливается, так как на его поверхности отпечатываются все дефекты и неровности, которые имеются на форме; поэтому изделие легко может оказаться негодным. Для таких форм требуется чрезвычайно тщательная внутренняя обработка и полировка. Кроме того требуется, чтобы чугун был подобран надлежащего качества и мало деформировался от температурных влияний.

Если работа производится в растворных формах, то требуется, чтобы плоскости разъема плотно прилегали друг к другу, чтобы при закрывании не было перекоса на их оси и чтобы кромки в разъемах были совершенно целы. Иначе вдоль плоскостей разъема остается заметный след, портящий вид изделия; иногда же в этом случае образуются острые заусенцы, являющиеся совершенно недопустимым пороком.

## 2. ПРЕССОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

Прессовый способ изготовления изделий имеет свои особенности в отношении образования пороков в изделиях. Так как в этом случае стекломасса не растягивается, но сжимается, то такой недостаток, как свиль, уже не выступает так отчетливо в изделиях, как это бывает при выдувании. Различного рода рисунки, которыми чаще всего покрывается поверхность прессованных изделий, также в значительной мере маскируют как этот не-



достаток, так и мелкую мошку и даже недостатки в цвете стекломассы, так как цветные оттенки стекла становятся мало заметными благодаря действию блеска и игры света, которые вызываются сильно граненым рисунком. Влияние этих факторов может быть настолько сильным, что даже не совсем удовлетворительное стекло может казаться вполне хорошим.

Поэтому в процессе формирования прессование обычно не вносит каких-либо недостатков в стекломассу. Все недостатки сводятся в этом случае главным образом к дефектам оформления, которое производится уже вне стеклоплавильной печи. Такие недостатки получаются прежде всего при подаче неправильной порции стекла. Если порция стекла была мала, то изделие получается недопрессованным, с изъянами по верхнему краю. При слишком большой порции стекла получается толстое дно (наподобие упомянутых выше заливов).

Особенно характерны для прессованных изделий следующие недостатки. Когда изделие выходит из прессовой формы, то оно имеет тусклую поверхность. Этот недостаток скрашивается очень часто мелким выпуклым рисунком; но он резко выделяется во всех изделиях, имеющих большие гладкие поверхности. Поэтому такие изделия обязательно должны быть подвергнуты особой обработке в целях уничтожения этого дефекта. Для этого служит оплавление поверхности изделия при помощи сильного огня, охватывающего всю поверхность изделия. Под действием такого оплавления стекло начинает плавиться и становится совершенно гладким и блестящим.

Другой недостаток в прессовом изделии появляется в результате того, что вследствие значительного давления, которое применяется для изготовления изделия, стекломасса проникает во всякого рода щели и неплотности, которые могут быть в прессовой форме. Поэтому нижний и верхний края изделия получают часто слишком острыми, а в местах раскрытия формы остается заметный след. При особенно неудовлетворительном состоянии формы такие острые края переходят в выступы и заусенцы. Этот недостаток, если он не очень велик, также уничтожается при помощи оплавления, под действием которого происходит расплавление мелких выступов на поверхности изделия и их уничтожение. Поэтому правильно поставленное оплавление, или отопка, является чрезвычайно важной стадией производства для получения прессованных изделий, свободных от пороков.

Большое влияние на образование пороков в прессовом производстве оказывает также механическое состояние форм. Так как в этом производстве на поверхности изделия отпечатываются каждый выступ или впадина, имеющиеся на форме, то последние после каждой рабочей смены должны очищаться от образующегося на них нагара; достигается это с помощью протирания тончайшим наждачным порошком с маслом. Всякого рода щербин и выбоины в формах должны тщательно заделываться. Сердечник, выдавливающий внутреннюю полость и особенно сильно под-

вергающийся износу и деформации, должен часто проверяться и протачиваться на токарном станке.

В процессе прессовой работы большое значение имеет также термическое состояние формы и сердечника. Если форма очень холодная, то поверхность изделия получается кованой. Если же сердечник и форма слишком сильно нагреты, то стекло прилипает к ним и, отрываясь, увеличивает тусклость и шероховатость поверхности до такой степени, что эти пороки не могут быть исправлены последующей затопкой. Поэтому в начале работы необходимо прогревать формы, чтобы уменьшить первоначальный брак, как это было уже указано выше.

Далее, требуется установление такого темпа работы, который соответствовал бы образованию необходимых температурных условий. При усилении темпа выработки происходит интенсивное разогревание формы с соответствующими последствиями, для устранения которых необходимо искусственное охлаждение формы и сердечника. Чаще всего в этих целях применяется воздушное дутье; в более редких случаях через сердечник пропускается холодная вода. Правильное охлаждение имеет большое значение для устранения дефектов в прессованных изделиях.

### **3. МАШИННОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ ВЫДУВАНИЕМ, ПРЕССОВЫДУВАНИЕМ И ПРЕССОВАНИЕМ**

В ручном производстве полых стеклянных изделий, как мы уже видели, основное значение принадлежит искусству мастера, которым прежде всего определяется хорошее качество изделий и отсутствие пороков формования.

Вязкостное состояние стекломассы имеет в этом случае лишь подсобное значение, так как мастер в значительной степени может приспосабливаться к изменениям в отношении вязкости.

В машинном производстве мы имеем совершенно обратное положение. Машина не может самопроизвольно приспосабливаться к каким-либо изменениям в свойствах стекла и вырабатывает изделия в установленном темпе до тех пор, пока этот темп не подвергается изменению извне. Скорость работы машины, однако, настолько велика и изменение темпа ее работы требует такой разнообразной регулировки отдельных процессов, происходящих в ней, что производить такую регулировку представляется сложной задачей.

Кроме того в ручном производстве мастер уже при наборке непосредственно определяет как состояние самого стекла, так и всякое изменение, происходящее в нем. Между тем в машинном производстве механик-оператор, стоящий у машины, замечает отклонения от нормальных условий работы лишь тогда, когда изделия выходят из машины с такими крупными недостатками, которые могут быть замечены уже в горячем изделии; большая же часть недостатков выявляется лишь в процессе переборки после отжига.



Наконец, как мы уже упомянули, подгонять ход машины к часто меняющимся условиям работы является почти невозможным.

Даже при вполне нормальном режиме печи в нем все же случаются различного рода—хотя бы кратковременные—отклонения, вызывающие изменение вязкости стекла. Поэтому машина, очень чувствительная к таким изменениям, в каждом из этих случаев выпускает изделия с каким-либо изъяном.

Недостатки этого рода вытекают из неправильного распределения стекломассы в изделиях. Поэтому и при машинном изготовлении полых изделий возникают все недостатки этого рода, описанные выше для ручного производства. Сюда относятся: неравномерная толщина стенок, заливы в дне, продутые бока, плечики и дно и другие недостатки этого рода.

Основной причиной этих недостатков является несоответствие между вязкостью и другими свойствами стекла (в особенности скорости его застывания) и условиями работы машины. Степень проявления этих недостатков несколько различна в двух основных типах машин, применяемых для выработки полых изделий.

В фидерных машинах свойства стекла в сильной мере сказываются уже в момент оформления капли при ее вытекании из фидера. Как известно, форма капли устанавливается при определенной вязкости соответственно форме изделия. Это достигается установкой на фидере соответствующего очкового кольца, регулировкой хода плунжера и другими способами. Однако в случае недостаточной вязкости (и, следовательно, при увеличении текучести) стекло будет обладать стремлением вытекать со слишком большой быстротой, растягиваться и терять правильные очертания; при слишком большой вязкости стекло будет выжиматься густым, бесформенным комком.

При прохождении капли стекла из фидера через воздух в форму быстро стынувшее стекло сразу же покрывается холодной коркой. Характер падения и получающееся при этом то или иное распределение стекла в форме также зависят от указанных выше свойств стекла. Если оно происходит неправильно, то этим обуславливается неравномерность распределения стекла, образующая ряд различных пороков.

В вакуумных машинах, в которых стекломасса поступает в формы непосредственно из рабочего резервуара и не проходит никаких промежуточных стадий образования капли, вязкостное состояние стекла имеет значительно меньшее значение, чем для фидерных машин. Поэтому для вакуумных машин допускается без ущерба для качества изделий состав стекла значительно более разнообразный, и машина может работать одинаково успешно в пределах гораздо больших колебаний в этом отношении. Качество изделий, вырабатываемых вакуумными машинами, получается благодаря этому более устойчивым и наличие различных пороков в стекле уменьшается.

В выработочной машине совершенно автоматически происходит оформление стекломассы в готовое изделие в соответствии

с установленным и отрегулированным ходом машины. Таким образом искусство и умение мастера-выдувальщика, которые в ручном производстве обуславливают получение изделия надлежащей формы и качества, заменяются здесь работой машины; эта работа находится в полной зависимости от состояния всех тех отдельных рабочих механизмов, из которых она состоит. Поэтому состояние машины является в механизированных производствах фактором, от которого в значительной степени зависит получение изделий высокого качества, свободных от пороков.

До тех пор, пока в машинном производстве не было усвоено в достаточной мере значение обоих упомянутых выше факторов (а именно рабочего состояния стекла и состояния вырабатывающих механизмов),—до тех пор получение изделий высокого качества наталкивалось на чрезвычайно большие затруднения, вследствие чего временами решение этой задачи казалось даже неосуществимым.

Сконструированные для выработки стеклянных изделий машины — весьма разнообразны в отношении их устройства и методов работы. Поэтому весьма разнообразны и те требования, которые к ним предъявляются в отношении состояния и работы их отдельных частей. Тем не менее можно установить ряд основных требований, в большей или меньшей мере общих для всех машин.

Первое из этих требований вытекает из следующих соображений. Сложный механизм машины осуществляет выработку стеклянных изделий путем ряда последовательных операций, следующих одна за другой и управляемых автоматически соответствующими рабочими органами. Такой ход работы, очевидно, требует полной согласованности, соразмерности, точной взаимной регулировки и плавности хода. Каждая последующая операция может происходить лишь по окончании предыдущей; всякое замедление или ускорение операций несомненно должно служить причиной образования изделий несовершенной формы (совершенно так же, как это случается и в ручном производстве).

Действие фидерной машины связывается с действием фидера, образующего и подающего капли стекломассы в формы, установленные на машине, при помощи особого прибора — синхронизатора, который управляет отдельными органами обоих механизмов и согласует их действие.

Вакуумная машина работает без фидера и производит наборку стекла непосредственно в форму.

Во всех машинах можно отметить следующую последовательность в формообразовании изделий: а) поступление стекла в форму, б) перерезывание ножницами стеклянного жгута, в) опускание на форму выдувающего или прессующего механизма для предварительного оформления пульки, г) переброску пульки из черновой формы в окончательную, д) опускание на форму дутьевого приспособления для окончательного оформления изделия,



е) раскрытие формы и ж) выбрасывание изделия на соответствующий приемник.

В прессовых машинах производственный процесс упрощается тем, что оформление изделия производится сразу начисто в одной форме, без образования предварительной пульки (совершенно так же, как и в ручном производстве). В случае недостаточной согласованности указанных стадий могут возникнуть — при переходе от одной из них к другой — различного рода пороки в изделиях. Проиллюстрируем сказанное рядом характерных примеров. Скорость органов, производящих подачу или засос стекла, должна быть соразмерена с условиями получения наилучшего распределения стекломассы в изделиях. Если плунжер в фидере слишком быстро идет вверх, то стекло на конце жгута не успевает обтекать, вследствие чего образуется впадина, которая, затягиваясь, замыкает в себе воздух. Вследствие этого в изделиях получаются пузыри.

Особенное значение имеет своевременное включение в действие механизма ножниц. Если они начинают действовать преждевременно или, наоборот, запаздывают, то этим самым нарушается правильная форма капли; последняя растягивается, получает неправильное очертание на конце и неправильно ложится в форме, вследствие чего при формовании образуются различного рода пороки.

Соответственной регулировки требует подача смазки к ножницам. Излишек масла вызывает образование пятен и налетов на изделии. Время между падением капли или заполнением черновой формы в вакуумных машинах и введением в действие оформляющего механизма должно быть возможно короче и хорошо соразмерено с составом стекломассы; иначе вязкость может измениться больше, чем это допускается условиями обработки капли в пульку.

Во всех машинах, выработка в которых происходит путем изготовления пульки в предварительной форме, а затем выдуванием до конца в чистовой форме, требуется вполне определенное соотношение между размерами и формой пульки и формой окончательного изделия, как в отношении длины и диаметра, так и, в особенности, во всех местах перехода от одного сечения к другому. Вопрос обычно решается на основе хорошо работающих форм для подходящих по весу и по очертанию изделий; тем не менее нередко окончательное решение достигается лишь опытным путем.

Второе условие хорошей работы машины заключается в правильной центровке всех частей механизма, в отсутствии перекосов, в плотности всех затворов, в правильной посадке отдельных частей на соответствующее место. Так, например, если плунжер в фидере сбит в сторону, то он выжимает каплю неправильной, несимметричной формы, вследствие чего в изделии получается неправильное распределение стекла. Если плунжер смещен

очень сильно, то он может даже задевать за боковые стенки втулки, что приведет к его повреждению; вследствие этого в стекломассу могут попадать шамотные крошки. Если ось дутьевого плунжера в производстве бутылок не совпадает с осью бутылки и притом садится с ударом, то получается неправильное оформление головки бутылки и образуются трещины и посечки. То же самое относится и к посадке головной формы на основную. При несовпадении их осей форма бутылки искажается, так как ее головка получается смещенной в сторону. Когда дутьевая головка садится на форму несимметрично, то дутье распределяется в изделии неправильно, вследствие чего создается неравнобокость и продутость.

Третье условие хорошей работы машины заключается в том, что рабочие части механизма не должны быть изношены, не должны быть разработаны, должны плотно садиться друг на друга и плотно замыкаться.

Лезвия ножниц должны быть всегда остро и правильно отточенными, так как иначе не получится чистый и гладкий срез. Тупые ножницы сжимают стекло и оставляют след, который не затапливается в дальнейшем и выступает на изделии в виде неправильного отпечатка, создавая тем самым брак. Если лезвия ножниц не перекрывают друг друга, то они защемляют стекло и от поднимающегося жгута оттягивается тонкий дрот или более толстое наслоение в виде бахромы, которое быстро застывает; в фидерной чаше такие придатки не успевают расплавиться и выделяются затем в изделии наподобие свили.

Если части форм неплотно прилегают друг к другу и их оси, а также различные скрепляющие болты разработаны, или механизм зажимающих клещей работает неправильно, то на поверхности изделий образуются явные следы затвора, неплотности или даже острые заусеницы на боковой поверхности, вокруг верхнего края (или горла, если изготавливается бутылка), а также кругом дна.

Большое значение для качества изделий имеет также и термическое состояние форм. Мы уже говорили об этом при описании ручного производства стеклянных изделий. В механизированных производствах, в которых каждая машина выпускает в сутки несколько десятков тысяч изделий, — вопрос этот приобретает особенно большое значение.

Слишком холодные формы приводят к образованию на поверхности изделий кованости, наружной волнистости и складок. Попадая в холодную форму, стекло быстро застывает с поверхности; образующаяся вследствие этого твердая корка является препятствием к дальнейшему правильному формообразованию и распределению стекла, так как она связывает стекломассу в ее перемещениях под действием дутья или других способов формования. В результате получается продутость, неравномерность в толщине и различного рода заливы.

Холодная форма служит также причиной образования мелких поверхностных трещинок (так называемых посечек), которые



занимают особенно большое место среди различных пороков машинного образования стекла. Этот недостаток проявляется особенно сильно в тех частях изделия, в которых масса стекла незначительна по сравнению с массой окружающего ее металла формы. Вследствие этого в таких местах происходит особенно сильная теплоотдача, которая усиливается, если форма имеет низкую температуру. В бутылочном производстве таким местом является головка горлышка, охваченная горловым концом, в которую вдвигается дутьевой плунжер; поэтому в бутылочных головках особенно часто получается указанный порок.

Слишком горячие формы также создают пороки в изделиях, так как стекло прилипает к форме и отрывается от нее с трудом, вследствие чего на его поверхности остаются следы.

В результате описанных недостатков в работе машин вырабатываемые ими изделия получают с различного рода дефектами. Для иллюстрации мы приводим ниже данные о распределении различных видов брака в бутылочном производстве на машинах Линча на Константиновском бутылочном заводе<sup>1)</sup>:

	Январь	Февраль	Март
Общий процент брака от разных причин .	32,8	22,1	25,7
В том числе:			
пузыри . . . . .	0,2	0,1	0,2
посечка горла . . . . .	4,5	4,0	4,0
шов и бугор . . . . .	0,2	0,1	0,1
продуктоссть и заливы . . . . .	8,3	6,1	5,4
посечка дна . . . . .	0,1	0,2	0,2
бой и трещины . . . . .	5,4	4,7	5,9
кованость . . . . .	0,6	0,4	0,5
разные пороки от работы машины . .	4,6	1,7	1,4

Для получения в условиях машинной работы высококачественных изделий необходимо выполнение следующих основных требований, вытекающих из вышесказанного:

1. Для каждой системы машин существуют определенные оптимальные составы стекломассы, при которых формование происходит наиболее успешно и число пороков получается наименьшим.

Как показывает опыт машинного производства, отступление от испытанных норм всегда приводит к получению массового брака. Всякому существенному изменению в стекломассе должна предшествовать соответствующая опытная проверка возможности таких изменений.

Основное значение в составе стекла для машинного производства имеют щелочи, глинозем и окись магния. Щелочи способ-

<sup>1</sup> Данные заимствованы из месячных отчетов завода за 1931 г.

ствуют уменьшению вязкости стекла и удлиняют срок его застывания. Увеличение содержания глинозема делает стекло быстро стынувшим, «коротким». Магний увеличивает стойкость стекла в отношении расстекловывания (кристаллизации, зарухания) и таким образом расширяет температурные пределы, в которых может происходить выработка изделий.

Регулирование состава стекла производится главным образом за счет содержания этих компонентов. При этом, однако, всякие изменения должны производиться постепенно, медленно и осторожно, с переходом к следующей стадии лишь тогда, когда предыдущая освоена полностью и никаких сомнений не вызывает.

2. Полная исправность машины, значение которой в достаточной мере было выявлено выше, лучше всего обеспечивается применением системы предупредительных ремонтов. Через определенные промежутки времени машина должна просматриваться самым внимательным образом во всех ее ответственных частях; каждая изношенная или внушающая какие-либо опасения часть должна заменяться новой. Таким образом предупреждается выработка неудовлетворительных изделий с различными дефектами, заставляющими относить их к браку.

Для успешного проведения такого ремонта необходимо, чтобы на складе всегда имелись все необходимые запасные части, которые должны быть изготовлены по точным шаблонам и калибрам. Это необходимо для того, чтобы смена частей могла производиться без дополнительной пригонки и с достаточной быстротой, обеспечивающей минимальный простой машины.

Отметим попутно, что особенно большое значение для возможности такого содержания машин имеет состояние ремонтных мастерских (которые должны быть оборудованы достаточным количеством точных станков), а также наличие кадров высококвалифицированных рабочих.

Эти указания, необходимые для успешной работы машин, были усвоены лишь в последнее время и далеко еще не осуществлены на всех заводах. Вследствие этого количество брака в машинном производстве остается во многих случаях чрезмерно высоким.

3. Необходимо, наконец, чтобы рабочий режим в отношении состава стекломассы и температурных условий поддерживался возможно более постоянным.

Мы уже видели, что изменение хода машины соответственно изменяющимся условиям работы является достаточно сложной задачей и не может быть достигнуто с той быстротой, которая обеспечивала бы производство от выработки изделий с различного рода пороками.

Поэтому, постоянство режима является первостепенным условием для получения минимального количества брака. Оно достигается самым тщательным контролем сырья и термических условий работы печи. Если же по каким-либо причинам требуется изменение принятого режима, то оно должно производиться



с большой осторожностью, так как только при этом условии производство обеспечивается от образования значительного количества брака в изделиях.

#### 4. МАШИННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ОКОННОГО СТЕКЛА ПО СПОСОБУ ФУРКО

Изучение пороков полого стекла мы начали с ручного производства, поскольку единственным способом изготовления целого ряда полых изделий является ручное производство, которое не может быть в этом случае заменено машинным.

В отношении листового оконного стекла имеется иное положение. Выработка оконного стекла машинным способом достигла за последнюю четверть века таких успехов, что ручное производство сохранилось здесь лишь на очень небольшом числе мелких заводов, да и то вероятно лишь на самый короткий срок. Поэтому, хотя ручное производство отличается рядом весьма характерных производственных пороков, мы не будем останавливаться на нем, а перейдем сразу же к машинному производству по способу Фурко, являющемуся самым распространенным и вполне освоенным у нас способом производства оконного стекла.

В процессе изготовления оконного стекла по способу Фурко стекломасса, сваренная и осветленная в бассейне печи, поступает в так называемый канал Фурко того или иного устройства. Из этого канала стекломасса в надлежащем рабочем состоянии поступает в выработочные машины, установленные над каналом. Машины эти забирают стекло и вытягивают его непрерывной лентой. Пребывание готовой стекломассы в течение более продолжительного времени в канале Фурко не может не оказать своего влияния на ее свойства и может внести ряд пороков.

Так как канал Фурко представляет собой сооружение того же типа, что и ванная печь, и сложен из тех же самых огнеупорных материалов, то в нем происходит ряд явлений, с которыми мы сталкивались уже выше. Прежде всего мы имеем здесь такое же разрушение стеклоприпаса, но только менее интенсивное, поскольку температура в канале Фурко значительно ниже и в него не может попадать нерасплавленная шихта.

В результате хотя и медленно, но все же происходящего разъедания припаса, — в стекломассу могут переходить камни, шлиры и свиль. Крупные камни и шлиры в процессе Фурко чаще всего вызывают обрывы ленты, а потому в готовое изделие, пригодное для резки, они уже не попадают. Если, тем не менее, они все же проходят сквозь вальцы, то они вырезаются при раскрое листа. Мелкие камни и крупинки, рассеянные по всему листу, представляют собою чрезвычайно крупный порок, делающий стекло непригодным к употреблению. То же самое относится и к крупной свили; мелкая же свиль в большинстве случаев мало заметна.

В канале Фурко может происходить и образование пузырей

за счет газов, выделяющихся как из брусьев самого канала, так и из стекломассы. Дальше мы еще вернемся к тому случаю, когда это явление проявляется наиболее чувствительным образом. Сначала, однако, остановимся на двух других явлениях, особенно характерных для канала Фурко и способствующих образованию дефектов в стекле: на образовании в канале щелочной пены и на усиленном зарухании стекла.

Образование щелочной пены в этом периоде может происходить в том случае, если при горении газа, применяемого для отопления канала, образуется сернистый ангидрид. Действуя на поверхность стекла и отчасти растворяясь в стекле, этот газ образует с окислами натрия сернокислые соли, которые всплывают в расплавленном виде на поверхность стекла и образуют известную уже нам щелочную пену. Последняя и в этом случае дает крупные пузыри, сероватые налеты, крупинки и своеобразные камни, т. е. пороки, сильно снижающие ценность стекла.

Еще большее значение имеет в процессе Фурко зарухание стекла. Причина, вызывающая это явление, заключается в том, что вытягивание ленты по способу Фурко происходит в пределах тех температур, которые особенно сильно способствуют переходу стекла в кристаллическое состояние. В этом случае мы имеем не только временное снижение температуры до опасных для стекла пределов, но и продолжительную выдержку стекломассы в неблагоприятных для него термических условиях. Вследствие этого обстановка для зарухания стекла является здесь особенно благоприятной.

Этому явлению способствует еще и то обстоятельство, что стекломасса в канале Фурко находится в усиленном движении, направляясь к лодочкам Фурко. Во время этого движения масса испытывает трение как о стенки узкого бассейна, так и о свешивающиеся части мостов и, в особенности, о стенки лодочки Фурко (о которой речь будет впереди). Такое механическое трение для всякого рода растворов всегда является сильным побудителем для начала кристаллизации. Точно так же и мельчайшие крупинки шамота, представляющие собою кристаллические тела, отделяющиеся вследствие движения стекломассы от стеклоприпаса, — всегда с успехом могут выполнять роль начальных центров кристаллизации, на которые нарастают затем кристаллы из стекломассы. Явление зарухания весьма свойственно процессу Фурко и проявляется в вытянутом листе в виде отдельных скоплений кристаллов или расплывчатых белых пятен, представляющих собою дефект в готовом стекле.

Для борьбы с указанными выше явлениями, обуславливающими появление новых пороков в стекломассе, перешедшей в канал Фурко из плавильной ванны во вполне удовлетворительном состоянии, — должны проводиться следующие мероприятия.

Прежде всего, конечно, качество стеклоприпаса, примененного для постройки канала Фурко, должно отвечать всем тем требованиям, которые обеспечивают продолжительную службу



его и малый износ. Это основной путь для ослабления образования камней, свили, шлиров и тому подобных пороков.

Для борьбы с появлением щелочной пены наиболее верным средством служит применение топлива, не содержащего серы и не образующего сернистых газов. Если все же применение такого топлива по местным условиям является неизбежным, то для получения хорошего качества стекла необходимо очищать газ в специальных установках для извлечения из него сернистых образований. Извлечение серы из газа имеет еще и то преимущество, что оно дает возможность утилизировать дорогой продукт — сернистый ангидрид, пропадающий иначе совершенно бесцельно. Отметим также, что применение предварительно очищенного газа для отопления канала Фурко имеет значение не только в отношении очистки от серы, но и для удаления всякого рода пыли и случайных примесей в газе; последние, осаждаясь на поверхности стекломассы, загрязняют ее и вызывают образование различного рода дефектов. Поэтому очистка газа является чрезвычайно важным мероприятием для повышения качества стекла. За границей для отопления канала в некоторых случаях применяется даже чистый светильный газ.

Борьба с заруханием требует, прежде всего, внимательного ухода за стекломассой в канале. Как только на поверхности стекла замечается скопление зарухших масс, щелочной пены и других загрязнений, они должны удаляться через соответствующие окна в канале при помощи гребков и крючков; иначе они затягиваются вглубь стекломассы и проходят в вытягиваемые листы. Но, конечно, еще важнее предупредить образование руха в стекле.

В этом отношении особенно важно применение стекла такого состава, которое было бы возможно более стойким в отношении кристаллизации; это достигается увеличением числа компонентов в нем, вводом окиси магния за счет снижения содержания окиси натрия и окиси алюминия за счет кремнезема.

Не менее важно сохранение в канале постоянства теплового режима для удержания стекломассы в пределах более или менее безопасных температур. Колебания более чем на  $20^{\circ}$  уже являются опасными и вызывают появление кристаллических отложений в стекле. Постоянство температурного режима зависит, прежде всего, от обеспеченного хорошего качества газа, а также от правильного регулирования тепловых процессов на основе непрерывных контрольных тепловых измерений.

Весьма существенное значение могут иметь всякого рода конструктивные изменения в устройстве канала, способствующие сохранению в нем постоянной температуры. Сюда относятся всесторонняя изоляция канала, подогрев дна, конфигурация мостов и очертания лодочек, устраняющие образование холодных мешков и углов и пр. Полезным может быть и электрический прогрев стекломассы в канале с автоматическим регулированием (по предложению проф. С. С. Бермана).

Переходим к рассмотрению самого процесса формирования листа и связанных с ним возможностей образования дефектов в стекле.

Из подмашинных камер канала стекломасса выдавливается через щель в лодочке Фурко и при помощи вращающихся вальцев машины в виде непрерывной ленты поднимается вверх через закрытую шахту, в которой происходит ее отжиг. Основным фактором, влияющим на качество ленты, является лодочка Фурко, которая оказывает разнообразные влияния на лист. Прежде всего, конечно, такая шамотная лодочка может выкрашиваться и крупинки шамота могут переходить в лист в виде камней. Как все шамотные массы, материал лодочки содержит в своих порах некоторое количество воздуха, который выжимается в погруженных частях лодочки в стекломассу. В большинстве случаев этот воздух не имеет возможности удалиться из стекломассы и попадает таким образом в ленту, вследствие чего в стекле появляются пузыри. После установки новых лодочек это явление дает себя чувствовать в сильной степени в течение нескольких часов, а затем прекращается. Однако, при неудовлетворительном качестве материала лодочки, при плохой ее выработке, при наличии в ней раковин и пустот,—выделение газовых пузырей может продолжаться в течение более продолжительного времени и способствовать образованию негодного стекла. Получающиеся в этом случае пузыри имеют растянутую форму.

Вследствие того, что вытягивание ленты производится через щель лодочки, эта щель чисто механически влияет на характер образования ленты. Неправильная толщина ленты, местное утолщение, сужение, искривление ленты, повреждение поверхности, грубая волнистость—прежде всего зависит от состояния лодочки, правильной ее установки в подмашинной камере, совпадения ее оси с осью машины и горизонтальности ее поверхности. Неправильности в указанных отношениях дают стекло неудовлетворительного качества.

Стекло, полученное по способу Фурко, обладает чрезвычайно характерным недостатком, который образуется в процессе вытягивания. Мы имеем ввиду так называемую полосность стекла.

Полосность стекла Фурко заключается в том, что на стеклянной ленте в направлении ее вытягивания образуются волны, как результат неравномерности толщины стекла (порядка 0,02 мм). Влияние полосности на качество стекла чрезвычайно велико, так как она способствует искажению изображений, получаемых через такое стекло. Полосность проявляется в стекле Фурко в различной степени; в зависимости от этого определяется качество стекла. Полосы или волны могут быть узкими и располагаться одна рядом с другой; в этом случае влияние их очень сильно и искажение изображения получается даже под углом зрения в 90°. Если же волны широки и расплывчаты, то влияние их обнаруживается лишь при очень острых углах, практически не имеющих большого значения. Стекло может считаться вполне удовлетво-



рительным, если волнистость начинает ощущаться под углом зрения в  $30^\circ$  к поверхности стекла.

Причины образования полосности имеют различные объяснения, ни одно из которых не может считаться исчерпывающим, несмотря на то, что этим вопросом занимался ряд исследователей, начиная с самого Фурко.

Значительная часть исследователей считает, что основной причиной полосности является неоднородность стекломассы, поступающей в лодочку, вследствие чего в массе образуются слои различной вязкости, вытягивание которых происходит в различных условиях. В силу этого в ленте и образуется полосность, которая представляет собою таким образом порок типа свиди, растянутой в направлении длины ленты.

Действительно в процессе Фурко имеется много данных для образования такой неоднородности. Если даже стекломасса поступает из ванны вполне однородной, то в канале она испытывает расслоение вследствие усиленного охлаждения с боков и на дне, которое вблизи этих мест значительно больше, чем во внутренних слоях. Этому способствует также последовательное прохождение стекла через подмашинные и обогревательные камеры, в особенности в длинных каналах бельгийской системы, температурные условия которых в различных частях могут быть различными. Восстановление однородности в стекломассе, при сравнительно малом объеме стекла в канале, при отсутствии больших запасов тепла, а также соответствующих условий в отношении времени и отопления, — не встречает благоприятных возможностей.

Усиленная кристаллизация в канале Фурко также может способствовать образованию неоднородности состава. Выпадающие в определенных местах из стекломассы кристаллические образования — по составу отличаются от основной массы. Если они из более холодных зон канала переходят в более теплые, то они могут, очевидно, опять переходить в стекловидное состояние. Однако в условиях подмашинных камер это стекло не имеет возможности раствориться в основном и смешаться до установления полной однородности. Таким образом явление кристаллизации также может способствовать образованию прослоек разной вязкости, служащих причиной образования полосности.

Причина полосности (по Лебедеву) заключается в температурной разности, которая может существовать в области между луковицей и той гранью, где начинается затвердевание стекла. Очень простые опыты показывают, что путем изменения температурных условий можно влиять на толщину ленты и легко вызывать в ней местные утолщения и сужения. В указанной области весьма вероятно существование неравномерно распределенных потоков холодного воздуха, создаваемых холодильниками. Эти потоки направляются к лодочке, обтекают вдоль ее поверхности, а затем поднимаются вверх; при этом даже неболь-

шие неровности на поверхности лодочки могут вызвать изменение в распределении потоков холодного воздуха, которые и способствуют образованию полосности.

Другое объяснение происхождения полосности относит причины ее, главным образом, к состоянию щели в лодочке Фурко. Если щель имеет неправильную форму, разъедена в процессе работы или, в особенности, если на ней имеются наросты кристаллов от зарухшего стекла, то такое состояние щели отражается на поверхности стекла и нарушает его ровную поверхность.

Наконец, — третья группа объяснений приписывает происхождение полосности в значительной мере чисто-механическим явлениям, которые вызываются колебательными движениями в машине в результате действия приводной передачи.

Последними двумя причинами объясняется главным образом волнистость стекла, т. е. изменения толщины его, значительно большие, чем те, которые обуславливают полосность, характерную для стекла Фурко.

Борьба с полосностью, очевидно, должна проводиться по всем указанным направлениям. Прежде всего необходимо обеспечить для производства состав стекла стойкий в отношении кристаллизации (большое значение имеет в этом отношении переход на алюмо-магнезиальные составы), а затем создать в канале Фурко такие термические условия, которые способствовали бы сохранению в нем однородности стекломассы. Об этих условиях мы уже говорили выше. К ним можно было бы прибавить предложение относительно значительного повышения температуры в подмашинных камерах, давшее весьма хорошие результаты. Последнее вполне понятно, поскольку из сказанного вполне ясно, что повышение температуры в канале Фурко несомненно должно было бы если не уничтожить совершенно, то во всяком случае ослабить возможность возникновения многих из указанных пороков.

Для устранения температурной разницы в различных частях пространства над щелью лодочки предлагается применить перемешивание особыми лопатками воздуха, окружающего луковицу. Этот способ однако на практике не проверен.

Весьма важное условие для повышения качества стекла Фурко заключается в соответствующем состоянии и надлежащем уходе за лодочкой. Она должна изготовляться из самого лучшего щамотного материала; в особенности это требование относится к боковым поверхностям щели, состояние которых, очевидно, в сильнейшей мере отражается на поверхности стеклянной ленты. Выработка лодочки, ее сушка, обработка щели и обжиг должны обеспечить максимальную плотность массы, отсутствие раковин и пустот, абсолютную геометрическую правильность и отсутствие перекосов. Эксплуатационный срок лодочки не должен затягиваться; как только замечается износ, лодочка должна заменяться новой. Замечено также, что затяжная кампания лодочки,



во время которой в подмашинных камерах происходит накопление кристаллических образований и всяких загрязнений, сильно отражается на понижении качества стекла. Поэтому периодические обрывы ленты, вызывающие необходимость в разогреве подмашинных камер, являются необходимыми для восстановления хорошего качества стекла. При достаточно сильном и продолжительном нагреве в этом случае происходит восстановление стекловидного состояния кристаллических выделений и гомогенизация стекольной массы.

Уход за лодочкой также является необходимым мероприятием, способствующим улучшению качества стекла. С этой точки зрения прежде всего необходима правильная установка лодочки по отношению к машине; перекося лодочки, углубление лодочки с одной стороны больше, чем с другой, — вызывают искривление ленты и способствуют вытягиванию ленты неправильной толщины. Если все же лента тянется с утолщениями, то необходимо воздействовать на нее путем изменения окружающих ее термических условий. Это достигается навешиванием железных фартуков на холодильники или накладыванием асбестовых полосок на губы лодочки против утолщенных мест стекла. Такие завесы задерживают излучение, благодаря чему стекло разогревается, легче тянется, а потому получается более тонким.

Во время работы необходимо следить за тем, чтобы щель лодочки была всегда чистой и чтобы на ней не скоплялись кристаллы, выделяющиеся из стекла. Очистка производится при помощи соответствующих режущих железных инструментов. При этом необходимо обратить особое внимание на то, чтобы при срывании наростов не повреждалось тело лодочки, так как эти повреждения вызывают образование пороков на ленте.

Механические влияния должны быть учтены при самом конструировании обслуживающих площадок; последние должны быть достаточно жесткими и массивными, чтобы противостоять расшатывающему действию приводного механизма. Конструкция этого механизма должна быть также подобрана таким образом, чтобы она обеспечивала плавный и покойный ход его. Необходимо, конечно, непрерывный уход за механизмами, ремонт и смазка.

Несмотря на все принимаемые меры, полное устранение полосности в стекле Фурко до сих пор все еще не может быть достигнуто, и это свойство является как бы органическим недостатком стекла Фурко, который проявляется то в большей, то в меньшей мере.

Лучшим способом для получения стекла, свободного от полосности, является переход к способу вытягивания стекла из канала без лодочки, дающий вполне безупречное стекло. Очевидно, что все наши стремления должны быть направлены к тому, чтобы создать и освоить и у нас производство по этому методу с тем же успехом, с каким нам удалось создать производство по способу Фурко.

## ОТЖИГ СТЕКЛА

Охлаждение расплавленного стекла, сопровождающееся видимым переходом его из жидкого состояния в твердое, — в действительности представляет собою весьма сложный процесс, во время которого совершаются глубокие внутренние изменения в стекломассе. Частицы стекломассы при этом подвергаются различным изменениям в отношении как физического, так вероятно и химического строения, а также взаимных группировок.

Характер этих изменений находится в зависимости от условий охлаждения, в которых они совершаются, и отражается на различных свойствах стекла (например, на его оптических свойствах); однако, изучение явления охлаждения во всем его объеме лишь началось и имеющиеся по этому вопросу материалы пока еще очень ограничены. Ниже мы будем рассматривать процесс охлаждения лишь с точки зрения возникновения внутренних напряжений и их значения для стеклянных изделий.

Стекло, как известно, обладает очень малой теплопроводностью, как это видно из следующего сопоставления:

Медь . . . . .	1,0	Чугун . . . . .	0,15
Серебро . . . . .	0,96	Сталь . . . . .	0,10
Алюминий . . . . .	0,48	Свинец . . . . .	0,98
Цинк . . . . .	0,26	Стекло . . . . .	от 0,001 до 0,002

Это свойство стекла оказывает сильное влияние в процессе застывания расплавленной стекломассы, который может быть представлен в следующем виде.

Когда наружный слой горячего стеклянного изделия соприкасается с холодным воздухом, то вследствие интенсивной теплоотдачи в окружающую среду он испытывает сразу сильное охлаждение и между его температурой и температурой нижележащего слоя образуется значительная разница. Если бы мы имели вещество с большой теплопроводностью, то поступление тепла изнутри к наружным слоям успевало бы быстро выравнивать температурную разницу между отдельными слоями и охлаждение тела совершалось бы без резких температурных перепадов от одного слоя к другому. Но так как теплопроводность стекла мала, то передача тепла от слоя к слою сильно отстает от той скорости, с которой совершается теплоотдача в среду. Поэтому



наружный слой теряет тепло и застывает раньше слоя, лежащего непосредственно под ним и неразрывно с ним связанного.

При охлаждении наружный слой стекла имеет, конечно, стремление сжаться, но расположенное под ним внутреннее ядро, находящееся в других термических условиях, сохраняет больший объем; поэтому оно препятствует сокращению наружного слоя, который застывает вследствие этого в вынужденно растянутом состоянии. Когда застывает следующий слой, то он, в свою очередь, стремится сокращаться и при этом стягивает уже застывший наружный слой; сам же он испытывает растягивающее усилие со стороны внутреннего горячего ядра.

Это явление распространяется вглубь тела от слоя к слою, и в результате в различных частях тела создается неодинаковое механическое состояние, а именно возникают напряжения сжатия и растяжения.

Когда по истечении некоторого промежутка времени температура тела выравнивается, и оно во всех своих частях принимает температуру среды, то для отдельных слоев, разновременно перешедших в жесткое, притом механически ненормальное состояние, — не создается каких-либо условий для того, чтобы выравниваться и освободиться от напряжений. Таким образом тело остается в напряженном состоянии.

Внутренние напряжения, имеющиеся в теле, играют большую роль с точки зрения прочности тела, что может быть пояснено следующим образом.

Если к какому-либо телу прилагается внешняя сила, то она вызывает в нем внутренние напряжения сжатия или растяжения, которые возрастают по мере усиления внешней силы и в конце концов достигают таких пределов, при которых они вызывают разрушение изделия. Предельная величина внутренних напряжений, при которых происходит разрушение тела, зависит, конечно, от свойства материала, из которого оно состоит. Для стекла величина разрушающей силы незначительна по сравнению с другими телами, чем и определяется хрупкость стекла.

Но если в теле в момент приложения внешней силы уже имеются внутренние напряжения, то они складываются с теми, которые вызываются внешней силой. Вследствие этого тело сможет выдерживать безболезненно без разрушения лишь соответственно меньшее внешнее усилие.

Очевидно, что при наличии очень больших внутренних напряжений внешнее усилие, которое может выдержать тело, сильно уменьшается, и может оказаться достаточным самого малого добавочного внешнего напряжения для того, чтобы допускаемый предел прочности был превзойден и чтобы предмет был разрушен.

Для обыкновенных стеклянных изделий, для которых разрушающее усилие, как мы уже указали, весьма невелико, очень важно, чтобы первоначальные внутренние напряжения, с которыми эти изделия выпускаются с завода к потребителю, были

возможно меньше. Иначе даже незначительные причины, вызывающие добавочные напряжения (например слабые толчки и удары), будут вызывать разрушение этих изделий.

Помимо чисто механических причин в этом случае большое значение имеют и резкие температурные изменения, которым в большей или меньшей степени подвержены все стеклянные изделия.

В этих случаях в стеклянных изделиях возникают значительные дополнительные напряжения, которые, складываясь с уже имеющимися в стекле, вызывают разрушение изделия.

Необходимо, однако, отметить, что приведенные выше соображения применимы для всех случаев охлаждения стеклянного тела на воздухе в обыкновенных условиях. Однако некоторые особые способы быстрого охлаждения вызывают в стеклянном изделии такие напряжения и в таком распределении, которые значительно увеличивают прочность тела в определенном направлении. На этом вопросе мы не останавливаемся, так как мы рассматриваем напряжения лишь с точки зрения недостатков в стекле, понижающих его прочность.

В отличие от описанных ранее пороков, напряжения в стекле являются недостатком, невидимым в обыкновенных условиях и представляют собою структурный дефект, который может быть обнаружен лишь при помощи соответствующих специальных приборов. Если изделие выпускается со значительными внутренними напряжениями, то неудовлетворительное качество его обнаруживается в результате любой причины, вызывающей даже небольшое увеличение внутренних напряжений. Под действием этих причин происходит разрушение изделия, которое, при нормальном состоянии стекла, при тех же условиях оставалось бы целым.

Так, например, напряженное оконное стекло уже при резке алмазом дает трещины в разных направлениях. Если оно выдерживает резку, то оно легко разрушается от сотрясения при перевозке, от сквозного ветра или от внезапного нагрева и охлаждения. Чайная посуда трескается при наливании в нее горячей жидкости. Нередко в таких изделиях без видимой причины отлетают донышки и образуются трещины, которые вызываются какими-либо совершенно незначительными сотрясениями или изменениями температуры. Консервные банки и бутылки разрушаются вследствие этой причины при пастеризации; ламповые стекла растрескиваются, как только они приходят в соприкосновение с огнем.

Так как при изготовлении стеклянных изделий стекломасса выносится из плавильного резервуара с высокой температурой в среду с низкой температурой, то во всех стеклянных изделиях в процессе их оформления неизбежно должны появляться внутренние напряжения, с которыми изделия и застывают. Эти напряжения, как ясно из сказанного, должны предварительно уничтожаться, по возможности до полного их исчезновения.



Отжиг стекла и представляет тот процесс, при помощи которого достигается уничтожение напряжений в стекле, являющихся одним из самых существенных его пороков.

Процесс отжига заключается в том, что изделие нагревается до такой температуры, при которой восстанавливается подвижность частиц стекла. При этой температуре изделие выдерживается в течение достаточно продолжительного времени для того, чтобы могла произойти перегруппировка частиц в стекле, благодаря которой исчезло бы его напряженное состояние (т. е. чтобы стеклянное изделие во всех своих частях пришло в однообразное нормальное механическое состояние). После этого должно следовать охлаждение изделий в таких температурных условиях и с такой скоростью, при которой температурный перепад от наружных слоев к внутренним был бы возможно меньше и, следовательно, возможность возникновения внутренних напряжений была бы по возможности ограничена.

Таким образом задача правильного отжига сводится, прежде всего, к установлению той температуры, до которой необходимо первоначально подогреть изделие, а затем той скорости, с которой изделия должны охлаждаться. Так как оба эти условия определяют возможность получения изделий, свободных от одного из существеннейших недостатков, то мы приводим ниже основные данные по этому вопросу.

Высшим пределом той температуры, до которой может быть нагрето стеклянное изделие с целью уничтожения напряжений, является температура, близкая к точке размягчения стекла. При этих температурах частицы приобретают такую подвижность, при которой перегруппировки, необходимые для установления внутреннего равновесия, совершаются с максимальной быстротой. При более низких температурах, соответственно большей вязкости стекла и меньшей подвижности частиц, — восстановление внутреннего равновесия в стекле совершается медленнее. Поэтому при таких температурах стекло должно выдерживаться для получения удовлетворительных результатов отжига в течение более продолжительного времени.

При определенной температуре, являющейся низшим пределом отжига, стекло приобретает окончательную твердость, при которой теряется подвижность частиц. Следовательно необходимая для отжига перегруппировка частиц происходить не может или, вернее, происходит бесконечно медленно. Ниже этой температуры скорость охлаждения может быть чрезвычайно повышена (лишь бы только временное напряжение, вызываемое резким изменением температуры, не превысило предела разрушающих усилий).

Температура высшего предела может быть определена опытным путем при помощи наблюдения над коэффициентом расширения стекла; при приближении к зоне размягчения стекла последний перестает расти пропорционально повышению температуры и испытывает резкий перелом в своем закономерном изменении.

Приводим показатели для трех видов стекла, состав которых характеризуется следующим анализом:

	I	II	III
SiO <sub>2</sub> . .	66,1	70,0	73,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . .	5,6	3,35	0,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . .	1,6	0,25	0,15
MnO . .	0,7	—	—
CaO . .	13,2	8,5	8,3
MgO . .	0,9	1,2	0,2
K <sub>2</sub> O . .	1,4	—	—
Na <sub>2</sub> O . .	10,4	16,5	16,6

Первое из этих стекол представляет собою бутылочное стекло ручной выработки; второе и третье — полубелое стекло машинной выработки.

Для этих стекол были найдены следующие характерные для отжига температурные данные:

	I	II	III
Температура размягчения . . .	610°	565°	560°
Высшая температура отжига .	580	533	535
Рациональная температура от- жига . . . . .	565	525	520
Низшая температура отжига .	535	475	485
Критическая зона отжига . . .	45	60	50

Выдержка изделий в условиях наиболее благоприятной температуры отжига должна продолжаться около 15 минут. Дальнейшее снижение температуры может совершаться со скоростью, которая вычисляется по формуле Мюргатройта, составленной в предположении, что величина остающихся в стекле напряжений не превышает 5% от разрушающего усилия. Согласно этой формуле, число градусов, на которое может охлаждаться изделие в секунду, составляет  $\frac{1,3}{L^2}$ , где L — максимальная толщина стенки изделия в сантиметрах. При толщине в 5 мм скорость охлаждения составляет около 5,2°. Следовательно, если критическая зона для стекла обнимает 45—60°, то она может быть пройдена изделием в течение 8,5—11 минут. Дальнейшее охлаждение может совершаться с значительно большей скоростью, достигающей 10—15° в минуту.



На основе этого можно определить теоретическую продолжительность процесса отжига при том условии, что отжиг будет происходить в современной печи с точной регулировкой температуры. Но и в этом случае, учитывая возможность некоторых колебаний в температурном режиме, — в целях безопасности следует несколько увеличить продолжительность отжига.

Для получения хороших результатов отжига необходимо, чтобы установленные теоретически и проверенные опытным путем наиболее благоприятные условия отжига сохранялись по возможности без всяких изменений. Отсюда вытекает необходимость тщательного теплового контроля печных установок, в которых производится отжиг стеклянных изделий. Кроме того, необходима непрерывная проверка качества отжига для того, чтобы при наличии какого-либо ухудшения можно было принять своевременно надлежащие меры в целях восстановления нарушенной правильности работы отжигательной печи.

Конечная цель процесса отжига заключается в освобождении изделия от напряжений. Поэтому основной недостаток, который может получиться в результате этого процесса, заключается в том, что в изделии остаются напряжения, величина которых превышает допускаемые условиями стойкости стекла.

Но, помимо того, процесс отжига изделий и сам по себе может служить источником для образования некоторых дефектов. Уже при отсосе и загрузке изделий в печь возможно образование мелких трещин-посечек, являющихся результатом соприкосновения с горячим стеклом холодных приспособлений, служащих для этой цели (вилы, совки, части конвейеров, механические откатители и толкачи). При неосторожной ручной откладке или вследствие резких толчков со стороны механических приспособлений, возможны царапины, щербины, сколки и другие еще более серьезные повреждения изделий.

Мероприятия по устранению таких повреждений сводятся к прогреву и тщательной отрегулировке механизмов. Необходимо также внимательное отношение обслуживающего персонала к своему делу.

Если температура отжига поднимается выше допустимого предела, то в этом случае — в результате перегрева стекла — начинается размягчение, которое приводит к деформации изделий. При этом изделия могут прилипнуть друг к другу, а при их разъединении остаются недопустимые следы на их поверхности. При сильном перегреве изделия нередко слипаются в сплошную массу и целиком идут в бой.

Предупреждение таких явлений достигается установкой достаточного числа измерительных приборов на отжигательных печах, а также организацией тщательного контроля.

Если отжиг совершается в печах с непосредственным воздействием пламенных газов на изделия, то эти газы могут вызвать образование на стекле различных пороков типа налетов. Так, мелкие частицы сажи и пыль, содержащиеся в печных газах,

могут садиться на изделия и плотно приставать к их поверхности. Еще более существенное значение может оказать присутствие сернистых газов, так как они могут вступать во взаимодействие даже с твердым стеклом, образуя при этом налеты и пятна типа вызываемых щелочной пеней. Особенно страдают от действия сернистых газов свинцовые стекла; на последних выступают черные пятна от разложившихся свинцовых окислов, которые часто не могут быть удалены.

Защита стеклянных изделий во время отжига от прямого действия печных газов является одним из необходимых средств для предупреждения недостатков указанного вида.

---



## ОБРАБОТКА СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Обработка стеклянных изделий производится для того, чтобы переработать полученные после отжига полуфабрикаты в окончательно пригодные для употребления изделия или же для того, чтобы нанести на поверхности изделий различные украшения.

Обработка стекла таким образом может заключаться:

- 1) в разрезывании стекла на части;
- 2) в различных видах обработки поверхности стекла, назначение которой заключается в выравнивании и сглаживании поверхности, имеющей в силу тех или иных причин шероховатый и неровный характер;
- 3) в украшении гладкой поверхности какими-либо узорами и рисунками и, наконец,
- 4) в изменении наружной поверхности при помощи сплошного покрытия каким-либо цветным слоем или матовостью.

Для этих целей применяются следующие виды обработки: а) механическая, б) термическая, в) травление кислотой, г) обработка струей песка, д) живописная обработка, е) нанесение металлического слоя.

Разрезывание стекла на части применяется, прежде всего, для того, чтобы придать листам плоского стекла (оконного, зеркального, узорчатого и др.) определенные размеры, отрезать от них неровные края и удалить всякого рода крупные недостатки, которые не могут быть пропущены в этих изделиях.

Этот вид обработки сам по себе не отражается на качестве изделий и не может вносить в них какие-либо недостатки или пороки. Однако такая разрезка имеет существенное значение в том отношении, что правильный и внимательный раскрой листа дает возможность получить возможно больший выход оконного стекла высшего качества с наименьшим количеством пороков и отходов.

Далее, этот вид обработки служит для отделения колпаков, которые получают при выдувании полых изделий. Разрезывание применяется также и в том случае, когда изделия выдуваются в виде стволов, содержащих в себе по несколько штук однородных предметов, которые должны быть отделены друг от друга; такое разрезывание также не отражается на качестве изделий.

Важнейшее требование, которое может быть предъявлено к этому виду обработки, заключается в том, чтобы отрез полу-

чил, по возможности, вполне перпендикулярным к оси изделия и возможно более ровным, без значительных зазубрин или неровностей. Если обрез получается перекошенным или неровным, то при дальнейшей обработке эти дефекты не всегда могут быть выправлены в достаточной степени и готовое изделие получается с наклонным срезом или с изъянами в краях.

Если этот вид обработки производится на отколоточных машинах при помощи огня, то необходимо, чтобы горелки были правильно установлены к оси изделия с таким расчетом, чтобы получались острые и горячие язычки пламени и чтобы пламя не сбивалось в сторону вследствие сквозняков и других причин.

При резке на камнях необходимо, чтобы камни имели надлежащую твердость и были заправлены соответствующим образом.

Кроме того во всех случаях необходимо, чтобы изделия были хорошо отождены, так как при всех видах резки плохой отжиг сказывается отклонением разреза от правильного направления и образованием трещинок, часто мало заметных, но вызывающих в дальнейшем быстрое разрушение изделия.

Механическая обработка стекла для срезывания слоя поверхности является одним из самых серьезных видов обработки. Принцип этого вида обработки (одинакового для удаления как больших, так и малых масс стекла) заключается в том, что крупинкам песка или другого твердого материала сообщаются под нажимом поступательные движения по поверхности стекла. Благодаря этому происходит постепенное скалывание мельчайших частичек стекла; в результате поверхность изделия постепенно выравнивается.

После такой обработки поверхность стекла при увеличении представляется, однако, изборозжденной неправильно разбросанными углублениями и выступами. Чем крупнее песок, применяемый для обработки, тем больше скалываемые чешуйки стекла и тем грубее получается обработанная поверхность. Поэтому при срезывании больших масс стекла работа начинается крупными песками, с постепенным переходом от более крупного песка к более мелкому; заканчивается обработка очень мелкими материалами — наждаком, корундом или пемзой, также с постепенно убывающими по величине зернами.

Характер применяемых материалов и продолжительность обработки каждым из них определяются размерами обрабатываемых поверхностей и толщиной слоя, который должен быть срезан для выравнивания.

Наиболее сложной является обработка больших поверхностей зеркального стекла, с которых требуется удалить слой стекла в 2—3 мм; легче совершается работа по выравниванию плоскости отрезков различных видов сортовой посуды шириною от одного до нескольких миллиметров. В первом случае приходится применять 10—12 сортов материалов с различной степенью величины крупинок; во втором случае работа производится в 1—2 приема.

После окончания этой стадии обработки (так называемой



«шлифовки») должна получиться совершенно ровная, горизонтальная поверхность. Но так как вся она пересечена тончайшими царапинками, то она имеет однообразный матовый вид.

Следующая стадия обработки заключается в том, чтобы уничтожить эту матовость и вернуть стеклу его естественный блеск. Эта работа (так называемая «полировка») производится на основе тех же принципов, что и шлифовка, но при помощи еще более мелких материалов. Академик Гребенщиков показал, что этот процесс в значительной степени зависит от химического воздействия воды на стекло во время обработки.

Основные требования, которым должна удовлетворять указанная обработка, заключаются в получении вполне ровной блестящей поверхности, без каких-либо изъянов и недостатков.

✓ Образование недостатков может начаться в первой стадии обработки — при шлифовке. Если в этом процессе не соблюдается необходимая последовательность при переходе от более крупных шлифующих материалов к более мелким, то следующий за крупными материалами мелкий — не будет в состоянии в достаточной мере срезать глубокие бороздки. Поэтому в стекле получатся неудовлетворительно вышлифованные места, которые не уничтожаются последующей полировкой. Таким образом в шлифованных поверхностях появляется порок, называемый «матом» и представляющий собою более или менее тусклые места на блестящем фоне.

Если в мелких шлифовочных и полировочных материалах попадают отдельные частицы, более крупные, чем это необходимо, то они нарезают на стекле глубокие царапины, которые также не снимаются последующей обработкой. Когда производится шлифовка срезов стаканов и других сосудов, то такие крупные частицы вызывают скалывание стекла на краях обрабатываемых изделий. Этот недостаток при глубоких щербинах не может быть уничтожен, вследствие чего качество изделия получается неудовлетворительным.

✓ Второй стадией обработки является полировка, которая должна полностью восстановить естественный блеск стекла. Недостаточный блеск или тусклость отдельных мест являются чрезвычайно существенными недостатками и сильно снижают качество как зеркального стекла, так и сортовой посуды.

Для предупреждения образования недостатков шлифовки и полировки требуется, прежде всего, соответственный подбор шлифовочных и полировочных материалов, а также установление определенной продолжительности обработки изделия каждым из них. Особенное внимание должно быть обращено на подготовку этих материалов, которая должна разделить шлифовочные материалы на фракции требуемой крупноты, предупредить их загрязнение или попадание в эти материалы посторонних веществ, которые могут совершенно испортить результаты обработки.

Столь же важно исправное состояние обрабатывающих меха-

низмов, которые не должны иметь каких-либо неровностей и раковин, но должны отличаться вполне однородной поверхностью, одинаковой по твердости во всех ее точках.

Все части движущего механизма должны быть вполне уравновешены, должны работать плавно, без каких-либо толчков, ударов и шатания.

Если эти условия не соблюдены, то шлифовочно-полировочная работа протекает неравномерно, отдельные места обрабатываются сильнее других; это неизбежно приводит к образованию неровной поверхности с различными местными недостатками.

Указанные дефекты механизмов представляют, кроме того, прямую опасность в отношении целостности обрабатываемых изделий, так как они вызывают выщербливание и сколки, а также образование трещин в стекле.

Термическая обработка (отопка или затопка) поверхностей стекла должна сглаживать поверхность путем разогревания стекла до такой температуры, при которой оно начинает плавиться и обтекать. Так как расплавлению, прежде всего, подвергаются всякого рода тонкие выступающие кромки и острые выступы, то в результате этой обработки получается сглаживание и выравнивание поверхности стекла. Этот вид обработки применяется исключительно для различных видов сортовой посуды.

Мы уже встретились с этой обработкой, применяемой для уничтожения поверхностных дефектов прессованной посуды. Та же обработка применяется с целью закругления острых и неровных краев стаканов и других сосудов после отрезки колпаков, с которыми они выдуваются. Затопка производится обыкновенно сразу после отрезки; если же отрез получается слишком неровным, то он подвергается предварительной грубой шлифовке для удаления основных неровностей.

Термическая обработка применяется для обработки всех видов сортовой посуды, а потому чрезвычайно важно, чтобы при этом не создавались какие-либо недостатки в этом ценном виде продукции.

Перечислим дефекты, которыми может сопровождаться затопка изделий. Затопка должна дать совершенно равномерно закругленный край по всей окружности изделий; всякого рода неравномерности являются недостатками, так как при этом в одних местах край получается вполне закругленным, а в других остается острым.

Иногда затопка может быть недостаточной по всему краю изделия или же может быть слишком сильной (изделие может быть перетоплено). В этом случае вместо ровной закругленной поверхности получается оплывание стекла, образующее утолщение (местное или по всему краю).

При очень сильном огне может получиться и деформация изделия. Для того, чтобы избежать таких недостатков, необходимо чтобы пламя было ровным, не давало вспышек, копоти или потуханий; одним словом, пламя должно быть хорошо урегули-



ровано и по силе и по своему положению в отношении края изделия.

Необходимо также, чтобы поступательное движение изделия совершалось равномерно и с надлежащей скоростью. Большое значение в этом отношении имеет правильный предварительный подбор изделий по толщине. Если при одной и той же установленной скорости и правильно отрегулированном огне пропускаются слишком толстые изделия, то они остаются не затопленными; слишком же тонкие изделия, наоборот, перетапливаются.

Другой недостаток, который может возникнуть в процессе огневой обработки, заключается в том, что при подогреве стеклянных изделий они легко могут приблизиться к той температуре, при которой может начаться заметная кристаллизация; вследствие этого изделия в обрабатываемых частях тускнеют или покрываются белым налетом. Это явление должно быть предупреждено подбором соответствующей температуры при огневой обработке. Еще большее значение имеет в этом случае применение для таких изделий специальных составов стекла, мало склонных к заруханию.

Это обстоятельство надо особенно иметь в виду при изготовлении всякого рода стеклянных приборов, которые приходится формировать из нагретого до температуры размягчения стекла и в которых часто производится спаивание отдельных частей. Нагрев в этом случае продолжается иногда длительное время и повторяется несколько раз, вследствие чего незаметные сначала центры кристаллизации разрастаются и образуют матовые пятна на изделиях. Это явление приходится наблюдать при изготовлении различных видов лабораторной посуды или термосных сосудов, для которых требуется, поэтому, применение стекла с содержанием глинозема, окиси бора или окиси магния.

Третий недостаток, который может появиться в стеклянных изделиях во время термической обработки, заключается в том, что при этой обработке не могут не образовываться дополнительные внутренние напряжения, вследствие того, что изделие подвергается неравномерному нагреванию в различных местах, причем некоторые части его могут оставаться совершенно холодными. Образующиеся при этом внутренние напряжения неблагоприятно отражаются на прочности изделия.

Образование такого недостатка не может быть предупреждено, но он может быть уничтожен описанным выше способом вторичного отжига изделия. Такому отжигу должны подвергаться всякого рода изделия, полученные в результате сложных термических обработок. В новейших же производствах вторичному отжигу подвергаются всякого рода сосуды, прошедшие через отпек края (например стаканы и т. п.); благодаря этому стойкость их значительно повышается.

Указанные выше различные виды обработок декоративного характера чрезвычайно разнообразны; требования, которые предъявляются к ним в этом отношении, имеют, главным обра-

зом, художественный характер, не укладывающийся в какие-либо нормы.

Из числа прямых недостатков и дефектов, образование которых возможно в этих видах обработки, можно лишь указать на неряшливые, неаккуратно выполненные и неотчетливые рисунки или какие-либо загрязнения. Приведем несколько примеров. Например шлифованные рисунки могут быть расположены неправильно по высоте, несимметрично; отдельные линии в них могут быть прорезаны слишком далеко или, наоборот, не доведены до надлежащих границ. То же самое относится, конечно, и ко всякого рода рисункам и узорам, которые наносятся другими способами, как-то живописью или травлением. И в этом случае могут получиться прорывы, переведенные линии, пятна и т. д., которые являются дефектами в этих видах обработки.

При получении однотонной матовой или цветной поверхности на изделиях или при наведении на поверхность стекла металлического слоя возможны образования пятен, полос, неравномерное распределение краски и т. п.

Для предупреждения недостатков при декоративной обработке можно указать на следующие основные требования в отношении работы. Рисунок должен быть правильно размечен на поверхности изделия. Всякого рода обрабатывающие приспособления и инструменты должны находиться в хорошем состоянии; камни должны быть хорошо и надлежащим образом заточены; полировочные круги не должны быть изношены; мумия и пемза должны быть тщательно измельчены и просеяны.

При травильной обработке поверхность изделий должна быть хорошо защищена слоем воска; рисунок же должен быть выгравирован совершенно отчетливо до самой поверхности стекла. Травильные ванны должны иметь надлежащий состав и крепость, которые должны все время проверяться и восстанавливаться; в противном случае рисунок не получится вполне отчетливым. Время выдержки также должно быть хорошо отрегулировано.

При сплошном травлении поверхностей особое внимание должно быть обращено на чистоту обрабатываемых поверхностей, которые должны быть предварительно очищены от всяких жирных следов; иначе на поверхности образуются пятна. Изделия должны быть установлены в травильных ваннах таким образом, чтобы травление совершалось вполне равномерно.

Пескоструйная обработка требует применения песка с однообразным по величине и хорошо просеянным зерном, так как всякого рода крупные частицы и посторонние примеси могут образовать царапины и повлечь за собой неравномерность обработки. Сила дутья или разрежения, так же как и скорость движения изделия под струей, — также сильно отражаются на качестве обработки.

При серебрении и золочении необходима предварительная тщательная очистка поверхности стекла, а также создание таких



условий, при которых достигается достаточная однородность и равномерность наносимого слоя.

Обработка стеклянных изделий выполняется отдельными операциями, следующими одна за другой, вследствие чего каждое изделие приходится многократно переставлять, перекладывать и передвигать с места на место. Эти условия одинаковы при обработке как самых крупных листов зеркального стекла, так и мелких изделий типа сортовой посуды. Вследствие этого, при недостаточной осторожности возможны всякого рода механические повреждения совершенно законченных изделий, в результате чего образуются различные пороки в виде царапин, выщербленных краев, отбитых, сколотых и поврежденных частей, трещин и т. п.

Возможность образования таких пороков требует чрезвычайно аккуратного обращения с полуфабрикатами и, в особенности, применения таких приспособлений для транспортировки изделий от одной стадии обработки к другой, которые предохраняли бы и обеспечивали изделие от повреждений. В этом отношении особенно полезным является установление поточного характера производства, с передачей изделий от одной стадии обработки к другой предпочтительно конвейерным способом. Если же применяется какой-либо другой способ транспортировки, то должна быть обеспечена мягкость и плавность передвижения и предохранение изделия от повреждения его в пути.

В тех производствах, где передвижение изделий партиями является неизбежным, служащие для этого приспособления должны быть сконструированы надлежащим образом, обеспечивающим сохранность продукции. Так, например, ящики для сортовой посуды и бутылок должны быть разделены на ячейки, чтобы изделия не ударялись друг о друга; ящики эти должны быть достаточно солидными для того, чтобы не давать перекоса, вызывающего трение и нажим изделий друг на друга; вместе с тем они не должны быть громоздкими и т. д.

---

## **УПАКОВКА, ХРАНЕНИЕ, ТРАНСПОРТИРОВКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

После того, как изделие вышло из отжига и прошло, если это требуется, через соответствующую отделку, — оно совершенно закончено и может попасть к потребителю, пройдя через процессы упаковки, хранения и транспортировки. Но даже изделие, благополучно прошедшее через все основные стадии обработки, не обеспечено еще от дальнейших повреждений; кроме того оно может содержать в себе ряд скрытых дефектов, которые весьма чувствительным образом могут проявиться и на указанном пути к потребителю и при использовании изделия.

От неосторожного или небрежного обращения с изделием могут пострадать острые и выступающие края изделий типа стаканов, ваз, горлышки бутылок, грани алмазной шлифовки и т. п. Точно так же могут быть отбиты и отдельные части изделий: ручки, ножки, носики и пр. Наконечник чрезвычайно часто готовые изделия могут быть поцарапаны настолько, что совершенно теряют свою ценность. Таковы, например, полированное зеркальное стекло, оконное стекло высшего сорта и высококачественная сортовая посуда.

Все эти пороки получаются при ударе изделий одно о другое или о стойла и столы, к которым они прислоняются или на которые они ставятся.

Казалось бы, что избежать таких повреждений чрезвычайно просто. Однако в действительности значительное количество отходов получается именно в этой последней стадии из-за небрежности, неправильной организации производства и недостаточного инструктажа рабочего персонала.

Основные мероприятия на этом участке сводятся к хорошо продуманной организации междучехового транспорта и к надлежащему хранению готовых изделий, которые обеспечивали бы их от толчков, ударов и от взаимного трения.

Значительно более сложным представляется вопрос о скрытых внутренних дефектах стекла, с которыми изделия могут дойти до потребителя, если только при помощи соответствующего предварительного контроля такие недостатки не выявляются своевре-



менно. Эти недостатки проявляются в недостаточной механической, термической и химической стойкости стеклянных изделий.

Выше мы уже говорили о том, как отражается наличие напряжений в стекле на механической и термической стойкости. Но если изделие хорошо отождено и напряжения в нем уничтожены до минимума, то вопрос о стойкости изделия получает уже совершенно самостоятельное значение; если изделие, вследствие состава стекломассы отличается малой механической стойкостью, то даже несильные удары и толчки вызывают его разрушение и при отсутствии первоначальных напряжений. Для стеклянных изделий, подвергающихся давлению изнутри (например бутылки газированных напитков), усиленная механическая стойкость является одним из важнейших требований.

Вопрос о механической стойкости решается составом стекломассы, которая во всех случаях является в этом отношении материалом мало благодарным по сравнению с другими материалами.

Соответствующим подбором состава стекла можно конечно усилить механическую стойкость стекла в отношении как растяжения, так и сжатия. Однако чаще всего состав стекла определяется другими соображениями, например, требованием определенной вязкости, причем влияние отдельных компонентов на это свойство может не только не совпадать с условиями получения максимальной стойкости, но даже им противоречить.

Напомним, что к числу компонентов стекла, наиболее повышающих механические сопротивления его в отношении как растяжения, так и сжатия, относятся кремнезем, глинозем и окись бора; окиси кальция и цинка сильно увеличивают сопротивление разрыву; окись магния увеличивает сопротивление сжатию; увеличение содержания щелочей понижает механическую прочность и твердость стекла.

Термическая стойкость представляет собой свойство стекла противостоять без разрушения резким изменениям температуры. Этому вопросу мы также уже касались в главе об отжиге и выяснили, что разрушение изделия происходит оттого, что в силу малой теплопроводности выравнивание температуры в стекле происходит очень медленно. Неодинаковое расширение отдельных слоев вызывает в них разрушающие напряжения.

Очевидно, что два основных условия решают вопрос о термической стойкости стекла. Необходим подбор такого состава стекла, который: 1) соответствовал бы максимальной теплопроводности и 2) давал бы минимальный коэффициент расширения, так как, чем меньше этот коэффициент, тем меньше, конечно, относительное расширение одного слоя стекла относительно другого и тем меньше, следовательно, образующиеся при этом внутренние напряжения, вызывающие разрушение изделий.

Термическая стойкость стекла, подобно другим свойствам, является в настоящее время достаточно изученной. Она может быть выражена определенными математическими формулами,

дающими возможность определить, в какой мере данное стекло удовлетворяет условиям термической стойкости. На основе этих данных вполне возможно подобрать надлежащий состав стекла по заданной термической стойкости.

Если в отношении механической стойкости для ряда изделий часто не подбирают соответствующего состава стекла и довольствуются стойкостью, которая получается при составе, подобранном на основе других соображений, то в отношении термической стойкости вопрос обстоит иначе. В особенности это касается изделий, служащих для осветительных целей, для сосудов, подверженных сильному нагреву при пастеризации, а также для химической аппаратуры, которая также подвергается нагреву.

Недостаточная термическая стойкость является безусловным пороком для специальных видов стекла и должна предупреждаться подбором соответственного состава стекломассы, независимо от каких бы то ни было других условий.

В этом случае такое требование может быть удовлетворено легче, так как значительная часть изделий указанного рода вырабатывается вручную и, следовательно, имеется возможность приспособить условия выработки к стекломассе.

Химическая стойкость характеризует способность стекломассы противостоять в достаточной мере разрушающему действию различных химических реагентов.

Из числа компонентов, образующих стекломассу, наиболее сильно подвержены такому воздействию входящие в состав ее щелочные окислы. Последние легче всего извлекаются из состава стекла как кислотами, так и водою. Происходящее при этом удаление из стекломассы одного из основных его компонентов — «выщелачивание» — приводит к разрушению стекла.

Все стеклянные изделия находятся в указанном отношении в неблагоприятных условиях как в процессе обработки, упаковки и хранения, так и при использовании их потребителем.

Мы уже указывали, что всякого рода шлифовка и полировка стекла (как зеркального, так и посудного) совершается в мокром состоянии. Упаковка всех видов изделий производится очень часто при помощи мокрой соломы или сена. Если для этой цели применяется заворачивание в бумагу или в сухие древесные стружки, то и в этом случае в силу значительной гигроскопичности этих материалов влага из воздуха поглощается ими и получает возможность воздействия на поверхность стекла. Всякого рода полая посуда предназначена, главным образом, для того, чтобы служить резервуаром для воды и разного рода жидкостей (кислотных и щелочных). Оконное и зеркальное стекла подвергаются непосредственному воздействию атмосферных осадков и различных кислот, содержащихся в воздухе. Все виды стекла моются, часто в горячей воде, выщелачивающее действие которой проявляется еще более интенсивным образом.



Характер разрушения стекла под действием химических реагентов проявляется различным образом:

1. На стекле может образоваться легкий поверхностный налет выделяющихся щелочей, который легко смывается водой.

2. Разложение может идти неравномерно по поверхности, вследствие чего на пути действия химических реагентов образуются местные скопления выделившихся кристаллов в виде разветвленного узора; такие образования также легко смываются водой.

3. Местные разложения могут проникать глубже и в этом случае под микроскопом на поверхности стекла замечается образование трещин. Такого рода разрушения не могут быть удалены водой; для этого требуется действие соляной или даже плавиковой кислот.

4. Наконец может происходить общее глубокое поверхностное разрушение изделий, вследствие которого их поверхность делается непрозрачной и шероховатой. Восстановить внешний вид такого стекла не представляется уже возможным (рис. 14).

Основной причиной всех таких разрушений, поскольку они протекают в обычных условиях, прежде всего является избыток щелочей в составе стекла.

В литературе можно найти целый ряд примеров разрушения стекла, в котором при химическом анализе обнаружилось избыточное содержание щелочей. Приведем некоторые из них.

Из двух видов стеклянных облицовочных плиток, находившихся в совершенно одинаковых условиях, одни через некоторое время оказались сильно разложившимися на поверхности, между тем как другие остались без изменения. Состав первых (I) и вторых (II) оказался следующим (в процентах) (см. табл.).

	I	II
$\text{SiO}_2$ . .	76,1	72,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . .	0,8	1,5
$\text{CaO}$ . .	7,0	6,2
$\text{Na}_2\text{O}$ . .	16,1	19,8

Очевидно, что чрезвычайно большое содержание щелочей в последних плитках и послужило причиной их разрушения.

В консервных банках было замечено сильное потускнение поверхности; химический анализ выявил следующий состав стекла:  $\text{SiO}_2$ —75,5 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —0,5 %,  $\text{CaO}$ —7,1 %,  $\text{Na}_2\text{O}$ —20,8 %. Очевидно, что и в этом случае чрезвычайно высокое содержание щелочей сыграло свою роль.

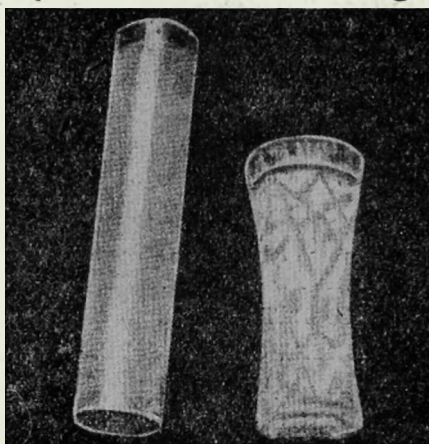


Рис. 14. Ваза и ламповое стекло с разложившейся поверхностью.

Приводим характеристику по Милиусу химической стойкости стекла, которая основана на определении количества щелочей, переходящих из стекла в воду при различных условиях:

Класс стекла	Переходит в воду тысячных долей миллиграмма $\text{Na}_2\text{O}$ с $1 \text{ см}^2$ поверхности стекла	
	через 7 дней при $18^\circ$	через 3 часа при $80^\circ$
Очень стойкое стекло . . . . .	0—4	0—15
Стойкое стекло . . . . .	4—12	15—45
Твердое посудное стекло . . . . .	12—36	45—150
Мягкое стекло . . . . .	36—150	150—600
Неудовлетворительное стекло . . . . .	более 150	более 600

Для некоторых видов изделий (например химическая посуда), наряду со стойкостью в отношении выщелачивания, большое значение имеет также стойкость их в отношении кислот и щелочных растворов. Эти свойства определяются путем непосредственного воздействия кислотных и щелочных реагентов на стекло в течение определенного времени и при разных условиях, в зависимости от тех требований, которые предъявляются к рассматриваемому виду посуды.

Таким образом чрезвычайно важный для стеклянной посуды вопрос о том, каким путем можно обеспечить его химическую стойкость, разрешается уменьшением содержания щелочей.

К этому стремилась интуитивно старая стекольная техника, а в настоящее время это положение получило свое научное обоснование. Однако развитие стекольного производства в направлении перехода от ручной выработки к машинной в значительной мере способствовало ухудшению стекла в отношении его химической стойкости. Надлежащая рабочая вязкость, необходимая для машинной выработки, достигается, как мы уже отмечали, в пределах тех температур, при которых стремление к кристаллизации получает в стекле особенно сильное развитие.

В первые годы механизации производства стекла с этим явлением стремились бороться путем увеличения щелочности стекла, так как щелочи являются в составе стекла одним из компонентов, сильно противодействующих заруханию. Однако таким путем снижалось качество стекла, что приводило в ряде случаев к разрушению стекла машинной выработки при таких условиях, когда ручное стекло остается без изменения.

В настоящее время одной из важнейших задач стекольного производства является снижение щелочности в стекле машинной выработки, при одновременном укреплении его стойкости в отношении зарухания, что достигается введением в состав стекла добавочных компонентов. Этот вопрос уже освещен нами выше.



Ввиду того что стекло сравнительно легко может разрушаться, необходимо организовать надлежащим образом его хранение и транспортировку.

Мы остановимся, прежде всего, на упаковке стеклянных изделий, так как упаковка может вызвать образование в изделиях недостатков, обязанных химическому разложению стекла.

Ни один из применяемых в настоящее время видов упаковки не является вполне безупречным, так как все эти упаковочные материалы, как мы уже упомянули выше, обладают свойством гигроскопичности. Поэтому для сохранения изделий представляется чрезвычайно существенным упаковывать их отнюдь не в сыром виде (как это практикуется обычно), но предварительно просушенными; при современном состоянии техники осуществление массовой сушки изделий не представляет никаких затруднений. Конечно, в этом случае для упаковки необходимо применение только сухих материалов.

С изложенной точки зрения самый распространенный у нас способ упаковки путем завязывания стекла в мокрую солому должен быть признан наиболее вредным для стекла. Значительно лучше упаковка при помощи сухих древесных стружек. Еще лучше упаковка некоторых видов изделий в картонные коробки, в которых они касаются картона лишь несколькими точками. Полезно заворачивание изделий в парафинированную бумагу, защищающую изделие от действия влаги. В тех случаях, когда приходится ожидать особенно сильного разрушения изделий (например при морских перевозках в теплом и сыром климате), полезно смазывать изделия вазелином или другими жирами.

Хранение изделий в силу тех же соображений не должно производиться на открытом воздухе или даже под простым навесом, так как вследствие гигроскопичности будет происходить насыщение влагой материала упаковки. Склады стеклянных изделий должны быть обязательно совершенно сухими, должны иметь хорошую вентиляцию и, по возможности, слегка протапливаться. Весьма целесообразным было бы хранить изделия в неупакованном виде и упаковывать их лишь перед самой отправкой. Однако в условиях массового производства такой способ хранения представляется трудно осуществимым.

---

# **КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА**

## **1. КОНТРОЛЬ ПО НАРУЖНЫМ ПРИЗНАКАМ**

Так как борьба с пороками имеет чрезвычайно большое значение в производстве стеклянных изделий, то в продолжение всего производственного процесса должен осуществляться соответственный контроль. Задача контроля заключается в выявлении недостатков в стекле, своевременной сигнализации об их появлении, приостановке дальнейшего движения изделий, в которых обнаруживаются какие-либо недостатки и в недопущении выпуска с завода законченных изделий, оказавшихся негодными по тем или иным причинам.

Выявление явных недостатков производится при помощи непосредственного осмотра изделий в различных стадиях производства. Осуществляется эта работа штатом переборщиков и сортировщиков, определяющих качество изделий на основании их наружных признаков, выделяющих негодные изделия, группирующих изделия в зависимости от их дефектов по сортам и распределяющих их для дальнейшей обработки.

Этот наружный осмотр имеет очень большое значение, так как во всех производствах он является решающим в отношении первой группы недостатков и всегда предшествует углубленному лабораторному анализу, определяющему различные внутренние структурные недостатки стекла.

В виду чрезвычайно большого значения правильной сортировки изделий, от рабочего-переборщика требуется большой навык и умение при помощи осмотра изделия быстро и верно определять его качество и улавливать в нем различные недостатки как стекломассы, так и оформления.

Для получения в этом случае вполне удовлетворительных результатов необходимо, чтобы был соблюден ряд весьма существенных условий.

Прежде всего следует считаться с тем, что одному сортировщику приходится пересматривать значительное число однородных изделий, совершая при этом одинаковые движения рук и тела. Такая работа, требующая притом непрерывного напряжения зрения и сосредоточенности, несомненно, является утомительной. Поэтому необходимо, чтобы количество изделий, проходящих на одного переборщика, не превышало определенного



предела, при котором работа может совершаться с достаточным вниманием.

Второе требование относится к той обстановке, в которой совершается переборка изделий. Необходимо, чтобы переборщик находился по отношению к перебираемому товару в таком положении, чтобы ему было удобно брать изделия в руки, а затем откладывать их в сторону, не совершая при этом лишних движений. Необходимо также, чтобы переборщик не задевал одним изделием за другое и не ударял их друг о друга.

Практика стекольных заводов показывает, что в процессе переборки в изделиях может создаваться нередко довольно большое число дефектов в виде щербин, сколотых краев, царапин и других повреждений. Это обстоятельство особенно необходимо иметь в виду, поскольку переборку изделий приходится на пути производственного потока производить несколько раз.

Наиболее целесообразным и обеспечивающим изделие от повреждений способом является подача изделий к сортировщикам и удаление их с помощью конвейеров или круглых вращающихся столов, которые, однако, еще мало распространены у нас.

Чрезвычайно неудобным является просмотр изделий на обыкновенных столах, на которых изделия отталкиваются вдоль стола самым примитивным образом, сопровождающимся ударами и трением изделий друг о друга.

Третьим условием является надлежащее освещение, позволяющее переборщику ясно различать всякого рода недостатки, имеющиеся в стеклянных изделиях.

Обыкновенное прозрачное полое стекло (сортовое или тарное) рассматривается непосредственно на свет, для чего необходимо, чтобы переборщик стоял против света. Лучше всего такой осмотр производить при естественном освещении, для чего переборочные должны быть размещены в светлых помещениях. Если приходится пользоваться искусственным светом (при многосменной работе), то необходима установка сильных источников света с отражателями, дающими хорошо рассеянный свет, без образования резких теней.

Первая стадия сортировки оконного стекла совершается при резке. Поэтому освещение в процессе резки имеет очень большое значение, так как резчик должен ясно видеть все недостатки в лежащем перед ним листе и сообразоваться с ними для наиболее выгодного раскроя листа. При дневной работе резные столы располагаются вдоль окон. Во время ночной работы резкие тени от обыкновенных источников света не позволяют ясно различать недостатки; поэтому специальное освещение в этом случае является необходимым. Однако, до сих пор эта задача еще не разрешена вполне удовлетворительно.

Лучшим способом для обнаружения недостатков является просвечивание источником света изделия, помещенного перед экраном. Тогда на экране получается отчетливое теневое изображение предмета, на котором ясно выделяются всякие недостатки,

нарушающие однородность массы, как-то: свиль, пузыри, мошка, камешки и пр. (даже таких мелких размеров и столь слабо выраженные, что при простом осмотре они оставались бы незаметными).

Однако этот способ осмотра, вследствие его большей сложности, применяется только для определения недостатков в наиболее ответственных видах стекла (например в оптическом производстве, где стекло должно быть совершенно свободно от каких бы то ни было дефектов). Для обыкновенных видов стекла довольствуются непосредственным осмотром.

## 2. ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛА, ИССЛЕДОВАНИЕ КАМНЕЙ И СВИЛИ

Осмотр изделий в различных стадиях производства дает возможность выделить те изделия, в которых обнаруживаются видимые пороки.

Если эти пороки вызывают сомнения относительно своего происхождения, то дальнейшее исследование их производится лабораторным путем; точно также требуют исследования при помощи особых приемов такие пороки, которые не могут быть обнаружены простым осмотром; таковы пороки отжига, химической и термической нестойкости и т. п.

Важнейшим методом исследования стекла служит химический анализ, определяющий его состав и дающий возможность судить, в какой мере выполнены задания в отношении подбора компонентов для получения стекла определенного качества. Ряд недостатков может быть вызван неправильным составом и исправляется на основании химического анализа.

Если в стекломассе имеются вкрапления, то, как мы уже видели, они могут быть вызваны различными причинами; они могут получаться от нерасплавления основных компонентов, от разъедания шамотных масс горшка или ванной печи, из щелочной пены; наконец к ним же необходимо отнести продукты кристаллизации стекла, а также посторонние нерастворившиеся тела, случайно попавшие в стекло.

Часто простой наружный осмотр может дать понятие о природе рассматриваемого дефекта; в этом случае могут быть показательными как форма вкрапления, так и строение его и окраска.

Еще лучшее представление о таких посторонних телах может дать исследование под лупой или микроскопом (в особенности если имеется возможность изготовить из вкрапления тонкий шлиф).

Полезное указание можно получить в этом случае исследованием окраски поясов стекла вокруг постороннего тела; если они окрашены, например, в более интенсивный зеленый цвет, чем основное стекло, то из этого можно вывести заключение, что ядро получилось не из основных материалов, примененных для стекловарения.



Некоторые указания относительно природы камней и сгустков в стекломассе можно получить путем кипячения зерен в расплавленной соде, примерно, при  $900^{\circ}$ . Если в расплавленную массу бросить очищенные от основной стекломассы зерна, то они быстро растворяются в ней в том случае, если состоят из кремнеземистых образований или представляют собою продукт зарухания стекла. Если же они туго поддаются растворению в соде, то это служит признаком того, что они содержат много глинозема, и, следовательно, скорее всего произошли от разъедания шамотных масс.

Природа инородных вкраплений нередко может быть определена благодаря тому, что различные вещества различным образом влияют на проходящие через них лучи света, которые претерпевают изменения в отношении коэффициента преломления и свойств двулучепреломления. Показатели, определяющие эти свойства, представляют собою величины, поддающиеся точному измерению; с другой стороны, они имеют вполне определенные численные значения при прохождении света через определенные тела.

Поэтому, измеряя оптические показатели луча, проходящего через какое-либо вкрапление, можно на основании их величины определить природу вкрапления. Оптический метод может быть применен также для изучения свили.

Выше уже было указано, что свиль выделяется из основной стекломассы вследствие того, что она обладает иным коэффициентом светопреломления. Таким образом определение коэффициента преломления может быть использовано для характеристики свили, так как исследование показывает, что величина коэффициента преломления зависит от содержания различных компонентов и закономерно изменяется при их изменении.

Надо, однако, отметить, что для оптических измерений нужна специальная аппаратура, что они сложны и требуют особых навыков. Поэтому они применяются главным образом в исследовательских институтах, но мало доступны для обыкновенных заводских лабораторий.

Наиболее распространенным способом для определения природы пороков типа камней является химический анализ. С помощью последнего можно определить состав того или иного камня, что дает во многих случаях возможность путем сопоставления делать определенные заключения относительно причины образования этого порока в стекле (в особенности если химический анализ подкрепляется оптическими исследованиями).

Общих указаний в этом отношении дать нельзя, а потому мы приводим ниже пять характерных примеров, заимствованных из заграничной литературы:

1. В зеркальном стекле, которое наваривалось в горшковой печи, появились круглые камни, матовые и блестящие. Произведенный химический анализ показал, что камни имеют двойкий состав (в процентах):

	Состав основ- ного стекла	Состав камней первого рода	Состав камней второго рода
SiO <sub>2</sub>	74,17	71,38	83,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,30	2,70	0,96
CaO	9,30	8,40	9,50
Na <sub>2</sub> O	15,23	17,52	6,10

Как видим, камни первого рода имеют состав, достаточно близкий к основному стеклу, т. е. образование камней является результатом зарухания стекла. Что касается камней второго рода, то они являются скорее всего результатом непровара шихты вследствие неудовлетворительного смешивания или наличия в песке твердых комков. Несомненно, что температурные условия плавки были неудовлетворительными и способствовали образованию этих пороков.

2. На заводе сортового стекла стали появляться в обильном количестве камни, начиная от мелких и кончая очень крупными.

Анализ стекла дал следующие результаты: SiO<sub>2</sub>—73,9%, CaO—6,6%, Na<sub>2</sub>O—19,5%; состав камней: SiO<sub>2</sub>—95,11%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—0,86%, CaO—1,43%, Na<sub>2</sub>O—2,6%.

Очевидно, что такие камни могли произойти или из динасового свода печи или из песка, примененного для шихты.

Исследование показало, что ход печи был недостаточно горячим и что засыпка производилась слишком поздно, — когда предыдущая засыпка была слишком проварена и не была в состоянии удержать последующую порцию, которая грузла в расплавленной жидкой массе и не проваривалась. Таким образом в этом случае мы имеем типичный пример сырого стекла.

3. На заводе зеркального стекла начали появляться белые непрозрачные камни после того, как стали применять другой сорт мела. Химический анализ камней показал следующий их состав (в процентах):

	Камень № 1	Камень № 2
SiO <sub>2</sub>	70,40	96,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,90	0,64
CaO	2,30	0,87
Na <sub>2</sub> O	26,40	1,67

Состав стекла был следующий: SiO<sub>2</sub>—73,62%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—0,48%, CaO—8,29%, Na<sub>2</sub>O—17,53%.

Когда опять перешли к прежнему мелу, то камни исчезли. Исследования обоих видов мела дали следующие результаты (в процентах):

Состав	Новый мел	Прежний мел
Углекислый кальций . . . . .	92,85	97,16
Остатки . . . . .	6,56	2,90



Все обстоятельства указывают на то, что камни произошли из-за мела (притом за счет нерастворимых остатков в нем).

4. В стекле ванной печи появлялись камни различной окраски (белые и желтоватые).

Химический анализ дал следующие результаты (в процентах):

Состав	Белые камни	Желтоватые камни
SiO <sub>2</sub>	72,00	72,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,00	2,81
CaO	12,80	12,84
Na <sub>2</sub> O	13,20	12,50

Первоначальное предположение о том, что камни были шамотного происхождения, — не оправдывается малым содержанием глинозема. Детальное обследование показало, что в песке имеются крупные комки, которые попадали в шихту и не разваривались. Как только перешли на новый, лучший песок, — камни исчезли.

5. В ванной печи зеркального стекла появились камни величиною с булавочную головку. Исследование под микроскопом показало, что строение их кристаллическое и что они непрозрачны. Цвет камней различный — белый и желтый.

Состав камней оказался следующим (в процентах):

Состав	Белые камни	Желтые камни
SiO <sub>2</sub>	76,2	30,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,8	17,8
CaO	14,6	} не определялось
Na <sub>2</sub> O	4,4	

Эти анализы приводят к заключению о том, что желтый камень, несомненно, шамотного происхождения; что касается мелких камней, то они также получились из шамота; вследствие более продолжительного пребывания в ванной печи часть шамотных камней рассыпалась на более мелкие крупинки, которые подверглись химическому перерождению.

Из числа различных свойств изделий приходится, в частности, определять правильность окраски и прозрачность. Такие определения производятся для оптических стекол, для разных видов осветительного стекла, а также для высококачественной посуды.

Правильность окраски, наличие цветных оттенков и их характер могут определяться колориметром завода «Осрам» — прибором, основанным на сравнении исследуемого стекла с эталоном определенной окраски. Прозрачность стекол исследуется различного рода фотометрами, путем определения количества света, проходящего через испытуемое стекло.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЖИГА

Одним из важнейших исследований, которым подвергаются готовые стеклянные изделия всех видов, является определение качества отжига, так как наличие значительных напряжений

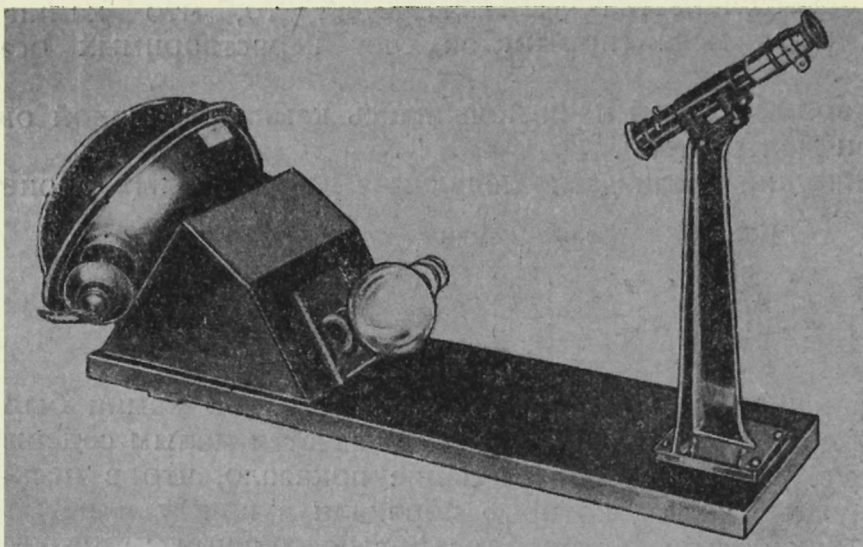


Рис. 15. Полярископ.

является крупным недостатком в обыкновенных стеклянных изделиях.

До тех пор, пока не была установлена сущность процесса отжига и вызываемых им изменений в свойствах стекла, — качество отжига определялось на основании различных наружных признаков, из которых некоторые в действительности совершенно не были связаны с этим процессом. Так, например, полагали, что самым лучшим доказательством хорошего отжига служит образование на поверхности стекла во время его пребывания в отжигательной печи сизого налета, причем чем гуще получался налет, тем качество отжига считалось лучшим. Поскольку мы сейчас знаем, что сущность отжига заключается в уничтожении внутренних напряжений, которые совершенно не связаны с налетами на поверхности стекла, — суждение о качестве отжига по такому признаку является, конечно, совершенно необоснованным и неверным.

Другой способ заключается в том, что изделие, вышедшее из отжига, перерезают на каменном колесе. Если при этом получается ровный и прямой разрез, то это служит признаком хорошего отжига, т. е. отсутствия внутренних напряжений. Действительно, напряженное стекло всегда имеет стремление давать трещины не по определенному направлению разреза, а с произвольными отклонениями в стороны. Но все же и этот способ не свободен от различных случайностей. Поэтому, хотя он до некоторой степени и является показательным, он все же не может привести к вполне определенному и окончательному суждению о качестве отжига.

Вполне научный способ определения качественных и количественных показателей в отношении напряжений, имеющих в стекле, основан на изучении оптических свойств стекла. Этот способ дает полное освещение вопроса о напряжениях в стекле, их



характере, распределении и даже величине. Изучение напряженности стекла в полном объеме на основе его оптических свойств требует специальных сложных приборов. Поэтому в условиях чисто-заводского контроля довольствуются исследованием при помощи простейшего прибора — полярископа (рис. 15), дающего вполне достаточное представление о состоянии напряженности стекла.

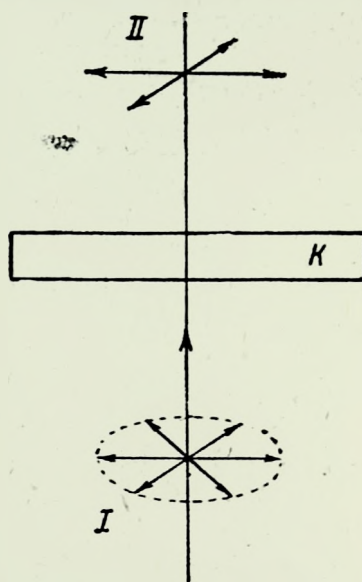
Ввиду важности этого вопроса мы остановимся на нем несколько подробнее, дадим простейшее обоснование этого метода изучения напряжений и покажем, какие результаты могут быть получены при его применении.

Исследование напряжений в стекле основано на свойствах так называемого „поляризованного“ света и на оптических явлениях, которые связаны с его распространением в различных средах.

Если луч обыкновенного света, который характеризуется тем, что он имеет колебания в различных плоскостях, встречает на своем пути однородное аморфное тело (например ненапряженное стекло), то он проходит через него, преломляясь обыкновенным образом. Но если луч света встречает кристаллическую среду, то условия его продвижения резко изменяются вследствие того, что кристаллы обладают двулучепреломлением (рис. 16).

Свойство это заключается в том, что луч, вступая в кристалл, разделяется в нем на два луча, колебания каждого из которых происходят лишь в двух определенных плоскостях, причем эти плоскости взаимно между собою перпендикулярны. Эти плоскости имеют вполне определенное положение для данного вида кристаллов (рис. 16). Так совершается продвижение луча в ряде кристаллических тел, имеющих для нас интерес.

Если мы имеем заранее поляризованный луч с колебаниями в одной плоскости, то он проходит через такой кристалл без изменения лишь в определенном случае, а именно, когда движение его таково, что колебания параллельны одной из главных плоскостей; в направлении перпендикулярном луч не проходит вовсе. При всяком другом направлении поляризованный луч разделяется на два луча с колебаниями в указанных двух плоскостях. Оба эти луча отличаются друг от друга скоростью распространения их колебаний и эта разность скоростей сохраняется и при выходе луча из кристаллической среды. Эта разность хода может быть измерена и выражается в линейных единицах — в миллимикронах



*I - Луч до поляризации  
II - Луч после поляризации  
K - Кристалл*

Рис. 16.

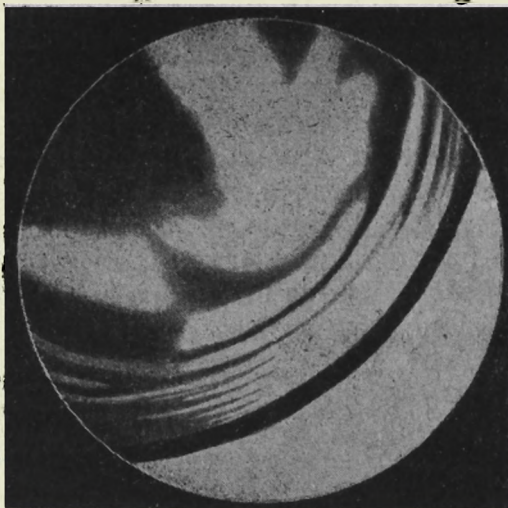


Рис. 17. Неравномерное распределение напряжений



Рис. 18. Равномерное распределение напряжений.

Благодаря разности хода между лучами возникает взаимодействие, которое приводит к усилению или ослаблению силы света, что и обнаруживается в поле зрения окуляра поляризационного аппарата. Наибольшее посветление возникает в том случае, если плоскость колебаний поляризованного луча составляет  $45^\circ$  с указанными главными плоскостями колебаний кристаллов.

Полярископ, применяемый для исследования напряжений, представляет собой прибор, в котором образуется поляризованный луч, который пропускается через определенный кристалл и затем попадает в окуляр прибора; кристаллу можно придавать любые положения, отчего освещенность в окуляре изменяется. Полярископ при исследовании устанавливается таким образом, чтобы в окуляре получалась темнота. Тогда, если на пути луча помещается ненапряженное тело, то темнота не изменяется; наоборот, всякое напряжение вызывает, в зависимости от его величины, большие или меньшие посветления (рис. 17, 18, 19).

При определенных свойствах кристаллической среды сдвиг лучей друг относительно друга может вызвать в первоначальном бесцветном луче уничтожение какой-либо части его спектра, вследствие чего бесцветное поле зрения приобретает какую-либо окраску — происходит «интерференция света». Этим свойством и пользуются для различных исследований, о которых идет речь. Очень наглядные результаты получаются в том случае, если для исследования применяют пластинку гипса определенной толщины, подобранной таким образом, чтобы она создавала, при двулучепреломлении проходящего через нее луча, разность хода в 530 миллимикрон. Если через такую пластинку пропустить бесцветный поляризованный луч, то синие-зеленые лучи в нем, имеющие длину колебаний в 530 миллимикрон, будут погло-



щены пластинкой, вследствие чего поле зрения окуляра окрашивается в яркокрасный цвет.

Если на пути поляризованного луча, направленного к пластинке, поместить ненапряженное стекло, обладающее свойствами аморфной среды, то оно никакого действия на луч не окажет и поле зрения в окуляре ни в отношении интенсивности света, ни в отношении окраски не изменится. Но если в стекле имеются напряжения, то картина резко изменяется, так как стекло в этом случае приобретает свойство двулучепреломления. Луч, проходящий через такое стекло, расщепляется на два луча, плоскости колебаний--которых совпадают: одна — с направлением действия напряжений, а другая с плоскостью ей перпендикулярной (рис. 20). Таким образом для напряженного стекла главные плоскости ко-



Рис. 19. Напряжения в хрустальной вазе.

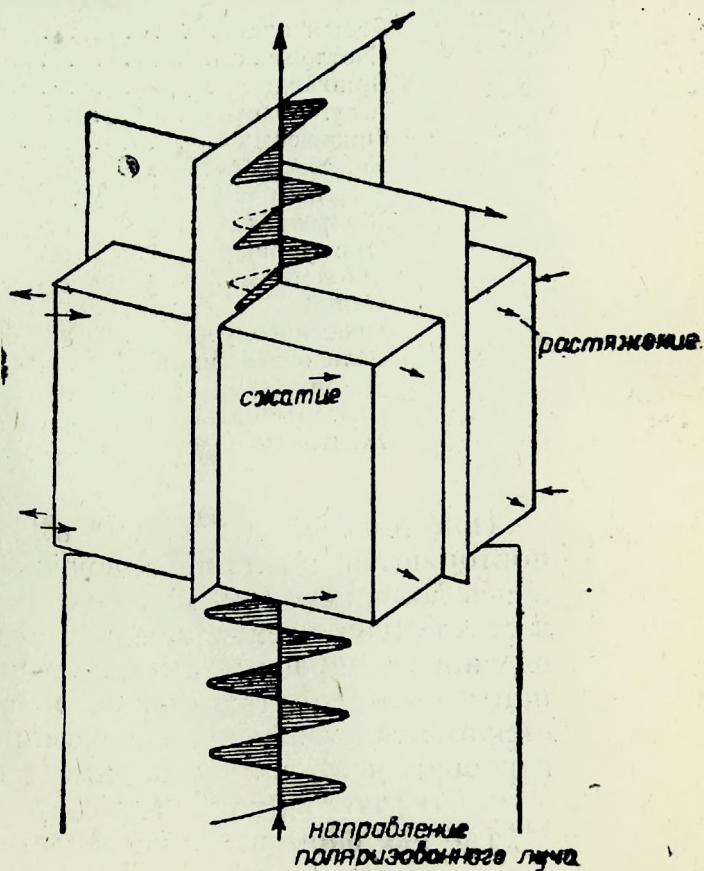


Рис. 20.

лебаний определяются направлением действия сил в стекле. Эти плоскости также обладают тем свойством, что вдоль одной поляризованный луч проходит без изменения, а вдоль другой, ей перпендикулярной, — поглощается. Направление, составляющее  $45^\circ$  с указанными, дает максимальное посветление.

Поэтому, если мы поместим напряженное стекло на пути поляризованного луча, то и в этом случае создается определенная разность хода лучей, которая при дальнейшем прохождении луча через гипсовую пластинку усиливается или уменьшается,

Вследствие этого окраска поля зрения должна измениться в зависимости от того, с какой разностью хода луч, прошедший через две лучепреломляющие среды, попадает в окуляр. Если разность хода увеличивается, то мы имеем превращение красной окраски в сторону пожелтения; если же разность хода уменьшается, то изменение дает зеленые тона.

Приводим табличку, в которой показано, каким образом последовательно изменяется окраска в окуляре в зависимости от разности хода лучей:

Белый цвет . . . . .	250	миллимикронв
Светложелтый . . . . .	300	"
Яркожелтый . . . . .	350	"
Желтооранжевый . . . . .	430	"
Оранжевый . . . . .	450	"
Краснооранжевый . . . . .	500	"
Красный . . . . .	530	"
Желтокрасный . . . . .	550	"
Пурпуровый . . . . .	565	"
Фиолетовый . . . . .	575	"
Синий . . . . .	590	"
Небесноголубой . . . . .	665	"
Зеленовато-синий . . . . .	730	"
Зеленый . . . . .	750	"
Светлозеленый . . . . .	800	"
Желтовато-зеленый . . . . .	850	"

При дальнейших изменениях в разности хода те же цвета повторяются, но лишь в других оттенках. Таким образом, пользуясь полярископом, мы сразу же можем определить, имеются ли в стекле напряжения или нет. Если после зрения окуляра, установленного на красный цвет, сохраняет без изменения свою окраску при всех поворотах стекла, то это служит признаком того, что стекло представляет собою аморфную однородную среду и что, следовательно, в нем не имеется напряжений. Наоборот, если цвет изменяется, то в стекле, очевидно, имеются напряжения.

Так как чаще всего встречается стекло, в котором напряжения в разных точках различны по величине и, при том, расположены неравномерно, а также поскольку наряду с напряженными местами имеются ненапряженные, — мы получаем в поле зрения окуляра площадки с различной окраской. В тех местах, в которых окраска остается без изменения, очевидно не имеется напряжения; все же остальные места напряжены.

Получающееся таким образом изменение в окраске является исходным показателем для определения величины напряжения. Однако для того, чтобы получить точную величину напряжения, требуются специальные приборы и сложные методы оптического анализа, на которых мы останавливаться не можем. Но и простой полярископ дает возможность приблизительно подойти к величине напряжения, что во многих случаях является небесполезным.

Такое определение основано на следующем соотношении:



$$\text{удельное двулучепреломление} = \frac{\text{разность хода}}{\text{толщина стекла} \times \text{напряжение}}$$

$$\text{или напряжение} = \frac{\text{удельное двулучепреломление} \times \text{толщина стекла}}{\text{разность хода}}$$

Удельное двулучепреломление представляет собою определенную величину, характерную для разных видов стекла; оно может быть найдено при помощи соответствующих лабораторных измерений. Для обыкновенного стекла эта величина колеблется между 2,5—3,5. Некоторые источники советуют пользоваться средним значением от 2,85 до 2,87.

Разность хода определяется по указанному выше способу. Из приведенного соотношения можно найти напряжение. Для полной ясности следовало бы определить, является ли это напряжение сжатием или растяжением. Но, поскольку стекло на сжатие выдерживает в 10 раз больше, чем на растяжение, то, относя напряжение к растяжению, мы с точки зрения безопасности не вносим в этом случае никакой ошибки.

Исходя из определенного значения для двулучепреломления и установив величину допускаемого напряжения, мы можем с помощью приведенного выше соотношения определить ту разность хода лучей, которая соответствует достаточной стойкости стекла. Для оптического стекла разность хода не должна превышать 20—25 миллимикрон, для обыкновенного — от 50 до 100 миллимикрон на 1 см толщины.

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

Определение термической стойкости в условиях повседневного заводского контроля производится при помощи погружения изделия в холодную ванну определенной температуры, а затем — в ряд горячих ванн, с постепенно возрастающей температурой; испытание проводится до тех пор, пока не наступает разрушение изделия. При повышенных требованиях, наоборот, нагретое изделие погружается в холодную ванну с возрастающим температурным интервалом.

Согласно нашему стандарту, химическая посуда должна выдерживать нагревание до 70° с последующим охлаждением до 20°. Бутылки для пива, минеральных вод и кваса должны выдерживать погружение из воды в 10° в воду при 70°; при требовании повышенной стойкости высший предел устанавливается в 100°. Чайная посуда типа стаканов и блюдец должна выдерживать наливание воды в 95° в изделие при комнатной температуре.

Конечно, при таких определениях большое значение имеет состояние отжига изделий, а также его форма, распределение стекла и наличие других пороков, отзывающихся на его прочности. Поэтому вполне показательными могут быть лишь испытания определенных эталонов, проверенных предварительно в отношении отсутствия других пороков.

Испытанию на механическую стойкость подвергаются почти исключительно бутылки, подверженные внутреннему давлению газов. Испытание производится при помощи гидравлического давления на специальном прессе. По стандарту бутылки, предназначенные для пива, искусственных минеральных вод и т. п., должны выдерживать давление в 11 ат.

Химическая стойкость на выщелачивание определяется по указанным выше методам Милиуса, дающим возможность отнести данное стекло к определенной категории. Наши стандарты устанавливают для этого свойства лишь качественное определение, которое производится следующим образом.

В 1 л дистиллированной воды, свободной от щелочей, добавляют 1 см<sup>3</sup> децинормального раствора соляной кислоты и 5 капли 0,2% раствора метилроta в 90° метиловом спирте. Испытуемая посуда наполняется на  $\frac{3}{4}$  этим раствором и нагревается на водяной бане в течение 30 мин. После нагревания розовое окрашивание жидкости от прибавления метилроta не должно совершенно исчезнуть.

Стойкость стекла в отношении кислот определяют по стандарту выдерживанием куска стекла под колпаком с дымящейся соляной кислотой в течение 24 часов, после чего его ополаскивают и высушивают в течение 12 часов на воздухе. Стекло не должно обнаруживать поверхностного разъедания.

## 5. ТРЕБОВАНИЯ СТАНДАРТА В ОТНОШЕНИИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Стекольное производство должно дать изделия, совершенно свободные от каких-либо внешних недостатков и скрытых внутренних пороков. Однако удовлетворить полностью такое требование представляется задачей, возможной лишь для самых лучших и ответственных видов изделий, высокая ценность которых допускает возможность жесткой браковки. В отношении же целого ряда изделий приходится подходить с несколько смягченными требованиями, допуская некоторые виды недостатков, если только они не отзываются на нормальной прочности и не обезображивают внешнего вида изделия. Вопрос о том, какие виды дефектов и в какой степени могут быть допущены, — решается в каждом отдельном случае в зависимости от рода изделий и предъявляемых к ним требований. Эти требования устанавливаются техническими условиями заказчика или решаются на основании предписаний стандарта.

Ниже мы приводим таблицу с указанием того, какие основные недостатки могут быть допущены.

Надо отметить, что наш стандарт допускает довольно широкие пределы в отношении качества. Так, для оконного стекла установлено 3 сорта, для сортовой посуды — 2 отбора с 3 сортами в каждом, для каждого из которых имеются определенные допущения. Повышенные требования, которые устанавливаются



в настоящее время в отношении качества, создадут, вероятно, необходимость отказаться от таких широких допусков.

В таблице знаком — отмечается, что рассматриваемый порок не может быть допущен; знак + показывает, что такой порок допускается; в выносках же указано, в какой мере он допускается. Оба знака, стоящие вместе, показывают, что данный порок допускается при определенных ограничениях.

Стекло	Камни	Шлиры	Свилы	Пузыри крупные	Мошка	Неправильности окраски	Напряжения	Неправильности формирования и обработки
Оптическое . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Зеркальное:								
для зеркал . . . . .	—	—	—	+ <sup>2</sup>	—	—	—	—
для строительства . . .	—	—	+ <sup>1</sup>	+ <sup>3</sup>	—	—	—	+ <sup>4</sup>
Оконное стекло:								
1-го сорта . . . . .	+ <sup>5</sup>	+ <sup>6</sup>	—	—	+ <sup>9</sup>	—	—	+ <sup>10</sup>
2-го сорта . . . . .	+ <sup>6</sup>	+ <sup>6</sup>	+ <sup>7</sup>	+ <sup>8</sup>	+ <sup>9</sup>	—	—	+ <sup>10</sup>
Хрусталь . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Сортовая посуда выдувная:								
1-го сорта . . . . .	—	—	—	+ <sup>11</sup>	—	—	—	—
2-го сорта . . . . .	—	—	+ <sup>12</sup>	+ <sup>11</sup>	+ <sup>13</sup>	+ <sup>14</sup>	—	+ <sup>15</sup>
Бутылки . . . . .	—	—	+ <sup>16</sup>	+ <sup>17</sup>	+	—	—	—

- <sup>1</sup> Допускается в виде волосков длиной до 25 см при поверхности листа до 4 м<sup>2</sup> в количестве не более 5 шт. в разбросанном виде.
- <sup>2</sup> Допускаются пузыри до 0,75 — 1 мм по кромкам на разном расстоянии и в разном количестве, например для листа в 0,8 м<sup>2</sup> — на расстоянии не свыше 5 см от кромки и не более 7 шт.
- <sup>3</sup> То же до 1 — 1,5 мм, до 2 — 10 см от кромки в количестве до 3 — 12 шт., в зависимости от размеров листа.
- <sup>4</sup> Допускается полировочный мат, занимающий не более 0,15 м<sup>2</sup> на листе 1 м<sup>2</sup> и волосяные царапины не длиннее 10 и 15 см каждая.
- <sup>5</sup> Не больше 2 шт. материальных камней только на краях листа на 1 м периметра.
- <sup>6</sup> Допускаются только на краях, не больше 3 шт. на 1 м периметра.
- <sup>7</sup> Допускается только на краях, не более 4 в виде тонких нитей
- <sup>8</sup> В поле листа не допускаются вовсе при толщине стекла до 1,6 мм; для более толстого стекла и на краях допускаются только определенного размера в ограниченном количестве.
- <sup>9</sup> Только по краям, на 50—80 мм от края.
- <sup>10</sup> Допускается некоторая кривизна и определенная волнистость.
- <sup>11</sup> Допускается разных размеров от 1,5 до 6 мм в количестве от 1 до 4 в зависимости от вида изделий, величины их и рода обработки.
- <sup>12</sup> Легкая, неощутимая рукой.
- <sup>13</sup> Редкая и мелкая.
- <sup>14</sup> Допускаются легкие цветные оттенки (зеленоватый, голубой и розовый).
- <sup>15</sup> Допускаются затопленные шербины до 0,5 мм, не более 1 шт. на изделии.
- <sup>16</sup> Только неощутимая.
- <sup>17</sup> Допускаются мелкие, редко разбросанные, прозрачные пузыри с большим диаметром до 6 мм и круглые с диаметром до 4 мм.

ТАБЛИЦА ПОРОКОВ В СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЯХ

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОЦЕССОВ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Процессы образования стеклянных изделий  Наименование пороков	Подготовительная стадия	Образование стекломассы			Изготовление изделий			Заключительные стадии	
	I. Изготовление шихты	II. Плавка	III. Осветление	IV. Студка	V. Оформление	VI. Отжиг	VII. Обработка	VIII. Упаковка, хранение, транспорт	IX. Употребление
А. Камни	Плохое измельчение  Образование комков  Нерастворимые посторонние тела	Недостаточная температура Неудовлетворительный рабочий режим печи Отделение частиц огнеупора	Отделение частиц огнеупора	—	—	—	—	—	—
Б. Шлиры	Наличие крупных кусков и комков	Отделение частиц огнеупора Капание свода и боковых стен	Капание свода и боковых стен	—	—	—	—	—	—
В. Свиль	Неудовлетворительное смешивание Расслаивание шихты  Несоответствующая зернистость	Недостаточная температура Колебания температуры  Неудовлетворительные внутренние потоки Усиленное растворение огнеупора	Температурные колебания Пропуск заграждений  Местное растворение огнеупора	Температурные колебания  Местное растворение огнеупора	Температурные колебания  Увлечение нитей при ручной работе Обратное стекание набранного стекла в боты и кранцы Влияние застойного стекла в фидерных ковшах	—	—	—	—
Г. Пузыри	Недостаточное количество газообразующих компонентов Влияние зернистости	Недостаточная температура Неправильное состояние атмосферы печи Выделение газов из огнеупора	Недостаточная температура Недостаточная продолжительность периода Слишком вязкое стекло Выделение газа из огнеупора	Незаконченные реакции  Выделение газа огнеупорами  Выделение газа посторонними телами Температурные колебания	Выделение газов огнеупорами Образование пузырей при наборке  Влияние атмосферы печи	—	—	—	—



Процессы образования стеклянных изделий Наименование пороков	Подготовительная стадия	Образование стекломассы		
	I. Изготовление шихты	II. Плавка	III. Осветление	IV. Студка
Г. Пузыри	—	Образование щелочной пены	Выделение газа из посторонних тел Газы из щелочной пены	—
Д. Неправильности окраски и пятнистость	Несоответствующий подбор компонентов: качественный и количественный Загрязнения	Образование щелочной пены Выгорание красителей и обелителей Реакции с печными газами	Выгорание красителей и обелителей Реакции с печными газами	Влияние печной атмосферы Продолжающиеся химические реакции
Расстекловывание	—	—	—	Действие нижних холодных слоев  Продолжительность выдержки при низкой температуре Неудовлетворительный состав стекла Действие пыли
Ж. Недостатки оформления	—	—	—	—

Изготовление изделий			Заключительные стадии	
V. Оформление	VI. Отжиг	VII. Обработка	VIII. Упаковка, хранение, транспорт	IX. Употребление
—	—	—	—	—
Влияние печной атмосферы Продолжающиеся химические реакции	Влияние печной атмосферы Продолжающиеся химические реакции	—	—	—
Температурные влияния в выработочной части печи Неудовлетворительный состав стекла Режим работы Неудовлетворительные термические условия	Несоответствие теплового режима и состава стекломассы	Несоответствие состава стекла для разных видов термической обработки (отрезка, затопка, обжиг живописного товара)	—	—
Несоответствующая рабочая вязкость	Деформации от высокой температуры	Дефекты обработки	—	—



Процессы образования стеклянных изделий	Подготовительная стадия	Образование стекломассы		
		II. Плавка	III. Осветление	IV. Студка
Наименование пороков	I. Изготовление шихты			
Ж. Недостатки оформления	—	—	—	—
З. Напряжения, бой, повреждения механические	—	—	—	—
И. Налеты, пятна	Расслоение шихты	Образование щелочной пены  Влияние расслоения шихты	Продвижение щелочной пены  Действие печной атмосферы  Пыление шихты при засыпке Заносы сажи из газогенераторов	Влияние щелочной пены  Действие печных газов  Пыление шихты

Изготовление изделий			Заключительные стадии	
V. Оформление	VI. Отжиг	VII. Обработка	VIII. Упаковка, хранение, транспорт	IX. Употребление
Прилипание к форме  Неправильное распределение стекла  Недостатки аппаратуры Неправильности работы	—	Недостатки аппаратуры и приспособлений Деформации при термической обработке	—	—
Быстрое охлаждение (закалка)  Повреждения поверхности и целости	Повреждения поверхности и целости  Неправильный режим отжига	Повреждение поверхности и целости (неосторожное обращение и состояние аппаратуры) Образование напряжений при термической обработке	Неудовлетворительная упаковка  Способы хранения (влияние сырости)  Толчки и удары (повреждение целости, царапины, щербин, сколки)	Температурные колебания  Давление, падение, толчки и удары, износ
Осаждение пыли из шихты при наборке  Действие печных газов  Налеты от масла и других видов смазки форм и машин	Действие печных газов  Пылевые налеты	Копоть и налеты при термической обработке  Неправильный обжиг живописного товара	Недостаточная стойкость стекла в отношении выщелачивания Конденсация сырости в упаковочных материалах Сырые склады Атмосферные осадки	Механическая нестойкость  Термическая нестойкость  Химическая нестойкость



# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ПО ВОПРОСУ О ПОРОКАХ СТЕКЛЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ<sup>1</sup>

П. Григорьев и Л. Муравлев. Стекло. Методы исследования сырья и готовых изделий стекольного производства. C. Stahl, Glasfehler. C. J. Peddle. Defects in Glass (русский перевод под ред. проф. Жуковского).

## Журналы

**Керамика и стекло.** 1933, № 2. А. Лебедев. О причинах полосности машинного листового стекла Фурко.

1934, № 3. Я. Школьников и М. Черняк. Опыт освоения автомата Миллера на стекольном заводе Г. И. Ст.

1934, № 7. А. К. Ковалев. О кристаллизации и полосности стекла, производимого по способу Фурко.

**Украинские силикаты.** 1931, № 11—12. А. К. Ковалев. Материалы для изучения недостатков готового стекла и стеклянной ленты при работе на машинах Фурко.

1932, № 1—2. М. Ф. Шур и П. В. Васильев. Изучение однородности шихты.

**Die Glashütte.** 1930. №№ 21, 44 и 46. F. Zschacke. Oberflächenveränderung u Beschläge auf Glas.

1933, № 26. F. Zschacke. Was sind Schlieren.

„ № 35. Nochmals was sind Schlieren.

„ № 45. L. Springer. Ueber steinigtes Glas.

1934, № 14. Welche Blasenarten giebt es in der Glasschmelze.

**Keramische Rundschau.** 1931, № 32. O. Knapp. Die thermische Widerstandsfähigkeit der Gläser.

**Glastechnische Berichte.** 1923; № 1. F. Späte. Ueber die Untersuchungen von Glas für die Praxis.

1923, № 2. F. Mylius. Thüringer Glas.

1924, № 1. F. Späte. Ueber die Untersuchung von Glas mittels des polarisierten Lichtes.

1926, № 4. F. Späte. Untersuchungen von Glas auf Spannungen.

1926, № 11. L. Springer. Erfahrungen und Untersuchungen über Glasfehler.

1927, № 5. Gehlhoff. Ueber Lagerung und Verpackung von Glaswaren.

1927, № 3. G. Keppeler. Chemische Widerstandsfähigkeit der Gläser.

1928, № 10. J. Enss. Untersuchungen über die Abhängigkeit der relativen Wasserangreifbarkeit des Glases von seiner chemischen Zusammensetzung.

1930, № 9. } F. Hundeshagen. Studien über fehlerhafte Gläser.

1931, № 1. }

1931, № 5. W. Müllensiefen. Entglasungskonstanten technischer Gläser.

**Sprechsaal.** 1927, №№ 28—32. L. Springer. Glastechnische Fabrikationsfehler.

„ № 15. G. Offe. Die Ursachen des Anlaufens der Mundränder von Gläser beim Verschmelzen derselben mit Steinkohlengas.

1931, № 40. G. Offe. Die Homogenität des Glases in der handelsüblichen Ware.

1933, № 7. E. Luck. Ueber einige beim Fourcault Ziehverfahren vorkommenden Fehler und deren Beseitigung.

1933, №№ 49, 50, 51. A. Dietzel. Methoden zur Untersuchung von Steinchen und Knoten im Glas.

1934, № 25. Ueber die Entstehung und das Auftreten Glastechnischer Fabrikationsfehler in verschiedenen Stufen des Glasherstellung.

1934, №№ 40, 41, 42. G. Keppeler und F. Körner. Ueber einige wichtige Eigenschaften der Flaschengläser.

Ceramique, Verrerie, Emaillerie.

1933, № 12. }

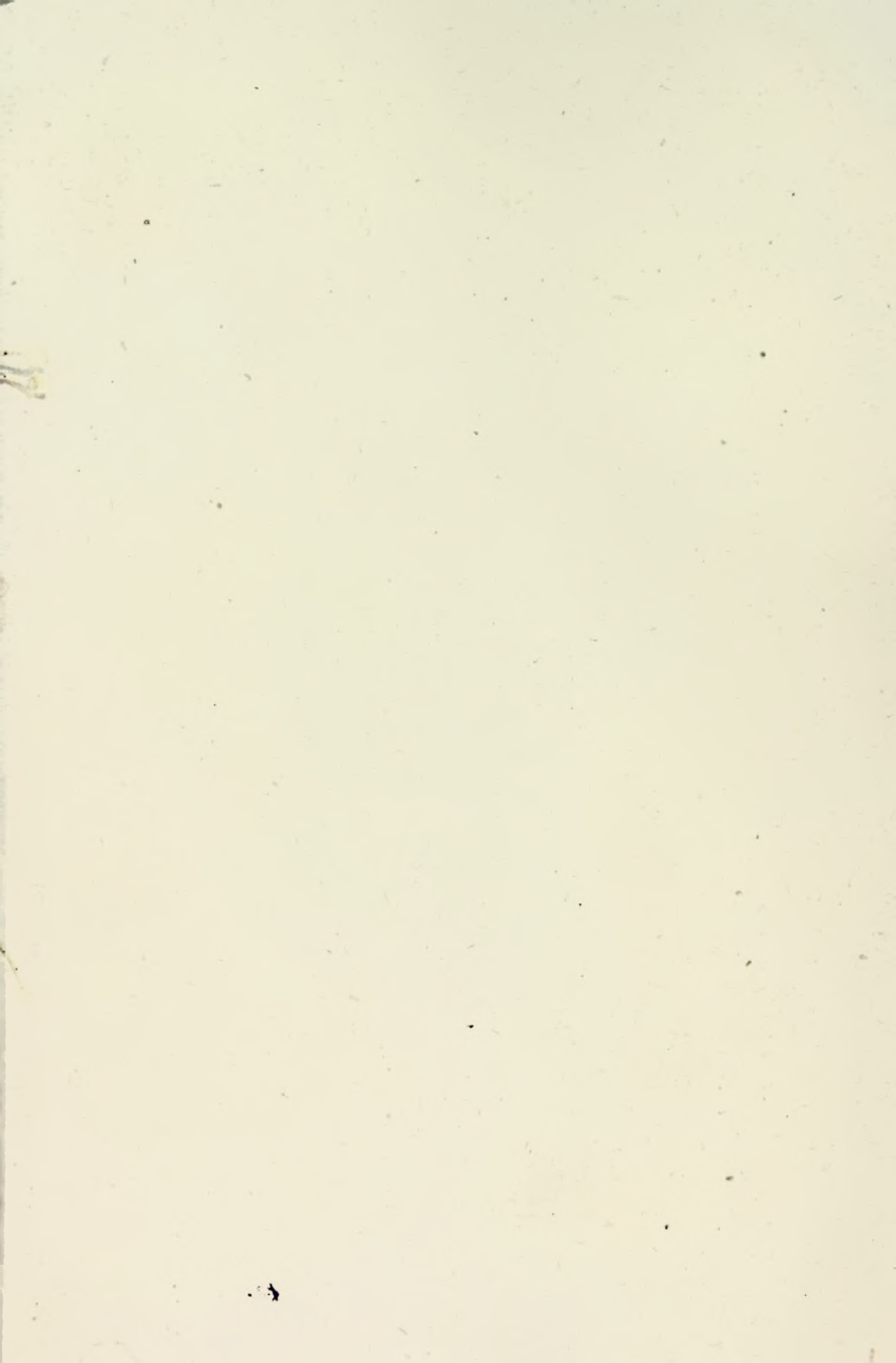
1934, №№ 1, 2 u 4; } A. Granger. Les pierres dans le verre et la dévitrification.

Journal of the American Ceramic Society.

1933, № 9. H. Insley. Determination of the source and means of prevention of stonés in glas.

R. Dalton. Gases in Glas.

<sup>1</sup> Настоящий список составлен при содействии М. Ф. Шура.





000661

ЦЕНА 1 РУБ. 60 КОП.

**СКЛАДЫ ИЗДАНИЙ:**

Москва, ул. Разина, д. № 9, Гизлегпром.

Ленинград, Гостиный двор, Большая Суровская  
линия № 126, склад Гизлегпрома.

Продажа во всех магазинах КОГИЗ'а.