



دانشگاه ساسان نور  
په

# کارگاه شیشه‌گری

(رشته شیمی)

رقیه قدیم‌خانی

## فهرست مطالب

هفت

پیشگفتار

فصل اول

۱  
۳  
۱۰

شیشه  
ترکیبات شیشه  
شیشه‌های رنگی

فصل دوم

۱۳  
۱۳  
۱۴  
۱۴  
۱۵  
۱۵  
۱۶  
۱۶  
۱۷  
۱۸

خطرات شیشه‌گری آزمایشگاهی  
خطرات ناشی از شیشه  
خطرات سوختگی  
خطرات مربوط به چشم  
آمفیزم  
جیوه  
خطرات ناشی از ادوات شیشه‌ای تعمیری  
خطرات ناشی از گاز  
تمیز کردن لوله‌های شیشه‌ای  
دمیدن

فصل سوم

۲۳  
۲۴  
۳۰  
۳۴

اندازه‌گیری قطر لوله‌های شیشه‌ای  
ابزار برش  
چراغ‌های رومیزی و مشعل‌های دستی  
گازهای سوختنی

|    |                           |
|----|---------------------------|
| ۳۶ | گاز هیدروژن               |
| ۳۶ | گاز طبیعی                 |
| ۳۷ | سوخت‌های مایع حاصل از نفت |
| ۳۷ | هوای فشرده                |
| ۳۸ | اکسیژن                    |
| ۳۸ | شعله‌ها                   |

## فصل چهارم

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| ۴۱ | فنون مقدماتی شیشه‌گری               |
| ۴۱ | بریدن ورق‌های شیشه‌ای               |
| ۴۴ | سوراخ کردن ورق‌های شیشه‌ای          |
| ۴۸ | پرداخت نمودن انتهای باز لوله‌ها     |
| ۵۲ | ایجاد قطره‌چکان                     |
| ۵۷ | تهیه‌ی لوله آزمایش                  |
| ۶۰ | خمیدگی‌ها                           |
| ۶۲ | خمیدگی‌های تیز                      |
| ۶۴ | متصل کردن میله‌های شیشه‌ای          |
| ۶۵ | نقطه‌گذاری                          |
| ۶۶ | اتصال‌های T شکل                     |
| ۶۷ | قطعات Y شکل                         |
| ۶۹ | اتصال لوله‌های با قطره‌های مختلف    |
| ۷۲ | لوله‌های آب و لوله‌های جانبی        |
| ۷۵ | ایجاد حباب به وسیله‌ی دمیدن         |
| ۷۷ | دمیدن حباب در انتهای یک لوله        |
| ۸۰ | لوله‌های جانبی خمیده یا لوله‌های آب |
| ۸۱ | جوش‌های حلقوی چند تایی و داخلی      |
| ۸۲ | زانویی جمع‌کننده‌ی بزاق             |
| ۸۷ | دستگاه تثبیت سطح مایعات             |
| ۸۷ | تهیه‌ی مبرد ساده تمام شیشه‌ای       |

## پیشگفتار

چنانچه در این مقطع زمانی که پهنه‌ی علوم هر روز وسیع‌تر و چیرگی بشر بر ناشناخته‌ها و مجهولات افزون‌تر می‌گردد، نظری واقع‌بینانه بر کشور خود بیفکنیم، آن را زورقی رها گشته در این اقیانوس می‌یابیم که برای رسیدن به ساحل قایق‌رانی مجرب، تلاش و کوشش خستگی‌ناپذیر و امیدی جاودانه را طلب می‌کند.

منبع علمی مذکور بدین منظور تهیه گردید که شما دانشجوی عزیز را با علم، حرفه و هنر بسیار ظریف شیشه‌گری آشنا کند که به کاربردهای متنوع و نقش آن در صنایع پی ببرد.

هر دانشمندی عملاً مجبور است که کم و بیش از ظروف شیشه‌ای آزمایشگاهی استفاده کند. بسیاری از دانشمندان حداقل در زمینه‌ی یادگیری کارهای ابتدایی شیشه‌گری تلاش‌هایی کرده‌اند. داشتن تجربه در هر دو زمینه‌ی علمی و کار عملی شیشه‌گری، شخص را در مورد کیفیات مختلف شیشه آگاه می‌نماید و او را قادر می‌سازد که از یک طرف محصولات شیشه‌ای بسیار ضروری را بازیابی و ظرافت خاص به‌دست آورد و از طرف دیگر برای ساخت این محصولات، مهارت پیشه‌وری را که با این ماده‌ی رام نشدنی سروکار دارد به نحو کامل و دقیق در اختیار بگیرد. شیشه‌گری ... هنر است و استادی در یک هنر به شجاعت و روحیه‌ی ماجراجویی نیاز دارد. هنر از کسانی که در این راه گام می‌نهند، خصلت انسانی و روح از خودگذشتگی خاصی طلب می‌کند.

شرح روش‌های شیشه‌گری یا فراگیری آن‌ها از طریق خواندن کلمات چاپ شده کار ساده‌ای نیست، ولی هر مبتدی می‌تواند از این منبع اطلاعات علمی که با جزئیات

در بخش‌های اولیه‌ی کتاب به همراه تصاویر و عکس‌های مربوطه گردآوری شده‌اند، به نحوی بهره‌مند گردد.

آزمایشگاه‌های آموزشی، صنعتی و تحقیقاتی مدرن، فعالیت‌هایی را انجام می‌دهند که استفاده از دستگاه‌های شیشه‌ای در آن‌ها ضروری است. بسیاری از این شیشه آلات تا حد امکان از فروشندگان لوازم آزمایشگاهی، به‌عنوان بهترین و مقرون به‌صرفه‌ترین منابع تهیه این لوازم، خریداری می‌شوند. ولی علم هرگز ایستا و ساکن نیست. روش‌های جدید و اصلاح شده‌ای دائماً طرح و ارائه می‌شوند و دستگاه‌های علمی آزمایشی مربوطه می‌بایست مرتباً ساخته، اصلاح و تعمیر شوند. برای پاسخ‌گویی به بخشی از این نیازها، در پهنه‌ی وسیع رشته‌های علمی نام شیشه‌گر آزمایشگاهی نیز وارد شده است. آن‌هایی که از امتیاز خواندن اوراق، گزارش‌ها و تزه‌های علمی برخوردارند در مورد ارزیابی اهمیت و ارزش فوق‌العاده‌ی خدمت شیشه‌گر به علم هیچ تردیدی به خود راه نمی‌دهند.

شیشه‌گر برای کارآیی هرچه بیشتر می‌بایست با امکانات و محدودیت‌های شیشه آشنا باشد. او می‌بایست توانایی و علاقه به بحث در مورد طرح دستگاه‌های علمی را داشته باشد، دانش و تجربه‌ی خود را در مباحث علمی ارائه دهد، از اجرای فنون جدید و مشکل برآید.

در این کتاب در طی فصول مختلف شما با اولین مراحل فنون شیشه‌گری آشنا خواهید شد که در فصول بعدی آن به مراحل پیشرفته‌تر خواهید رسید و نهایتاً هنر و فن شیشه‌گری را همگام با عمل در آزمایشگاه یاد خواهید گرفت.

در تهیه‌ی این کتاب از منابع اطلاعاتی بسیاری از قبیل کتاب‌های شیشه‌گری، جزوات اطلاعاتی تولیدکنندگان لوله‌های شیشه‌ای، کاتالوگ‌های فروشندگان لوازم آزمایشگاهی و همچنین از تجربه‌ی شیشه‌گرهای مجرب استفاده شده است. امید است که دانشجویان عزیز با مطالعه‌ی این کتاب به همراه کار عملی در آزمایشگاه شیشه‌گری را یاد گیرند.

با آرزوی موفقیت و توفیق روزافزون برای شما دانشجویان

دانشگاه پیام نور

رقیه قدیم‌خانی

# فصل اول

## شیشه

تاریخ اختراع شیشه که از ساخته‌های دست بشر است را تنها می‌توان حدس زد ولی به احتمال قوی شیشه اولین بار در حدود چهارهزار سال پیش ساخته شده است.

در مورد هنر شیشه‌سازی کتب زیادی وجود دارد که می‌توان در کتابخانه‌های فنی یافت که مطالعه‌ی آن‌ها به دانش و اطلاعات ما می‌افزاید. برای ساختن شیشه مقادیر متناسبی از موادی که قبلاً به دقت آسیاب شده‌اند را خوب مخلوط کرده و سپس این مواد را در کوره ذوب می‌نمایند. وقتی که شیشه یکنواخت و خالی از حباب هوا و مواد خارجی گردید، از همان حالت مذاب از طریق کشیدن، تحت فشار قرار دادن، قالب‌ریزی یا دمیدن به شکل موردنظر درآورده می‌شود.

باید توجه داشت که شیشه را نمی‌توان مثل فلزات و مواد پلاستیک در قالب تزریق نمود زیرا شیشه مذاب به قالب‌های داغ می‌چسبد و در تماس با قالب‌های سرد نیز سخت و شکل‌ناپذیر می‌گردد.

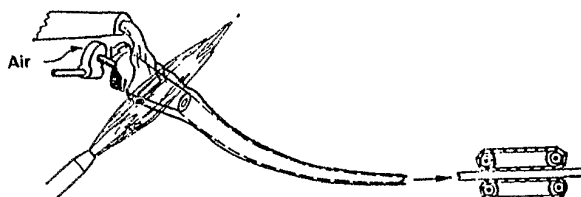
لوله‌ها و میله‌های شیشه‌ای که در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. به یکی از سه طریق زیر ساخته می‌شوند. اولین و قدیمی‌ترین روش به یک گروه ماهر نیاز دارد که به شیشه‌گرهای اولیه مشهورند. یک عضو این گروه از یک لوله‌ی آهنی به طول تقریبی ۱۵۰ سانتیمتر استفاده می‌نماید، لوله‌ای که در یک سر آن لب تعبیه شده و سر دیگر آن اندکی پهن است. سر پهن این لوله که به لوله‌ی دم معروف است را چندبار در شیشه مذاب فرو برده و می‌گردانند تا گلوله‌ای به اندازه‌ی دلخواه تشکیل شود در این لحظه لوله‌ی دم به نفر دوم گروه داده می‌شود. او با عملیات ماهرانه‌ای گلوله مذاب

را شکل می‌دهد و سپس در داخل آن می‌دمد. نفر سوم در این لحظه سر پهن لوله دم دیگری که قبلاً داغ شده است را به انتهای این گلوله مذاب می‌چسباند و سپس این دو نفر درحالی‌که شیشه گداخته را می‌گردانند به آهستگی از هم دور می‌شوند و بدین ترتیب یک لوله درست می‌کنند. در این روش سانت لوله‌های شیشه‌ای با قطر داخلی و ضخامت جداره یکنواخت و مشخص تنها به‌دست شیشه‌گرهای ماهر و مجربی امکان‌پذیر است که می‌توانند همزمان با کشیدن لوله و گرداندن آن، به کمک دمیدن ابعاد و اندازه‌ها را نیز کنترل نمایند.

این گروه سه نفره می‌توانند لوله و میله شیشه‌ای به هر قطری که مورد نظر باشد تولید کنند و ضمناً می‌توانند ضخامت جداره‌ی لوله را با تغییراتی بسیار کم حفظ نمایند. نکته‌ی جالب توجه این است که طول لوله‌های شیشه‌ای به قطر سه میلیمتر، وقتی که کاملاً کشیده می‌شوند به ۷۵ متر می‌رسند.

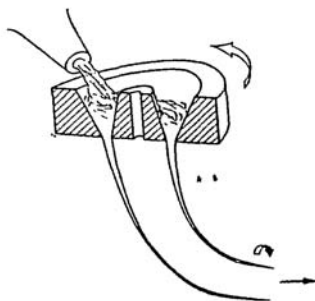
روش دوم روش ماشین‌های ممتد است که در آن‌ها جریانی از شیشه مذاب که از یک کوره خارج می‌شود بر روی چرخ مخروط توخالی گردانی می‌ریزد و در آنجا به‌صورت توده‌ی مذاب صاف و همگنی که مدام در حال گردش است درمی‌آید. سپس این شیشه از انتهای چرخ مخروط خارج می‌گردد و به‌وسیله‌ی غلطک‌ها کشیده و به طول‌های معین بریده می‌شود. در این روش قطر لوله و ضخامت جداره آن به‌وسیله‌ی عوامل زیر تعیین می‌گردد:

۱. کنترل دمای شیشه مذاب
۲. نسبت کشیده شدن شیشه به‌وسیله‌ی غلطک‌ها
۳. فشار هوایی که درون چرخ مخروط توخالی دمیده می‌شود
۴. سرعت گردش چرخ مخروط توخالی. (شکل ۱-۱)



شکل ۱-۱. کشیدن لوله با ماشین - روش وانر. جریان ممتد شیشه مذاب بر روی مخروط گردان توخالی می‌ریزد و به شکل لوله کشیده می‌شود.

روش سوم نیز روش ماشین‌های ممتد است با این تفاوت که جریان شیشه مذاب به جای چرخ مخروط به‌طور عمودی از میان یک شیار مدور عبور می‌کند و ادامه‌ی کار شبیه روش دوم است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. کشیدن لوله با ماشین - روش ولو. جریان شیشه مذاب بر روی یک جام گردنده که در اینجا مقطع آن نشان داده شده می‌ریزد و به شکل لوله خارج می‌شود.

توضیحات مختصر بالا نشان داد که ساخت شیشه و به شکل لوله درآوردن آن، کارهای صنعتی بسیار دقیق و ماهرانه‌ای هستند. بد نیست بدانیم شیشه‌هایی که در ساخت لوازم آزمایشگاهی به‌کار می‌روند درصد کوچکی از مقدار شیشه‌ای هستند که در یک سال در جهان تولید می‌شود و این مقدار تقریباً نزدیک تولید سالانه‌ی فولاد در جهان می‌باشد.

### ترکیبات شیشه

تعداد ترکیبات شیشه بسیار زیاد است به‌طوری که تاکنون بیش از ۶۵۰۰ ترکیب مختلف ساخته شده و مشخصات و خواص آن‌ها ثبت گردیده است. این ترکیبات ممکن است تقریباً نیمی از عناصر جدول تناوبی را به نسبت‌های مختلف دارا باشند و مشخصات فیزیکی و شیمیایی و اپتیک هر ترکیب با ترکیب دیگر فرق دارد.

ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع شیشه‌ای که ساخته می‌شود به شیشه قلیایی معروف است که تقریباً ۷۳٪ سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )، ۱۳٪ اکسید کلسیم (Cao) و ۱۴٪ اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) دارد. این شیشه در پنجره و به مقدار زیادی در ساخت بطری و ظروف شیشه‌ای به‌کار می‌رود. این نوع شیشه‌ها یک ماده‌ی اضافی نیز دربر دارند که به عامل



صاف‌کننده معروف است و باعث کاهش ویسکوزیته (غلظت و چسبندگی) شیشه مذاب در کوره می‌شود و در نتیجه حباب‌های گاز و خرده‌های دیواره کوره شناور شده و به سطح مایع مذاب می‌آیند. متأسفانه این ماده اضافی موجب می‌گردد که شیشه در مراحل بعدی بر اثر شعله‌ی چراغ، کریستال بشود و بنابراین چنین شیشه‌ای برای کارهای شیشه‌گری ساخت لوازم آزمایشگاهی مناسب نیست.

البته کارخانجات شیشه‌سازی روش‌های تولید خود را چنان کامل کرده‌اند که بدون استفاده از عامل صاف‌کننده نیز محصولات آن‌ها از هرگونه حباب هوا (که به آن خط می‌گویند) و خرده‌های مواد کوره (که به آن شن می‌گویند) عاری است.

عیب یا نقص دیگری که به ندرت در شیشه‌های جدید دیده می‌شود به نخ شیشه معروف است. نخ در اشیاء و لوله‌های شیشه‌ای به‌صورت یک خط باریک موج‌دار به چشم می‌خورد، خطی که مرز بین دو ناحیه از شیشه با ضرایب شکست نوری مختلف را تشکیل می‌دهد. علت به‌وجود آمدن نخ شیشه این است که مواد متشکله کاملاً با هم مخلوط نشده‌اند. حباب هوا، شن و نخ شیشه تأثیر چندانی در کار شیشه‌گری و یا در استحکام و مقاومت مکانیکی شیشه ندارند، اما ظاهر شیشه را به‌صورت ناخوشایندی خراب می‌کنند.

شیشه‌هایی که در کارگاه‌های شیشه‌گری به‌کار می‌روند، غالباً به شکل لوله یا میله ساخته می‌شوند. مسئله بسیار مهم این است که کلیه شیشه‌هایی که از یک نوع خاص در سفارشات متوالی به‌دست شیشه‌گر می‌رسد، باید دارای خواص فیزیکی و تا حدودی شیمیایی باشد. این مسئله از نقطه‌نظر یک شیشه‌گر حائز اهمیت فراوانی است، زیرا او باید این مواد را به نحو موفقیت‌آمیزی به یکدیگر متصل نماید.

این شیشه‌ها به‌طور کلی به سه طبقه اصلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

۱. شیشه‌های قلیایی

۲. شیشه‌های بوروسیلیکات

۳. شیشه‌های مخصوص

### شیشه قلیایی

شیشه قلیایی که به سادگی به اشکال مختلف درمی‌آید در ساخت آن دسته از وسایل

آزمایشگاهی که احتیاج به طرح پیچیده و جداره ضخیم ندارند و با حرارت زیاد نیز در تماس نیستند و همچنین در ساخت چراغ‌ها و تابلوهای نئون به کار می‌رود. کار با شیشه قلیایی و تاباندن (عملیات حرارتی کاهنده‌ی شکنندگی) آن در شعله گاز و هوای فشرده بسیار آسان است. این شیشه می‌تواند با آلیاژهای آهن و کرم جوش خورده و متصل شود. حداکثر دمایی که این شیشه در هنگام استفاده تحمل می‌کند ۴۵۰ درجه سانتیگراد و مقاومت آن در برابر تغییرات ناگهانی دما ۱۱۵ درجه سانتیگراد است. این شیشه در ۵۶۰ درجه سانتیگراد نرم می‌شود و در بیش از این درجه امکان اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی وجود ندارد. البته برای انجام کارهای شیشه‌گری و ساخت وسایل از شیشه قلیایی دمای بیشتری لازم است. منظور از حداکثر دمایی که شیشه تحمل می‌کند، بالاترین دمایی است که در آن شیشه بدون اینکه تنش یا تغییر شکل دائمی پیدا کند می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

مقاومت در تغییرات ناگهانی دما (شوک حرارتی) عبارت است از طیفی از دما که در آن ظرف شیشه‌ای با ضخامت جداره متوسط بر اثر سرد شدن ناگهانی نمی‌شکند. ضریب انبساط حرارتی شیشه مهم‌ترین مشخصه فیزیکی آن است و تعریف آن برای تمام جامدات عبارت است از مقدار افزایش طولی هر واحد طول به ازای افزایش یک درجه حرارت. ضریب انبساط حرارتی یک نسبت است و بنابراین واحدی ندارد. با وجود این لازم است واحد اندازه‌گیری و دمایی که در محاسبه آن به کار رفته است را مشخص کنیم. ضریب انبساط شیشه قلیایی بین  $20^{\circ}$  سانتیگراد و  $350^{\circ}$  سانتیگراد در حدود  $9/6 \times 10^{-6}$  در هر درجه سانتیگراد است.

شیشه‌ی قلیایی نو در شعله خیلی مقاوم است، در صورتی که زمان کار خیلی طولانی نشود و یا دمای شعله خیلی پایین نباشد. حال لحظه‌ای برمی‌گردیم به یکی از تعاریف شیشه که بیشتر پذیرفته شده است. شیشه یک ماده معدنی است در شرایطی که ادامه‌ای از حالت مایع همان ماده و مشابه با آن می‌باشد؛ ولی در اثر تغییر قابل برگشت ویسکوزیته در هنگام سرد شدن چنان درجه‌ی ویسکوزیته‌ی بالایی کسب کرده که برای تمام مقاصد عملی سخت و شکننده شده است. تولیدکنندگان شیشه باید نسبت عناصر محصولات خود را طوری انتخاب کنند که پس از سرد شدن محصول کریستالیزه نشود. با این وجود اگر سطح شیشه برای مدت قابل توجهی در معرض مایعات حلال و یا

رطوبت هوا قرار بگیرد قسمتی از مواد متشکله شیشه در لایه سطحی ممکن است خراب شوند. در نتیجه ترکیب این لایه سطحی تغییر پیدا می‌کند و تعادل شیمیایی شیشه از بین می‌رود. این لایه سطحی ممکن است بر اثر حرارت دیدن و سپس سرد شدن شیشه کریستالیزه شود. این کریستالیزه شدن سطحی، شفافیت طبیعی شیشه را از بین می‌برد و به خوردگی شیشه معروف است. این حالت برای شیشه‌های کهنه و ظروف آزمایشگاهی که برای مدت طولانی استفاده شده‌اند پیش می‌آید و معمولاً وقتی به آن پی می‌بریم که بخواهیم تعمیر یا تغییری در شیشه انجام دهیم و در نتیجه آن را در مجاورت شعله قرار دهیم. چنین شیشه‌هایی باید دور ریخته شوند.

| درصد | مواد متشکله‌ی شیشه‌ی قلیایی                 |
|------|---------------------------------------------|
| ۷۰/۵ | سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )                    |
| ۲/۶  | اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) |
| ۵/۷  | آهک ( $\text{CaO}$ )                        |
| ۲/۹  | اکسید منیزیم ( $\text{MgO}$ )               |
| ۱۶/۳ | اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ )        |
| ۱/۲  | اکسید پتاسیم ( $\text{K}_2\text{O}$ )       |
| ۰/۵  | انیدرید بوریک ( $\text{B}_2\text{O}_3$ )    |
| ۰/۲  | انیدرید سولفوریک ( $\text{SO}_3$ )          |

### شیشه بوروسیلیکات

در طول ۵۵ سال اخیر انواعی از شیشه‌های بوروسیلیکات که برای کارهای عمومی ساخت لوازم آزمایشگاهی مناسب هستند به دست آمده‌اند و اکنون در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با چند مقایسه خواهیم دید که برتری‌های شیشه‌های بوروسیلیکاتی باعث شده است که برای مصارف آزمایشگاهی بیش از شیشه‌های قلیایی استفاده شوند. به تجربه ثابت گردیده است که اغلب شیشه‌گران سازنده‌ی وسایل آزمایشگاهی ترجیح می‌دهند از شیشه‌های بوروسیلیکات استفاده کنند و متخصصین آزمایشگاه نیز ترجیح می‌دهند که از این وسایل شیشه‌ای استفاده نمایند.

بعضی از برتری‌های شیشه‌های بوروسیلیکات نسبت به شیشه‌های قلیایی عبارت‌اند از:

\* ضریب انبساط حرارتی این نوع شیشه بسیار پایین تر و در نتیجه خطر شکستن آن‌ها در هنگام گرم کردن و یا سرد کردن ناگهانی کمتر است.

\* اشیای شیشه‌ای را می‌توان با جداره ضخیم‌تر درست کرد به طوری که بدون تأثیر در مقاومت حرارتی، مقاومت مکانیکی زیادی نیز داشته باشند.

\* مقاومت این نوع شیشه در تماس با مواد شیمیایی زیاد است و امکان خرابی سطح شیشه بر اثر مرور زمان کمتر است و امکان ایجاد خوردگی نیز به شدت کاهش می‌یابد. مهم‌تر این که امکان خراب شدن مایعات و حلال‌های محتوی این ظروف بر اثر مواد جداره داخلی شیشه نیز از بین می‌رود.

\* این شیشه‌ها سخت‌تر هستند و در مقابل سایش سطحی بیشتر مقاومت می‌کنند و در نتیجه مقاومت مکانیکی آن‌ها نیز بیشتر است.

\* اگر شیشه مورد استفاده از جنس بوروسیلیکات باشد بسیاری از لوازم آزمایشگاهی شیشه که ساختن آن‌ها از شیشه قلیایی بسیار مشکل و یا غیرممکن است را می‌توانیم بسازیم و یا تعمیر نماییم.

بعضی از معایب شیشه‌های بوروسیلیکات عبارت‌اند از:

\* شیشه‌های بوروسیلیکات از شیشه‌های قلیایی گران‌تر هستند.

\* چون شیشه‌های بوروسیلیکات برای کار به حرارت بیشتری نیاز دارند، باید از چراغ‌های شیشه‌گری یا مشعل‌های دستی استفاده شود که مجهز به شیرهای اکسیژن و یا هوای فشرده هستند. چنین حرارت زیادی بر روی شیشه به مدت زیادی دوام نمی‌آورد و بنابراین شیشه را باید به سرعت شکل داد زیرا شیشه بلافاصله پس از دورکردن از شعله سرد و خشک می‌شود.

\* در اتصالات شیشه‌های بوروسیلیکات باقی ماندن سوراخ‌های سوزنی رایج است و اغلب اتفاق می‌افتد، و بنابراین توجه زیادی باید به تمیزی و ذوب کامل اتصالات ابراز گردد.

حداکثر دمایی که شیشه‌های بوروسیلیکات تحمل می‌نمایند تا حد ۵۰۰ درجه سانتیگراد و با بعضی ترکیبات به خصوص تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. انواع به خصوصی از این شیشه برای اتصال با آلیاژهای آهن - نیکل - کبالت و با مولیبدنیم و تنگستن به کار می‌رود. شیشه بوروسیلیکات برحسب نوع ترکیب آن در حدود دمای

۶۲۵ درجه نرم می‌شود و ضریب انبساط حرارتی آن نیز به نوع ترکیب بستگی دارد و از  $۳/۳ \times ۱۰^{-۶}$  در هر درجه‌ی سانتیگراد برای شیشه‌های معمولی بوروسیلیکات (که معمولاً برای وسایل آزمایشگاهی به کار می‌روند) تا  $۷/۲ \times ۱۰^{-۶}$  در هر درجه سانتیگراد برای انواع مخصوص (که در جوش‌های پیوندی به کار می‌روند) متغیر است. دمای عملیات حرارتی تاباندن به منظور بادوام کردن این شیشه برحسب نوع ترکیبات آن از ۵۱۰ درجه تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد است.

| مواد متشکله شیشه بوروسیلیکات          | درصد ترکیبات |
|---------------------------------------|--------------|
| سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )              | ۷۴/۳         |
| آلومینا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )   | ۲/۰۰         |
| اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ )  | ۴/۵          |
| اکسید پتاسیم ( $\text{K}_2\text{O}$ ) | ۲/۰۰         |
| اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ )          | ۰/۲          |
| اکسید بور ( $\text{B}_2\text{O}_3$ )  | ۱۷/۰۰        |

### شیشه‌های مخصوص

#### شیشه سرب (شیشه با ضریب انکسار زیاد)

این شیشه غالباً در صنایع برق و الکترونیک از جمله در ساخت لامپ‌های رادیویی به کار می‌رود. این شیشه به سادگی به سیم‌های پلاتین و سیم‌های مواد (آب مس داده شده) جوش خورده و اتصالات محکم و بادوامی حتی در شرایط خلأ ایجاد می‌نماید. شیشه سرب به شیشه‌ی قلبایی نیز متصل می‌شود. پایداری این شیشه در شعله‌ی مناسب قابل توجه است و هیچ‌گونه اثری از خوردگی نشان نمی‌دهد. برای کار کردن با شیشه سرب باید از شعله‌های اکسیدکننده استفاده شود زیرا در غیراین صورت اکسید سرب واقع در لایه سطحی شیشه احیا شده و به فلز سرب تبدیل می‌گردد و این حالت باعث می‌شود که سطح شیشه رو به سیاهی برود و شفافیت خود را از دست بدهد. چنین شیشه‌ای دیگر برای کار کردن و جوش دادن مناسب نخواهد بود و همیشه نمی‌توان سرب به وجود آمده را مجدداً اکسید نمود. ضریب انبساط حرارتی شیشه سرب  $۹/۰۵ \times ۱۰^{-۶}$  در هر درجه سانتیگراد و حداکثر دمایی که تحمل می‌نماید ۳۵۰ درجه سانتیگراد است. مقاومت شیشه سرب در مقابل تغییرات ناگهانی درجه حرارت تا ۱۲۰

درجه است و دمای تاباندن این شیشه ۴۳۰ درجه سانتیگراد است.

| درصد مواد | مواد متشکله شیشه سرب                        |
|-----------|---------------------------------------------|
| ۵۶/۰۰     | سیلیس ( $\text{SiO}_2$ )                    |
| ۱/۳       | اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) |
| ۳۰/۰۰     | اکسید سرب (pbo)                             |
| ۸/۰۰      | اکسید پتاسیم ( $\text{K}_2\text{O}$ )       |
| ۴/۶       | اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ )        |

### سیلیس

اگر قرار باشد وسایل شیشه‌ای در دمایی بیش از دمایی که شیشه بوروسیلیکات تحمل می‌نماید به کار روند، از شیشه دیگری به نام سیلیس بلوری یا شیشه کوارتز استفاده می‌شود. ساختن سیلیس ۱۰۰٪ و کار با آن مشکل است، چون سیلیس در دمای کار تمایل به تبخیر شدن دارد. بنابراین شیشه کوارتز که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای ۹۹/۸ درصد سیلیس است. دمای کار با این شیشه در حدود ۱۸۰۰ درجه سانتیگراد است و شیشه‌گر باید حتماً به عینک محافظ مجهز باشد. ضریب انبساط حرارتی شیشه کوارتز  $10^{-6} \times 5/0$  در هر درجه سانتیگراد و دمای تاباندن آن ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد است. برای تاباندن ظروف و آلات سیلیسی که ضخامت جداره آن‌ها تا دو میلیمتر است می‌توانیم از شعله استفاده کنیم. طیف دمایی که در آن سیلیس شکل‌پذیر و نرم است به‌طور محسوسی کوتاه است و برای عملیات شکل دادن آن به جای دمیدن از ابزارهای زغالی و یا ساخته شده از مولیبدنیم استفاده می‌شود. لوله‌های سیلیسی در ابعاد مختلف و در چهار نوع تولید می‌شوند. نوع اول که به شیشه‌ی جلا داده شده معروف است، شفافیت و دارای سطوح داخلی و خارجی صاف است و از آن به‌عنوان پوشش ترموکوپل و نمونه‌هایی از اجاق‌ها و کوره‌های گازی استفاده می‌شود. نوع دوم که دارای سطوح خارجی زیر و ناهموار است در ساختمان کوره‌های الکتریکی به کار می‌رود و به شیشه شنی معروف است. نوع سوم از گداختن بیشتر لوله‌های معروف به شنی به‌دست می‌آید که سطح داخلی و خارجی آن نسبتاً صاف‌تر می‌شود و برای کارهای شیمیایی و یا احتراقی در فشار جو و یا تحت خلأ به کار می‌رود و به شیشه‌ی لعاب‌دار معروف

است. نوع چهارم که دارای شفافیت زیاد در برابر نور مرئی و اشعه‌های ماورای بنفش و مادون قرمز است، قدرت مکانیکی و مقاومت به خوردگی بیشتری از شیشه‌های نیم‌شفاف دارد و برای کار در خلأ زیاد توصیه می‌شود. این شیشه به لوله شیشه‌ای استاندارد شفاف معروف است. لوله شیشه‌ای استاندارد شفاف بسیار گران‌تر از شیشه نیم‌شفاف است. نوعی از شیشه سیلیسی با خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار نزدیک به شیشه کوارتز در آمریکا تولید می‌شود (در کشورهای دیگر نیز موجود است) که به سیلیس ۹۶٪ معروف است و ترکیب آن چنین است.

|                 |       |
|-----------------|-------|
| سیلیس           | ۹۶/۵٪ |
| اکسید بور       | ۳/۰۰٪ |
| اکسید آلومینیوم | ۰/۵٪  |

این شیشه در دمای ۱۵۲۰ درجه شکل‌پذیر می‌شود و می‌توانیم آن را بدون ترس از تبخیر سیلیس بدمیم یا بچسبانیم. این شیشه را می‌توانیم با چراغ‌هایی که سوخت آن‌ها هیدروژن، گاز زغال سنگ و یا گاز مایع نفت همراه با اکسیژن است ذوب نماییم. ضریب انبساط آن  $10^{-6} \times 8/0$  در هر درجه سانتیگراد است که به‌طور محسوسی از ضریب انبساط شیشه‌های بوروسیلیکات کمتر و اندکی از ضریب انبساط سیلیس خالص بیشتر است. بنابراین استعداد تاباندن خوبی دارد. این شیشه تا دمای ۹۰۰ درجه را بدون تغییر شکل تحمل می‌کند.

### شیشه‌های رنگی

میله و لوله شیشه‌ای رنگی در کارگاه‌های شیشه‌گری آزمایشگاهی کاربرد محدودی دارد. اکثر آن‌ها متعلق به انواع شیشه سربی یا قلیایی هستند و به آسانی به شیشه‌هایی از همان نوع جوش می‌خورند. کار با میله شیشه‌ای رنگی و لوله شیشه‌ای رنگی شفاف مشکل نیست. البته آن‌هایی که از نوع شیشه سربی هستند را می‌بایست در شعله اکسیدکننده‌ای حرارت داد. برای کار با لوله شیشه‌ای مات یا نیمه‌شفاف تجربه و مهارت زیادی لازم است، زیرا ضخامت دیواره لوله می‌بایست به‌طور کاملاً یکنواختی حفظ شود و از طرفی امکان بررسی مستقیم چشمی آن نیز وجود ندارد.

از شیشه‌های رنگی برای مصارف تزئینی مثل علائم برجسته روی دستگاه شیشه‌ای، برای علائم ثبت شده فلزی بر روی شیشه‌ها که به سهولت قابل شناسایی هستند و همین‌طور برای فیلترهای نوری استفاده می‌شود. شیشه‌سازها مواد معدنی مخصوصی را قبل از ذوب کردن شیشه در ظرف نسوز به ترکیبات معمولی آن اضافه می‌کنند. آن‌ها باید علاوه بر رنگ مطلوب، خواصی را در شیشه تولید کنند که از لحاظ کار و ضریب انبساط به شیشه‌های بی‌رنگ مشابه بسیار نزدیک باشد. گرچه مقادیر بسیار کمی از مواد افزودنی برای رنگی کردن شیشه کافی می‌باشد، ولی رنگ نهایی در حرارت معمولی نه تنها به مقدار مواد افزودنی و درجه‌ی خلوص آن، بلکه به ترکیب این مواد افزودنی نیز بستگی دارد.

جدول زیر رنگ‌های تولید شده توسط مواد افزودنی مختلف را نشان می‌دهد.

| رنگ                                                                                                      | ماده‌ی افزودنی                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| زرد                                                                                                      | نقره                               |
| سبز و آبی                                                                                                | اکسید مس                           |
| قرمز یا قوتی                                                                                             | مس کلوئیدی                         |
| زرد                                                                                                      | سولفید کادمیم به تنهایی و با سلیوم |
| سایه‌هایی از قرمز روشن و نارنجی                                                                          | آرسنیک با اکسید سرب                |
| صورتی، قرمز، قهوه‌ای متمایل به قرمز                                                                      | دی‌اکسید سربوم و تیتانیوم          |
| سبز (فیلترهای ماورای بنفش) قرمز مایل به بنفش (کبود)                                                      | دیدیم‌یوم‌ها                       |
| زرد - سبز فلوئورسانت                                                                                     | اورانیوم                           |
| کهربایی                                                                                                  | گوگرد                              |
| سیاه سیر                                                                                                 | گوگرد با سرب، آهن، نیکل یا کبالت   |
| رنگ یا قوتی، قهوه‌ای، بنفش                                                                               | طلای کلوئیدی (به مقدار بسیار کم)   |
| آبی، سبز و کهربایی                                                                                       | اکسید آهن                          |
| کهربایی                                                                                                  | اکسید منگنز                        |
| صورتی، ارغوانی سیر، سیاه                                                                                 | اکسید منگنز با اکسید آهن           |
| سبز                                                                                                      | اکسید کروم                         |
| در حالت بلوری، به صورت شیشه‌ای براق یا نوعی شیشه                                                         | اکسید کروم به مقدار زیاد           |
| - ترکیبی از شیشه شیری سفید رنگ و در صورت استفاده از آهن فرو، شفافیت به نور ماورای بنفش و یا کدوری به نور | اسید فسفریک                        |
| مادون قرمز را افزایش می‌دهد.                                                                             |                                    |
| - قهوه‌ای، ارغوانی، آبی سیر                                                                              | اکسیدهای نیکل و اکسیدهای کبالت     |





## فصل دوم

### خطرات شیشه‌گری آزمایشگاهی

در شیشه‌گری با خطرات آشکاری روبه‌رو خواهیم شد، مثلاً: لبه‌های برنده شیشه، شیشه و ابزارهای داغ و شعله چراغ شیشه‌گری.

#### خطرات ناشی از شیشه

باید در طی کار عملی برای اجتناب از صدمه دیدن توسط این نوع مخاطرات احتیاط خاصی به کار برده شود. انتهای لوله شیشه‌ای و کلیه شیشه‌های مازاد که دارای لبه برنده می‌باشند را باید با احتیاط بسیار به کار برد. نقاط نازک و شکننده شیشه خیلی خطرناک هستند و به سادگی به درون پوست بدن نفوذ کرده و می‌شکنند و به این ترتیب قطعه کوچکی از شیشه در دست و یا انگشتان باقی می‌ماند. لوله‌هایی که دارای لبه برنده می‌باشند نباید در دهان گذاشته شوند. این لبه‌ها ممکن است لب‌ها را ببرند و متوقف نمودن خون‌ریزی از این گونه بریدگی‌ها می‌تواند خیلی مشکل باشد.

شیشه‌گران با تجربه اغلب دارای میز کار نامرتبی هستند که پر است از آشغال شیشه به صورت لوله‌های شکسته و شیشه‌های مازاد بر احتیاج. این گونه مردان که به غلط بی احتیاط به نظر می‌آیند طی سالیان دراز مشغول شیشه‌گری بوده و در جابه‌جا کردن قطعات شیشه‌ای مهارت کسب نموده‌اند.

کلیه مبتدیان باید روی میز کار را از هرگونه شیشه اضافی خالی نگه‌داشته و بعد از هر دور کار آن را تمیز کنند.

### خطرات سوختگی

سوختن دست‌ها تقریباً همیشه ناشی از حواس‌پرتی است. توصیه می‌شود برای خنک شدن شیشه‌ی داغ زمان کافی در نظر گرفته و بعد آن را بردارید، و سعی کنید عادت نمایید شیشه‌هایی را که قبلاً حرارت داده شده‌اند اول با نوک انگشتانتان لمس کنید تا مطمئن شوید به اندازه کافی برای در دست گرفتن خنک شده‌اند. بهترین راه اجتناب از سوختگی توجه کامل به کاری که انجام می‌دهید و عدم توجه به چیزها و افراد دیگر می‌باشد.

احتمال وارد شدن خسارت به لباس در اثر تماس شیشه داغ نیز وجود دارد همواره باید یک روپوش پاک آزمایشگاهی به تن داشت و شیشه‌های ضایعاتی داغ باید روی میز کار به‌طوری که از لبه میز فاصله داشته باشند گذاشته شوند. حتی بهتر است آن‌ها را در یک ظرف آشغال‌فیزی که بدین منظور در محل مناسبی قرار داده شده بیندازیم. در این ظرف نباید هیچ‌گونه کاغذ باطله انداخت زیرا شیشه داغ ضایعاتی ممکن است آن را آتش بزند.

نمی‌توان همواره با نگاه کردن به شیشه یا ابزار کار فهمید آن‌ها داغ هستند یا نه. شعله مشعل شیشه‌گری همواره داغ است، بنابراین دست‌ها و آستین‌ها را باید از مسیر خطر دور نگه داشت. هنگام ساختن اتصال یا زانویی، آموختن فن نگه‌داشتن و چرخانیدن شیشه با دست چپ به‌گونه‌ای که دست در معرض تماس با شعله قرار نگیرد، لازم است.

کلیه بریدگی‌ها و سوختگی‌های جزئی باید در محلول ضدعفونی‌کننده شستشو شده و توسط یک پوشش چسبنده پوشانده شوند. صدمات جدی‌تر باید توسط پرستار کمک‌های اولیه پانسمان شوند.

### خطرات مربوط به چشم

بعضی مواقع ذرات کوچک شیشه وارد چشم می‌شوند. اگر چنین اتفاقی افتاد چشم را باید با یک باند نرم پوشاند. شخص صدمه دیده را باید تشویق نمود تا حتی‌الامکان چشم خود را بدون حرکت نگه دارد و او را باید به نزدیک‌ترین بیمارستان برد تا در آن‌جا یک دکتر و یا پرستار ماهر پلیسه شیشه را خارج نماید. این پلیسه‌ها تقریباً به‌طور

قطعی دارای لبه‌های برنده بوده و حرکت چشم توسط شخص مصدوم و یا کوشش غیرماهرانه برای خارج نمودن شیشه می‌تواند باعث خسارت زیادی بشود. قرار گرفتن درازمدت در معرض حرارت یا نور مادون قرمز باعث آب مروارید خواهد شد، و نور ماورای بنفشی که از شیشه‌های داغ بوروسیلیکات و سیلیکا ساطع می‌گردد زخم قرنیه به‌وجود خواهد آورد.

کلیه خطراتی که روی چشم اثر می‌گذارند را می‌توان با به‌کار بردن عینک ایمنی به‌صورت عادت همیشگی هنگام شیشه‌گری، به حداقل ممکن کاهش داد. عینک‌هایی که از شیشه سدید ساخته شده‌اند در مقابل اشعه ساطع شده از شیشه قلیایی داغ به اندازه کافی از چشم حفاظت می‌کنند. اگر کار شیشه‌گری روی بوروسیلیکات انجام می‌گیرد، در این صورت لنزهای دیدیموم توصیه می‌شوند. اگر شیشه‌ی سیلیکا در شعله حرارت داده شود برای حفاظت چشم لنزهای تیره‌تر لازم است.

### آمفیزم

کلیه کسانی که شیشه‌گری می‌کنند در معرض این احتمال قرار دارند که به عارضه‌ای به‌نام آمفیزم مبتلا شوند، که عبارت است از ازدیاد حجم دائمی و گسترش اضافی تمام و یا قسمتی از یک یا هر دو ریه. این عارضه بازده تنفس را کاهش داده، به تنگی نفس هنگام فعالیت می‌انجامد، و در آمفیزم حاد باعث تنگی نفس هنگام استراحت می‌شود. آمفیزم پس از ابتلا، قابل معالجه نیست. اما با رعایت پیش‌بینی‌های احتیاطی ساده هنگام دمیدن شیشه مذاب می‌توان از ابتلا به این عارضه اجتناب نمود.

قبل از دمیدن نفس عمیق نکشید. هرگز با تمام فشاری که می‌توانید ندمید. شیشه را هنگامی که حالت شکل‌پذیر دارد دمیده و به شکل مورد نظر درآورید. یک فوت قوی و نهایی در حالی که شیشه خود را گرفته است هیچ اثر مفیدی نخواهد داشت. هنگام قالب‌گیری اتصالات مخروطی سر سمباده‌ای و مغزی شیرها، از هوای فشرده وسایل آزمایشگاهی استفاده کرده و آن را با یک شیرپایی یا دستی کنترل کنید.

### جیوه

باید وجود جیوه روباز در هر آزمایشگاه یا کارگاه شیشه‌گری را به‌عنوان پدیده‌ای مضر

برای سلامت در نظر گرفته شود. قاطعانه سعی نمود کلیه جیوه‌هایی را که ریخته می‌شوند جمع‌آوری کرده و در ظروف جیوه را همواره بسته نگه‌داشت.

### خطرات ناشی از ادوات شیشه‌ای تعمیر

تعمیر ادوات شیشه‌ای خطرات قابل توجهی به همراه دارد. دستگاه صدمه دیده ممکن است دارای مواد قابل اشتعال بوده و یا ممکن است توسط حلال قابل اشتعال شستشو شده باشد، این مواد تبخیر شده و پس از مخلوط شدن با هوا به سادگی می‌توانند یک ماده منفجره تشکیل بدهند و البته خطراتی برای شیشه‌گر به‌وجود بیاورند.

ممکن است مواد سمی که روی ادوات شیشه‌ای مورد تعمیر و یا داخل آن باقی مانده‌اند سر از دهان و لب‌ها دریاورند. خطر مواد رادیواکتیو کمتر مشهود است، اما در واقع نتایج حاصل از بلعیدن اتفاقی این‌گونه مواد بسیار وخیم است. در صورتی که ادوات شیشه‌ای ارائه شده برای تغییر و یا تعمیر تمیز و خشک نباشد، حق مسلم شیشه‌گر است که از پذیرفتن کار امتناع نماید (آب کشیدن نهایی باید با آب مقطر و به‌طور کامل انجام گیرد).

ادوات شیشه‌ای که در کارهای رادیواکتیو به‌کار می‌روند باید فقط توسط یک مقام مسئول به کارگاه شیشه‌گری آورده شوند.

### خطرات ناشی از گاز

گاز زغال سنگ سمی است و حتی به مقدار کم نیز نباید استنشاق شود. لوله‌ها و انشعابات دائمی گاز به‌ندرت نشت می‌کنند، اما در هر حال باید آن‌ها را در فواصل زمانی معین بازرسی نموده و کلیه اتصالات خراب را تعویض نمود. شلنگ‌های لاستیکی جدید که برای اتصال به‌کار می‌روند دارای کیفیت پایین بوده و به زودی خراب می‌شوند. شلنگ‌های پلاستیکی قابل ارتجاع در لوله‌های رابط گاز، هوا و اکسیژن اگر به درستی بسته شوند مطمئن‌تر هستند. می‌توان این شلنگ‌ها را با عبور دادن آن‌ها از درون کانال فلزی سیم‌کشی برق که قابل ارتجاع است در مقابل حرارت اضافی حفاظت نمود.

اگر از نوعی مشعل که دارای محفظه مخصوص برای مخلوط کردن گازها قبل از

اشتعال است استفاده شود، باید یک شیر یک طرفه تأیید شده روی مجرای گاز نصب گردد، چه نصب آن مطابق قانون لازم باشد یا نباشد. اگر به‌طور اتفاقی هوای فشرده یا اکسیژن به داخل لوله گاز راه یابد، ممکن است یک مخلوط با قابلیت انفجار تشکیل شود که نتایج آن می‌تواند حقیقتاً خطرناک باشد.

هنگامی که با ادوات شیشه‌ای که حتی دارای ظرفیت متوسطی باشند روی چرخ شیشه‌گری کار می‌شود. بعضی مواقع بین باز کردن شیر گاز مشعل و روشن نمودن آن چند ثانیه فاصله می‌افتد. اگر دهانه‌ی مشعل درست مقابل لوله‌های سرباز ادوات شیشه‌ای قرار گیرد، امکان دارد در داخل دستگاه مخلوط قابل انفجار گاز و هوا تشکیل شود و نتایج فاجعه‌آمیزی برای اعصاب شیشه‌گر و بعضی مواقع برای ادوات شیشه‌ای که روی چرخ قرار دارند به بار بیاورد. چاره‌ی کار این است که دهانه مشعل را همواره باید دور از لوله‌های سرباز نگه‌داشته و سپس شیر گاز را باز نموده و روشن کرد. به‌خاطر امواج ضربه ناشی از به‌هم زدن در، یا به‌خاطر وجود نقص در ادوات شیشه‌ای و یا پایه نگهدارنده آن‌ها، ادوات شیشه‌ای تخلیه شده از هوا ممکن است به داخل و ادوات تحت فشار ممکن است به طرف خارج منفجر شوند. هرگاه چنین احتمالی وجود داشته باشد، شیشه‌گر باید توسط پوشاندن حباب‌های دارای ظرفیت زیاد با کیسه و نوارچسب حفاظت شود.

### تمیز کردن لوله‌های شیشه‌ای

داخل و خارج لوله‌های موجود در انبار را می‌توان با یک پارچه نم‌دار تمیز کرد. اگر خیلی کثیف باشند می‌توان آن‌ها را با آب داغ و پودر صابون شسته و به دنبال آن با آب تمیز و سپس مجدداً با آب مقطر آب کشید. سپس لوله‌ها چیده می‌شوند تا آب آن‌ها چکیده شوند.

مواد تمیزکننده برای سرعت بخشیدن، خشک شدن لوله‌ها مفیدند اما پاک کردن خود این مواد مشکل است. به آب مورد نظر برای شستشوی لوله‌های شیشه‌ای که به‌عنوان لوله تخلیه گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند نباید مواد تمیزکننده اضافه شود.

ادوات شیشه‌ای که برای تعمیر و یا تغییر ارائه می‌شوند باید توسط مصرف‌کننده آن شستشو و خشک شوند. او بهتر از هر کس می‌داند که در دستگاه چه مواردی بوده و

برای تمیز کردن آن چه اقداماتی باید انجام داد. تمیزکاری شیمیایی ادوات شیشه‌ای رسوب گرفته باید با برنامه تعیین شده توسط سازندگان بوت‌ها و صافی‌های پیرکس انجام گیرد.

چربی‌ها و گریس: تتراکلرید کربن یا یک حلال آلی دیگر  
آلبومین: اسید هیدروکلریک

مواد آلی: اسیر سولفوریک غلیظ که دارای مقدار کمی نترات پتاسیم و پرکلرات باشد. خوابانیدن ادوات شیشه‌ای در مخلوط فوق به مدت ۱۲ ساعت و سپس آب کشیدن کامل آن‌ها اکسید مس و لکه‌های آهن: اسید هیدروکلریک داغ و غلیظ همراه با کلرات پتاسیم

سولفات باریوم: اسید سولفوریک غلیظ با حرارت  $100^{\circ}$  سانتیگراد  
بقایای جیوه: اسید نیتریک داغ و غلیظ  
سولفید جیوه: تیزاب سلطانی داغ  
کلرید نقره: هیپوسولفیت سدیم

دستگاه‌های شیشه‌ای که داخل آن‌ها دیده می‌شود باید با احتیاط خاصی مورد توجه قرار گیرند، زیرا تمیزی آن‌ها دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. در حرارتی که دستگاه کار می‌کند بسیاری از مواد با سیلیکا ترکیب شده و باعث لک شدن و یا مات شدن آن می‌گردد. علاوه بر تمیز کردن معمولی، کلیه سطوح به وسیله پنبه آغشته به الكل تمیز می‌شوند. سطوح تمیز شده نباید دست‌کاری شوند زیرا تنها اثر انگشتان برای مات نمودن آن‌ها کافی است. اسید هیدروکلریک با غلظت ۱۰ تا ۴۰ درصد اغلب برای تمیز کردن سطوح شیشه‌ای خیلی آلوده توصیه می‌شود. این اسید می‌تواند سوختگی‌های خطرناک و دردآور به وجود بیاورد. باید از دستکش‌های لاستیکی که آب در آن‌ها غیرقابل نفوذ است استفاده شده و دست‌ها توسط کرم محافظ ضد اسید پوشیده شوند، و قبل از درآوردن دستکش‌ها باید آن‌ها را با احتیاط با آب مقطر آب کشید.

### دمیدن

اگرچه هنر ساختن ادوات شیشه‌ای لوله‌ای، دمیدن با دهان یا استفاده از هوای فشرده ناشی از یک منبع دیگر را به منظور شکل دادن و تغییر شکل شیشه مذاب لازم می‌آورد،

اما به‌طور کلی دمیدن، نقشی جزئی اگرچه اساسی را در کار ساخت ایفا می‌کند. به‌طور کلی شیشه‌گر مهارت دمیدن را به‌طور تجربی کسب می‌کند.

اما وقتی که یک دانشجو درس شیشه‌گری آزمایشگاهی را انتخاب می‌کند، فرصت محدودی برای به‌دست آوردن تجربه گسترده خواهد داشت و مجبور است از آموزش به‌عنوان یک جایگزین ناقص استفاده کند. ولی ارزش یادگیری را خواهد داشت.

کمیت فشار داخلی اضافی که برای دمیدن شیشه مذاب لازم است به سه عامل بستگی دارد:

۱. ضخامت جدار شیشه

۲. درجه حرارت شیشه مذاب و در نتیجه کشش سطحی و ویسکوزیته آن

۳. قطر داخلی لوله یا حباب حرارت داده شده

شیشه‌های دارای جداره ضخیم برای دمیدن به اضافه فشار داخلی بیشتری نسبت به شیشه‌های دارای جداره نازک احتیاج دارند. بنابراین یکنواخت بودن تقریبی ضخامت جدار شیشه ذوب شده مهم است.

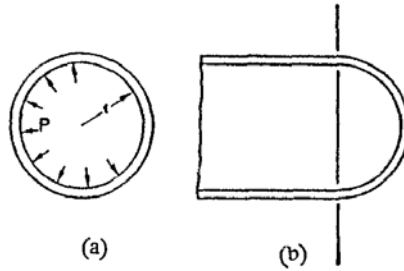
تغییرات جزئی در ضخامت جدار را می‌توان با دمیدن و شکل دادن قسمت نازک که زودتر خنک می‌شود و سپس با افزون فشار هوا برای دمیدن قسمت ضخیم‌تر شیشه که آهسته‌تر خنک شده و برای مدت طولانی‌تر به حالت شکل‌پذیر می‌ماند، برطرف نمود.

چون ویسکوزیته با سرد شدن شیشه به سرعت افزایش می‌یابد، لازم است که شیشه واقعاً داغ باشد تا انجام کارهای بعدی محتاج به دمیدن امکان‌پذیر گردد. نظر به این که اندازه‌گیری درجه حرارت شیشه‌ی داغ خیلی مشکل است، بنابراین هیچ‌چیز نمی‌تواند جای تجربه را در تخمین درجه حرارت مناسب برای انجام عملیات موردنظر روی شیشه بگیرد.

به سادگی می‌توان نشان داد که اضافه فشار داخل یک حباب مایع کروی که ضخامت جدار آن ناچیز بوده، کشش سطحی آن  $\lambda$  و شعاع آن  $r$  باشد، برابر  $p$  خواهد

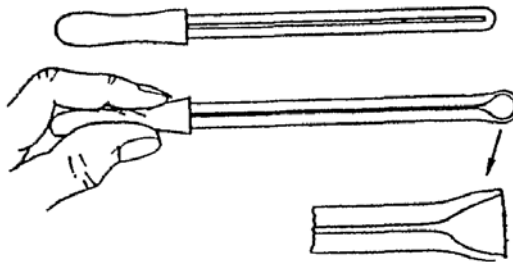
بود (به شکل (۱-۲) در صفحه بعد نگاه کنید)، که 
$$P = \frac{4\lambda}{r}$$





شکل ۱-۲. اضافه فشار داخلی لازم برای دمیدن انتهای یک لوله آزمایش (b)، معادل فشار لازم برای دمیدن یک حباب مایع کروی (a) است.

اضافه فشار داخلی لازم برای بزرگ نمودن این حباب  $P_1$  خواهد بود، که  $P_1 > P$  است. از آنجا که  $\lambda$  برای هر نوع شیشه‌ای فقط به حرارت آن بستگی خواهد داشت، بنابراین در هر درجه حرارت معین  $P$  با  $r$  دارای نسبت معکوس خواهد داشت، بنابراین در هر درجه حرارت معین  $P$  با  $r$  دارای نسبت معکوس خواهد بود و اگر  $r$  خیلی کوچک باشد، مثل سوراخ لوله ترمومتر یا سوراخ لوله‌های موئین با قطر کمتر از یک میلیمتر، در این صورت  $P_1$  بزرگ بوده و ممکن است بزرگ‌تر از آن باشد که بتوان با دمیدن توسط دهان آن را ایجاد کرد.



شکل ۲-۲. دمیدن انتهای یک لوله موئین با کمک یک حباب لاستیکی کوچک یا یک شلنگ لاستیکی کور

توصیه می‌شود برای ذوب نمودن و دمیدن لوله موئین با سوراخ ریز، یک درپوش لاستیکی یا یک شلنگ لاستیکی کور به طرف باز شیشه وصل نموده و آن را فشار دهید تا در انتهای مسدود و حرارت داده شده تولید یک حباب نماید. این حباب سپس می‌تواند توسط فشار دهان دمیده شده و برای کار بیشتر آماده شود (به شکل ۲-۲ نگاه کنید).