Нагревание стекла пламенем газовых горелок

Строение и температура пламени горелки. Стеклодув обрабатывает стекло, нагревая его до температуры размягчения голым пламенем. Температура обработки стекла разного состава разная. Температура пламени, которую можно получить на газовой стеклодувной горелке, также может быть разной и зависит она как от состава горючей газовой смеси, так и от условий горения. В таблице 4 приведены основные характеристики применяемых горючих газов для сжигания в настольных газовых горелках.

Чем выше теплотворная способность газа, тем большую температуру пламени при прочих равных условиях можно получить.

При смешении горючего газа с воздухом улучшается полнота сгорания газа, увеличивается скорость горения, а при этом повышается и температура пламени. Еще более улучшаются эти показатели при использовании для дутья воздуха, обогащенного кислородом, или чистого кислорода. Так, если максимальная температура пламени светильного газа без дутья составляет 1500–1600 С, то при дутье кислородом ее можно поднять до 2200 С. Температура пламени ацетиленовой горелки составляет 2500 С, а ацетилено-кислородного пламени – 3500 С.

Естественно, что на пламени, развивающем более высокую температуру, обрабатывают более тугоплавкие стекла.

Факел пламени неоднороден. Легко различить в нем три зоны: внутреннюю – наиболее короткую, среднюю–светлую, окаймляющую – обычно самую яркую.

Температура внутренней зоны наиболее низкая. В этой зоне происходит нагревание газа, но горения практически не происходит. Самая высокая температура достигается в средней! части второй зоны. Здесь происходит горение, но неполное ввиду! недостатка кислорода. В этой зоне присутствуют углеродистые продукты распада молекул газа, она является восстановительной зоной. Температура третьей зоны тоже достаточно высока. Здесь имеется избыток кислорода и происходит полное сгорание. Третья зона является окислительной.

При обработке почти все стекла как «длинные», так и «короткие» нагревают во второй зоне пламени, в зоне с наиболее высокой температурой. Однако свинцовые и эмалевые стекла обрабатывают только в окислительной зоне, так как при разогреве в других зонах свинцовые стекла чернеют, происходит частичное восстановление окиси металла на поверхности изделия. Аналогичное явление происходит и с эмалевыми стеклами, которые при этом меняют свой цвет.

Пламя может быть мягким и жестким. Мягкое пламя имеет высокую температуру, оно не коптит, и для его получения в горючий газ подают больше кислорода. Воздух подают в пламя при небольшом давлении в основном лишь для того, чтобы приять пламени устойчивую направленность. Такое пламя плавит стекло, но не «мнет» его.

Жесткое пламя получают при подаче в горелку кислорода п воздуха под большим давлением. Такое пламя обычно бывает тоньше, более резкое. Стекло этим пламенем проминается и даже прорывается. На жестком пламени стекла обрабатывают значительно реже.

При общем недостатке кислорода, когда в горелку совсем не подается воздух, горение делается неполным, температура пламени снижается и пламя становится ярким и коптящим, так как газ при этом разлагается, и мелкие частицы продуктов разложения накаляются, что является причиной свечения пламени. Остывая, они оседают на поверхности стекла в виде сажи.

На горелке стеклодуву приходится не только обрабатывать стекло, но спаивать стекло с металлом, сваривать стержни, проволоку из различных металлов и проводить другие операции. Эти приемы будут описаны в последующих главах, посвященных этим вопросам.

Отжиг стекла в пламени горелки. Обрабатывая стеклянную деталь на горелке, работающему часто приходится менять величину и температуру пламени. Из-за разности температуры нагрева отдельных частей в стекле возникают внутренние напряжения. Для частичного снятия этих напряжений применяют обязательный тщательный отжиг изделия в пламени горелки. Для этого, не снимая изготовленную деталь с пламени горелки, устанавливают широкое мягкое пламя. Обогревают деталь таким пламенем до тех пор, пока пламя, охватывающее все обогреваемые части детали, не станет равномерным желтым. Обычно для полного прогрева необходимо 2–5 мин в зависимости от размера детали. Затем температуру пламени постепенно снижают, уменьшая дутье и подачу кислорода вплоть до образования коптящего пламени.

Особенно тщательно следует отжигать в пламени горелки стекла, обладающие большой вязкостью. Напряжения исчезают тем быстрее, чем меньше вязкость стекла. При плохом обогреве после остывания изделия стекло часто растрескивается. Изготовленные в пламени горелки изделия из любого стекла тщательно отжигают в специальных печах.

Резка стекла

Резка трубок занимает важное место во всех стеклодувных операциях. В данном параграфе разбираются наиболее распространенные способы резки стекол.

Резка трубок стеклодувным ножом на излом. Почти во всех случаях резку трубок начинают с нанесения метки – надреза стеклодувным ножом. Надрез должен быть глубоким, перпендикулярным к оси трубки и занимать 1/5 часть длины ее окружности. Произведя надрез, трубку берут руками так, чтобы надрез оказался между ними с внешней стороны трубки. После этого трубку стараются одновременно растянуть и согнуть в месте надреза, при небольшом усилии она ломается точно по надрезу. Так разрезают трубки диаметром до 15 мм.

Трубку диаметром 20–25 мм надрезают так же, но ломают не руками, а положив ее на край стола. Надрез при этом должен находиться на верхней стороне трубки, а острая кромка стола должна приходиться с другой стороны. Одной рукой придерживают конец трубки, лежащей на столе, другой берут второй ее конец и, одновременно оттягивая и изгибая, ломают трубку.

При резке трубок на излом метку – надрез лучше смачивать водой, тогда край излома получается более ровным.

Резка трубок раскаленной стеклянной палочкой. Надрезав трубку, прижимают разогретый добела на горелке оттянутый конец стеклянной палочки к надрезу, силу нажима постепенно увеличивают; пока конец разогретой палочки горячий, нажим должен быть легким, но по мере ее остывания нажим увеличивают до образования трещины в месте надреза.

Если трещина не прошла по всей окружности трубки, а осталась только на надрезе, то конец палочки опять разогревают и прикладывают на 2–3 мм дальше от трещины по линии надреза. Трещина обязательно пойдет к нагретой палочке.

Этот способ применяют при резке стеклянных цельнопаяных мтановок, ремонте дорогостоящих приборов, когда другие способы резки не подходят.

Резка трубок при помощи асбестового шнура. Два асбестовых шнура одинаковой длины смачивают в воде и обматывают ими трубку с двух сторон на одинаковом расстоянии от места надреза. Обматывать нужно аккуратно, соблюдая параллельность между полосками шнура, в противном случае разрез получится неровным. Проделав эту операцию, трубку помещают и «игольчатое» пламя горелки так, чтобы острие пламени приходилось на надрез, далее трубку равномерно вращают в пламени до образования кольцевой трещины. Этим способом разрезают стеклянные трубки любого диаметра из стекла любой термостойкости.

При резке кварцевых и фарфоровых трубок диаметром 40 мм и более лучше использовать узкое пламя кварцедувной горелки, вращая трубку на острие пламени до легкого потемнения асбестового шнура; после этого место нагрева следует быстро охладить, облив трубку водой.

Электрорезка стекла. Электрорезка несколько напоминает резку трубок металлическим крючком, нагретым на горелке. Режущим приспособлением электрорезки служит нихромовая лента, накаляющаяся при пропускании электротока. Она укреплена на двух кронштейнах. Надрезанную трубку вращают на нагретой нихромовой ленте до образования трещины. Если трещина не образуется, то трубку, сняв с электрорезки, быстро охлаждают, например, направив на нагретую ее часть струю воздуха. Кольцевая трещина образуется по надрезу. На электрорезке можно очень быстро резать термостойкие трубки, изменяя реостатом температуру нагрева нити.

Резка алмазными отрезными кругами. В последние годы большое распространение получила резка стекла алмазными отрезными кругами. Работу выполнить довольно просто. К вращающемуся алмазному кругу подводят трубку, вращая ее в противоположном направлении и слегка прижимая к кругу. Вращать трубку следует до полного разрезания. Алмазные круги в основном используют для кварцевых и фарфоровых трубок. Можно резать и стеклянные трубки, но обычно от этого воздерживаются ввиду большой ценности алмазного диска. Станок для резки стекла алмазными отрезными кругами описан в § 14.

Резка капилляров и палочек. Толстостенные капилляры и палочки диаметром от 3 до 10 мм разрезают обычным способом на излом, если их длина превышает 5–10 см. Чтобы отрезать от капилляра небольшую часть размером 10 мм и менее, применяют специальное приспособление – треугольную металлическую призму. Капилляр кладут на одну из острых граней призмы надрезом вверх так, чтобы грань находилась точно под надрезом.

Затем, придерживая рукой длинную часть капилляра, резко ударяют ножом по той части его, которую нужно отрезать. Капилляр откалывается точно по надрезу.

Капилляры можно резать алмазным кругом, но предварительно отверстие капилляра следует заполнить воском или парафином, иначе во время резки в отверстие набивается много мелкой стеклянной пыли, промыть капилляр очень трудно, а в большинстве случаев невозможно.

Резка трубок в нагретом состоянии. При изготовлении прибора часто требуется быстро отрезать какую-нибудь трубку, не снимая прибор с пламени горелки. В этом случае участок трубки, где нужно произвести разрез, нагревают в пламени горелки, а затем, вне пламени проведя по нагретой поверхности холодным предметом, получают небольшую трещину. При небольшом нажиме или ударе по одному из концов трубки получают ровный разрез.

Разрезание тонкостенных трубок. Трубки, шарики со стенками толщиной 0,15 мм и меньше резать указанными выше способами нельзя. Такие трубки режут раскаленной платиновой, иридиевой или вольфрамовой иглой. Иглу вводят в пламя горелки и нагревают ее среднюю часть. Острие иглы должно выходить за пламя на 10–15 мм. После этого, не вынимая иглу из пламени, раскаленным острием прокалывают отверстие в холодной трубке. Держа иглу в пламени одной рукой неподвижно и не вынимая ее из проделанного отверстия, другой постепенно вращают трубку вокруг ее вертикальной оси до получения полного разреза. Трубка разрезается или, вернее, расплавляется раскаленным острием иглы вне пламени горелки. Лучше всего пользоваться иридиевой или платиновой иглой, так как в этом случае разрез получается чистым, а при пользовании вольфрамовой иглой на разрезе остается налет окислов вольфрама.

Естественно, игла должна иметь ручку – державу, изготовленную из материала, плохо проводящего тепло.

Резка стекла в размягченном состоянии. В размягченном состоянии трубки режут обычными ножницами. Главное, во время резки нужно поддерживать стекло в размягченном состоянии, но так, чтобы оно не растекалось. Этим способом режут обычно толстостенные трубки.

Описанные способы резки стеклянных трубок применяют при изготовлении как простых изделий, так и сложнейших приборов из стекла. От правильного выбора того или иного способа резания зависят качество и точность изготовления прибора.

Вращение трубок в пламени горелки

Если долго нагревать трубку пламенем в одном месте, равномерно вращая ее, то можно заметить, как в месте нагрева стенки постепенно утолщаются. Это объясняется тем, что под действием сил поверхностного натяжения размягченное стекло стремится собраться в каплю. В специальной литературе образование «наплыва» стекла называют осаживанием, натоплением и накоплением стекла. Это явление необходимо правильно использовать или предотвращать, что достигается умением вращать разогретое изделие, выбирать излишне собравшуюся стеклянную массу и т.д.

При обработке трубок и заготовок важно научиться правильно нагревать их в пламени горелки, чтобы разогрев и размягчение стекла на всем обрабатываемом участке были равномерными. Для этого прежде всего надо научиться вращать стеклянный предмет с одинаковой равномерной скоростью как в одну, так и в другую сторону. Время нагрева и скорость вращения определяются величиной и формой обрабатываемой детали, величиной и температурой пламени, сортом стекла, а также и тем, какую операцию предстоит выполнять. Это приходит с опытом и зависит от интуиции работающего. Следует помнить, что при вращении надо держать трубки обеими руками симметрично и как можно ближе к центру тяжести.

Известно несколько приемов вращения заготовок в пламени горелок.

Первый прием. Трубку диаметром до 40 мм помещают между большим пальцем с одной стороны и указательным и средним– с другой так, чтобы она проходила между безымянным и средним пальцами и свободно лежала между указательным и большим пальцами; мизинец при этом поддерживает безымянный палец. Вращение осуществляется большим, средним и указательным пальцами одновременно. Этим способом вращать трубку удобно только в одну сторону – от себя. Пальцы, обеспечивающие вращение, должны располагаться по отношению к плоскости стола под углом в 30–35°,

Второй прием. Трубку диаметром от 40 до 100 мм при вращении помещают между большим пальцем с одной стороны и указательным, средним и безымянным – с другой. Трубка лежит между мизинцем и большим пальцем с одной стороны и остальными тремя пальцами – с другой.

Вращать удобно от себя.

Третий прием. Трубку диаметром до 60 мм охватывают сверху ладонью правой руки. Левая рука держит трубку так же, но ладонь смотрит навстречу ладони правой руки. Большой палец находится с одной стороны трубки, остальные – с другой. Во вращении участвуют все пальцы руки. Вращать можно от себя и к себе.

При обработке тяжелых заготовок пользуются подставками. В этом случае для удобства вращения к заготовке припаивают трубку диаметром от 15 до 40 мм, так называемую державу.

Четвертый прием. Трубку диаметром от 1 до 10 мм держат на ладони между большим пальцем и всеми остальными. В этом случае вращение осуществляют в основном большим пальцем, который как бы катает трубку по ладони то в одну сторону, то в другую.

Описанные приемы применимы к вращению как правой, так п левой рукой.

Обычно во время работы используют все описанные приемы или даже комбинируют их. Так, когда левая рука вращает третьим приемом, правая – первым.

Обучаясь стеклодувному делу, надо прежде всего овладеть всеми приемами вращения обрабатываемых деталей. Вращать деталь надо и в пламени и вне его. Умение синхронно, равномерно и беспрерывно вращать обеими руками размягченную массу стекла как в пламени горелки, так и вне его, приходит только мосле многих месяцев упорной тренировки за горелкой.

Растягивание трубок

Обучение стеклодувному делу всегда начинают с растягивания и оттягивания концов трубок диаметром до 30 мм. Во время этих операций ученик одновременно приобретает навык в том, как вращать, осаживать и сохранять какое-то время массу стекла в размягченном состоянии и в пламени горелки, и вне его.

Изготовление державы. Для удлинения детали и удобства ее обработки часто приходится пользоваться державами – трубками, которые припаивают к обрабатываемой заготовке. Державу можно сделать непосредственно из заготовки, оттягивая ее конец. Держава служит не только ручкой для удерживания и вращения заготовки, но и трубочкой, через которую раздувают размягченное стекло, поэтому для ее изготовления используют трубки.

Иногда державы приходится оттягивать или припаивать к заготовке с обоих концов, такая заготовка называется пулькой.

Трубки и цилиндры диаметром более 80 мм практически невозможно растянуть с образованием прочной державы. В этом случае державу готовят путем припаивания к заготовке трубки – державы диаметром 20–25 мм.

При изготовлении державы путем оттягивания конца самой заготовки сначала к размягченному в пламени концу трубки – заготовки припаивают стеклянную палочку или более узкую трубку. После этого, продолжая нагревать место спая на пламени горелки, припаянную палочку выводят по центру торца трубки, подлежащей оттягиванию. Затем, отступя 20–30 мм от места спая, трубку разогревают до размягчения и вращают в пламени до образования в месте нагрева небольшого толстостенного шарика или цилиндра. Разогретую трубку выносят из пламени, не забывая вращать ее, и, охладив немного на воздухе, не прекращая вращать, медленно растягивают трубку в {противоположные стороны до нужной длины, увеличивая силу растягивания по мере затвердевания стекла. После охлаждения заготовки припаянную палочку и деформированный участок оттянутой трубки отрезают или отпаивают. Стеклодувы называют оттянутую державу усиком.

Трубки диаметром от 20 до 80 мм оттягивают после накопления достаточной массы стекла в месте растягивания, т.е. толщина стенок размягченной массы должна стать больше толщины стенок исходной трубки на 2–3 мм. Оттянутая держава должна быть прочной и располагаться точно по центру торца трубки.

Растягивают трубки посередине так же, как и оттягивают конец ее, только припаянную палочку заменяет сама трубка.

Изготовление дна. Готовят пульку, затем место перехода трубки в державу разогревают в пламени горелки до размягчения. После этого державой выбирают лишние наплывы стекла, не касаясь плечиков трубки. Отпаяв державу с лишним стеклом, дно прогревают в пламени и выдувают стекло до образования полушара. Эту операцию проделывают несколько раз и, когда стекло равномерно растечется, легким поддувом окончательно округляют дно. Толщина стенок дна должна быть не меньше толщины стенок трубки.

Плоское дно делают из округленного. Для этого округленное дно сплавляют в пламени, не доходя 2–3 мм до плечиков трубки. Сняв трубку с пламени и остудив немного на воздухе, размягченное дно прижимают к ровной обугленной деревянной доске и, прижав, вращают, постоянно поддувая, до затвердевания стекла. Плечики трубки после изготовления дна обязательно должны быть закругленными и немного утолщенными по отношению к стенкам трубки. Если переход плечиков от трубки к дну будет резким, оно окажется непрочным; такое дно часто растрескивается, особенно под вакуумом.

Изготовление дна у трубок диаметром более 80 мм представляет некоторую сложность. Оттянуть державу от таких трубок трудно, да и не всегда выгодно, так как такие трубки или цилиндры – материал дорогостоящий и его следует экономить.

Один из концов трубки закрепляют в специальном держателе г ручкой для вращения. Если это не трубка, а цилиндр с утолщенным формованным дном, то дно предварительно отрезают. Конец трубки или цилиндра длиною 40–50 мм разогревают пламенем горелки до размягчения, затем трубку выносят из пламени и обрабатывают на обкатке, осаживая стекло до образования небольшого конуса. Повторив несколько раз эту операцию, получают конус с углом в вершине 40–45°. Получить округленное дно из конуса не представляет особых трудностей. Для этого или выбирают лишнее стекло при постоянном поддувании, или укатывают па обкатке острый конус до образования округленного дна.

Спаивание трубок

Все стеклянные трубки перед спаиванием должны быть тщательно вымыты и просушены. Загрязненные торцы трубок следует отрезать. Если отрезанные трубки заготавливаются заранее за один – два часа до их спаивания, то их торцы следует оплавить. Это необходимо делать потому, что перед спаиванием оплавленные торцы придется тщательно протирать, а неоправленные трубки прожигать небезопасно, так как можно порезать руки об острые края. Протирают трубки для удаления с них пыли. Пыль, оседающая на трубке, может быть разного происхождения: органического и неорганического. Если первая при плавлении стекла сгорает, не мешает работе и не влияет на качество изделия, то вторая сплавляется со стеклом, стекло получается неоднородным, образуются трещины, пузыри, микроотверстия и т.п.

Спаивать целесообразнее ровно отрезанные трубки, имеющие одинаковую толщину стенок без воздушных пузырей и включений. Спай считают хорошим, прочным, если он не заметен на готовом изделии и в месте спая по обеим его сторонам трубка сохранила свой первоначальный вид. Границу хорошего спая можно увидеть только при тщательном осмотре изделия. На этом месте по окружности трубки различается узкая, прозрачная полоска.

После изготовления любой спай обязательно отжигают в пламени горелки. Отжигать следует не только место спая, но и трубку с обеих сторон от него на расстоянии 10–80 мм в зависимости от диаметра трубки: чем шире трубка, тем больше обогреваемый участок.

Микроотверстия в спаях. Микроотверстия в спаях – очень опасный брак, особенно если прибор предназначен для работы под высоким вакуумом. Эти отверстия почти невозможно обнаружить не только невооруженным глазом, но иногда с помощью современных течеискателей. Поэтому необходимо знать природу микроотверстий и уметь ликвидировать их.

Микроотверстия чаще всего обнаруживаются в плохо пропаянных спаях при спаивании загрязненных трубок, в месте образования воздушных пузырей. Осмотрев готовые трубки и обнаружив подобные недочеты, можно просто отбраковать трубки, в которых вероятны микроотверстия. Но микроотверстия появляются и в хорошо пропаянных спаях, в месте спая чисто вымытых трубок без посторонних включений. Особенно часто это наблюдается при спаивании молибденового и сиенского стекол. Лучше всего это явление проиллюстрировать на примере спаивания двух трубок одинакового сечения из молибденового стекла. Возьмем чистую трубку и разрежем ее на две равные части. Сильно размягчив торцы трубок в пламени, соединим их и тщательно пропаяем. После остывания на месте спая будет четко видна коричневая полоска, проходящая по окружности трубки. Изменение цвета стекла произошло в результате окисления некоторых окислов металлов, входящих в состав стекла. При правильном спаивании двух трубок эта полоса располагается во внутренних слоях стекла, так как после соединения торцов спай пропаивают и полосу закрывает поверхностный слой стекла.

Если разогреть какую-нибудь часть спая и вытянуть коричневую полосу во внешний слой стекла, то в том месте, где с двух сторон стянуты продукты окисления, образуется микроканал, т.е. микроотверстие. Сравнительно хорошо выход микроканала виден при свечении трубки, разогретой в пламени. Заметив выход окисленной части спая на поверхность трубки, не следует пытаться его закрыть вытягиванием стекла. Чтобы запаять отверстие, надо разогреть узкую стеклянную палочку и нанести тонкий слой стекла, закрыв отверстие, а затем тщательно пропаять.

Чаще всего окисленная часть спая протягивается во внешний слой стенок трубки при изготовлении тройниковых и внутренних спаев, при впаивании остеклованных металлов в прибор, при запаивании широких отверстий и удалении наплывов из спаев. Прежде всего необходимо избегать окисления спая. Этого можно достичь, если свежеотрезанные торцы трубок соединить вне пламени и, слегка сжимая, спаивать так, чтобы пламя не проникало внутрь спая. Тогда он получится без окисленной полосы. Однако в процессе изготовления приборов это не во всех случаях возможно.

Способностью молибденового стекла образовывать микроотверстия в результате окисления при разогревании его в пламени горелки воспользовались при изготовлении особого прибора – натекателя. Натекатель применяют в тех случаях, когда по условиям эксперимента требуется впускать в прибор газ или жидкость с очень малой скоростью. Этот прибор имеет вид обычной пробирки с микроотверстием, расположенным в центре дна. Прибор получают следующим образом. Сначала открытый конец трубки помещают в окислительную зону пламени стеклодувной горелки и сильно размягчают вплоть до заплавления торца трубки, т.е. до образования толстостенного донышка. Дно натекателя в зависимости от предъявляемых требований можно оставить толстостенным или сделать тонкостенным. При нагревании в пламени в центре светящегося дна будет ясно видна красноватая полоска. Однако это еще не отверстие, а лишь место на стекле, где «собрались» окислы, образовавшиеся при сплавлении молибденового стекла в окислительной зоне пламени. Для того чтобы получить отверстие, из заготовки откачивают форвакуумным насосом воздух и искрой щупа искрового течеискателя пробивают отверстие в сплавленном дне. Отверстие пробивается точно по образовавшейся полосе. Размер отверстия зависит от диаметра трубки, степени окисления стекла в пламени, мощности разряда течеискателя. Минимальный диаметр отверстия, получаемого таким путем, может составлять несколько микрометров. Чтобы получить отверстие заданной величины, обеспечивающее натекание газа в прибор с определенной скоростью, делают серию нитекателей, из которых опытным путем, проверяя скорость натекания с помощью специальных приборов, выбирают нужный.

Запаивание отверстий. Запаивают отверстия только палочкой из стекла того же сорта, что и изделие. Палочка может быть круглой, плоской, узкой, широкой, и выбирают ее для работы в соответствии с характером отверстий. Нельзя затягивать отверстия вольфрамовой или молибденовой иглой, так как в спай может попасть окалина этих металлов, при этом в стекле могут образоваться микроотверстия. Небольшие отверстия затягивают размягченной палочкой, припаивая ее чуть выше разогретого края отверстия. Иногда, особенно при ремонте приборов, приходится запаивать довольно широкие отверстия, тогда прибор разогревают, если возможно, в пламени горелки, если нет – в муфельной печи. Полоску накладывают поверх слегка разогретых краев отверстия. Накладываемая полоска стекла должна быть разогрета сильнее, чем края отверстий. Далее закрытое полоской отверстие тщательно пропаивают в пламени, удаляя наплывы стекла.

Простой спай на узких трубках одинакового сечения. Спаять такие трубки можно двумя способами.

Первый способ. Концы спаиваемых трубок помещают в пламя горелки, слегка разогревают и соединяют. Вращая обе трубки в пламени, пропаивают спай до исчезновения шва, время от времени поддувая и выравнивая место спая. Толщина стенок и диаметр в месте спая должны быть близки к толщине стенок и диаметру исходных трубок.

Второй способ. Торцы трубок разогревают до размягчения, затем, вынув из пламени, их соединяют и, вращая, раздувают так, чтобы диаметр раздутого места был на 3–6 мм больше диаметра исходных трубок. Проделав последнюю операцию дважды, раздутие в Месте спая вытягивают до тех пор, пока диаметр не будет равен диаметру исходных трубок.

Спаивание трубок диаметром 50 мм и более. Торцы трубок осторожно обогревают в пламени, затем размягчают часть края, торцов. Размягченные части соединяют в пламени так, чтобы остальные части торцов также сошлись по окружности трубок. Не снимая с пламени и слегка i сжимая трубки с обеих сторон, стараются временно «спаять» торцы по всей окружности, не оставляя отверстий. Убедившись, что торцы «спаяны», на узком рабочем пламени без поддува пропаивают весь спай по частям. Если при этом возникнут небольшие отверстия, на них не обращают внимания, заканчивают пропайку соединенных частей и уже потом затягивают отверстия стеклянной палочкой с последующим пропаиванием и поддуванием. Пламя горелки при этом должно быть узкое и захватывать 10–15 мм длины трубки с обеих сторон от спая.

Начинают пропаивание с Vs. '/4 части окружности спая, вращая трубку на себя и от себя; сняв с пламени, поддувают, держа трубку размягченной частью вверх. Далее все повторяют с соседним участком спая и т.д. до тех пор, пока весь спай не будет пропаян.

При спаивании трубок диаметром 80–100 мм используют текучесть стекла, а именно, не поддувая, вращают трубку в пламени так, чтобы размягченная часть стекла, перемещаясь, постепенно заглаживала спай и выравнивала его по диаметру трубки. Вращение часто ненадолго приостанавливают, чтобы размягченная часть находилась то внизу, то наверху, то сбоку трубки, давая тем самым равномерно растечься стеклу по окружности спая. Поддувают здесь только для того, чтобы ликвидировать небольшие неровности спая.

Спаивание трубок неодинакового сечения. Эту работу можно проводить двумя способами.

Первый способ. У широкой трубки делают округленное дно, из центра дна стеклянной палочкой или державой вытягивают узкий капилляр, который сплавляют и выдувают в тонкостенный пузырь. Разбив пузырь, получают отверстие. Диаметр отверстия должен соответствовать диаметру припаиваемой узкой трубки или быть чуть уже его. Далее две трубки соединяют и спай пропаивают, как описано выше. Пропаивая, следует направлять пламя больше на широкую трубку. После пропайки спая выравнивают плечики у широкой трубки так, чтобы спай находился на границе между узкой и широкой трубками, а плечики были закругленными и не превышали диаметра широкой трубки.

Второй способ. Конец широкой трубки вытягивают до диаметра припаиваемой трубки. Вытянутую часть отрезают ближе к широкой трубке в месте перехода широкой трубки в бо.ice узкую. Далее, как обычно, спаивают обе трубки, отделывают II ючики, как и в первом случае. Следует заметить, что в спаях; «кой трубки с широкой удобнее спаивать суженные торцы.

Второй способ подходит для спаивания узкой трубки с трубками диаметром до 80 мм с последующим обкатыванием на обкатке или подрезке до сечения припаиваемой трубки. Если же диаметр широкой трубки превышает 80 мм, то делают конусообразное дно; припайка узкой трубки в этом случае осуществима только первым способом.

Спаивание двух калиброванных трубок. Спайка двух трубок, откалиброванных по внутреннему диаметру, представляет некоторую сложность. Спаянные трубки должны быть строго соосны, а в месте спая не должно быть искажений внутреннего дна-метра. В этом случае применяют стержень, изготовленный из мелкозернистого графита, диаметром, который на 1 мм меньше внутреннего диаметра трубок. Длина стержня должна составлять 7 часть общей длины спаиваемых трубок. Перед спайкой стержень прогревают по всей длине и вставляют в одну из трубок, не доводя конец его на 30–40 см до спаиваемого торца, после этого трубки спаивают. Через размягченный спай пропускают графитовый стержень, повторно разогревают спай и укатывают на обкатке. После отжига в пламени спаю, не вынимая стержня из трубки, дают остыть.

Развертывание трубок развертками

Развертывание – это одна из необходимых операций в стеклодувном деле. Его применяют для получения отверстий, бортиков пробирок, воронок, фланцев и т.п., а также при изготовлении кранов, шлифов, сосудов Дьюара.

Развертывание размягченных частей трубок проводят с помощью разверток различной конфигурации как в пламени горелки, так и вне его. Ширина узкой части развертки обязательно должна быть меньше диаметра развертываемой трубки.

Если размеры изделия позволяют свободно удерживать и вращать его одной рукой, то развертывают, вращая размягченное изделие на развертке. Если же заготовка тяжелая или если требуется развернуть отверстие по сторонам трубки, оперируют в основном разверткой.

При развертывании необходимо придерживаться определенных правил. Во-первых, нельзя развертывать трубки сразу после размягчения стекла, так как оно в это время текуче и возможно прилипание его к развертке. Надо выждать некоторое время, чтобы стекло немного остыло и стало мягким и упругим, такое стекло можно свободно вращать на развертке. Время остывания зависит от степени размягчения и массы стекла: чем они больше, тем дольше следует остужать стекло. Во-вторых, помещать раз- I вертку в подготовленное для развертывания изделие следует слегка разогретой, так как при касании холодной разверткой не-размягченных, но разогретых участков трубки на последней образуются трещины и посечки. В-третьих, красивые бортики, фланцы, шлифы и т.д. получаются, если трубки равностенные, а края равнообработаны.

Для того чтобы стенки трубки были ровными, сочетают развертывание заготовки изнутри разверткой с одновременным обкатыванием на обкатке. Этот прием применяют при изготовлении кранов, шлифов.

Развертывание отверстий. Узкие отверстия, полученные выдуванием, прокалыванием, оттягиванием и т.д., независимо от места их расположения на изделии лучше всего развертывать с помощью трехгранной развертки.

Если деталь можно вращать одной рукой, то, проделав отверстие известными способами, деталь выносят из пламени и, слегка остудив на воздухе, другой рукой вводят в отверстие острый конец развертки. Вращая изделие вокруг своей оси на развертке, постепенно расширяют отверстие до нужного диаметра. При этом острый конец развертки должен расположиться под небольшим углом к центральной оси отверстия. Так необходимо делать, чтобы губки отверстия не вмялись внутрь изделия.

Если заготовку трудно вращать в пламени, то, соблюдая выше описанные правила, отверстие развертывают, вращая развертку. Если требуется получить квадратное, треугольное, эллиптическое отверстие, то вначале делают круглое отверстие, а затем с помощью развертки придают отверстию нужную форму.

Широкие отверстия развертывают аналогичным способом, применяя необходимые по размеру развертки.

Развертывание краев у торцов трубок. Трубку, у которой следует развернуть края торца, с одной стороны обрезают, с другой – оттягивают державу или насаживают насадку. Чтобы края были ровными, торец подшлифовывают на планшайбе. Осторожно обогрев торец на пламени горелки, края его размягчают и выносят из пламени, не переставая вращать.

Дав слегка остыть стеклу, внутрь трубки вводят соответствующую развертку. Наиболее удобны в данном случае плоские конусообразные развертки.

Сначала развертку вводят в трубку параллельно стенкам трубки и слегка прижимают к ним. По мере остывания стекла нажим на стенки увеличивают, постепенно переводя развертку из горизонтального положения в наклонное, тем самым развертывая края торца. Затем развертку выводят из трубки, а развернутые края и трубку обогревают в пламени.

Размер развернутых краев зависит от длины размягченного участка трубки, размера пламени и диаметра трубки.

Тройнпковые спаи

Трубка, припаянная под углом к любой части другой трубки, образует тройник из трех трубок, расходящихся и стороны от места спая. Спай, полученный при таком расположении трубок, называется тройниковым. При изготовлении концы у двух трубок закрывают или запаивают, а через конец третьей трубки поддувают. Все тройниковые спаи обязательно отжигают в пламени горелки.

Тройниковый спай на трубках диаметром 20–25 мм. Трубку в месте, где должен быть тройниковый спай, обогревают на пламени по всей окружности до появления желтоокрашенного пламени. Затем место спая прогревают до размягчения и стеклянной палочкой вытягивают узкий капилляр, который отпаивают вблизи трубки. Оставшийся на трубке капилляр сплавляют в узком пламени горелки до основания его. Сплавив, раздувают в небольшой шарик. Диаметр окружности у основания шарика должен быть чуть меньше диаметра припаиваемой трубки или равен ему.

Размягчив шарик в пламени, его выдувают в тонкостенный пузырь и легко снимают любым предметом. Отверстие всегда нужно делать меньше диаметра припаиваемой трубки, если же оно слишком мало, его можно развернуть. Одинаково размягчают торец припаиваемой трубки и образовавшиеся после откалывания пузыря губки у отверстия, соединяют их и, вынеся из пламени, раздувают место спая, одновременно вытягивая раздутие до выравнивания его диаметра с диаметром припаиваемой трубки. Далее следует тщательно пропаять спай узким пламенем. Пропаивать можно частями, а можно и «в круговую», держа тройник в руках, как показано на рис. 21. При пропаивании размягчить нужно только место спая и ни в коем случае не доводить до размягчения остальные части трубок.

Если требуется припаять трубку тройниковым спаем под острым углом, то торец ее отшлифовывают под нужный угол, а отверстие на другой трубке развертывают по длине и ширине до размеров, соответствующих шлифованному торцу. Пропайку ведут только по частям.

Тройниковый спай, получаемый при помощи стеклянной палочки. Этим методом пользуются при припайке узкой трубки диаметром 6–7 мм к более широкой без предварительного выдувания отверстия. Один конец широкой трубки следует закрыть. В месте будущего тройникового спая на широкой трубке размягчают участок диаметром 3–4 мм и одновременно в пламени горелки разогревают торец стеклянной палочки диаметром 6–7 мм до образования шарика диаметром 8–9 мм. Сняв с пламени, соединяют размягченные места трубки и палочки и начинают медленно поддувать через открытый конец трубки. Размягченная часть стекла, раздуваясь, перемещается в размягченную стеклянную палочку, образуя тройниковый спай. По мере раздутия палочку следует все время оттягивать, следя за толщиной стенок получаемой трубки. Получив узкую трубку длиной 15–20 мм, стеклянную палочку отрезают или оттягивают. Диаметр узкой трубки зависит от размера площади соединения шарика палочки с трубкой. Если диаметр окружности в месте соединения размягченного шарика будет равен 4 мм, то диаметр узкой трубки, полученной после раздутия, будет равен 5–6 мм и т.д. Часто этим способом готовят тройниковые спаи более широких диаметров до 20–25 мм, особенно если отводы делают не длинными. Этим способом удобно пользоваться, если узкая трубка должна быть припаяна под небольшим углом к широкой.

Тройниковые спаи, полученные данным способом, всегда отличаются от обычных тройниковых спаев чистотой отделки, надежностью, герметичностью; в них практически исключается наличие микроотверстий.

Интересный способ изготовления тройникового спая предложил мастер – стеклодув из Народной республики Болгарии Любомир Нончев. Сначала стенки торца припаиваемой трубки утолщают в пламени и слегка развертывают. Размягчив края утолщенного торца и часть трубки в месте тройникового спая, их соединяют, а затем через припаиваемую трубку резко втягивают воздух в себя. При этом размягченная часть трубки выдувается по внутреннему диаметру припаянной. Такой метод применим только в работе с тугоплавкими стеклами, преимущественно кварцевыми.

Тройниковый спай на широких трубках. Тройниковый спай на трубках диаметром от 20 до 40 мм делают, сводя на конус торец припаиваемой трубки и, соответственно, подгоняя отверстие на другой трубке под диаметр конуса. Пропаивают почти все тройниковые спаи на широких трубках по частям за исключением трубок, у которых можно вывести державу с другой стороны тройпикового спая на одной с ним оси.

Тройниковый спай без поддува. Крановой лепкой в тройниковом спае пользуются, если невозможно поддувать через трубки. Этим способом удобнее припаивать узкую трубку к широкой.

На широкой трубке делают отверстие диаметром 5‑G мм. С помощью резкого узкого пламени полученное отверстие расширяю» до размера, соответствующего диаметру припаиваемой трубки! утолщая тем самым губки отверстия. Для удобства работы к широкой трубке при! паивают державу и выводят ее напротив отверстия. С помощькя державы и вращают изделие. Стенки торца припаиваемой трубки предварительно утолщают на 2–3 мм и развертывают чуть больше ее диаметра. Размягчив губки отверстия и «стопив» развернутый торец до размера, соответствующего диаметру отверстия, их быстро соединяют вне пламени горелки, не забывая вращать тройник и следя за равномерным размещением стекла по спаю. По мере остывания припаянную трубку следует вытянуть в месте спая во избежание «залипаний». Переход от узкой трубки к широкой должен быть плавным и открытым.

Если диаметр припаиваемой трубки больше 30 мм, то ее утолщенному торцу следует придать форму, соответствующую окружности широкой трубки, т.е. так развернуть ее, чтобы края торца как бы охватывали трубку по окружности. Лишнее стекло при подготовке торца следует выбирать стеклянной палочкой в пламени, чтобы избавиться от наплывов стекла. Необходимее помнить, что при таком спаивании нужно сильно, но равномерна размягчить стекло перед лепкой и правильно беспрестанно вращать изделие по мере его остывания. Данный способ в основном! применяют при изготовлении стеклянных кранов.

Пропаивание нескольких тройниковых спаев одновременно. Часто к колбе или к какому-нибудь стеклянному изделию требуется припаять тройниковыми спаями несколько трубок, расположенных под определенным углом к изделию. Если припаивать трубки обычным способом, то, припаивая каждую трубку отдельно, трудно сохранить нужный угол наклона, причем при очередном обогреве в пламени горелки всегда возникает опасность перегрева трубок, а следовательно, изменение угла наклона. Кроме того, особенно при монтаже крупногабаритных изделий, довольно трудно пропаивать тройниковые спаи, удерживая в одной руке изделие, а в другой припаиваемую трубку. Чтобы исключить все эти недостатки, пользуются специальным приемом! а именно временно спаивают стеклянной палочкой друг с другом все отводы и только потом пропаивают все трубки «одновременно». Порядок работы следующий. Сначала колбу разогревают на пламени горелки и размечают места будущих припаек размягченным конпом стеклянной палочки, делая на колбе еле заметные точки После этого поочередно выдувают отверстия по размеченным местам и тройниковым спаем припаивают все четыре отвода, соблюдая заданный угол наклона. Далее все четыре припаянные трубки временно спаивают между собой стек! лянной палочкой так, как показано на рис., а затем приступают к тщательному пропаиванию каждого тройникового спая отдельно на узком пламени горелки. Скрепленные между собой трубки позволяют работающему спокойно и тщательно пропаять каждый спай, не нарушив угла наклона трубок. После того как места пайки трубок будут обработаны и все изделие полностью остынет, верхние части припаянных трубок вместе с припаянными палочками отрезают.

Изменение диаметра и формы трубок

Осаживание стекла. Изделие любой формы изготовляют из обычных трубок или цилиндров, подбирая их по диаметру и толщине стенок. Начинают работу с изготовления заготовки путем накапливания стеклянной массы и раздувания до нужного размера.

При нагревании стекло размягчается и, как известно, приобретает способность течь, образуя наплывы. Это свойство необходимо использовать, чтобы «собирать» нужное количество стекла в одно место и делать стенки заготовки более толстыми, а затем, раздувая и обкатывая стеклянную массу, увеличивать диаметр трубки изменять ее форму и т.д.

Прежде всего, пульки нагревают в пламени горелки до размягчения, беспрестанно и равномерно вращая в обе стороны. Естественно, в месте нагрева диаметр трубки несколько уменьшится, а толщина стенок увеличится, причем утолщение зависит от времени нагревания. Сняв пульку с пламени, ее продолжают вращать, тем самым давая разогретой массе равномерно растечься и остыть с поверхности.

Раздувать можно только через 2–15 с после того, как пулька снята с пламени. Это правило является общим при обработке стекла с применением дутья, Предварительное небольшое охлаждение необходимо для того, чтобы остыли тонкие разогретые стенки исходной трубки, непосредственно примыкающие к месту заготовки, подлежащей раздуву. В противном случае раздуваться в первую очередь будут именно тонкие стенки исходной трубки, а это недопустимо.

Раздувая, получают шар, который помещают в мягкое пламя горелки и слегка растягивают. Получают цилиндр. Если необходимо утолстить его стенки и еще увеличить в размере, заготовку снова нагревают так, чтобы пламя охватывало и заготовку, и непосредственно к ней примыкающие части исходной трубки. Вращая изделие, переплавляют стеклянную массу из стенок трубки в стенки цилиндра. Эту операцию многократно повторяют, пока не наберут необходимое количество стекла. Затем путем выдувания, обкатывания, формования и т.п. придают заготовке любую нужную форму.

Необходимо помнить, что для получения заготовки осаживанием размягченное стекло нельзя сжимать, так как при этом стенки получаются неровными, волнистыми, деталь из такой заготовки получается непрочная из-за разной толщины стенок.

При обогреве вплоть до размягчения обе руки должны работать синхронно. После начала размягчения изделие вращают той рукой, которая держит более тяжелую часть заготовки, другая рука при этом только поддерживает державу с расплавленной массой стекла.

Стенки какой-либо части трубки диаметром более 60 мм нельзя утолщать описанным способом. Дело в том, что размягченная масса стекла таких трубок при длительном нагревании и вращении в пламени под действием собственного веса и центробежной силы начинает растекаться в стороны, увеличиваясь в объеме; при этом стенки исходной трубки становятся тоньше. Удерживать расплывающуюся массу очень трудно. Поэтому периодически стекло осаживают укатыванием в канавке обкатки, вращая

Если длина и масса заготовки позволяют вращать се на двух державах, то весь процесс по накапливанию стекла и последующую обработку ведут на руках. Если нет, то заготовку вращают, держа в руке одну державу, удерживая изделие на подставке. В этом случае процесс накопления стекла проводят следующим образом. К концу исходной трубки припаивают державу диаметром 15–20 мм, другой конец запаивают, сделав толстостенное округленное дно. Отступя от округленного конца на 70–80 мм, трубку разогревают до размягчения, вращая в пламени. Вращают заготовку обеими руками, пользуясь припаянной державой. Размягченную массу изредка раздувают, выравнивая се, вне пламени горелки и тут же обкатывают на обкатке. Обкатанная часть должна быть на 5–6 мм уже диаметра исходной трубки. Эту операцию повторяют несколько раз до достаточного утолщения стенок в обрабатываемой части трубки. Добившись утолщения стенок, размягчают соседний участок трубки между указанной частью и округленным дном. При этом пламя должно захватывать и большую часть утолщенной ранее трубки.

Для получения достаточно толстостенной заготовки описанные операции повторяют многократно. Из полученной толстостенной

трубку к себе и от себя с легким нажимом. При этом также стекло перетапливается, перетекая от более тонких стенок исход-поп трубки в толстые, но в отличие от ранее описанного способа диаметр участка трубки с натопленными стенками делают либо равным диаметру исходной трубки, либо меньше на 5–10 мм.

Изготовление шара. Берут трубку диаметром GO мм и делают заготовку описанным выше методом. Стенки заготовки должны иметь толщину не менее 5 мм по длине 70–80 мм. Полученную толстостенную часть заготовки несколько раз размягчают в пламени, не забывая укатывать на обкатке до образования равных по толщине стенок с немного утолщенным дном. При этом длина толстостенной части уменьшится до 50–60 мм. Тщательно размягчив утолщенную часть, заготовку снимают с пламени и вращают в горизонтальном положении. По истечении 3–4 с начинают раздувать шар. Дуть вначале нужно не торопясь и не напрягаясь. По мере остывания раздуваемого шара нужно увеличивать силу дутья. Раздувают до тех пор, пока диаметр шара не достигнет 182 мм, толщина стенок при этом будет около 2 мм, объем – 3000 см3.

Изготовление сосуда с плоскими стенками. По сути дела изготовление сосуда с плоскими стенками сводится к изготовлению на трубке двух донышек с небольшим расстоянием между ними. Но исходя из того, что заготовки, выпускаемые стекольной промышленностью, сравнительно тонкостенные, лучше и надежнее изготавливать такие сосуды из толстостенной колбы, сделанной на пламени горелки и снабженной двумя державами. Естественно, чем больше объем сосуда, тем толще должны быть стенки исходной колбы. Колбу выдувают так, чтобы стенки ее постепенно утолщались от держав к середине колбы, причем толщина стенки в средней части колбы должна в 1,6–1,8 раза превышать толщину стенки колбы вблизи держав] Соблюдение этого правила обязательно, так как, если толщина стенок колбы будет одинаковой, при изготовлении плоского coсуда в месте изгиба возникнут внутренние напряжения и сосуд может треснуть. Плечики дна после изготовления должны быть округлыми, а толщина] стенок в изгибе должна превышать толщину стенки дна также в 1,6–1,8 раза, причем толщина стенок дна не должна быть менее 1,5–2 мм.

Изготовив колбу, одну из держав оттягивают и делают плоское дно. Если сосуд предназначен для работы под вакуумом, то плоское дно снова разогревают в пламени и придают ему несколько выпуклую форму. К центру дна подпаивают трубку державу и, отступя от плечиков полученного дна на заданный размер, делают второе дно. Далее к сосуду припаивают трубку, изгибают ее и выводят по центру второго дна, а затем отпаивают трубку от первого дна. Выравнивая место отпайки, весь сосуд тщательно обогревают в пламени горелки.