

В. В. ОВЧИННИКОВ

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

УЧЕБНИК

*Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования
в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих программы начального
профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 342
от 16 июня 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

5-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2016

УДК 621.791.5(075.32)
ББК 34.641:34.642я722
О-355

Рецензент —
преподаватель спецдисциплины «Сварочное производство»
ГОУ СПО «Строительный колледж № 41», г. Москва *Н.О.Петрусёва*

Овчинников В. В.

О-355 Технология газовой сварки и резки металлов : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.В.Овчинников. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2016. — 240 с.

ISBN 978-5-4468-4149-3

Учебник является частью учебно-методического комплекта по профессии «Сварщик».

Изложены общие сведения о газовой сварке и резке металлов. Описана технология сварки цветных металлов и сплавов. Рассмотрено оборудование, применяемое при газовой сварке и резке.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02) по профессии «Сварщик (электросварочные и газосварочные работы)».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.791.5(075.32)
ББК 34.641:34.642я722

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

ISBN 978-5-4468-4149-3

© Овчинников В. В., 2010
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

Уважаемый читатель!

Данный учебник является частью учебно-методического комплекта по профессии «Сварщик (электросварочные и газосварочные работы)».

Учебник предназначен для изучения профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают в себя традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. В них включены терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

Предисловие

Сварка — один из основных технологических процессов в современном промышленном производстве, в значительной мере определяющий технический уровень, качество, рентабельность и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Поэтому важное значение имеет освоение высокопроизводительных сварочных процессов и нового оборудования.

Газовая сварка и резка является одним из ведущих направлений в современном сварочном производстве, широко применяемым при изготовлении различных конструкций: металлургического, кузнечно-прессового, химического и энергетического оборудования, трубопроводов различного назначения, а также в строительстве. Важную роль играет газовая сварка при выполнении ремонтных работ.

Цель настоящего учебника — помочь студентам образовательных учреждений, обучающимся по профессии «Сварщик», овладеть знаниями, необходимыми для практической работы. Кроме того, это учебное издание может оказаться полезным для квалифицированных мастеров и рабочих, проходящих переподготовку, а также для специалистов в области газопламенной обработки металлов.

Учебник содержит описание основных технологических процессов и типовых приемов газовой сварки и резки металлов, применяемых в современном производстве, и оптимальных режимов их осуществления, сведения о материалах и оборудовании, его технических характеристиках и рекомендуемых областях применения.

В учебнике рассмотрены технология и особенности газовой сварки и резки различных конструкционных материалов (сталь, чугун, цветные металлы), основные технологические приемы при сварке соединений в различных пространственных положениях.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

1.1. КИСЛОРОД, ЕГО СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ

Кислород O_2 является наиболее распространенным элементом на Земле. Газообразный кислород бесцветен, прозрачен, не имеет запаха и вкуса, негорюч, но способен активно поддерживать процесс горения.

Основные физические свойства кислорода следующие:

Молекулярная масса	32
Масса 1 м ³ при 0 °С и 0,1 МПа, кг	1,43
Критическая температура, °С	119
Температура сжижения при 0,1 МПа, °С	183,18
Масса 1 м ³ жидкого кислорода при –183 °С и 0,1 МПа, кг	1 140
Количество газообразного кислорода, получающегося из 1 м ³ жидкого кислорода при 0 °С и 0,1 МПа, м ³	860

Кислород обладает высокой химической активностью и способен образовывать химические соединения (оксиды) со всеми элементами кроме инертных газов и благородных металлов. Скорость реакции окисления возрастает при повышении температуры или применения катализаторов. Реакции окисления органических веществ в кислороде протекают с выделением большого количества тепловой энергии. Повышение давления и температуры кислорода в зоне реакции значительно ускоряет ее протекание.

При соприкосновении сжатого газообразного кислорода с органическими веществами (пленкой масел или жиров, угольной пылью) может происходить их самовоспламенение, поэтому при использовании кислорода необходимо следить за тем, чтобы он не находился в контакте с легковоспламеняющимися горючими веществами, способными гореть в кислороде.

В процессе эксплуатации необходимо исключить возможность попадания и накопления масел и жиров на поверхности деталей, работающих в среде кислорода.

Горючие газы и пары образуют с кислородом взрывчатые смеси, обладающие широкими пределами взрываемости при воспламенении. Взрывная волна в таких смесях распространяется с высокой скоростью (3 000 м/с и более).

Отмеченные свойства кислорода следует всегда учитывать при его использовании в процессах газопламенной обработки, транспортировании и хранении.

Технический кислород является основой для осуществления процессов газовой сварки, кислородной резки, поверхностной закалки и других процессов газопламенной обработки.

Кислород можно получать электролизом воды и разделением воздуха методом глубокого охлаждения. Химические способы малопроизводительны и неэкономичны.

Электролиз воды, т. е. разложение ее на составляющие (водород, кислород), осуществляют в электролизерах. Через воду, в которую для повышения электрической проводимости добавляют едкий натр — гидроксид натрия NaOH , пропускают постоянный ток; кислород собирается на аноде, а водород — на катоде. Недостатком способа является большой расход электроэнергии; его применение рационально при одновременном использовании обоих газов. Основной способ промышленного получения кислорода — извлечение из атмосферного воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации воздуха. В установках для получения кислорода и азота воздух подвергается очистке от примесей, сжатию в компрессоре до соответствующего давления (0,6... 20 МПа), охлаждению в теплообменниках до температуры сжижения и затем в жидком виде разделению (низкотемпературной ректификации) на кислород и азот.

Разность температур сжижения кислорода и азота составляет около 13°C , что достаточно для их полного разделения в жидкой фазе. На крупных воздухоразделительных установках попутно с получением кислорода или азота из воздуха извлекают также инертные газы: аргон, криптон, ксенон, неонгелиевую смесь, имеющие широкое применение в технике.

1.2. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ, ИХ ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

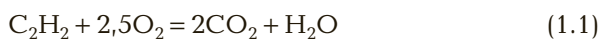
Для процессов газовой сварки и резки могут быть применены различные горючие газы, при сгорании которых в смеси с техни-

ческим кислородом температура газового пламени превышает 2 000 °С. По химическому составу они, за исключением водорода, представляют собой или углеводородные соединения, или смеси различных углеводородов.

Ацетилен. Для газопламенной обработки наибольшее распространение получил ацетилен. При его сгорании в кислороде образуется пламя с более высокой температурой, чем при сгорании других горючих газов — заменителей ацетилена.

Ацетилен C_2H_2 представляет собой углеводород ненасыщенного ряда. Его структурная формула $H-C \equiv C-H$. При атмосферном давлении и нормальной температуре ацетилен — бесцветный газ. Технический ацетилен вследствие присутствия в нем примесей имеет резкий специфический запах. При температуре 20 °С, давлении 0,1 МПа плотность ацетилена — 1,09 кг/м³. При атмосферном давлении ацетилен сжигается при температуре –83,6...–82,4 °С.

Полное сгорание ацетилена происходит по реакции



т. е. для полного сгорания одного объема ацетилена требуется два с половиной объема кислорода. Высшая теплота сгорания ацетилена при температуре 0 °С и давлении 0,1 МПа — 58 660 кДж/м³. Теплота реакции сгорания ацетилена складывается из теплоты реакции распада ацетилена и суммы теплоты первичных реакций сгорания углерода и водорода.

Распад ацетилена происходит по реакции



Важным параметром сварочного пламени помимо его температуры является интенсивность горения, под которой понимается произведение нормальной скорости горения на теплоту сгорания смеси. Данные об интенсивности горения ацетилена и некоторых других горючих газов приведены в табл. 1.1. Ацетилен обладает наибольшей интенсивностью горения по сравнению с другими газами, используемыми при газопламенной обработке.

Температура самовоспламенения ацетилена (240...630 °С) зависит от давления и присутствия в ацетилене различных веществ. Повышение давления существенно снижает температуру самовоспламенения ацетилена. Присутствие в ацетилене частиц других веществ увеличивает поверхность контакта и тем самым снижает температуру самовоспламенения.

При сжатии ацетилена в компрессоре до давления 2,9 МПа, если температура в конце сжатия не превышает 275 °С, самовосп-

Таблица 1.1. Интенсивность горения газов

Горючий газ	Полное сгорание		Нормальное пламя			
			Горючее, %	Интенсивность горения, МДж/(м ² ·с)		
	Горючее, %	Интенсивность горения, МДж/(м ² ·с)		первичная	вторичная	общая
Ацетилен	28,1	116	49	52	92	175
Водород	66,7	75	80	44	42	86
Метан	33,3	58	40	47	23	71
Пропан	16,7	55	20	51	113	62

ламенения ацетилена не происходит. Это позволяет наполнять баллоны ацетиленом в целях его длительного хранения и транспортирования. С повышением избыточного давления $p_{и}$ температурный предел t начала процесса полимеризации снижается (рис. 1.1).

При использовании ацетилена допустим его нагрев до следующих значений температуры в зависимости от давления p : при $p = 0,1$ МПа — до 300 °С; при $p = 0,25$ МПа — до 150... 180 °С; при $p > 0,25$ МПа — до 100 °С.

Один из важных показателей взрывоопасности горючих газов и паров — энергия зажигания. Чем меньше энергия зажигания,

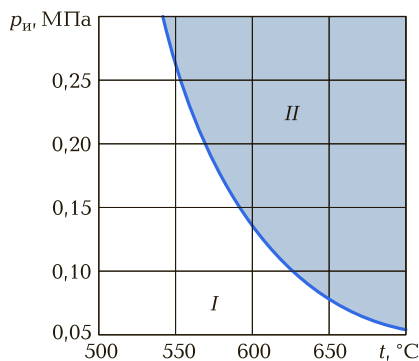


Рис. 1.1. Области полимеризации [I] и взрывного распада [II] ацетилена

тем взрывоопаснее вещество. Энергия зажигания кислородно-газовых смесей в 100 раз меньше, чем воздушно-газовых. Ацетилен имеет наименьшую энергию зажигания и в отношении взрывоопасности подобен водороду.

Присутствие паров воды сильно снижает способность ацетилена к самовоспламенению от случайных источников нагрева и к взрывчатому распаду. В связи с этим в ацетиленовых генераторах, где ацетилен всегда насыщен парами воды, действующими правилами установлено предельное давление: избыточное — 0,15 МПа, абсолютное — 0,25 МПа.

При атмосферном давлении смесь ацетилена с воздухом взрывоопасна при содержании в ней 2,2 % ацетилена и более; смесь с кислородом — 2,8 % ацетилена и более. Верхнего предела взрываемости для смесей ацетилена с воздухом и кислородом не существует, так как взрываться способен и чистый ацетилен при достаточной энергии зажигания.

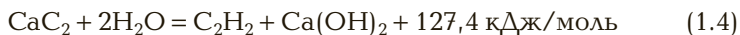
Основным способом получения ацетилена является переработка карбида кальция CaC_2 . Этот способ довольно громоздок, дорог и требует большого количества электроэнергии. Получение ацетилена из природного газа на 30...40 % дешевле, чем из карбида кальция. Ацетилен, используемый для сварки и резки, закачивают в баллоны с пористой массой, пропитанной ацетоном. По свойствам он не отличается от ацетилена, получаемого из карбида кальция.

Карбид кальция CaC_2 — твердое вещество кристаллического строения, имеющее в изломе темно-серый цвет. Реакция образования карбида кальция из оксида кальция CaO и углерода C протекает при температуре 2 000...2 300 °С с поглощением теплоты:



Для получения 1 кг карбида кальция теоретически требуется затратить 7,06 МДж энергии. Технический карбид кальция содержит 70...75 % химически чистого карбида кальция, 17...24 % оксида кальция и различные примеси: оксиды магния, алюминия, железа, соединения серы, фосфора, ферросилиций, углерод и др.

Карбид кальция чрезвычайно активно вступает в соединение с водой, разлагаясь при этом с образованием газообразного ацетилена и гидроксида кальция (гашеной извести). Разложение карбида кальция водой протекает с выделением теплоты:



Для разложения 1 кг химически чистого карбида кальция требуется затратить 0,562 кг воды. При этом получается 0,406 кг аце-

тилена и 1,156 кг гидроксида кальция. Количество ацетилена (выход ацетилена), получаемое при разложении 1 кг карбида кальция — 372 дм³/кг. С учетом паров, насыщающих ацетилен, при температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа выход ацетилена составит 380 дм³/кг.

При разложении 1 кг карбида кальция выделяется 1,98 МДж/кг количества теплоты, что создает опасность перегрева в зоне реакции, требует осуществлять ее при избытке воды и обеспечивать отвод теплоты реакции. Особенно опасны местные перегревы карбида кальция, так как при этом температура в месте разложения карбида кальция может достигать 700...800 °С. При такой температуре возможен взрыв ацетилена, особенно при попадании воздуха в зону реакции. В связи с этим действующими правилами предусмотрено требование поддерживать в месте разложения карбида кальция температуру не выше 250 °С, при которой еще не могут возникать процессы взрывчатого распада ацетилена.

Скорость разложения измеряется количеством ацетилена, выделившегося при разложении 1 кг карбида кальция в течение 1 мин, и зависит от сорта и грануляции карбида кальция, а также температуры воды. Повышение содержания в воде гидроксида кальция снижает скорость разложения вследствие заиливания кусков карбида кальция. При содержании в воде 20 % гидроксида кальция и температуре 17 °С разложение карбида кальция почти полностью прекращается вследствие сильного заиливания его кусков. При разложении карбида кальция в ацетиленовых генераторах предусмотрено его периодическое перемешивание в зоне реакции.

Наибольшая скорость разложения карбида кальция отмечается в первые 2...4 мин после его смачивания (рис. 1.2). Карбидная пыль разлагается почти мгновенно, что представляет опасность при использовании мелких частиц карбида кальция в генераторах обычной конструкции. При быстром разложении возможно резкое повышение давления и температуры в зоне реакции вследствие склонности пыли к спеканию, что, в свою очередь, часто приводит к вспышкам и взрывному распаду ацетилена. В связи с этим при использовании карбидной пыли применяют специальные генераторы, в которых обеспечивают точное дозирование подачи пыли и воды и охлаждение реакционной зоны при постоянном перемешивании реагирующих веществ. С учетом указанной особенности разложения мелкого карбида кальция содержание пыли и мелких частиц размером менее 2 мм для грануляции

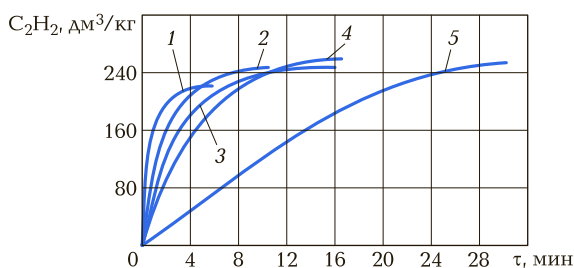


Рис. 1.2. Зависимость скорости образования газообразного ацетилена от времени разложения τ карбида кальция и его грануляции (отношения размеров, мм, минимальной и максимальной фракций):
 1 – 2/8; 2 – 8/15; 3 – 15/25; 4 – 25/50; 5 – 50/80

25... 50 мм и более не должно превышать 2%, для грануляции 2... 25 мм — не более 5%.

Поскольку карбид кальция интенсивно поглощает атмосферную влагу и при этом разлагается с выделением ацетилена, его хранят и транспортируют в стальных барабанах, герметически закрывающихся крышкой. Барабаны с карбидом кальция необходимо хранить в сухих, хорошо проветриваемых складах, защищенных от затопления грунтовыми водами и располагаемых на расстоянии не менее 20 м от производственных помещений и жилых зданий.

Для хранения и транспортирования ацетилена под давлением используют баллоны, заполненные специальной пористой массой, пропитанной ацетоном. Ацетон CH_3COCH_3 — растворитель, имеющий температуру кипения 56°C , температуру заморзания $-94,3^\circ\text{C}$, плотность $0,7911 \text{ кг/м}^3$. При температуре 20°C и давлении $0,1 \text{ МПа}$ в 1 кг (1 дм^3) ацетона растворяется $27,9 \text{ кг}$ (20 дм^3) ацетилена. Растворимость ацетилена в ацетоне возрастает почти прямо пропорционально давлению. При снижении температуры растворимость ацетилена в ацетоне растет. Ацетон, являясь хорошим растворителем для ацетилена, позволяет существенно увеличить количество ацетилена, закачиваемого в баллон. Кроме того, ацетон снижает взрывоопасность ацетилена. Ацетон удерживается в порах массы и распределяется по всему объему баллона, что увеличивает поверхность его контакта с ацетиленом при растворении и выделении из раствора. Ацетилен, отпускаемый потребителям в баллонах, называется растворенным ацетиленом. Максимальное давление ацетилена при заполнении — $2,5 \text{ МПа}$. При

отстое и охлаждении баллона до температуры 20 °С оно снижается до 1,9 МПа; при этом давлении в 40-литровый баллон вмещается 5...5,8 кг ацетиленового газа (4,6...5,3 м³ газа при температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа).

Чтобы полнее использовать вместимость баллона, порожние ацетиленовые баллоны следует хранить в горизонтальном положении, что способствует более равномерному распределению ацетона по всему объему баллона. Наполнять баллоны ацетиленом следует медленно — с учетом скорости его растворения в ацетоне — и обычно в два приема: сначала наполнить баллоны в течение 6...9 ч до давления 2,2...2,3 МПа, затем дать им отстояться и вторично заполнить до давления 2,3...2,5 МПа так, чтобы после охлаждения до температуры 20 °С давление в них составляло 1,9 МПа согласно ГОСТ 5457—75. Для ускорения заполнения баллонов иногда их снаружи охлаждают водой, что повышает коэффициент растворимости ацетиленового газа в ацетоне.

Растворенный ацетилен имеет ряд существенных преимуществ перед ацетиленом, получаемым из карбида кальция в переносных генераторах непосредственно на месте выполнения работ. При использовании ацетиленовых баллонов взамен переносных генераторов на 20 % повышается производительность труда сварщика, на 15...25 % снижаются потери ацетиленового газа, повышаются оперативность и маневренность сварочного поста, удобство и безопасность выполнения работы, отсутствуют затруднения, связанные с использованием генераторов в зимнее время. Кроме того, растворенный ацетилен является высококачественным горючим, содержащим минимальное количество посторонних примесей, поэтому может применяться при выполнении особо ответственных сварочных работ.

Пористая масса для ацетиленовых баллонов должна отвечать следующим требованиям: надежно локализовать взрывной распад ацетиленового газа в баллоне при давлении до 3 МПа; не взаимодействовать с ацетиленом, ацетоном и металлом баллона; обладать достаточной механической прочностью и не разрушаться при толчках и ударах, неизбежных в процессе эксплуатации баллона; не оседать и не образовывать пустот в баллоне; должна быть легкой и пористой, чтобы не уменьшать полезный объем и не увеличивать массу тары баллона; не должна выгорать при обратном ударе пламени; должна иметь большой объем микропор, что обеспечивает равномерное распределение ацетона по всему объему баллона и предотвращает стекание раствора на дно баллона.

В качестве пористой массы применяют такие высокопористые вещества, как инфузорную землю (кизельгур, диатомит), пемзу, асбест, древесный и активированный уголь, силикат кальция, карбонат магния и др.

Газы — заменители ацетилена (далее — газы-заменители) целесообразно использовать в тех процессах газопламенной обработки, в которых не требуется слишком высокая температура подогревающего пламени: сварка легкоплавких металлов (алюминия, магния и их сплавов, свинца), пайка высоко- и низкотемпературными припоями, поверхностная закалка, сварка тонкой стали, кислородная разделительная и поверхностная резка. Особенно широкое применение газы-заменители находят при кислородной разделительной резке, при которой температура подогревающего пламени влияет лишь на длительность начального подогрева металла перед резкой. В связи с этим для резки можно использовать все газы-заменители, у которых температура пламени при сгорании в смеси с кислородом не ниже $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплота сгорания не менее 10 МДж/м^3 .

Эффективность и условия использования газов-заменителей при обработке материалов газокислородным пламенем определяются следующими их свойствами: теплота сгорания; плотность; температура воспламенения и скорость горения в смеси с кислородом; соотношение между кислородом и горючим в смеси; эффективная тепловая мощность пламени; температура пламени при сгорании в смеси с кислородом; удобство и безопасность при получении, транспортировании и использовании.

Эффективная тепловая мощность пламени горючего — это количество теплоты, вводимой в нагреваемый металл в единицу времени. В наибольшей степени эффективная мощность пламени горючего газа зависит от соотношения кислорода и горючего газа в смеси и расхода горючего газа. Оптимальное рабочее соотношение объемов кислорода и горючего газа $\beta = V_{\text{к}}/V_{\text{г}}$ в смеси для различных горючих газов принимается следующим: ацетилен $0,8 \dots 1,4$; водород $0,3 \dots 0,4$; природный газ (метан) $1,0 \dots 1,5$; пропан технический $3,0 \dots 3,5$; коксовый газ $0,75 \dots 0,8$; нефтяной газ $1,5 \dots 1,6$.

Коэффициентом замены ацетилена называют отношение расхода газа-заменителя V_3 к расходу ацетилена V_a при равном тепловом воздействии на нагреваемый металл: $\psi = V_3/V_a$. Для определения значения коэффициента замены используют графики, приведенные на рис. 1.3 и 1.4. С их помощью находят расход газа-заменителя V_3 для условий, когда при его сгорании в смеси

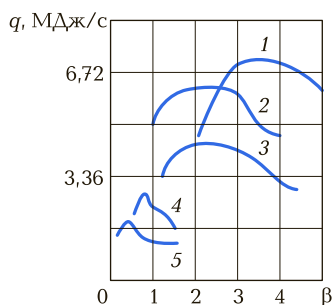


Рис. 1.3. Зависимость эффективной мощности пламени q от соотношения кислорода и горючего газа β :

- 1 — пропан-бутановая смесь;
- 2 — ацетилен;
- 3 — метан;
- 4 — коксовый газ;
- 5 — водород

с кислородом при рабочем соотношении газов эффективная мощность пламени равна таковой для ацетиленокислородного пламени при соотношении $V_3/V_a = 1,15$. Принимаемые на практике значения коэффициентов замены ацетилена другими горючими газами приведены в табл. 1.2.

Водород. При температуре 20°C и давлении $0,1\text{ МПа}$ водород представляет собой газ без цвета и запаха плотностью $0,084\text{ кг/м}^3$. Водород способен проникать через мельчайшие неплотности в окружающую среду, образуя с воздухом взрывоопасные смеси. Пределы взрываемости водорода с воздухом — $4\text{...}75\text{ об. \%}$, с кислородом — $4\text{...}94\text{ об. \%}$. В связи с этим при работе с водородом необходимо обращать особое внимание на герметичность аппаратуры и газовых коммуникаций.

Технический водород поставляется по ГОСТ 3022—80. В зависимости от способа получения промышленностью выпускается водород следующих марок: А (получают электролизом воды); Б (получают железопаровым способом и взаимодействием ферро-

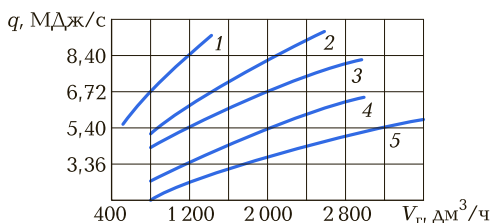


Рис. 1.4. Зависимость эффективной мощности пламени q от расхода горючего газа V_r :

- 1 — пропан-бутановая смесь, $\beta = 3,5$;
- 2 — ацетилен, $\beta = 1,15$;
- 3 — метан, $\beta = 1,5$;
- 4 — коксовый газ, $\beta = 0,8$;
- 5 — водород, $\beta = 0,4$

Таблица 1.2. Значения коэффициентов замены ацетилена другими горючими газами

Резка стали	Газ — заменитель ацетилена					
	Водород	Природный газ	Пропан технический	Коксовый газ	Нефтяной газ	Сланцевый газ
Разделительная	5,2	1,6... 1,8	0,6	3,2... 4,0	1,2	4,0
Поверхностная	—	4,0	1,0... 1,2	5,0	1,8... 2,4	6,0... 8,0

силиция с раствором щелочи); В (получают электролизом хлористых солей); Г (получают паровой конверсией углеводородных газов). Содержание чистого водорода колеблется в пределах 95... 99,8 об. %. Водород отпускается в стальных баллонах под давлением до 16,5 МПа.

Температура водородно-кислородного пламени — 2 000... 2 100 °С. Пламя можно применять для получения высокочистых металлов в газовом пламени при безокислительной пайке стали, иногда при сварке свинца, кислородной разделительной резке под водой. Низшая теплота сгорания водорода — 10,6 МДж/м³.

Природный газ. Состав природного газа определяется характером газового месторождения. Обычно он состоит из 97,8 % метана CH₄, 0,9 % этана C₂H₆ и пропана C₃H₈, 1,3 % азота N₂ и диоксида углерода CO₂. Плотность природного газа — 0,7... 0,9 кг/м³, низшая теплота сгорания (в зависимости от состава) — 31... 33 МДж/м³. Температура пламени при сгорании в смеси с кислородом — 2 100... 2 200 °С; при дополнительном подогреве смеси в мундштуке горелки температуру пламени можно повысить до 2 300 °С. Пределы взрываемости в смеси с воздухом — 4,8... 16,7 об. %, с кислородом — 5,0... 59, об. %.

При газопламенной обработке газ к постам подается в баллонах под давлением до 16,5 МПа или по трубопроводу под давлением примерно 0,3 МПа.

Природный газ применяют при разделительной и поверхностной кислородной резке стали, сварке стали толщиной до 5 мм, сварке легкоплавких металлов и сплавов, пайке.

Пропан технический и пропан-бутановая смесь. Эти газы являются побочными продуктами при переработке нефти.

Пропан технический состоит главным образом из пропана C₃H₈ или из смеси пропана и пропилена C₃H₆, общее количество которых должно быть не менее 93 об. %. Кроме того, в нем содер-

жится не более 4 % этана C_2H_6 и этилена C_2H_4 (в сумме) и не более 3 % бутана C_4H_{10} и бутилена C_4H_8 .

Плотность пропана — 1,88 кг/м³, бутана — 2,52 кг/м³.

Низшая теплота сгорания пропана — 87 МДж/м³, бутана — 116 МДж/м³. Пределы взрываемости в смеси с воздухом: пропана — 2,0...9,5 %, бутана — 1,5...8,5 %; в смеси с кислородом: пропана — 2,4...57 %, бутана — 3,0...45 %.

Температура пламени пропана и пропан-бутановой смеси при сгорании в смеси с кислородом — 2300...2350 °С, при дополнительном подогреве смеси в мундштуке может достигать 2700 °С.

При повышении давления до 1,6 МПа или снижении температуры до 0 °С пропан, бутан и их смеси переходят в жидкое состояние, поэтому их называют сжиженными газами. При температуре 0 °С и давлении 0,1 МПа они находятся в газообразном состоянии. Указанное свойство этих газов делает их удобными для хранения и транспортирования. При газопламенной обработке для хранения и транспортирования сжиженных газов используют сварные стальные баллоны по ГОСТ 15860—84 вместимостью 5...50 дм³. Для перевозки по железной дороге применяют цистерны вместимостью 50 т сжиженного газа.

Коэффициент объемного расширения жидкого пропана в 16 раз, а жидкого бутана в 11 раз больше, чем воды, поэтому при нагреве сосуда со сжиженным газом выше допустимого предела (для цистерн 50 °С, для баллонов 45 °С) возникает опасность повышения давления в сосуде и его взрыва. В связи с этим для наполнения баллонов и цистерн сжиженными газами установлены нормы, которые предусматривают наличие над жидкостью в сосуде паровой подушки, способной вместить дополнительный объем жидкости при ее расширении от нагрева внешним источником теплоты. Масса газа на 1 дм³ вместимости сосуда для пропана не должна превышать 0,425 кг, для бутана — 0,488 кг.

Сжиженные газы широко применяют в качестве заменителей ацетиленов, так как дают достаточно высокую температуру газокислородного пламени, относительно дешевы, недефицитны, удобны для транспортирования и хранения.

При разделительной резке, сварке цветных металлов, пламенной закалке и пайке для замены 1 т карбида кальция (что эквивалентно примерно 235 м³ ацетиленов) требуется 0,3 т сжиженного газа.

Коксовый и сланцевый газы. Коксовый газ получают в процессе коксования каменного угля. Средний состав коксового газа: 50...59 % водорода H_2 , 25...30 % метана CH_4 , 1,8...3,0 % этилена C_2H_4 и других непредельных углеводородов, 5...7 % оксида углеро-

да CO , 6... 13 % азота N_2 и диоксида углерода CO_2 , 0,5... 0,8 % кислорода O_2 ; плотность при температуре 20°C и давлении 0,1 МПа — 0,40... 0,55 $\text{кг}/\text{м}^3$; низшая теплота сгорания — 14,7... 17,6 МДж/ м^3 . Сланцевый газ получают при газификации горючих сланцев. Его состав: 25... 40 % водорода H_2 ; 14... 17 % метана CH_4 ; 10... 20 % оксида углерода CO ; 10... 20 % диоксида углерода CO_2 ; 4... 5 % этана C_2H_6 и других углеводородов; 22... 25 % азота N_2 ; до 1 % кислорода O_2 ; плотность при температуре 20°C и давлении 0,1 МПа — 0,74... 0,93 $\text{кг}/\text{м}^3$, низшая теплота сгорания — 12,6... 14,3 МДж/ м^3 .

Температура пламени коксового и сланцевого газов в смеси с кислородом — 2000°C .

Коксовый и сланцевый газы к постам газопламенной обработки подают по трубопроводу. Их используют при сварке легкоплавких металлов, пайке, разделительной и поверхностной кислородной и кислородно-флюсовой резке и других процессах, для которых достаточна температура пламени 2000°C .

Городской газ. Состав городского газа утверждается соответствующими организациями с учетом используемых источников его получения. Плотность городского газа — 0,84... 1,05 $\text{кг}/\text{м}^3$, низшая теплота сгорания — 18,8... 21,0 МДж/ м^3 , температура газокислородного пламени — 2000°C . Области применения городского газа те же, что и коксового газа.

Пиролизный и нефтяной газы. Эти газы — смеси газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов и мазута при температуре $720... 740^\circ\text{C}$ в ретортах. Выход газа составляет 0,35... 0,4 м^3 на 1 кг нефти. Состав зависит от состава нефти и режима ее переработки. В баллонах газ находится частично в сжиженном состоянии. При отборе газа состав его изменяется вследствие испарения в первую очередь более летучих компонентов. Для выравнивания состава газа и предупреждения частичной конденсации в трубопроводах и шлангах перед горелкой иногда устанавливают промежуточный ресивер вместимостью 40 дм^3 , в котором газ находится под избыточным давлением (0,3... 0,4 МПа); из ресивера газ через регулятор давления поступает в горелку или резак.

Плотность пиролизного газа при температуре 20°C и давлении 0,1 МПа — 0,65... 0,85 $\text{кг}/\text{см}^3$; низшая теплота сгорания — 31,4... 33,5 МДж/ м^3 ; коэффициент замены ацетилена при разделительной резке — 1,6.

Плотность нефтяного газа при температуре 20°C и давлении 0,1 МПа — 0,63... 1,43 $\text{кг}/\text{м}^3$; низшая теплота сгорания — 41,0... 56,6 МДж/ м^3 .

Температура пламени пиролизного и нефтяного газов — 2 297 °С.

Области применения пиролизного и нефтяного газов те же, что и пропана и пропан-бутановой смеси. Ввиду более низкой температуры пламени пиролизный и нефтяной газы можно использовать для сварки стали толщиной не более 3 мм.

1.3. ФЛЮСЫ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Известно, что, чем больше химическое сродство данного металла к кислороду и чем меньше упругость диссоциации (распада) его оксида, тем большей устойчивостью обладает этот оксид и тем труднее восстановить металл.

Вещества, применяемые для восстановления металла из оксидов, должны обладать бóльшим химическим сродством к кислороду, чем восстанавливаемый металл, а оксиды этих восстанавливающих веществ должны обладать меньшей упругостью диссоциации, чем оксид восстанавливаемого металла. Наибольшую упругость диссоциации имеет оксид меди Cu_2O , наименьшую — оксид кальция CaO .

Следует иметь в виду, что оксиды некоторых металлов не могут быть восстановлены газами средней зоны сварочного пламени. При сварке железа и никеля газы средней зоны нормального ацетиленокислородного пламени предупреждают в известной мере образование оксидов этих металлов, так как они сравнительно хорошо восстанавливаются оксидом углерода CO и водородом H_2 . Однако такие металлы, как магний, алюминий, цинк и другие, не восстанавливаются газами пламени. Для их восстановления или связывания их оксидов обычно используют флюсы — вещества, вводимые в сварочную ванну для раскисления расплавленного металла и извлечения из него образующихся оксидов и неметаллических включений.

Кроме того, флюсы образуют на поверхности ванны пленку шлака и тем предохраняют металл от дальнейшего окисления и азотирования. Необходимость применения флюсов при сварке высоколегированной стали, чугуна, а также цветных металлов и сплавов возникает в связи с тем, что при нагреве последних до высокой температуры на их поверхности образуется пленка оксида, переходящая при расплавлении в сварочную ванну и препятствующая надежному сплавлению основного и присадочного металлов.

При сварке низкоуглеродистой стали эта пленка легко удаляется при перемешивании ванны и восстанавливается газами пламени.

Основные требования к сварочным флюсам. Флюс должен быть легкоплавким и иметь более низкую температуру плавления, чем основной и присадочный металлы.

Флюс должен обладать достаточно высокой реакционной способностью для того, чтобы процесс растворения оксидов металлов заканчивался до затвердевания сварочной ванны. Флюс не должен оказывать вредного влияния на металл. Плотность флюса должна быть меньше плотности металла, чтобы образуемый флюсом шлак легко всплывал на поверхность сварочной ванны.

Свойства флюса не должны изменяться под влиянием высокой температуры пламени. Расплавленный флюс должен хорошо растекаться по нагретой поверхности металла.

Образуемый флюсом шлак должен хорошо защищать металл от окисления и азотирования кислородом и азотом воздуха и хорошо отделяться от шва при остывании металла.

В зависимости от характера оксида, образующегося в сварочной ванне, применяют основные или кислые флюсы. Реакции протекают по схеме кислотный оксид + основной оксид = соль.

Если образующиеся при сварке металлов оксиды являются преимущественно основными (исключение составляет титан), то флюс должен быть кислым, и, наоборот, если образующиеся в сварочной ванне оксиды имеют кислый характер, то флюс должен быть основным.

Кислые флюсы применяют преимущественно при сварке цветных металлов, в частности при сварке сплавов меди и сплавов алюминия, а основные (точнее, сочетание основных с кислыми) — при сварке чугуна, содержащего высокий процент кремния и образующего в сварочной ванне помимо оксидов железа диоксид кремния.

Флюсы для сварки меди и ее сплавов. Применяемые при сварке медных сплавов кислые флюсы обычно представляют собой соединения бора — буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и борную кислоту H_3BO_3 или их смеси. Перед использованием буру необходимо прокалить, так как в противном случае она при нагреве вспучивается, выделяет кристаллизационную воду и увеличивает количество водяных паров в зоне сварки.

Взаимодействие буры с оксидом меди по одной из наиболее вероятных реакций можно представить следующим образом. При нагреве бура распадается на соль метаборной кислоты и борный ангидрид:



которые, взаимодействуя с оксидом меди, образуют двойную соль натрия и меди метаборной кислоты:



Аналогично протекает реакция взаимодействия буры с оксидом цинка:



Помимо чисто химического действия буры возможно непосредственное связывание борным ангидридом оксидов меди и цинка с образованием борно-кислых солей $\text{CuO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ и $\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$.

Применяя в качестве флюса борную кислоту, следует иметь в виду, что она при нагреве до температуры 550...600 °С полностью освобождается от воды и превращается в борный ангидрид, обладающий кислыми свойствами:



Соединяясь с образующимся при сварке оксидом меди или цинка, борный ангидрид, как и в случае применения в качестве флюса буры, образует борно-кислые соли.

Более стабильное качество газовой сварки медных сплавов достигается при строго дозированной, равномерной подаче флюса. Это обеспечивается применением газовых флюсов, т.е. газобразных флюсующих веществ, вводимых в сварочное пламя с горючим газом. Таким флюсом является газовый флюс БМ-1.

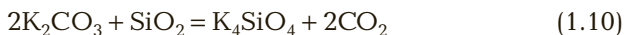
Борный ангидрид B_2O_3 , представляющий флюсующую группу смеси, в чистом виде в пламя не попадает, а образуется в пламени в результате сгорания паров флюса. При строго дозированной подаче флюса непрерывно образующийся в пламени борный ангидрид активно и равномерно воздействует на металл сварочной ванны, связывая оксиды меди и цинка в борно-кислые соли. Эти соли, всплывая на поверхность ванны, образуют на ней плотную пленку шлака, которая защищает металл от действия окружающего воздуха.

Флюсы для сварки чугуна. При сварке чугуна в сварочной ванне образуется тугоплавкий диоксид кремния. Для его растворения в состав флюса вводят компоненты, обладающие основными свойствами. Такими компонентами обычно служат карбонат натрия Na_2CO_3 или карбонат калия K_2CO_3 .

Взаимодействие карбоната натрия с оксидом кремния протекает по реакции



Аналогично происходит реакция



В обоих случаях диоксид кремния, связанный в виде шлака, всплывает на поверхность сварочной ванны.

При растворении диоксида кремния возможно также применение гидрокарбоната натрия NaHCO_3 и нитрата натрия NaNO_3 .

Однако следует иметь в виду, что во многих случаях при сварке серого чугуна в состав флюса помимо указанных ранее компонентов, вводимых в количестве 25...50 %, входит также бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, обладающая сильно выраженными кислыми свойствами. При расплавлении пламенем горелки бура растекается по поверхности металла, образуя шлаковую пленку, достаточно надежно защищающую ванну от воздействия воздуха.

В то же время борный ангидрид, образующийся в результате разложения буры, связывает оксиды железа и марганца в борнокислые соли, которые всплывают в виде шлака на поверхность сварочной ванны:



Флюсы для сварки алюминия и его сплавов. Тугоплавкий оксид алюминия Al_2O_3 (температура плавления 2030 °С) представляет собой очень прочное химическое соединение, плохо поддающееся действию флюсующих веществ из-за своего химически нейтрального характера. В связи с этим флюсы для сварки алюминия должны обладать достаточно большой активностью. Наиболее сильно действующими растворителями оксида алюминия являются галлоидные соединения щелочного металла лития, поэтому большинство флюсов для сварки алюминия содержат в своем составе хлорид или фторид лития. Помимо соли лития флюсы для сварки алюминия содержат также ряд других фтористых или хлористых солей калия, натрия и кальция.

Наиболее активными компонентами флюса являются соли лития. Флюсы для алюминия, содержащие хлорид лития, отличаются высокой гигроскопичностью, в связи с чем их необходимо хранить в герметичных банках, открываемых только непосредственно перед использованием флюса. Кроме того, флюсы, содержащие хлорид лития, при наличии остатков флюса на поверх-

ности металла шва и околошовной зоны после окончания сварки могут вызвать своеобразную коррозию металла, продолжая взаимодействовать с оксидом алюминия, всегда присутствующим на поверхности металла. В связи с этим неизменным требованием при применении флюса с хлоридом лития является тщательная очистка поверхности сварного соединения от остатков флюса.

1.4 ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для заполнения зазора между кромками свариваемого металла и усиления шва в сварочную ванну добавляют присадочный материал в виде проволоки, прутков, полос. Полосы нарезают из листов металла того же состава, что и основной металл.

При газовой сварке свойства металла шва улучшают в основном за счет легирующих добавок, содержащихся в присадочном металле. В связи с этим присадочный металл должен соответствовать следующим требованиям:

- иметь температуру плавления, не превышающую температуру плавления основного металла;
- обеспечивать спокойное расплавление металла (без разбрызгивания и испарения легирующих элементов);
- способствовать получению наплавленного металла с требуемыми свойствами, близкими к свойствам свариваемого металла, а также с химическим составом, обеспечивающим равную или более высокую коррозионную стойкость по сравнению со стойкостью основного металла;
- обеспечивать получение плотного слоя наплавленного металла, не содержащего раковин, газовых пор и других дефектов;
- иметь чистую и ровную поверхность, без следов коррозии, окалины, масла и других загрязнений;
- содержать минимальное количество вредных примесей.

Сварочная проволока из стали. При сварке сталей в основном используют холоднотянутую стальную сварочную проволоку 75 марок по ГОСТ 2246—70. В зависимости от уровня легирования изготавливают низкоуглеродистую проволоку шести марок (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10А и Св-10Г2), легированную — 30 марок, высоколегированную — 39 марок.

В зависимости от назначения стальную сварочную проволоку подразделяют на проволоку для сварки (наплавки) и проволоку для изготовления электродов (условное обозначение Э). Подразделение проволоки по назначению обусловлено более жесткими предельными отклонениями по диаметру проволоки для изготовления электродов.

По виду поверхности низкоуглеродистую и легированную проволоку подразделяют на неомедненную и омедненную (О). Специальные требования к омеднению поверхности проволоки (включая суммарное содержание меди) устанавливаются техническими условиями.

По требованию потребителя проволока должна изготавливаться из стали, выплавленной электрошлаковым (Ш) или вакуумно-дуговым (ВД) переплавом или в вакуумно-индукционных печах (ВИ). При этом дополнительные требования к металлу проволоки (ужесточение норм по содержанию вредных и посторонних примесей, введение ограничений по содержанию газов, неметаллических включений и т. п.) устанавливаются соглашением сторон.

В условном обозначении сварочной проволоки указывают диаметр и марку проволоки, индексы, характеризующие способ выплавки стали (Ш, ВД, ВИ), назначение и вид поверхности проволоки, обозначение стандарта.

В низкоуглеродистой и легированной проволоке содержание мышьяка должно быть не более 0,08 %. С согласия потребителя в проволоке марок Св-08 и Св-08А допускается остаточное содержание алюминия до 0,05 %. В низкоуглеродистой проволоке марок Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2 и легированной проволоке (не легированной алюминием) остаточное содержание алюминия не должно превышать 0,05 %.

Проволоку с неомедненной поверхностью поставляют свернутой в мотки. Размеры и масса мотков приведены в табл. 1.3.

Проволока в мотках (катушках, кассетах) должна состоять из одного отрезка, свернутого не перепутанными рядами и плотно увязанного таким образом, чтобы исключить возможность распушивания или разматывания мотка. Концы проволоки должны быть легко находимы. Допускается контактная стыковая сварка отдельных кусков проволоки одной плавки; при этом поверхность проволоки в зоне сварного соединения должна соответствовать требованиям указанного стандарта.

Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, без трещин, расслоений, плен, закатов, раковин, забоин, окалины, ржавчины, масла и других загрязнений. На поверхности проволо-

Таблица 1.3. Размеры и масса мотков сварочной проволоки

Диаметр проволоки, мм	Внутренний диаметр витков мотка, мм	Масса, кг, мотка проволоки		
		низкоуглеродистой	легированной	высоколегированной
0,3; 0,5	150...300	2	2	1,5
0,8	200...350	5	5	3
1,0; 1,2	200...400	20	15	10
1,4; 1,5	300...600	25	15	10
1,6; 2,0	300...600	30	20	15
2,5; 3,0	400...600	40	30	20
4,0...10,0	500...750	40	30	20
12,0	600...800	40	30	20

ки допускаются царапины, местная рябизна и отдельные вмятины. Глубина указанных дефектов не должна превышать предельного отклонения по диаметру проволоки.

Высоколегированная проволока должна поставляться в травленном и отбеленном состоянии или после термической обработки в инертной атмосфере со светлой, светло-матовой или серой поверхностью, без следов смазочного материала.

Сварочная проволока из алюминия и его сплавов. При сварке плавлением алюминия и его сплавов в основном используют тянутую и пресованную сварочную проволоку 14 марок из алюминия и алюминиевых сплавов по ГОСТ 7871 — 75.

Овальность проволоки не должна превышать предельных отклонений по диаметру. Проволоку диаметром 4 мм и менее подвергают химической обработке. После обработки проволока должна иметь блестящую поверхность с параметрами шероховатости $Ra < 2,5$ мкм по ГОСТ 2789 — 73.

Внешний ряд намотанной проволоки должен быть на расстоянии 5...7 мм от наружного края щек катушек диаметром 100 мм и на расстоянии 10...12 мм от наружного края щек катушек диаметром 200; 300 и 430 мм.

Проволоку марок СвА97, СвА85Т, СвА5 и СвАМц наматывают на катушки в нагартованном состоянии с временным сопротивлением разрыву не менее 100 МПа, проволоку марок СвАМг3, СвАМг5, Св1557, СвАМг6, СвАМг63, СвАМг61, СвАК5, СвАК5 и Св1201 по заказу потребителя наматывают в отожженном или нагартованном состоянии.

Проволока на катушках должна состоять из одного отрезка. Допускается стыковая сварка проволоки одной плавки; при этом проволока в местах сварки должна удовлетворять требованиям стандарта. Проволоку диаметром более 4 мм поставляют в мотках или пучках длиной не менее 1 м, без химической обработки поверхности. Внутренний диаметр мотка должен быть не более 750 мм.

Проволока поставляется партиями. Каждая партия должна состоять из проволоки одного диаметра, сплава одной марки, одной плавки и одного состояния. Масса партии не ограничивается.

Катушки с проволокой помещают в полиэтиленовый мешок вместе с контрольным пакетом порошка обезвоженного силикагеля-индикатора и герметизируют при относительной влажности окружающего воздуха менее 20 % в течение 30 мин после химической обработки. Герметичность упаковки оценивают визуально по цвету силикагеля-индикатора. Герметичность следует считать нарушенной, если порошок силикагеля-индикатора имеет розовый цвет.

Сварочная проволока из меди и ее сплавов. При сварке, наплавке и пайке меди и ее сплавов используют сварочные проволоку и прутки из меди и сплавов на медной основе по ГОСТ 16130—72 17 марок: М1; МСр1; МНЖ5-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1; БрОЦ4-3; БрАМцЭ-2; БрОФ6,5-0,15; БрАЖМцЮЗ-1,5; БрХ0,7; БрХНТ; БрНЦр; БрНЦрТ; Л63; ЛО 60-1; ЛК 62-0,5; ЛКБО 62-0,2-0,04-0,5.

Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, без трещин и расслоений. На поверхности проволоки и прутков не допускаются дефекты (плены, закаты, раковины, царапины, уколы, вмятины и др.), глубина которых (при их удалении) превышает половину предельных отклонений по диаметру. Покраснение поверхности после травления и цвета побежалости браковочным признаком не являются.

Проволоку и прутки поставляют партиями. Каждая партия должна состоять из проволоки или прутков одной марки, одного диаметра и одного состояния поставки. Масса партии не должна превышать 1 000 кг.

Сварочная проволока из никеля и его сплавов. При сварке никеля и его сплавов используют проволоку диаметром 3...5 мм Н-1 и НП-1, НП-2. Допускается также применять проволоку из сплава НМц-2,5 и нихрома (Х20Н80).

Специально для сварки разработаны комплексно-легированные проволоки марок НМцАТЗ-1,5-0,6 и НМцТК1-1,5-2,5-0,15, содержащие титан, алюминий и кремний.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что подразумевают под сварочными материалами?
2. Что обеспечивает применение сварочных материалов?
3. Как классифицируют сварочные флюсы?
4. Каково назначение кислорода при газопламенной обработке?
5. Приведите характеристики ацетилена как горючего газа при газовой сварке.
6. Охарактеризуйте горючие газы — заменители ацетилена.
7. Какими способами получают ацетилен?
8. Каково назначение присадочного материала?

СВАРОЧНОЕ ПЛАМЯ, ЕГО СТРОЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. ОБРАЗОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПЛАМЕНИ

Реакция горения обычно протекает при соединении твердых, жидких или газообразных веществ с кислородом. Однако некоторые металлы могут гореть не только в кислороде. Для процессов газопламенной обработки наибольшее значение имеет горение различных горючих газов в кислороде или воздухе. Горение любой газовой смеси начинается с ее воспламенения при определенной температуре, зависящей от условий процесса горения.

Устойчивый процесс горения возможен лишь в том случае, если выделяющегося при сгорании горючей смеси количества теплоты достаточно для нагрева новых порций газа и компенсации потерь теплоты в окружающую среду. Необходимое условие горения газа в кислороде или воздухе — содержание горючего газа в смеси в определенных пределах, называемых *пределами воспламенения*.

В зависимости от скорости воспламенения горючей смеси (скорости распространения пламени) различают три вида горения: спокойное — со скоростью распространения пламени, не превышающей 10... 15 м/с; взрывчатое — со скоростью распространения пламени, достигающей нескольких сотен метров в секунду; детонационное — со скоростью распространения пламени более 1 000 м/с.

Скорость воспламенения зависит от состава газовой смеси и ее давления; характера и объема пространства, в котором происходит горение; термомеханических условий на его границе (например, при горении смеси в трубках основным параметром, определяющим эти условия, является диаметр трубки); чистоты горючего газа и кислорода (с увеличением содержания в них примесей скорость воспламенения уменьшается).

Используемые в процессах газопламенной обработки горючие газы представляют собой преимущественно смеси углеводородов

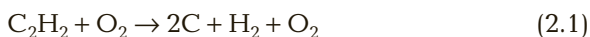
с другими газами, в чистом виде применяют только водород. Все горючие газы, содержащие углеводороды, образуют пламя со светящимся ядром, аналогичным по строению ацетиленокислородному пламени. Чем больше углерода в составе горючего газа, тем резче очерчено светящееся ядро пламени. В отличие от углеводородных газов водородно-кислородное пламя светящегося ядра не образует, что затрудняет регулирование пламени по внешнему виду.

2.2. СТРОЕНИЕ СВАРОЧНОГО ПЛАМЕНИ

Процесс горения горючего газа начинается с воспламенения газа при определенной температуре, зависящей от условий, в которых протекает процесс горения. После начала горения дальнейший нагрев газа от внешнего источника не требуется, если выделяемой при горении теплоты достаточно для поддержания горения новых порций горючей смеси и компенсации потерь теплоты в окружающую среду.

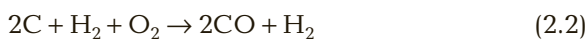
В зависимости от хода реакции сгорания ацетилена сварочное ацетиленокислородное пламя имеет определенную форму (рис. 2.1).

Во внутренней части ядра 1 пламени происходит постепенный подогрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука. В ядре пламени происходит термическое разложение ацетилена, которое ускоряется за счет присутствия в ядре кислорода, подаваемого в горелку. Ацетилен в ядре пламени разлагается по реакции



Образующийся углерод представляет собой мельчайшие твердые частицы, окружающие тонким раскаленным слоем ядро пламени, вызывая его свечение. Оболочка ядра является самой яркой частью сварочного пламени с температурой около 1 500 °С. По внешнему виду ядра можно визуально определить состав газовой смеси и исправность сварочной горелки.

В средней зоне 2 пламени протекает неполное окисление углерода кислородом, находящимся в смеси, по реакции



Выделяющаяся теплота способствует подогреву смеси и ускорению протекающих в ней окислительных процессов. Средняя зона 2 характеризуется максимальной температурой (рис. 2.2).

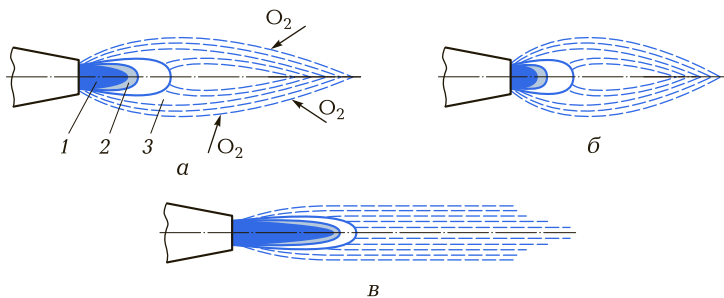


Рис. 2.1. Строение сварочного пламени:

а — нормальное пламя: 1 — ядро; 2 — средняя зона; 3 — факел;
б — окислительное пламя (с избытком кислорода); *в* — науглероживающее пламя (с избытком ацетилена)

В факеле 3 пламени происходит догорание оксида углерода и водорода при их взаимодействии с кислородом, поступающим из воздуха:



с выделением большого количества теплоты. Однако из-за большого объема зоны факела 3 температура в ней ниже, чем в средней зоне 2.

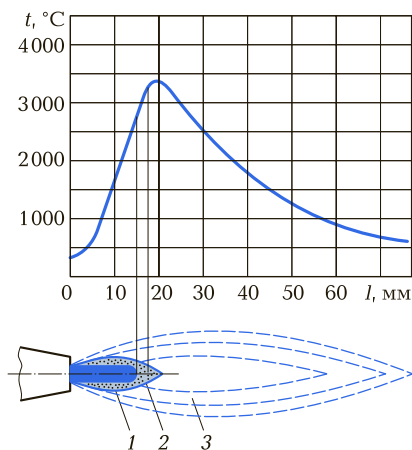


Рис. 2.2. Распределение температуры t вдоль оси ацетиленокислородного пламени:

1 — ядро; 2 — средняя зона; 3 — факел

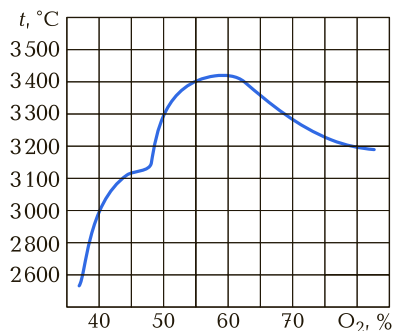


Рис. 2.3. Зависимость максимальной температуры t пламени от содержания кислорода в газовой смеси

Для образования *нормального пламени* (см. рис. 2.1, а) и полного сгорания ацетилена необходимо на каждый его объем подводить в горелку такой же объем кислорода (отношение $\beta = V_{\text{к}}/V_{\text{а}} = 1$). Нормальное пламя получают при $\beta = 1,1 \dots 1,3$.

При увеличении этого отношения ($\beta > 1,3$) получают *окислительное пламя*, так как оно содержит избыточный кислород, окисляющий металл. В этом случае ядро пламени укорачивается, становится заостренным, с менее резкими очертаниями (см. рис. 2.1, б), бледнеет и приобретает синеватую окраску.

При уменьшении количества поступающего кислорода (избыток ацетилена) получают *науглероживающее пламя* (см. рис. 2.1, в). Объем средней зоны при этом увеличивается, ядро становится расплывчатым, и за ним появляется «ацетиленовое перо» зеленоватого цвета. При значительном избытке ацетилена частицы углерода появляются и в наружной зоне, пламя становится коптящим, удлиняется и приобретает красноватую окраску.

Установлено, что наивысшая температура пламени и наивысшая производительность сварки наблюдаются при некотором избытке кислорода в смеси по сравнению с нормальным пламенем (рис. 2.3). Максимальную температуру для достаточно чистого кислорода и ацетилена можно принять равной $3\ 100 \dots 3\ 200\ ^\circ\text{С}$.

Строение пламени газов-заменителей, в состав которых входят углеводороды, существенно не отличается от строения ацетилено-кислородного пламени, но имеет менее выраженное светящееся ядро, что затрудняет регулирование состава пламени по внешнему виду.

Температура пламени — один из важнейших параметров, определяющих его тепловые свойства. Чем выше температура, тем эффективнее нагрев и плавление металла.

Так как средняя зона, имея в своем составе оксид углерода и водород, обладает и восстановительными свойствами, то сварку, естественно, осуществляют именно этой зоной, располагая горелку так, чтобы ядро пламени отстояло от поверхности металла на расстоянии 2...3 мм.

Существенное влияние на температуру пламени оказывает соотношение смеси горючего газа с кислородом. С увеличением β максимум температуры возрастает и смещается в сторону мундштука горелки, что объясняется увеличением скорости процесса горения смеси при избыточном содержании в ней кислорода.

Температура ацетиленокислородного пламени сварочной горелки с удельным расходом ацетилена 250...400 дм³/ч при соотношении смеси газов $\beta = 1,1 \dots 1,2$ в зависимости от расстояния до внутреннего ядра пламени изменяется следующим образом:

Расстояние, мм	3	4	11	25
Температура, °С	3 050...3 150	2 850...3 050	2 650...2 850	2 450...2 650

С изменением соотношения смеси температура пламени существенно изменяется, достигая максимальных значений при повышенном содержании кислорода.

Нагрев металла пламенем обусловлен вынужденным конвективным и лучистым теплообменом между потоком горючей смеси пламени и соприкасающимся с ним участком поверхности металла. Лучистый теплообмен невелик — 5...10 % общего теплообмена пламени и металла, поэтому сварочное пламя можно рассматривать как конвективный теплообменный источник.

Интенсивность вынужденного конвективного теплообмена зависит от разности температур пламени и нагреваемой поверхности металла, а также от скорости перемещения потока пламени относительно этой поверхности.

В общем виде удельный тепловой поток пламени q_2 , представляющий собой количество теплоты, вводимой пламенем за единицу времени через единицу площади нагреваемой поверхности металла, можно выразить правилом Ньютона:

$$q_2 = a(T_{\text{п}} - T), \quad (2.4)$$

где a — коэффициент теплообмена между пламенем и металлом, равный сумме коэффициентов вынужденного конвективного и лучистого теплообмена, Вт/(м²·К); $T_{\text{п}}$ — температура потока газов пламени, К; T — температура поверхности металла, на которую направлен поток пламени, К.

Коэффициент a в процессе нагрева металла и увеличения его температуры уменьшается.

Направленный на поверхность металла газовый поток пламени деформируется и, растекаясь, нагревает значительный по размерам участок поверхности металла. Этот участок называют *пятном нагрева*. Распределение удельного теплового потока пламени по пятну нагрева зависит от угла наклона пламени, расстояния от сопла до нагреваемого металла и средней скорости истечения горючей смеси из сопла горелки.

Эффективная тепловая мощность пламени q и зависит в основном от расхода горючего газа, с увеличением которого она возрастает (рис. 2.4).

Эффективность нагрева металла газовым пламенем оценивается эффективным коэффициентом полезного действия (КПД) η , представляющим собой отношение эффективной мощности пламени q к полной тепловой мощности пламени $q_{\text{п}}$, рассчитываемой по низшей теплоте сгорания горючего:

$$\eta = q/q_{\text{п}} \quad (2.5)$$

Из графика (рис. 2.5), построенного для различных расходов ацетилена (обеспечиваемых семью номерами наконечников простой сварочной горелки), следует, что с увеличением расхода ацетилена вследствие изменения условий теплообмена пламени с по-

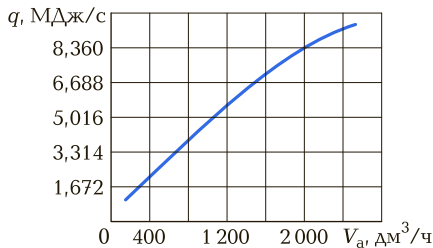


Рис. 2.4. Зависимость эффективной тепловой мощности пламени q от расхода ацетилена V_a (скорость сварки 30 м/ч, толщина стали 6 мм)

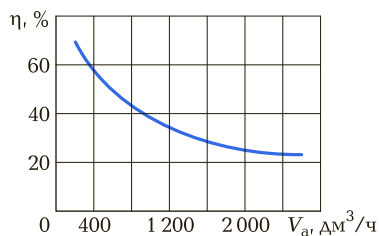


Рис. 2.5. Зависимость эффективного КПД пламени η от расхода ацетилена V_a

верхностью металла эффективный КПД пламени η , а следовательно, и эффективность нагрева уменьшаются.

Основным параметром, определяющим производительность процесса проплавления, является *расход горючего газа*.

Полный КПД при газовой сварке невелик. Остальная теплота сжигаемого горючего расходуется на возмещение различных потерь. Например, при ацетиленокислородной сварке стали толщиной 3 мм затраты теплоты на нагрев свариваемого металла вокруг расплавляемой зоны (ванны, шва) составляют около 45%. При увеличении толщины свариваемого металла или его теплопроводности составляющая расхода на его нагрев вне расплавляемой зоны увеличивается.

Для проплавления металла и управления формированием сварочной ванны важно механическое давление пламени, которое достигает на оси максимальной величины. В сварочных горелках большой мощности давление газов пламени достигает 0,01 МПа.

Газовую сварку плавлением ввиду ее более низких производительности, тепловой эффективности и сложности автоматизации по сравнению с дуговой применяют для сварки стали малой толщины, чугуна и некоторых цветных металлов. При большой толщине металла газовую сварку используют только в тех случаях, когда по каким-либо причинам затруднено применение электросварки.

2.4. ОБРАЗОВАНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

При нагреве пламенем горелки происходит местное расплавление металла соединяемых деталей. Расплавленный металл кромок вместе с металлом присадки образует сварочную ванну. Ее грани-

цы определяются твердым металлом. Жидкий металл смачивает кромки деталей, удаляет пленку, покрывающую их, и создает возможность проявления сил межатомного взаимодействия.

В процессе сварки газовое пламя перемещается вдоль кромок соединяемых деталей, вместе с ним перемещается и сварочная ванна. В результате последовательного охлаждения и затвердевания металла сварочной ванны образуется сварное соединение.

Объем сварочной ванны мал по сравнению с объемом соединяемых деталей, поэтому происходит интенсивный отвод теплоты. Для поддержания металла сварочной ванны в жидком состоянии и нормального протекания процесса сварки необходимо, чтобы источник нагрева имел высокую температуру и обладал большой тепловой мощностью. При ацетиленокислородной сварке на полезный нагрев металла затрачивается лишь 10 % общей тепловой мощности пламени, остальное — на возмещение различных потерь теплоты.

2.5. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ

Жидкий металл сварочной ванны соприкасается с газами и шлаками, образующимися в результате окисления поверхностных слоев металла. Кислород и азот поступают в сварочную ванну из воздуха. Кислород может также поступать и из газовой смеси, подаваемой горелкой. Водород попадает в основном из пламени, а также в результате взаимодействия некоторых металлов с влагой при разложении водяного пара или углеводородов, входящих в состав загрязнений, оставшихся на кромках деталей после их очистки перед сваркой.

Взаимодействие газов с металлом сварочной ванны может быть различным. Например, кислород активно соединяется с такими металлами, как алюминий Al, магний Mg и медь Cu. Азот не взаимодействует с медью и алюминием.

При газовой сварке на расплавленный металл сварочной ванны активно воздействует газовый поток средней зоны пламени, содержащей оксид углерода CO, водород H₂, пары воды H₂O, диоксид углерода CO₂, атомарный водород H, кислород O₂ и азот N₂. В средней зоне пламени возможно также наличие в незначительном количестве свободного углерода C, не успевшего полностью окислиться в оксид углерода CO на границе ядра пламени.

Характер реакций, которые протекают в сварочной ванне, определяется составом средней зоны пламени, зависящим от соотношения газов в горючей смеси. Остальные реакции сварочной ванны — реакции окисления и восстановления.

Наибольшим изменениям подвергается металл, расплавляющийся в процессе сварки. При этом изменяется содержание примесей и легирующих добавок в металле, может происходить его обогащение кислородом, а при некоторых условиях — водородом, азотом и углеродом. Так, при сварке стали, представляющей собой сплав железа Fe с углеродом с присутствующими в виде примесей и добавок марганцем Mn, кремнием Si, серой S, фосфором P, схема взаимодействия веществ в жидком металле сварочной ванны имеет вид, представленный на рис. 2.6.

Скорость образования оксидов в поверхностном слое жидкого металла очень высока. Оксиды, находящиеся в сварочной ванне, взаимодействуют с расплавленным металлом. Для предотвращения или ослабления процесса окисления в сварочную ванну в составе флюсов и присадочного материала вводят раскислители, т. е. вещества, обладающие большим сродством к кислороду по сравнению с металлом сварочной ванны. В качестве раскислителей применяют углерод, оксид углерода и водород, поступающие из пламени горелки. Для цветных металлов пламя горелки не обеспечивает раскисления, поэтому необходимо применять флюс.

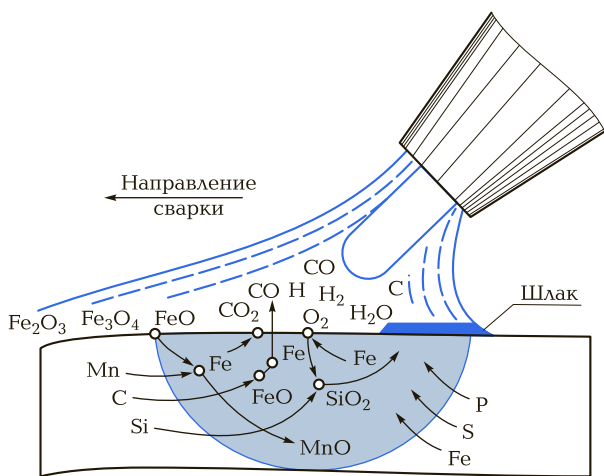


Рис. 2.6. Схема взаимодействия веществ в расплавленном металле сварочной ванны

Водород влияет на образование пор в сварном шве. Его растворимость в жидком и твердом металле различается. Растворимость водорода в жидком алюминии выше, чем в твердом, поэтому при затвердевании металла шва выделяются пузырьки газа, которым необходим выход в атмосферу. В противном случае, например при быстром затвердевании ванны, газ остается в металле, образуя поры. Наличие водорода также приводит к возникновению в металле остаточных напряжений. При этом снижаются пластические свойства металла и может произойти хрупкое разрушение.

С расплавленным металлом сварочной ванны взаимодействуют не только газы, но и шлаки. Обычно шлаки находятся на поверхности сварочной ванны, так как их плотность меньше плотности расплавленного металла.

Химические свойства шлаков определяются характером оксидов, входящих в состав шлаков. В зависимости от преимущественного содержания тех или иных оксидов шлаки могут быть кислыми или основными.

Желательно, чтобы шлаки, образующиеся при газовой сварке, быстро затвердевали, обладали низкими вязкостью и плотностью, высокой газопроницаемостью и слабой сцепляемостью с металлом шва в твердом состоянии. В противном случае частицы шлаков, оставаясь в металле шва, снижают его прочность и коррозионную стойкость. Газы не успевают выделиться из сварочной ванны, что приводит к образованию пор и затрудняет удаление остатков шлаков с поверхности шва, а в конечном счете ухудшает качество изделия.

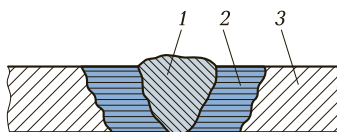
При перемещении сварочной горелки ранее расплавленная сварочная ванна начинает охлаждаться. В ней происходит кристаллизация металла; при этом рост столбчатых кристаллов то замедляется, то прекращается, поэтому металл шва имеет столбчатое и слоистое (чешуйчатое) строение.

2.6. СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СВАРНОМ ШВЕ И ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЕ

Под воздействием теплоты пламени горелки происходят расплавление металла сварочной ванны и нагрев основного металла, примыкающего к ее границам. Та часть основного металла, структура которого изменяется при нагреве, называется *зоной термического влияния* (ЗТВ) или околошовной зоной. Различные участ-

Рис. 2.7. Схема сварного соединения:

1 — шов; 2 — зона термического влияния; 3 — основной металл



ки ЗТВ подвергаются нагреву от температуры, близкой к температуре плавления (вблизи границы сварочной ванны), до температуры начала структурных превращений (около границы основного металла, не подвергшегося нагреву).

Сварное соединение (рис. 2.7) состоит из шва 1, образовавшегося в результате кристаллизации сварочной ванны, ЗТВ 2 и основного металла 3, не подвергшегося воздействию нагрева. В зависимости от характера структурных изменений ЗТВ можно раз-

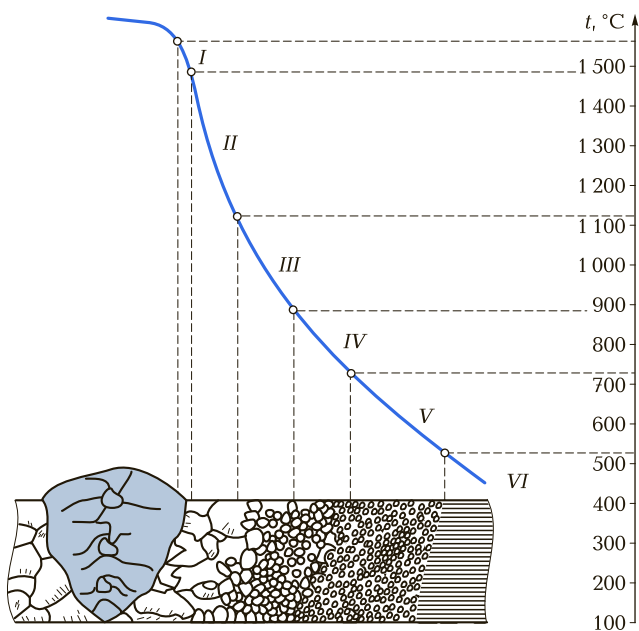


Рис. 2.8. Схема строения зоны термического влияния при газовой сварке низкоуглеродистой стали:

I — участок неполного расплавления; *II* — участок перегрева; *III* — участок нормализации; *IV* — участок неполной перекристаллизации; *V* — участок рекристаллизации; *VI* — участок синеломкости

делить на отдельные участки (рис. 2.8). Рядом со швом расположен участок неполного расплавления (граница сплавления). За ним идет участок перегрева (участок полной перекристаллизации), на котором металл нагревается до температуры образования жидкой фазы. Этот участок характеризуется крупнозернистой структурой и при газовой сварке имеет значительную протяженность около 21...23 мм от границы шва. Далее следует участок нормализации, который имеет протяженность порядка 4...5 мм. За ним следует участок неполной (частичной) перекристаллизации, переходящий в основной металл. Протяженность участка неполной перекристаллизации составляет 2...3 мм, а суммарная протяженность ЗТВ при газовой сварке стали составляет в среднем 27...30 мм.

Увеличение номера наконечника горелки приводит к увеличению протяженности ЗТВ. При увеличении скорости сварки размеры ЗТВ уменьшаются.

2.7. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

В результате менее концентрированного ввода теплоты по сравнению с дуговой сваркой нагретый металл при газовой сварке имеет больший объем, чем при дуговой. Это, в первую очередь, приводит к значительному увеличению временных деформаций, возникающих в период выполнения самой сварочной операции.

Временные деформации в ряде случаев становятся настолько существенными, что препятствуют нормальному ведению процесса сварки. Например, кромки, подлежащие сварке, расходятся на значительные расстояния. В этих случаях при сварке тонколистового металла встык и внахлестку в самом процессе сварки приходится применять правку местным прижимом или ударами.

Развитие деформаций во времени происходит с опережением выполнения самого шва, в связи с чем соединяемые сваркой элементы получают необратимые искажения. Суммируясь с деформациями при последующем охлаждении, общие остаточные деформации после газовой сварки приводят, как правило, к большему искажению формы сварных узлов, чем при дуговой сварке. Применение жесткого закрепления элементов перед газовой сваркой во многих случаях не дает желаемого результата, так как закрепление вне шва при нагреве приводит к пластическому сжатию в значительной зоне вблизи шва, которое может даже увели-

чить деформации. При закреплении вблизи свариваемых кромок большие пластические деформации, полученные в процессе нагрева, могут привести к разрушению сварного соединения при охлаждении.

Газовая сварка недостаточно жестких сварных конструкций часто не позволяет получить изделия требуемой формы.

При газовой сварке швов в жестких контурах возрастает возможность возникновения трещин в связи с большей областью пластических деформаций металла в зоне нагрева.

2.8. ПОДОГРЕВАЮЩЕЕ ПЛАМЯ ДЛЯ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ

Кислородная (газовая) резка представляет собой процесс интенсивного окисления металла в определенном объеме с последующим удалением жидкого оксида струей кислорода. Процесс резки начинают с подогрева верхней кромки металла подогревающим пламенем до температуры воспламенения металла в кислороде, которая в зависимости от химического состава стали составляет 1 050...1 200 °С. При достижении температуры воспламенения на верхней кромке металла на нее из режущего сопла подается струя кислорода; при этом сталь начинает гореть в струе кислорода с образованием оксидов и выделением значительного количества теплоты, обеспечивающей разогрев стали около верхней кромки до температуры плавления. Расплав жидких оксидов и железа, образовавшийся на верхней части кромки, перемещается по боковой кромке металла струей кислорода и нагревает нижние слои металла, которые последовательно окисляются до тех пор, пока весь металл не будет прорезан на всю глубину. Одновременно с этим начинают перемещать резак с определенной скоростью в направлении резки. На лобовой поверхности реза по всей толщине образуется непрерывный слой горящего металла. Окисление металла в каждый момент времени начинается сверху и последовательно передается нижним слоям металла.

Для протекания процесса кислородной резки необходимо обеспечение следующих условий:

- контакт между струей кислорода и жидким металлом;
- подогрев неокисленного металла до температуры воспламенения;

- выделение продуктами горения определенного количества теплоты, достаточного для создания на поверхности реза слоя расплавленного металла;
- достаточная вязкость жидкого расплава для создания возможности перемешивания жидкого металла струей кислорода.

Приведенные условия определяют требования к металлу, обрабатываемому кислородной резкой. Прежде всего температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла. В противном случае струя кислорода не сможет окислить расплавленный металл.

Если температура воспламенения металла будет выше температуры плавления, то металл начнет плавиться и выдуваться струей кислорода без последующего его окисления («плавильный процесс»). Этот процесс требует значительных энергетических затрат. При низкой теплоте образования оксида лобовая поверхность реза не прогревается до температуры плавления, процесс резки прерывается. По тем же причинам отрицательно влияет на способность металла подвергаться кислородной резке его высокая теплопроводность.

Высокая вязкость расплава не обеспечивает его перемещения в поверхностных слоях, в результате снижается выделение теплоты на кромке реза.

Среди чистых металлов кислородной резкой хорошо обрабатываются железо и титан. Нельзя разрезать обычным кислородным способом никель, медь, алюминий, магний, хром и цинк.

Подогревающее пламя служит для нагрева поверхностных слоев металла до температуры воспламенения. При кислородной резке в качестве горючего используют газообразные и жидкие углеводороды. При сгорании горючих веществ в смеси с кислородом образуется высокотемпературное пламя. Наивысшую температуру пламени обеспечивает ацетилен. Ацетилен является дорогостоящим газом, поскольку производство исходного продукта для его получения — карбида кальция — требует больших энергозатрат. Вследствие этого в настоящее время при кислородной резке ацетилен применяют редко. Для этих целей используют газы-заменители: природный газ, пропан или пропан-бутановые смеси и др.

Процесс нагрева металла газовым пламенем протекает в две стадии. На первой стадии осуществляется разогрев кромки металла до температуры воспламенения в струе кислорода при неподвижном источнике теплоты. Время нагрева до заданной темпера-

туры зависит от мощности источника теплоты, теплофизических свойств материала и его массы. С увеличением толщины разрезаемого металла необходимо повышать расход горючего газа. Переход на горючий газ с меньшей теплотой сгорания по сравнению с ацетиленом требует увеличения его расхода. Увеличение расхода горючего газа необходимо также в том случае, если поверхность металла покрыта различными загрязнениями (окалина, пригар) или увеличено расстояние между поверхностью разрезаемого металла и резаком по технологическим соображениям.

На второй стадии процесса подогревающее пламя разогревает впереди лежащие поверхностные слои металла до температуры воспламенения, чем обеспечивается непрерывность ведения процесса. На первой стадии процесса применяют, как правило, пламя с избыточным содержанием кислорода, что обеспечивает ускоренный разогрев кромки. В процессе резки подогрев металла осуществляется пламенем нормального состава.

Смесь горючего газа и подогревающего кислорода выходит из специальных отверстий в мундштуках, расположенных определенным образом по отношению к выходному отверстию режущего кислорода. Для ручных и машинных резаков применяют концентрическое расположение выходных отверстий по отношению к режущему соплу. В ручных резаках пламя выходит из щели, образуемой наружной поверхностью внутреннего мундштука и внутренней поверхностью наружного мундштука.

2.9. СТРУЯ РЕЖУЩЕГО КИСЛОРОДА

Струя режущего кислорода служит инструментом; от ее свойств в значительной мере зависят качество поверхности реза и производительность резки. Одно из главных требований к струе режущего кислорода состоит в том, что она должна сохранять свои геометрические размеры по всей толщине разрезаемого металла.

При истечении газа из сопла в атмосферу струя на некотором расстоянии от сопла сохраняет свои параметры (скорость, температуру торможения), равные значениям на выходе струи из сопла. Распространяясь далее, струя захватывает частички окружающей среды (воздуха), вследствие чего вокруг зоны с постоянными параметрами образуется турбулентный пограничный слой, толщина которого с удалением струи от сопла увеличивается. Вследствие этого струя режущего кислорода по мере удаления от

сопла расширяется и одновременно ее скорость уменьшается, при этом снижается чистота кислорода.

Стальной прокат толщиной 5...8 мм обрабатывают при давлении режущего кислорода перед резаком 392... 1 176 кПа. Для резки стальных отливок и поковок большой толщины (более 300 мм) применяют низкое давление кислорода (до 392 кПа) при применении в мундштуках сопел режущего кислорода цилиндрического типа.

Важным параметром режущей струи является скорость ее истечения из сопла. При кислородной резке наиболее благоприятным считается получение максимальных скоростей потока кислорода на выходе, причем статическое давление в струе на срезе сопла не должно отличаться от атмосферного.

Превышение давления на срезе по сравнению с атмосферным давлением приводит к расширению газовой струи на выходе из сопла. Это снижает кинетическую энергию струи и ухудшает ее режущие свойства.

Повышение скорости потока режущего кислорода увеличивает степень динамического воздействия на пленку жидкого металла, что обеспечивает повышение скорости кислородной резки при прочих равных условиях (рис. 2.9). В связи с этим для резки следует применять кислород высокого давления. Кроме определенного объема кислорода, поступающего для окисления металла, в зону реза необходимо подать дополнительное количество кислорода для выдувания из щели реза жидких шлаков. Практика кислородной резки показывает, что коэффициент использования

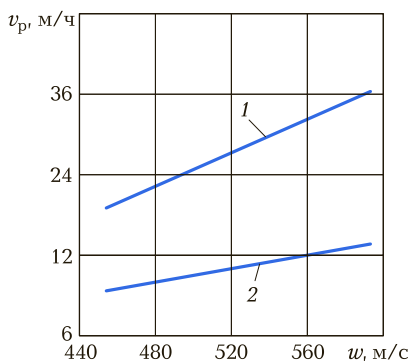


Рис. 2.9. Зависимость скорости резки v_p от скорости потока кислорода w при толщине стали 20 мм [1] и 100 мм [2]

кислорода определяется в основном требованиями, предъявляемыми к качеству поверхности реза, и толщиной металла. Коэффициент использования кислорода имеет наименьшие значения (0,2...0,4) при резке металла толщиной 5...10 мм, а с увеличением толщины до 100 мм возрастает примерно в 2 раза и далее изменяется незначительно.

Значительное влияние на процесс кислородной резки оказывает чистота кислорода режущей струи. Поскольку струя кислорода используется не только для окисления металла, но и для выдувания оксидов из реза, в нижней части реза концентрация примесей в кислороде значительно возрастает. При коэффициенте использования кислорода, равном 0,5, количество инертных примесей в струе кислорода возрастает в 2 раза. Проникновение частиц кислорода через слой инертных примесей затрудняется, и реакция окисления замедляется. При резке кислородом пониженной чистоты на нижних кромках появляется большое количество трудноотделяемого грата. В этом случае для получения необходимого качества поверхности реза приходится снижать скорость резки.

Современные установки для получения кислорода обеспечивают высокую чистоту кислорода — не ниже первого сорта (99,2%). В настоящее время нижний предел чистоты кислорода, используемого для кислородной резки, ограничивается 98 %.

2.10. ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗКИ НА МЕТАЛЛ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗА

Выделившаяся при резке теплота распространяется по детали и обеспечивает нагрев прилегающих к резу слоев металла, создавая ЗТВ. Термическое воздействие на металл характеризуется очень быстрым нагревом поверхности реза в течение времени τ и прилегающих к нему слоев металла до температуры, близкой к температуре плавления, высокой скоростью охлаждения и ее замедлением по мере снижения температуры (рис. 2.10). Чем меньше расстояние от поверхности реза до слоев металла, тем до более высоких температур они разогреваются и с большей скоростью охлаждаются. Установлено, что максимальная скорость охлаждения при резке стали толщиной 10...50 мм достигает 1 000...2 000 °C/с. Такая скорость охлаждения приводит к образованию закалочных структур на поверхности реза даже при относительно низком содержании углерода в разрезаемой стали.

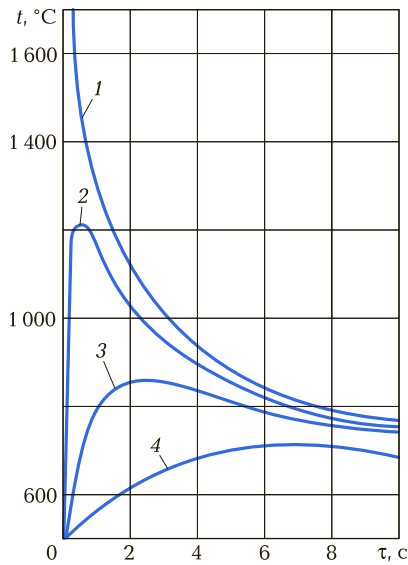


Рис. 2.10. Термический цикл кислородной разделительной резки низкоуглеродистой стали толщиной 20 мм в точках, расположенных на разном расстоянии от поверхности реза:

1 — 0,6 мм; 2 — 2 мм; 3 — 6 мм; 4 — 10 мм

Ширина ЗТВ изменяется от максимума вблизи верхней кромки до минимума в средней части реза. Около нижней кромки она опять возрастает за счет тепловыделения шлаков, перемещающихся от верхней к нижней части реза.

При кислородной резке стали на кромке реза изменяется химический состав металла в результате окисления в жидком расплаве элементов с бóльшим средством к кислороду. К таким элементам относятся марганец, кремний, хром. При этом их содержание на кромке реза снижается. Никель, молибден и медь, обладающие меньшим средством к кислороду, чем железо, окисляются в расплаве в меньшей степени. Их содержание на кромке реза возрастает.

Иным закономерностям подчиняется поведение углерода на кромке реза. При резке холодного металла углерод не выгорает на кромке, вследствие чего его содержание на кромке значительно повышается. При резке металла, подогретого до температуры 950 °С, содержание углерода на кромке реза снижается по сравнению с исходным количеством.

Ширина ЗТВ зависит от толщины разрезаемого металла, его состава, режимов резки (скорость резки, расход режущего кислорода и горючего газа) и составляет 2...55 мм для стали толщиной 20...1000 мм (рис. 2.11). В ЗТВ выявляются три характерных участка: участок оплавленного металла с измененным химическим составом и температурой нагрева выше температуры плавления стали; участок перегрева, нагретый до температуры, превышающей температуру фазового превращения; участок неполной перекристаллизации. Протяженность участка с измененным химическим составом при резке металла толщиной 10...20 мм не превышает 0,2 мм.

Образование закалочных структур на кромке реза приводит к повышению ее твердости. Низкая пластичность металла кромки в сочетании с внутренними напряжениями, вызываемыми воздействием источника теплоты, могут привести к появлению трещин, а в ряде случаев к разрушению изделия.

Одним из способов устранения трещин при резке является предварительный нагрев заготовок, который снижает скорость охлаждения металла кромки и обеспечивает получение более пластичных структурных составляющих. Сталь, содержащая 16...30% хрома и до 0,3% углерода, при нагреве до температуры выше 950 °С приобретает крупнозернистое строение и повышенную хрупкость, которые не устраняются последующей термической обработкой, поэтому резку такой стали рекомендуется выполнять на возможно максимальной скорости с охлаждением кромки реза воздухом или водой.

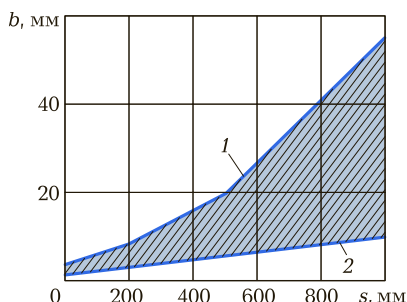


Рис. 2.11. Зависимость ширины зоны термического влияния b от толщины свариваемого металла s :
1 — нижняя кромка; 2 — верхняя кромка

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких параметров зависит форма и строение газового пламени?
2. Какова температура ацетиленокислородного пламени?
3. Какие металлургические процессы происходят в зоне сварочной ванны при газовой сварке?
4. Какие структурные превращения происходят в металле шва и околошовной зоне при газовой сварке?
5. В чем состоит сущность процесса газовой резки?
6. Для чего служит подогревающее пламя при газовой резке?
7. Каково назначение струи режущего кислорода при газовой резке?
8. Как процесс резки влияет на структуру металла вблизи зоны реза?

3.1. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Газовая сварка относится к группе способов сварки плавлением. Существенное технологическое отличие газовой сварки от дуговой — более плавный и медленный нагрев металла. Это отличие сварочного газового пламени от сварочной дуги, которое в одних случаях является недостатком, в других — достоинством газового пламени, определяет основные области его применения: для сварки низкоуглеродистой, специальной и инструментальной сталей, цветных металлов, чугуна, а также для выполнения наплавочных работ.

Благодаря универсальности, сравнительной простоте и портативности необходимого оборудования газовую сварку целесообразно применять для многих видов ремонтных работ. Сравнительно медленный нагрев металла газовым пламенем быстро снижает производительность газовой сварки с увеличением толщины металла, и при толщине более 8...10 мм она обычно экономически невыгодна.

При замедленном нагреве разогревается большой объем основного металла, прилегающего к сварочной ванне, что, в свою очередь, вызывает коробление свариваемых изделий. Это важное обстоятельство делает газовую сварку технически нецелесообразной для таких объектов, как строительные металлоконструкции, мосты, вагоны, станины крупногабаритных машин и т.п. Медленный нагрев также вызывает длительное пребывание металла в зоне высоких температур, что влечет за собой перегрев, укрупнение зерна и ухудшение механических свойств металлов.

В то же время медленный нагрев металла газовым пламенем при ремонте деталей из чугуна снижает перепад температур, способствует удалению газов из металла деталей и предотвращает трещинообразование.

3.2. ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ ПРИ ГАЗОВОЙ СВАРКЕ

При газовой сварке применяют стыковые, нахлесточные, тавровые, угловые и торцовые соединения.

Стыковые соединения (рис. 3.1, *а—г*) являются самыми распространенными вследствие наименьших остаточных напряжений и деформаций при сварке, наибольшей прочности при статических и динамических нагрузках, а также доступности для проведения контроля. На формирование стыкового соединения расходуется меньшее количество основного и присадочного металлов. Соединение этого вида может быть выполнено с отбортовкой, без скоса кромок, со скосом одной или двух кромок (V-образный) или с двумя скосами двух кромок (X-образный).

Кромки притупляют для предотвращения протекания металла при сварке с обратной стороны шва. Зазор между кромками облегчает провар корня шва. Для получения соединений высокого качества необходимо обеспечить одинаковую ширину зазора по всей длине шва, т.е. параллельность кромок.

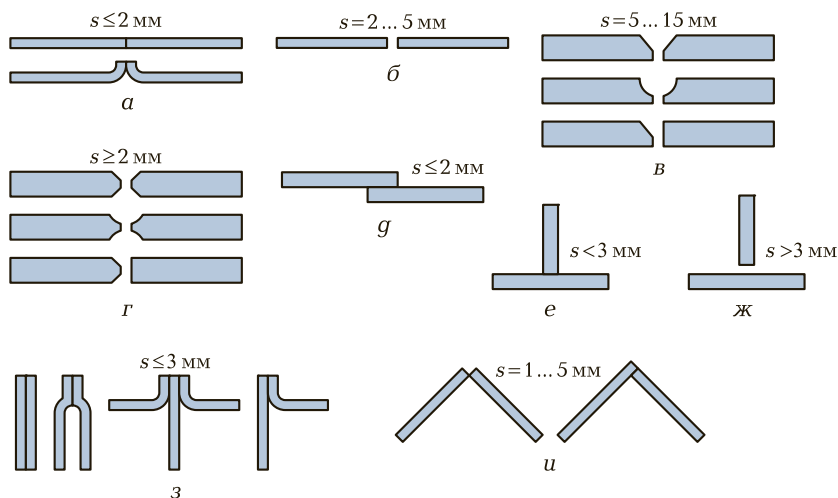


Рис. 3.1. Типы сварных соединений:

а — стыковые без разделки кромок и без зазора; *б* — стыковые без разделки кромок и с зазором; *в*, *г* — стыковые с одно- и двусторонним скосом кромок соответственно; *д* — нахлесточное; *е*, *ж* — тавровые без зазора и с зазором соответственно; *з* — торцовые; *и* — угловые

Детали небольшой толщины могут быть сварены встык без разделки кромок, средней толщины — встык с односторонним скосом кромок, большой толщины — встык с двусторонним скосом кромок. Двусторонний скос имеет преимущества перед односторонним, так как при одной и той же толщине свариваемого металла объем наплавленного металла при двустороннем скосе почти в 2 раза меньше, чем при одностороннем. При этом сварка с двусторонним скосом характеризуется меньшими короблениями и остаточными напряжениями.

Нахлесточные соединения (рис. 3.1, *г*) применяют при газовой сварке металлов малой толщины, косынок, накладок, трубопроводных муфт и т.п. При сварке металлов большой толщины соединение этого вида не рекомендуется применять, так как оно вызывает коробление изделий и может привести к образованию в них трещин.

Нахлесточные соединения не требуют специальной обработки кромок (кроме обрезки). В таких соединениях по возможности рекомендуется сваривать листы с обеих сторон. Сборка изделия и подготовка листов при сварке внахлестку упрощаются, однако расход основного и присадочного металлов больше, чем при сварке встык. Нахлесточные соединения менее прочны при переменных и ударных нагрузках, чем стыковые.

Тавровые соединения (рис. 3.1, *е, ж*) находят ограниченное применение, так как при их выполнении необходим интенсивный нагрев металла. Кроме того, такое соединение вызывает коробление изделий. Тавровые соединения применяют при сварке изделий небольшой толщины, их выполняют без скоса кромок и сваривают угловыми швами.

Торцовые соединения (рис. 3.1, *з*) используют при сварке деталей малой толщины, при изготовлении и соединении трубопроводов.

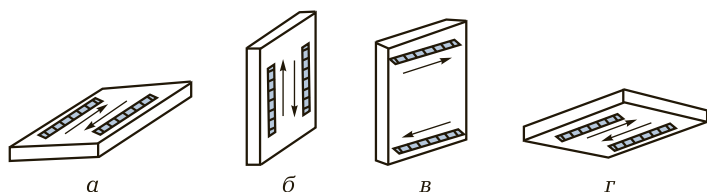


Рис. 3.2. Типы сварных швов в зависимости от положения в пространстве:

а — нижние; *б* — вертикальные; *в* — горизонтальные;
г — потолочные; стрелками показано направление сварки

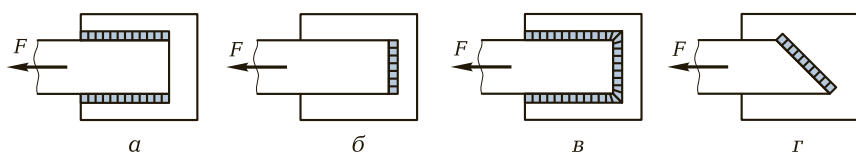


Рис. 3.3. Типы сварных швов в зависимости от действующего усилия F :
а – фланговые; *б* – лобовые; *в* – комбинированные; *г* – косые

Угловые соединения (рис. 3.1, *и*) применяют при сварке емкостей, фланцев трубопроводов неотчетливого назначения. При сварке металлов небольшой толщины можно выполнять угловые соединения с отбортовкой и не использовать присадочный металл.

В зависимости от типов сварных соединений различают стыковые и угловые сварные швы.

По положению в пространстве в процессе сварки швы подразделяют на нижние, вертикальные, горизонтальные, потолочные (рис. 3.2). Наилучшие условия для формирования сварного шва и образования соединения создаются при сварке в нижнем положении, поэтому сварку в других положениях в пространстве следует применять лишь в исключительных случаях.

По расположению относительно действующего усилия различают фланговые (параллельные направлению действия усилия), лобовые (перпендикулярные к направлению действия усилия), комбинированные и косые швы (рис. 3.3).

В зависимости от профиля поперечного сечения и степени выпуклости швы подразделяют на нормальные, выпуклые и вогнутые (рис. 3.4).

В обычных условиях применяют выпуклые и нормальные швы, вогнутые швы — преимущественно при выполнении прихватки.

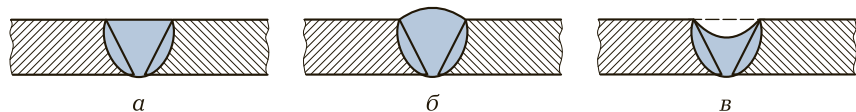


Рис. 3.4. Форма сварных швов:
а – нормальные; *б* – выпуклые; *в* – вогнутые

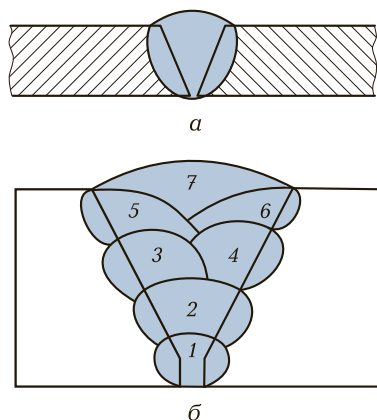


Рис. 3.5. Однослойный (а) и многослойный (б) сварные швы:
1—7 — последовательность наложения слоев

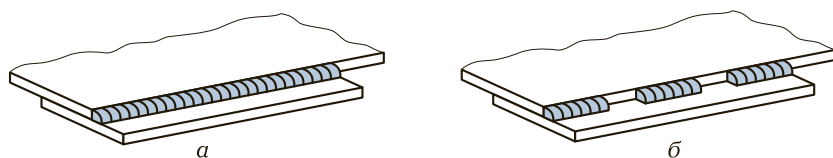


Рис. 3.6. Непрерывный (а) и прерывистый (б) сварные швы

По количеству наплавленных слоев швы подразделяют на однослойные и многослойные (рис. 3.5), по протяженности — на непрерывные и прерывистые (рис. 3.6).

3.3. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД СВАРКОЙ

Перед сваркой кромки свариваемого изделия и зону шириной 20...30 мм на сторону, прилегающую к ним, необходимо очистить от окалины, ржавчины и других загрязнений. Окалину, краску и другие загрязнения удаляют механическим способом или химическим травлением. Последний способ применяют в основном для очистки цветных металлов и сплавов.

Наличие загрязнений на поверхности основного металла может привести к образованию в шве непроваров, газовых и шлаковых включений.

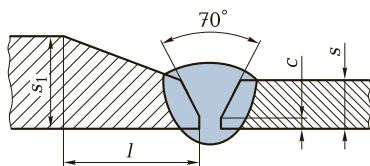


Рис. 3.7. Стыковое соединение с V-образным односторонним скосом кромок при разной толщине деталей:

s, s_1 — толщина деталей; l — протяженность скоса кромки детали большей толщины; c — величина притупления кромок

При сварке встык деталей разной толщины деталь большей толщины s_1 обрабатывают до получения толщины s более тонкой детали (рис. 3.7). Этим обеспечивается их одновременное расплавление при сварке.

Детали перед сваркой желательно собирать в специальных приспособлениях и прихватывать короткими швами для обеспечения их правильного взаимного расположения в процессе сварки. Прихватку выполняют при тех же режимах, что и основную сварку. Длина прихваток и расстояние между ними зависят от свойств и толщины свариваемого металла, а также от длины шва. При сварке небольших узлов из тонкого металла длина прихваток составляет не более 5 мм, а расстояние между ними — 50...100 мм. При сварке металла значительной толщины и большой протяженности сварного шва длина отдельных прихваток может достигать 20...30 мм, а расстояние между ними — 300...500 мм. Высота (толщина) шва в месте прихватки должна составлять 0,5...0,7 толщины основного металла. Необходимо следить за полным проваром металла в местах наложения прихваток, так как при сварке они могут не расплавиться на всю толщину.

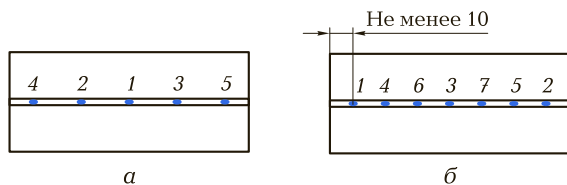


Рис. 3.8. Порядок наложения прихваток в продольном шве:

a — от центра; b — от кромки; 1–7 — последовательность наложения прихваток

Порядок наложения прихваток зависит от толщины основного металла и длины шва. Чтобы избежать коробления, соединения большой длины обычно прихватывают по определенной схеме (рис. 3.8).

3.4. РЕЖИМЫ СВАРКИ

Режим сварки зависит от вида свариваемого металла, габаритных размеров и формы изделия.

Способ сварки определяется толщиной металла, положением шва в пространстве и т.д. В зависимости от направления движения горелки существуют два способа газовой сварки. При *левом* способе (рис. 3.9, а), применяемом наиболее часто, пламя горелки направляют на еще не сваренные кромки металла, а присадочную проволоку перемещают впереди пламени. Для равномерного прогрева и перемещения сварочной ванны горелке и проволоке сообщают колебательные движения поперек шва, чтобы они двигались в противоположные стороны. Левый способ целесообразно применять при сварке металлов малой толщины (до 5 мм), а также металлов со сравнительно низкой температурой плавления. При этом способе обеспечивается лучшее формирование металла шва.

При *правом* способе (рис. 3.9, б) пламя направляют на уже сваренную часть шва; при этом проволоку перемещают по спирали вслед за пламенем, не вынимая ее конца из ванны расплавленного металла. Горелку перемещают прямолинейно. Поперечные колебания сообщают горелке только при сварке деталей большой

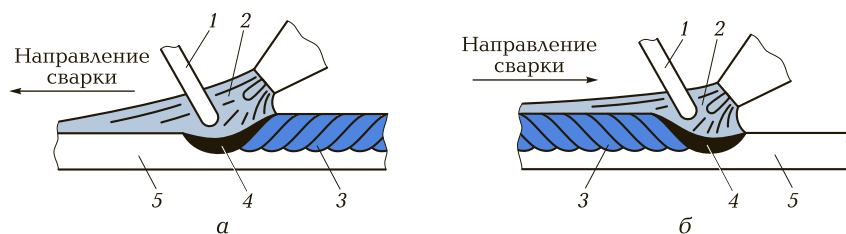


Рис. 3.9. Способы сварки:

а — левый; б — правый; 1 — присадочный пруток; 2 — газовое пламя; 3 — шов; 4 — сварочная ванна; 5 — свариваемый металл

толщины. Применение этого способа сварки повышает производительность процесса при одновременном снижении удельного расхода газов за счет более полного использования теплоты пламени, а также уменьшает коробление металла благодаря высокой концентрации нагрева.

Присадочная проволока должна соответствовать основному металлу по механическим свойствам и химическому составу. Диаметр присадочной проволоки d зависит от выбранного способа сварки и толщины основного металла s . Для правого способа сварки $d = s/2$, для левого — $d = s/2 + 1$ мм.

Определяющим параметром газовой сварки является номер *наконечника горелки*, который обеспечивает необходимую мощность пламени. В зависимости от толщины свариваемого металла s , мм, и его теплофизических свойств мощность пламени вычисляют по формуле

$$M = Cs, \quad (3.1)$$

где C — удельный расход газа на 1 мм толщины свариваемого металла, $\text{дм}^3/\text{ч}$.

Удельный расход ацетилена и кислорода на 1 мм толщины свариваемого металла приведен в табл. 3.1.

Номер наконечника выбирают по технической характеристике инжекторной горелки (ГОСТ 1077—79Е).

Таблица 3.1. Удельный расход ацетилена и кислорода на 1 мм толщины металла

Свариваемый металл	Удельный расход на 1 мм толщины металла, $\text{дм}^3/\text{ч}$		Соотношение ацетилена и кислорода
	ацетилена	кислорода	
Углеродистая сталь	100 ... 130	110 ... 140	1,0 : 1,1
Легированная сталь	75	80 ... 85	1,0 : 1,1
Чугун	100 ... 120	90 ... 110	1,0 : 0,9
Медь	150 ... 200	165 ... 220	1,0 : 1,1
Латунь	100 ... 130	135 ... 175	1,0 : 1,3
Алюминий и его сплавы	75	80 ... 85	1,0 : 1,1
Цинк	15 ... 20	20 ... 25	1,0 : 1,1
Бронза	70 ... 150	80 ... 165	1,0 : 1,1

Дополнительными параметрами газовой сварки, влияющими на качество и геометрические параметры сварного шва, являются скорость сварки, вид пламени, угол наклона наконечника, расстояние от ядра пламени до дна сварочной ванны.

Скорость сварки следует по мере необходимости изменять, так как при неизменной скорости сварки металл можно перегреть или, что еще хуже, пережечь и получить прожог.

Вид пламени также влияет на режим сварки. В процессе сварки нормальное пламя с течением времени стремится к окислительному из-за конструктивных особенностей горелок. Лишний кислород в пламени в конкретном случае может быть нежелателен, поэтому сварщик по мере необходимости увеличивает подачу горючего газа, держа палец на ацетиленовом вентиле.

Угол наклона мундштука изменяют в зависимости от нагрева металла. Его можно считать дополнительным фактором к мощности пламени, и по форме и размерам сварочной ванны (вогнутости или выпуклости) сварщик мгновенно принимает решение об изменении угла. Иногда для этого сварщик на мгновение отводит пламя от сварочной ванны.

Наклон мундштука горелки может меняться в процессе сварки. В начальный момент сварки для лучшего прогрева металла и быстрого образования сварочной ванны угол наклона устанавливают наибольшим ($\alpha = 80 \dots 90^\circ$); в процессе сварки угол соответствует толщине s и роду свариваемого металла (рис. 3.10).

Расстояние от ядра пламени до дна сварочной ванны должно быть постоянным. Нельзя касаться ванны расплавленного метал-

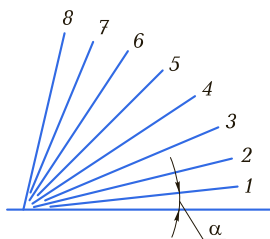


Рис. 3.10. Изменение угла наклона мундштука горелки α в зависимости от толщины стали s :

- 1 – $s < 1$ мм, $\alpha = 10^\circ$; 2 – $s = 1 \dots 3$ мм; $\alpha = 20^\circ$;
- 3 – $s = 3 \dots 5$ мм, $\alpha = 30^\circ$; 4 – $s = 5 \dots 7$ мм, $\alpha = 40^\circ$;
- 5 – $s = 7 \dots 10$ мм, $\alpha = 50^\circ$; 6 – $s = 10 \dots 12$ мм, $\alpha = 60^\circ$;
- 7 – $s = 12 \dots 15$ мм, $\alpha = 70^\circ$; 8 – $s \geq 15$ мм, $\alpha = 80^\circ$

ла концом ядра пламени, так как при этом расплав насыщается углеродом. Расстояние от кончика ядра пламени до дна сварочной ванны должно быть приблизительно равно длине ядра или быть немного меньше. Сварочная проволока должна находиться в рабочей (восстановительной) зоне или в сварочной ванне (вблизи ее края).

В процессе сварки сварщик совершает наконечником горелки одновременно два движения: поперечное и поступательное. Поперечное движение необходимо для равномерного прогрева кромок основного металла и присадочной проволоки, поступательное — для постепенного заполнения стыка и получения протяженного шва.

При сварке в нижнем положении правым способом без разделки кромок при толщине стали более 3 мм или при сварке стали относительно большой толщины левым способом (с разделкой кромок или без нее) наиболее распространенные движения горелки и конца присадочной проволоки показаны на рис. 3.11, а. В этом случае концом присадочной проволоки совершают движения, обратные движению сварочной горелки. При выполнении угловых швов для получения швов нормальной формы горелкой и присадочной проволокой выполняют движения, показанные на рис. 3.11, б.

При сварке правым способом металла толщиной 5 мм пламя горелки углубляют в разделку шва (рис. 3.11, в) и перемещают вдоль шва без колебательных движений.

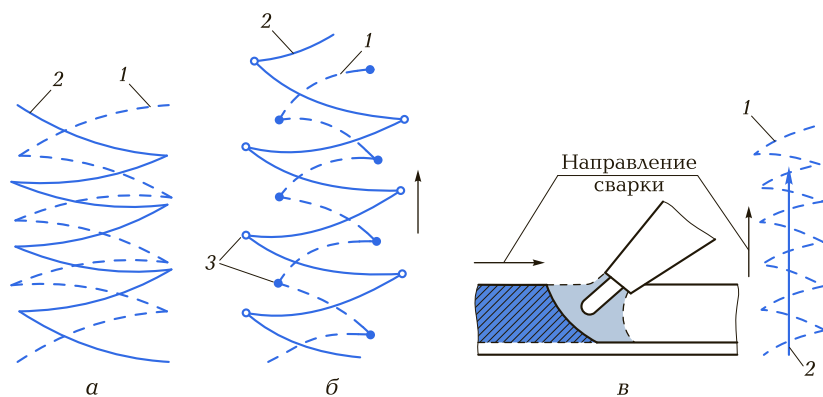


Рис. 3.11. Движения горелки и проволоки при сварке:

- а — стали толщиной более 3 мм в нижнем положении;
- б — угловых швов; в — правым способом с разделкой кромок;
- 1 — движение проволоки; 2 — движение горелки; 3 — места задержки движения

При сварке стали малой толщины без отбортовки кромок, когда процесс сварки ведется с присадочной проволокой, получил распространение способ последовательного образования сварочных ванночек. Сущность этого способа заключается в том, что сварщик, образовав сварочную ванночку (при малой толщине стали диаметр сварочной ванночки составляет 4...5 мм), вводит в нее конец присадочной проволоки и, расплавив небольшое количество присадочного металла, выводит конец из сварочной ванночки в среднюю зону пламени. При этом горелкой, приблизив ее к поверхности металла, он делает резкое круговое движение, переводя ее в следующую позицию. Каждая последующая ванночка перекрывает предыдущую на 1/3 ее диаметра (рис. 3.12). Процесс сварки в этом случае ведется левым способом.

Качественное выполнение сварки этим способом, обеспечивающим исключительно гладкую и ровную поверхность шва, требует соблюдения двух основных условий: во избежание окисления металла не следует выводить конец присадочной проволоки за пределы средней зоны пламени; во избежание науглероживания металла шва ядро пламени при приближении к сварочной ванночке не должно касаться ее поверхности.

Для уменьшения коробления и предупреждения трещинообразования листы при сварке укладывают с расширением зазора между кромками таким образом, чтобы в конце шва он составлял 2...4 % его длины (не более 4...6 мм). По мере образования сварного шва зажимное приспособление (рис. 3.13, а) постепенно ослабляют; при этом зазор уменьшается до требуемой величины вследствие усадки металла уже выполненного участка шва. Величину зазора устанавливают прихватками либо с помощью клина, вставляемого в стык и передвигаемого вдоль кромок по мере вы-

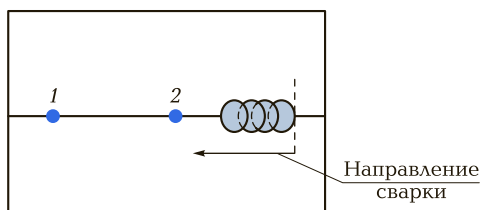


Рис. 3.12. Схема сварки последовательным образованием сварочных ванночек:

1, 2 — места размещения прихваток

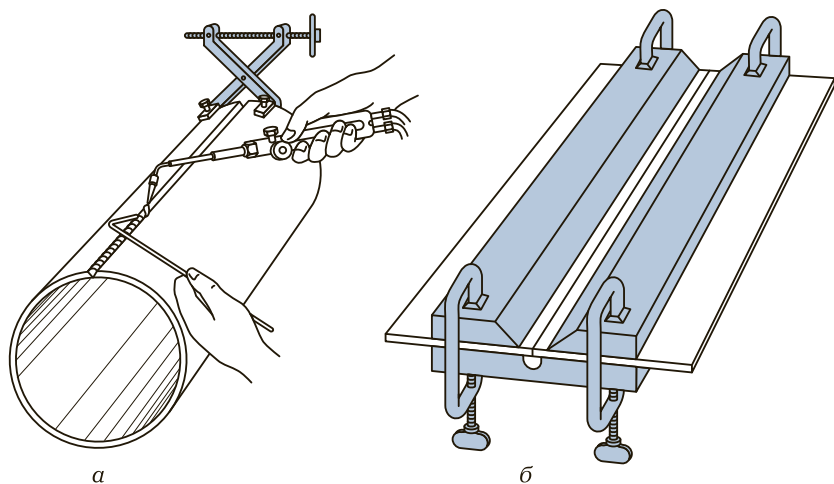


Рис. 3.13. Зажимные приспособления для сварки с переменным (а) и постоянным (б) зазором

полнения шва. Если прихватки приводят к короблению изделий, то сварку выполняют в специальных зажимных приспособлениях с точной взаимной установкой кромок (рис. 3.13, б).

Для снижения сварочных напряжений, а следовательно, уменьшения коробления можно использовать метод ступенчатой или обратно-ступенчатой сварки. При этом шов по длине разбивают на участки, свариваемые в определенном порядке (рис. 3.14). Каждый последующий участок перекрывает предыдущий на 10...20 мм в зависимости от толщины свариваемого металла. Деформацией каждого последующего свариваемого участка полностью или частично снимается деформация, полученная предыдущим участком.

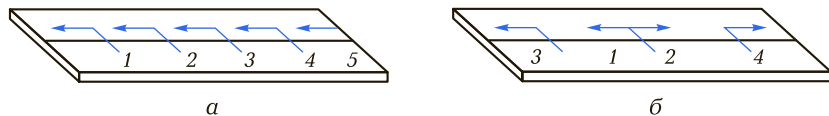


Рис. 3.14. Схема обратно-ступенчатой сварки:

а — от кромки; б — от середины; 1—5 — последовательность сварки участка шва; стрелками показано направление сварки

3.5. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ШВОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ

Выбор способа сварки (правого или левого) зависит от положения шва в пространстве. При сварке *вертикальных швов* снизу вверх целесообразнее использовать левый способ (рис. 3.15).

В отдельных случаях вертикальные швы можно сваривать снизу вверх и правым способом — так называемым сквозным валиком (рис. 3.16). При этом сварщик прожигает в металле сквозное отверстие и снизу заполняет его наплавкой на нижнюю кромку. В этом случае скоса кромок не делают. Детали собирают с зазором, равным половине толщины свариваемого металла, и устанавливают в вертикальное положение. Шов формируется сразу на всю толщину металла, причем с обеих сторон стыка одновременно образуется выпуклость (усиление) шва. Металл шва в этом случае по плотности не уступает шву, сваренному в нижнем положении.

Горизонтальные швы легче выполнять правым способом, при котором газовый поток пламени направлен непосредственно на них и тем самым препятствует стеканию металла сварочной ванны. Сварочную ванну располагают под некоторым углом, облегчающим формирование шва (рис. 3.17).

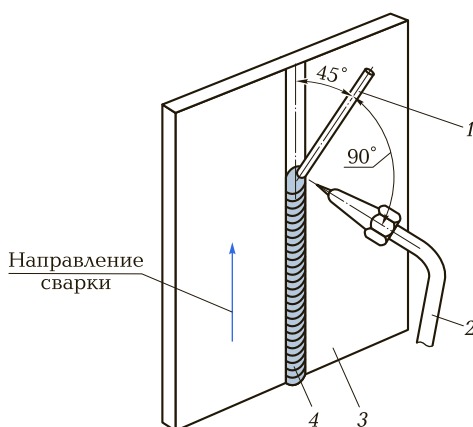


Рис. 3.15. Схема сварки вертикального шва снизу вверх (левый способ):

1 — присадочный пруток; 2 — горелка; 3 — деталь; 4 — шов

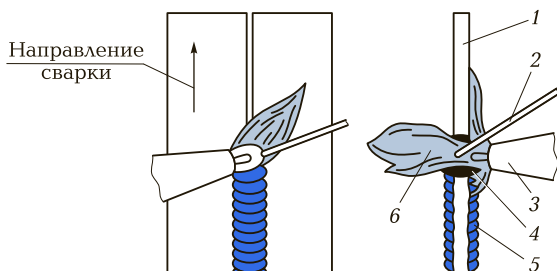


Рис. 3.16. Схема сварки сквозным валиком:

1 — стык; 2 — присадочный пруток; 3 — горелка; 4 — сварочная ванна; 5 — шов; 6 — газовое пламя

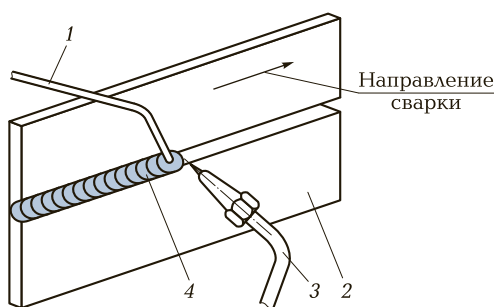


Рис. 3.17. Схема сварки горизонтального шва:

1 — присадочный пруток; 2 — деталь; 3 — горелка; 4 — шов

Потолочные швы легче выполнять правым способом, так как при этом конец присадочного прутка и давление газового потока препятствуют стеканию металла. Получение таких швов левым способом приводит к натекам металла и некачественному формированию валика. При потолочной сварке следует применять более «мягкое» пламя, не раздувающее металл.

3.6. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

Причинами *непровара* могут быть загрязненность поверхности кромок основного металла, малый зазор между свариваемыми листами, нерациональная разделка кромок, недостаточная мощность пламени или слишком большая скорость сварки. При стыковом

соединении непровар обнаруживается в вершине угла разделки кромок как результат малого скоса, слишком большого притупления угла разделки или недостаточного зазора между свариваемыми листами.

Подрезы обнаруживаются по наличию канавок по краям шва. Причинами подрезов являются чрезмерно высокие мощность пламени и скорость истечения горючей смеси, неравномерное расплавление присадочного материала, недостаточная задержка конца присадочного прутка по краям шва при поперечных колебаниях и т.д. Подрезы ослабляют сечение шва и поэтому опасны.

Пережог — дефект, связанный с высокотемпературным нагревом металла в присутствии кислорода. Пережог металла возникает в результате длительного воздействия пламени на ванну расплавленного металла при повышенном содержании оксидов в ванне или в присадочной проволоке, при избытке кислорода в пламени или при нагреве металла окислительной зоной пламени.

Пережог металла (особенно стали) можно обнаружить по внешнему виду шва. В процессе сварки при пережоге наблюдаются интенсивное кипение металла в сварочной ванне и вспучивание его при застывании, в результате чего бороздки на поверхности сварного шва отличаются большой неровностью и приобретают весьма характерный вид губчатой массы. Пережог металла легко определяется при металлографическом исследовании.

Перегрев металла также связан с длительным нагревом металла пламенем выше точки $A_{с3}$, но от окисления металла не зависит. Обычно перегрев вызывается замедленной скоростью сварки, имеющей место при больших толщинах металла.

Перегрев обнаруживается как в самом сварном шве, так и в ЗТВ сварки. При газовой сварке стали большой толщины зона перегретого металла максимальна. В этом случае металл шва характеризуется крупнокристаллической структурой. Перегрев можно обнаружить при металлографическом исследовании сварного соединения.

Пористость шва обусловлена выделением газов при химических реакциях в сварочной ванне и растворением в жидком металле некоторых содержащихся в пламени газов, в частности водорода. Однако при газовой сварке благодаря медленному застыванию металла сварочной ванны образующиеся газы в значительной мере успевают выйти на ее поверхность. В связи с этим для процесса газовой сварки пористость металла шва не является характерным дефектом.

Шлаковые включения могут возникать при загрязненной поверхности свариваемых кромок и присадочной проволоки, применении для сварки окислительного пламени, плохом перемешивании жидкого металла в процессе сварки, быстром застывании ванны вследствие недостаточного прогрева металла и т.п. Шлаковые включения ослабляют металл шва и являются серьезным дефектом сварки. Их определяют физическими методами неразрушающего контроля.

Трещины представляют собой наиболее опасный дефект сварного соединения. Трещины могут возникать как в самом шве, так и в основном металле, в ЗТВ. Образованию трещин препятствуют равномерный нагрев свариваемого узла или детали и медленное охлаждение, выполнение сварки в свободном состоянии, без жесткого закрепления свариваемых элементов, соответствующий подбор присадочного материала и флюсов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое сварное соединение называют стыковым?
2. Чем стыковое соединение отличается от нахлесточного?
3. Какое сварное соединение называют тавровым?
4. Чем угловое соединение отличается от торцового?
5. Как подразделяют сварные швы по положению в пространстве?
6. Как подразделяют сварные швы в зависимости от направления действующего усилия?
7. Как классифицируют сварные швы по форме наружной поверхности?
8. Какие факторы влияют на формирование шва при газовой сварке?
9. Перечислите способы перемещения пламени по шву.
10. В чем заключается сущность левого способа сварки и когда его применяют?
11. Каковы достоинства и особенности правого способа сварки?
12. Как выбрать необходимый диаметр присадочной проволоки?
13. Как осуществляется процесс сварки последовательным образованием сварочных ванночек?
14. Каковы особенности сварки вертикальных швов?

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ СТАЛИ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УГЛЕРОДИСТОЙ И НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛЯХ

По химическому составу сталь подразделяют на углеродистую и легированную. По назначению различают сталь конструкционную и инструментальную. Наибольший объем сварочных работ связан с использованием низкоуглеродистой и низколегированной конструкционных сталей.

Механические свойства углеродистой конструкционной стали определяет углерод. Углеродистую сталь выплавляют обыкновенного качества и качественную.

Сталь углеродистую обыкновенного качества подразделяют на три группы: группа А — по механическим свойствам; группа Б — по химическому составу; группа В — по механическим свойствам и химическому составу. Изготавливают сталь следующих марок:

группа А — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6;

группа Б — БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6;

группа В — ВСт0, ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

По степени раскисления сталь обыкновенного качества имеет следующее обозначение: кп — кипящая; пс — полуспокойная; сп — спокойная. Кипящую сталь, содержащую не более 0,07 % кремния, получают при неполном раскислении металла марганцем. Эта сталь характеризуется резко выраженной неравномерностью распределения вредных примесей (серы и фосфора) по толщине проката.

Спокойную сталь получают при раскислении марганцем, алюминием и кремнием. Она содержит не менее 0,12 % кремния; сера и фосфор распределены в ней более равномерно, чем в кипящей стали. Эта сталь менее склонна к старению и отличается хорошей свариваемостью.

Полуспокойная сталь по склонности к старению занимает промежуточное место между кипящей и спокойной сталью. Полуспо-

койные стали с номерами марок 1—5 выплавляют с нормальным и с повышенным (примерно до 1 %) содержанием марганца. В последнем случае после номера марки ставят букву Г (например, БСт3Гпс).

Сталь группы А не применяют для изготовления сварных конструкций. Сталь группы Б подразделяют на две категории. Для стали первой категории регламентировано содержание углерода, кремния, марганца и ограничено максимальное содержание серы, фосфора, азота и мышьяка. Для стали второй категории ограничено также максимальное содержание хрома, никеля и меди.

Сталь группы В подразделяют на шесть категорий. Полное обозначение стали включает в себя марку, степень раскисления и номер категории. Например, ВСт3Гпс5 означает: сталь группы В, марка Ст3Г, полуспокойная, 5-й категории. Состав стали группы В такой же, как стали соответствующих марок группы Б, 2-й категории. Сталь марок ВСт1, ВСт2, ВСт3 всех категорий и степени раскисления выпускают с гарантированной свариваемостью. Сталь марок БСт1, БСт2, БСт3 поставляют с гарантией свариваемости по требованию заказчика.

Углеродистую качественную сталь выпускают в соответствии с ГОСТ 1050—88. Сталь имеет пониженное содержание серы. Допустимое отклонение по углероду составляет 0,03...0,04 %. Сталь с содержанием углерода до 0,20 % включительно может быть кипящей (кп), полуспокойной (пс) и спокойной (сп); остальные стали — только спокойные. Для последующих спокойных сталей после цифр буквы «сп» не ставят. Для изготовления конструкций углеродистую качественную сталь применяют в горячекатаном состоянии и, в меньшем объеме, после нормализации и закалки с отпуском. Углеродистую сталь в соответствии с ОСТ 14-1-142—84 подразделяют на три подкласса: низкоуглеродистую (с содержанием углерода до 0,25 %); среднеуглеродистую (с содержанием углерода 0,25...0,60 %); высокоуглеродистую (с содержанием углерода более 0,60 %).

В сварных конструкциях в основном применяют низкоуглеродистую сталь.

В сварочном производстве очень важным является понятие о свариваемости различных металлов. *Свариваемостью* называется способность металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

По свариваемости углеродистую сталь условно подразделяют на четыре группы: I — хорошо свариваемая; II — удовлетвори-

тельно сваривающаяся (для получения качественных сварных соединений деталей из этой стали необходимо строгое соблюдение режимов сварки, специальные присадочные материалы, определенные температурные условия, а в некоторых случаях — подогрев, термическая обработка); III — ограниченно сваривающаяся (для получения качественных сварных соединений дополнительно необходимы подогрев, предварительная или последующая термическая обработка); IV — плохо сваривающаяся (сварные швы склонны к образованию трещин, свойства сварных соединений пониженные; сталь этой группы обычно не применяют для изготовления сварных конструкций).

Низкоуглеродистая сталь хорошо сваривается существующими способами сварки плавлением. Обеспечение равнопрочности сварного соединения не вызывает затруднений. Швы имеют удовлетворительную стойкость к образованию кристаллизационных трещин. Это обусловлено низким содержанием углерода. Однако в стали, содержащей углерод по верхнему пределу, вероятность возникновения холодных трещин повышается, особенно с ростом скорости охлаждения (увеличение толщины металла, сварка при отрицательных температурах, сварка швами малого сечения и др.). В этих условиях появление трещин предупреждают путем предварительного нагрева до температуры 120...200 °С.

4.2. ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ УГЛЕРОДИСТОЙ И НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛЕЙ

При газовой сварке стали толщиной до 6 мм в качестве горючих газов применяют ацетилен, пропан или пропано-бутановую смесь, природный газ (ограниченное применение). Присадочная проволока должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2246—70. Ее выбирают в зависимости от марки стали (табл. 4.1). Режимы газовой сварки приведены в табл. 4.2 и 4.3.

Флюсы для газовой сварки стали выпускают по ОСТ 3-5479—83 и маркируют номерами. По номерам определяют компоненты флюсов (табл. 4.4).

Следует стремиться к одновременному расплавлению кромок свариваемых деталей и присадочной проволоки, чтобы капли расплавленного присадочного металла не попадали на недостаточно нагретую кромку основного металла. В целях уплотнения и повы-

Таблица 4.1. Выбор марки присадочной проволоки и флюса для газовой сварки углеродистой и низколегированной сталей

Марки стали	Марка присадочной проволоки	Удельный расход ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла, дм ³ /ч	Номер флюса
08, 10, 05кп, 08кп, 10кп	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-08Г2С	120... 150 (правый способ сварки)	Без флюса
Ст0кп, Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, ВСт2, ВСт4	Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-10ГА, Св-12ГС, Св-14ГС	100... 130 (левый способ сварки)	То же
25, 30, 35, 40	Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-12ГС, Св-08Г2С	75... 100 (левый способ сварки)	1—3
20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА	Св-08, Св-08А, Св-18ГСА, Св-18ХМА	70... 75 (левый способ сварки)	Без флюса

шения пластичности швов целесообразно проковывать. При сварке листов большой толщины, а также при сварке ответственных изделий применяют термическую обработку сварного шва или изделия в целом.

При сварке стали важна чистота поверхности кромок, так как наличие загрязнений на поверхности основного металла может привести к образованию в шве пор, непроваров и шлаковых включений. Подготовка кромок должна соответствовать ГОСТ 16037—80. Прихватку деталей перед газовой сваркой необходимо выполнять той же присадочной проволокой и тем же наконечником горелки, которыми осуществляется основная сварка. Не рекомендуется производить прихватку в зонах концентрации напряжений: в острых углах, в местах резких переходов, на окружностях с малым радиусом.

Низкоуглеродистая сталь содержит до 0,25 % углерода и хорошо сваривается газовой сваркой. Для сварки применяют нормальное пламя. Расход ацетилена должен составлять: при левом способе сварки 100... 300 дм³/ч, при правом — 120... 150 дм³/ч на 1 мм толщины свариваемого металла.

В качестве присадочного материала используют сварочную проволоку марок Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2.

Таблица 4.2. Режимы газовой сварки углеродистой стали с использованием ацетиленовой смеси

Толщина металла, мм	Зазор в стыке, мм	Угол скоса кромок, ...°	Расстояние между прихватками, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер наконечника горелки по ГОСТ 1077—79Е		Расход, дм ³ /ч	
					типа ГЗ	типа Г2	ацетилена	кислорода
0,3...0,6	—	—	20...30	1,0	—	0	20...60	28...65
0,6...1,5	—	—	20...30	1,5...2,0	1	1	50...125	55...135
1,5...2,5	0,8...1,5	—	30...50	2,0...2,5	2	2	120...240	130...280
2,5...4,0	1,5...2,5	60...65	50...80	2,5...3,5	3	3	230...430	250...440
4,0...7,0	2,5...4,0	70...90	800...100	3,5...5,5	4	—	400...700	430...750
7,0...10,0	3,0...6,0	70...90	100...120	5,0...6,0	5	—	660...1100	740...1200

Таблица 4.3. Режимы газовой сварки углеродистой стали с использованием пропан-бутановой смеси

Толщина металла, мм	Зазор в стыке, мм	Угол скоса кромок, ...°	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер наконечника горелки по ГОСТ 1077—79Е	Расход, дм ³ /ч	
					пропан-бутановой смеси	кислорода
0,5... 1,0	1,0... 1,5	Без скоса кромок	1,0 ... 1,5	1; 2	30 ... 90	105... 315
1,1 ... 2,0	1,5... 2,0		1,5... 2,0	2; 3	60 ... 180	210 ... 680
2,1 ... 3,0	2,0... 3,0		2,0 ... 2,5	3; 4	120 ... 270	420 ... 950
3,1 ... 5,0	3,0... 4,0	60 ... 90	2,5 ... 4,0	4; 5	180 ... 540	630 ... 1 900

Таблица 4.4. Флюсы, применяемые при газовой сварке стали

Компонент флюса	Номер флюса				
	1	2	3	4	5
	Содержание, мас. %				
Бура	100	—	—	—	—
Карбонат калия	—	50	—	—	—
Гидрокарбонат натрия	—	50	—	—	—
Борная кислота	—	—	70	55	—
Карбонат натрия	—	—	30	—	—
Диоксид кремния	—	—	—	10	—
Ферромарганец	—	—	—	10	10
Феррохром	—	—	—	10	—
Ферротитан	—	—	—	5	10
Рутиловый концентрат	—	—	—	5	—
Плавиновый шпат	—	—	—	5	—
Мрамор	—	—	—	—	28
Ферросилиций	—	—	—	—	6
Диоксид титана	—	—	—	—	20
Фосфор красный технический	—	—	—	—	26

Применение флюса не требуется. При сварке металла большой толщины и сварке ответственных изделий применяют последующую термическую обработку сварных соединений или изделия в целом.

С повышением содержания углерода в стали более 0,3 % возможно образование трещин при температурах, близких к температуре кристаллизации металла (горячие трещины), и при охлаждении после сварки (холодные трещины). Повышение содержания углерода способствует образованию хрупких прослоек по границам зерен металла. Трещины в такой стали могут образовываться как в околошовной зоне, так и в металле шва. Для сварки стали с содержанием углерода 0,3...0,6 % применяют пламя с меньшим расходом ацетилена — 75...100 дм³/ч на 1 мм толщины металла. Используют только нормальное пламя.

При толщине металла более 3 мм рекомендуется применять общий предварительный нагрев изделия до температуры 250...

350 °С. Используют также местный подогрев горелками околошовной зоны до температуры 650...700 °С. Структуру металла шва и околошовной зоны после сварки можно улучшить отпуском при температуре 600...650 °С.

Высокоуглеродистая сталь содержит 0,6...2,0 % углерода и сваривается хуже, чем среднеуглеродистая. Приемы сварки применяют те же, что и при сварке среднеуглеродистой стали. Расход ацетилена составляет 75 дм³/ч на 1 мм толщины металла. Рекомендуется левый способ сварки. Применяют нормальное или слегка науглероживающее пламя и присадочную проволоку с низким содержанием углерода. При сварке стали, содержащей более 0,7 % углерода, рекомендуется применять флюс (буру). Удовлетворительное сварное соединение высокоуглеродистой стали можно получить при толщине металла не более 3 мм. Обычно ведут сварку с предварительным нагревом (250...350 °С) в сочетании с местным подогревом (650...700 °С). После сварки применяют термическую обработку по режиму, установленному для данной марки стали.

Низколегированная сталь перлитного класса (10ХСНД, 15ХСНД и др.) характеризуется повышенной прочностью, хорошей свариваемостью и высокой стойкостью к коррозии в атмосферных условиях. При газовой сварке этой стали применяют нормальное пламя с расходом ацетилена 75...100 дм³/ч (при левом способе сварки) и 100...130 дм³/ч (при правом способе сварки) на 1 мм толщины металла. Используют присадочную проволоку марок Св-08А и Св-08Г2С. Флюс не применяют. Для улучшения качества шва целесообразно проковывать шов при температуре 800...850 °С с последующей нормализацией.

Молибденовая и низколегированная стали (15М, 25МЛ и др.) содержат 0,4...0,6 % молибдена и предназначены для работы при температурах до 500...550 °С. При сварке этих сталей применяют только нормальное пламя с расходом ацетилена 100 дм³/ч на 1 мм толщины металла и используют сварочную проволоку марок Св-08ХМ, Св-10НМ, Св-18ХМА, Св-10ХМ. Сварку ведут небольшими участками длиной 15...25 мм, поддерживая весь свариваемый участок при температуре светло-красного каления. Перед сваркой кромки должны быть зачищены до металлического блеска. При толщине металла до 5 мм сварку ведут в один слой, при большей толщине применяют многослойную сварку. Сварку следует вести с минимальным количеством перерывов. При возобновлении сварки после перерыва необходимо равномерно подогреть шов в данном месте (при сварке труб — весь стык) до температуры 250...300 °С для предупреждения появления трещин.

Хромокремнемарганцевая сталь (типа 30ХГСА) обладает высокой прочностью, упругостью, хорошо выдерживает вибрационные и ударные нагрузки. Для предупреждения выгорания хрома и кремния сварку ведут наконечником с расходом ацетилена 75... 100 дм³/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. В качестве присадочного материала используют низкоуглеродистую проволоку марок Св-08 и Св-08А или легированную марки Св-18ХМА. Перед сваркой листы прихватывают через 20...30 мм при толщине металла 0,5... 1,5 мм и через 40...60 мм при толщине более 2 мм. Прихватки следует располагать на расстоянии 10... 15 мм от края листа или угла сварного соединения. Необходимы тщательные зачистка и подгонка кромок. Зазор между кромками должен быть одинаковым по всей длине шва, что проверяется шаблоном. Сварку ведут в один слой. При резком охлаждении возможно образование трещин в шве и околошовной зоне, поэтому при окончании сварки пламя следует отводить от шва медленно, подогревая факелом конечный участок на площади радиусом 20... 40 мм. Сварку необходимо вести как можно быстрее, без перерывов, не задерживая пламя горелки на одном месте и не перегревая металла сварочной ванны. Сталь типа 30ХГСА после сварки подвергают закалке с последующим отпуском.

4.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ПРАВКА ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ СВАРКИ

Термическую обработку применяют для устранения напряжений, остающихся в изделии после сварки, а также для улучшения структуры металла сварного шва. После сварки или в процессе сварки применяют такие виды термической обработки, как отжиг, нормализация, отпуск.

Нагрев при отжиге изделия в печи ведут постепенно. Для низкоуглеродистой и среднеуглеродистой сталей температура достигает 600... 680 °С. При этой температуре сталь становится пластичной и напряжения снижаются. После нагрева следует выдержка при достигнутой температуре из расчета 2,5 мин на 1 мм толщины свариваемой детали, но не менее 30 мин. Затем изделие охлаждают вместе с печью. Существуют и другие виды отжига — местный и полный. Режимы отжига выбирают по справочной литературе в зависимости от марки стали.

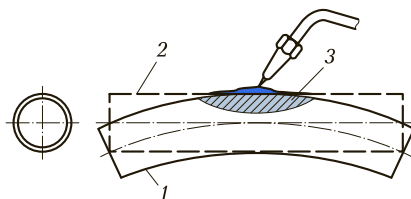


Рис. 4.1. Схема правки детали местным нагревом:
1, 2 — деталь до и после правки соответственно; 3 — зона нагрева

Нормализация отличается от отжига тем, что после отжига сварную конструкцию охлаждают на спокойном воздухе. После нормализации сохраняется мелкозернистая структура металла, что позволяет обеспечить его относительно высокие прочность и твердость, но без напряженного состояния.

При газовой сварке сталей термическая обработка служит для повышения пластичности металла шва. В некоторых случаях участки шва нагревают до светло-красного цвета каления и в этом состоянии проковывают. Зерна металла измельчаются, пластичность и вязкость повышаются. Во избежание появления наклепа (новое напряженное состояние) проковку следует прекратить при остывании металла до темно-красного цвета. После проковки необходимо провести повторную нормализацию.

Для правки изделий часто используют местный нагрев пламенем горелки. Нагревают выпуклую часть изделия, которое

Таблица 4.5. Режимы правки листов углеродистой стали ацетиленокислородным пламенем

Толщина листа, мм	Номер наконечника горелки по ГОСТ 1077—79Е	Скорость нагрева, °С/мин	Ширина зоны нагрева, мм	
			видимая*	фактическая
2	3	420	15	20
3	4	380	15	20
4	5	270	20	35
5	6	240	20	35
6	6	180	30	55

* При температуре выше 600 °С.

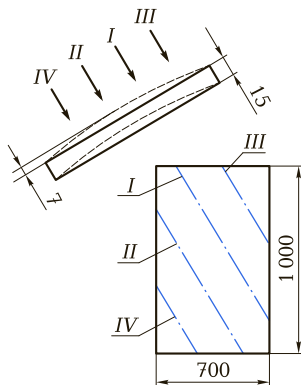


Рис. 4.2. Схема правки стального листа толщиной 15 мм:
I–IV – полосы нагрева; --- – состояние листа до правки

нужно выправить (рис. 4.1). При нагреве металл стремится расширяться, но, так как этому препятствуют холодные участки, возникают напряжения сжатия, вызывающие пластическую деформацию сжатия. При охлаждении в этом участке возникают напряжения растяжения, в результате чего изделие выправляется.

При необходимости повторной правки нагревают следующий участок, не затрагивая соседнего, который уже подвергся нагреву. В табл. 4.5 приведены ориентировочные режимы правки листов углеродистой стали ацетиленокислородным пламенем.

Толстолистовой металл после резки на заготовительных ножницах имеет ярко выраженную выпуклость. Правку осуществляют нагревом по схеме, показанной на рис. 4.2.

4.4. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРУБ

Газовую сварку достаточно широко применяют при монтаже труб небольшого диаметра (до 100...150 мм), при изготовлении угольников, тройников, отводов и других конструктивных элементов трубопроводов. Трубы сваривают стыковыми швами с допустимой выпуклостью шва (1...3 мм) в зависимости от толщины стенки.

В случае сварки труб с толщиной стенки $s \leq 3$ мм скоса кромок не делают. Стык собирают с зазором до $0,5s$. При сварке труб с

$s > 3$ мм выполняют скос кромок под углом $35 \dots 45^\circ$. Острую часть кромок притупляют, чтобы они не оплавились при сварке и расплавленный металл не протекал внутрь трубы. В отдельных случаях в зависимости от назначения трубопроводов используют и другие, более сложные способы стыковки труб: без скоса кромок с подкладным кольцом; с раструбом и вставным кольцом; с разделкой кромок и внутренней выточкой в трубах для более точного их центрирования и др. При сварке указанных трубопроводов запрещается применять остающиеся подкладные кольца.

Для соединения труб применяют как левый, так и правый способ сварки. Перед сваркой трубы выравнивают, чтобы их оси совпадали, затем прихватывают в нескольких местах по окружности и приступают к сварке. Для центрирования труб во время сварки используют различные приспособления, одно из которых показано на рис. 4.3.

Если трубу можно поворачивать, то сварку лучше вести в нижнем положении (рис. 4.4).

Неповоротный стык сваривают последовательно нижним, вертикальным и потолочным швами. Этот случай является наиболее трудным для сварщиков, так как требует умения выполнять швы с различным положением в пространстве.

В неповоротных стыках труб диаметром до 150 мм (рис. 4.5) сначала сваривают нижнюю половину (участок 1), затем в обратном направлении — верхнюю (участок 2). Начало и конец верхнего шва сваривают с перекрытием в зонах А и Б. При сварке труб диаметром до 300 мм и более (рис. 4.6) сварку начинают с

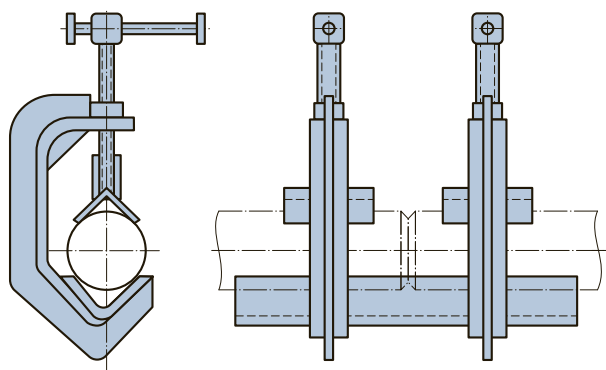


Рис. 4.3. Струбциновый центратор для труб диаметром 60...100 мм

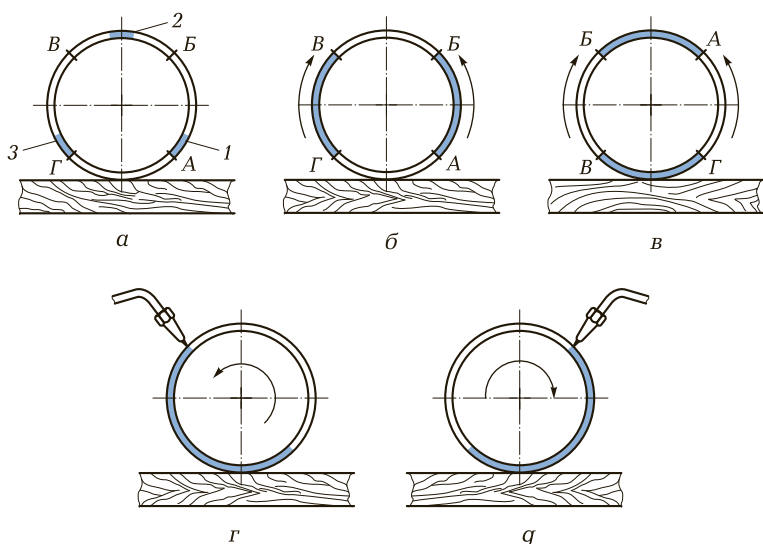


Рис. 4.4. Последовательность сварки стыков труб с поворотом:
а — места размещения прихваток (1—3) и участков шва (А—Г);
б — выполнение первого слоя на участках АБ и ГВ; *в* — поворот
стыка и выполнение первого слоя шва на участках ГА и ВБ;
г, д — выполнение второго и третьего слоя шва соответственно

какой-либо точки окружности и выполняют четырьмя участками (1—4).

При сварке промышленных и бытовых газопроводов с давлением газа до 1,2 МПа трубы предварительно сваривают в производственных условиях в секции, длину которых выбирают исходя из возможности транспортирования. Секции труб очищают и грунтуют противокоррозионной изоляцией, после чего проводят подготовительные работы. На сварочную проволоку должен быть сертифи-

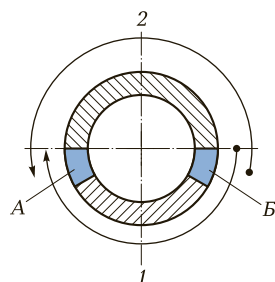


Рис. 4.5. Последовательность сварки неповоротного стыка труб диаметром до 150 мм

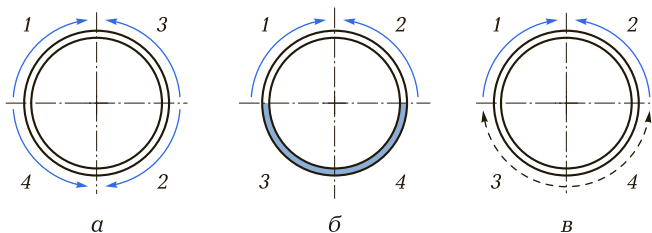


Рис. 4.6. Последовательность сварки труб большого диаметра:
а – диаметром 200...300 мм; *б* – диаметром 500...600 мм;
в – без поворота труб

кат. При отсутствии сертификата сваривают шесть специальных образцов для последующих испытаний по определенной методике (по три образца для испытаний на разрыв и на угол загиба).

После окончания подготовительных работ поверхность кромок и прилегающие к ним наружную и внутреннюю поверхности труб зачищают до металлического блеска на ширину не менее 10 мм по окружности. Сборку и сварку торцов труб с продольным швом следует проводить со смещением продольных швов на 50 мм по окружности по отношению к шву предыдущей трубы.

Поверхность наплавленного металла по всей окружности должна быть слегка выпуклой, с плавным переходом к основному металлу, без подрезов и незаваренных мест. Допускается высота выпуклости шва 1...3 мм, но не более 40 % толщины стенки трубы. Ширина шва не должна превышать толщину стенки трубы более чем в 2,5 раза. Не допускаются наплывы и грубая чешуйчатость. Стыки, не удовлетворяющие по внешнему виду перечисленным требованиям, бракуются или подлежат исправлению. Не допускается исправление стыков методом повторного наложения шва.



Рис. 4.7. Последовательность сварки стыков труб с козырьком:
а, *б* – первый и второй этапы

При отсутствии возможности приблизиться с горелкой к объекту (например, при сварке труб для горячей или холодной воды, расположенных в помещениях вблизи стен) применяют газовую сварку с козырьком (рис. 4.7). Подготовка стыка под сварку требует определенных профессиональных навыков.

4.5. ГАЗОВАЯ СВАРКА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

К средне- и высоколегированной относят сталь, содержащую в сумме соответственно 2,5... 10 и более 10 % легирующих элементов (кроме углерода). По структуре в зависимости от содержания углерода и легирующих элементов различают сталь мартенситного, мартенситно-ферритного, ферритного и аустенитного классов. При сварке необходимо стремиться сохранить исходные состав и структуру стали в сварном соединении для того, чтобы его свойства не отличались в значительной степени от специфических свойств основного металла (коррозионная стойкость, жаростойкость, износостойкость и др.).

В сварных изделиях наиболее широко используют хромистую и хромоникелевую коррозионно-стойкую, жаростойкую и жаропрочную стали, которые находят применение, например, при изготовлении химической аппаратуры.

Хромистая сталь может содержать 4... 30 % хрома. Сталь с 4... 14 % хрома относят к мартенситному классу, с 13... 18 % хрома — к мартенситно-ферритному, с 23... 30 % хрома — к ферритному. Структура стали зависит также от содержания в ней углерода. Повышение содержания углерода способствует образованию мартенситной структуры.

Углерод образует с хромом карбиды хрома, что происходит при сварке высокохромистой и хромоникелевой сталей. При недостаточно быстром прохождении в интервале температур 450... 650 °С и содержании углерода более 0,06 % он диффундирует к поверхности зерен, образуя по их границам карбиды хрома. Это приводит к обеднению хромом поверхности зерен, в результате чего сталь теряет стойкость к межкристаллитной коррозии. Процесс коррозии может возникать при содержании хрома менее 12 % и ускоряться под действием внутренних напряжений, возникающих при воздействии термического цикла сварки. Газовая сварка с большой зоной нагрева — наименее благоприят-

ный способ сварки коррозионно-стойкой, жаропрочной и жаростойкой сталей, содержащих хром.

Для уменьшения склонности высокохромистой и хромоникелевой сталей к трещинообразованию, межкристаллитной коррозии и росту зерна в их состав вводят более активные карбидообразующие элементы, чем хром — титан (около 0,8 %) или ниобий (до 1,2 %).

Среднелегированную хромистую сталь, содержащую до 0,15 % углерода, применяют в конструкциях, где не требуется высокая прочность, но необходима стойкость к коррозии. Высоколегированная хромистая сталь может содержать до 0,35 % С, обладает повышенной прочностью, хорошо сопротивляется коррозии и действию кислот. При длительном нагреве высокохромистая сталь склонна к росту зерна, что снижает ее прочность, поэтому газовой сваркой эту сталь сваривать не рекомендуется.

Для предупреждения перегрева и уменьшения деформаций сварку хромистой стали выполняют нормальным пламенем с пониженным расходом ацетилена (70 дм³/ч на 1 мм толщины металла). При сварке применяют присадочную проволоку из стали той же марки, что и свариваемая, или близкой к ней. Можно применять проволоку марок Св-04Х19Н9, Св-06Х19Н9Т.

Сварку необходимо вести как можно быстрее, без перерывов и повторного нагрева пламенем горелки одного и того же места шва. Тонкие листы (до 3 мм) сваривают левым способом, более толстые — только правым. Рекомендуется использовать флюс следующего состава: 55 % борной кислоты, 10 % оксида кремния, 10 % ферромарганца, 10 % феррохрома, 5 % ферротитана, 5 % титановой руды (концентрата) и 5 % плавикового шпата. Флюс предохраняет хром от выгорания и способствует растворению и удалению в шлак из наплавленного металла тугоплавких оксидов хрома, титана и ниобия. После сварки рекомендуется подвергать изделие термической обработке.

Хромоникелевая аустенитная сталь типа Х18Н10Т содержит до 0,12 % углерода, 17...19 % хрома, 9...11 % никеля, до 0,7 % титана, обладает коррозионной стойкостью, жаростойкостью (окалиностойкостью) и жаропрочностью.

Противокоррозионные свойства стали придают термической обработкой — нагревом до температуры 950...1100 °С и последующим быстрым охлаждением в воде или на воздухе. При этом сталь приобретает однофазную аустенитную структуру.

При сварке аустенитной стали горячие трещины не возникают, если в наплавленном металле содержится 2,5...8,5 % феррит-

ной фазы. Титан и ниобий способствуют получению двухфазной аустенитно-ферритной структуры наплавленного металла с небольшим содержанием феррита.

Хромоникелевая сталь имеет низкую теплопроводность и высокий коэффициент линейного расширения, что вызывает повышенные деформации и коробление изделий при газовой сварке.

Газовую сварку хромоникелевой стали выполняют нормальным пламенем с расходом ацетилена 70...75 дм³/ч на 1 мм толщины металла. Используют присадочную проволоку, легированную титаном и ниобием, с малым содержанием углерода (Св-01Х19Н9, Св-06Х19Н9Т, Св-07Х19Н10Б).

Сварку ведут с максимально возможной скоростью, держа конец присадочной проволоки погруженным в сварочную ванну. Можно применять правый и левый способы сварки.

Для защиты сварочной ванны используют флюс состава: 50 % буры и 50 % борной кислоты; 80 % буры и 20 % оксида кремния; 80 % плавленого шпата и 20 % ферротитана. Флюсы с боратами необходимо тщательно удалять после сварки, так как они образуют на шве агрессивную пленку, которая может способствовать возникновению межкристаллитной коррозии. Флюс разводят водой и в виде пасты наносят на кромки за 15...20 мин до сварки. Флюс наносят также с обратной стороны шва для предупреждения образования оксидов хрома в корне шва. Остатки флюса после сварки удаляют тщательной промывкой швов горячей водой.

После сварки, если конструкция позволяет, рекомендуется термическая обработка — нагрев до температуры 950...1100 °С с последующим охлаждением в воде.

Газовую сварку целесообразно применять для хромоникелевой стали толщиной не более 1,5...2,0 мм; при этом достигаются удовлетворительное качество соединения и достаточная производительность. Более толстый металл рекомендуется сваривать дуговой сваркой с применением соответствующих электродов.

Хромоникелевая аустенитная сталь с повышенным содержанием углерода (например, 4Х14Н14В2М), достигающим 0,4...0,5 %, сваривается значительно хуже низкоуглеродистой, так как склонна к выделению карбидов и образованию горячих трещин. Сварку приходится вести с предварительным нагревом присадочной проволокой Св-06Х19Н9Т. После сварки изделие подвергают термической обработке по режиму, предусмотренному для стали данной марки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается суть отжига и нормализации стали?
2. Какие виды отжига применяются при правке сварных узлов?
3. При каких условиях можно выполнять проковку сварных швов?
4. Что необходимо предпринять при сварке закаливающих сталей?
5. В чем заключаются достоинства местного нагрева?
6. Каким образом осуществляют правку изделий из толстолистовых сталей?
7. Укажите особенности сварки труб.
8. В каких случаях осуществляют подготовку стыков труб?
9. Чем различаются приемы газовой сварки поворотных и неповоротных стыков труб?
10. Каковы особенности сварки промышленных и бытовых газопроводов?
11. В каких случаях применяют сварку с козырьком?
12. Какие горючие газы можно использовать при сварке углеродистой стали?
13. Как осуществляется выбор номера флюса?
14. Каким критерием пользуются при выборе присадочной проволоки?
15. Каковы особенности газовой сварки легированной стали?

ГАЗОВАЯ СВАРКА ЧУГУНА

5.1. ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

Чугун — многокомпонентный железоуглеродистый сплав, содержащий более 2,14 % углерода, до 5 % кремния и некоторое количество марганца, серы и фосфора, зависящее от типа чугуна. В специальные чугуны вводят легирующие добавки: никель, хром, молибден, ванадий и др. В зависимости от содержания углерода в сплаве различают белый, серый, ковкий и высокопрочный чугуны.

Белый чугун в изломе светло-серого или почти белого цвета, так как углерод в нем находится в связанном состоянии в виде карбида железа — цементита. Цементит хрупок, обладает высокой твердостью (800 НВ), поэтому и белый чугун имеет высокие хрупкость и твердость, не поддается механической обработке и ограничено применяется в качестве конструкционного материала. Иногда белый чугун используют для получения ковкого чугуна.

Серый чугун в изломе серебристого цвета из-за наличия пластинчатых включений графита. Практически в чугуне содержится около 50 % углерода в свободном состоянии; остальной углерод находится в связанном состоянии в виде вторичных карбидов, например перлита.

Графит влияет на свойства чугуна, зависящие от его формы и распределения: наличие графита придает чугуну свойства, отличные от свойств стали. Графит — наиболее мягкая и вместе с тем наиболее хрупкая составляющая чугуна, которая пронизывает его металлическую основу, нарушая сплошность и снижая прочность чугуна, особенно при динамических нагрузках, и действует как внутренний надрез. Наиболее желательны (в целях уменьшения эффекта надреза) изолированные друг от друга сферические включения. Увеличение количества и размеров графитовых включений и неравномерность их распределения снижают прочность чугуна.

Структурное состояние углерода зависит от химического состава чугуна, условий кристаллизации и охлаждения сплава, а также режима его последующей термической обработки. При получении серого чугуна необходимо замедленное охлаждение сплава. По мере возрастания скорости охлаждения увеличивается вероятность получения белого чугуна.

Графитизации чугуна способствуют углерод, кремний, алюминий, никель, кобальт, медь. Сера, ванадий, хром, молибден, марганец оказывают обратное воздействие, т. е. препятствуют распаду карбидов железа и выделению свободного углерода.

Углерод снижает температуру плавления сплава и увеличивает его жидкотекучесть. Практически чугун можно сваривать только в нижнем положении. С повышением содержания углерода в сплаве увеличиваются число и размеры графитовых включений, что снижает вероятность отбела, но ухудшает механические свойства чугуна.

На структуру чугуна влияет соотношение концентраций углерода и кремния; изменяя его, можно получить необходимую структуру чугуна. При сравнительно низком суммарном содержании углерода и кремния получают белый чугун. С увеличением этого суммарного содержания в структуре появляется графит, и чем оно выше, тем меньше в структуре ледебурита. Чугун, содержащий углерод в виде и ледебурита, и графита, называют полочинчатым. Серый чугун не содержит ледебурита.

Кремний также влияет на свойства металлической основы чугуна: уменьшает прочность, увеличивает твердость и хрупкость ферритной составляющей. Чугун эвтектического строения, содержащий 4,25 % углерода, характеризуется низкой температурой плавления. С повышением содержания кремния чугун эвтектического строения получают при меньшем содержании углерода, мас. %, которое определяют по уравнению

$$[C] = 4,25 - 0,3[Si], \quad (5.1)$$

где $[Si]$ — содержание кремния, мас. %.

При сварке применяют присадочные прутки эвтектического строения.

Марганец стабилизирует карбиды, т. е. способствует отбелу чугуна. Это свойство проявляется наиболее сильно при содержании в сплаве более 1,5 % марганца.

Сера в чугуне является вредной примесью и не только вызывает отбел чугуна, но, образуя по границам зерен сравнительно легкоплавкую эвтектику ($Fe-FeS$), способствует образованию го-

рячих трещин. Для уменьшения вредного действия серы содержание марганца должно быть примерно в 3 раза больше, чем серы. Верхний предел содержания серы в чугуне составляет примерно 0,15 %.

Фосфор в сплаве увеличивает жидкотекучесть и снижает температуру затвердевания чугуна, способствует его графитизации, а также увеличивает возможность образования трещин в чугуне. В чугуне его обычно содержится 0,1...0,9 %.

Механические свойства серого чугуна, изготавливаемого по ГОСТ 1412—85, приведены в табл. 5.1, химический состав — в табл. 5.2. Основная часть углерода находится в виде пластинчатого графита. Металлическая основа может быть ферритная, перлитно-ферритная или перлитная. Чугун марок СЧ28-48, СЧ32-52, СЧ36-56 и СЧ40-60 является модифицированным; его получают путем введения графитизирующих присадок, например ферросилиция и вторичного алюминия.

В сером чугуне графитовые выделения имеют сравнительно небольшие размеры и завихренную или розеточную форму. Модифицированный чугун с той же металлической основой, что и

Таблица 5.1. Механические свойства серого чугуна

Марка чугуна	Предел прочности, МПа		Стрела прогиба при расстоянии между опорами, мм		Твердость НВ
	при растяжении	при изгибе	600	300	
СЧ12-28	120	280	6	2,0	143... 229
СЧ15-32	150	320			163... 229
СЧ18-36	180	360	9	3,0	170... 229
СЧ21-40	210	400			170... 241
СЧ24-44	240	440			170... 241
СЧ28-48	280	480			170... 241
СЧ32-52	320	520			187... 255
СЧ36-56	360	560			197... 269
СЧ40-60	400	600	10	3,5	207... 269
СЧ44-64	440	640			229... 289

Таблица 5.2. Химический состав серого чугуна

Марка чугуна	Содержание, мас. %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
				не более	
СЧ15-32	3,5...3,7	2,0...2,4	0,5...0,8	0,30	0,15
СЧ18-36	3,4...3,6	1,7...2,1	0,5...0,7		
СЧ21-40	3,3...3,5	1,4...1,7	0,6...0,9		
СЧ24-44	3,2...3,4	1,4...1,7	0,6...0,9		
СЧ28-48	3,1...3,4	1,2...1,5	0,6...0,9		
СЧ32-52	3,0...3,2	1,0...1,3	0,7...1,0		
СЧ36-56	2,9...3,0	1,0...1,1	1,0...1,1	0,02	0,02
СЧ40-60	2,5...2,7	2,5...2,9	0,2...0,4		
СЧ44-64	2,5...2,7	2,5...2,9	0,2...0,4	0,02	0,02

обычный серый чугун, обладает более высокими механическими свойствами.

Ковкий чугун (ГОСТ 1215—79) обладает меньшей хрупкостью, чем серый. Исходным материалом для его получения служит белый чугун, подвергаемый специальной термической обработке — продолжительному отжигу (так называемому томлению) при температуре 800...850 °С. Такая обработка обуславливает выделение мелкого графита в виде хлопьев или розеток. В зависимости от режима термической обработки металлическая основа может быть ферритной или перлитной. В ковком чугуне при повторном нагреве выше 900 °С графит может распадаться и образовывать цементит, что затрудняет его сварку, так как для восстановления углерода исходной формы необходим полный цикл термической обработки сварного изделия. Механические свойства ковкого чугуна даны в табл. 5.3.

Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293—85) содержит графит шаровидной формы и широко применяется в машиностроительной промышленности вследствие высокой прочности по сравнению с серым чугуном. Получение высокопрочного чугуна состоит в модифицировании его магнием или церием и продувании через него (в жидком виде) азота. Магний вводят в виде лигатуры — сплава магния с медью, никелем, ферросилицием и др. Механические свойства высокопрочного чугуна приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.3. Механические свойства ковкого чугуна

Марка чугуна	Предел прочности при растяжении, МПа, не менее	Относительное удлинение при растяжении, %, не менее	Твердость НВ
КЧ 30-6	300	6	163
КЧ 33-8	330	8	163
КЧ 35-10	350	10	163
КЧ 37-12	370	12	163
КЧ 45-6	450	6	241
КЧ 50-4	500	4	241
КЧ 56-4	560	4	269
КЧ 60-3	600	3	260
КЧ 63-2	630	2	269

Таблица 5.4. Механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Марка чугуна	Предел прочности при растяжении, МПа, не менее	Предел текучести при растяжении, МПа, не менее	Относительное удлинение при растяжении, %, не менее	Ударная вязкость, кДж/м ² , не менее	Твердость НВ
ВЧ 38-17	380	240	17	600	140 ... 170
ВЧ 42-12	420	280	12	400	140 ... 200
ВЧ 45-5	450	330	5	300	160 ... 220
ВЧ 50-2	500	380	2	200	180... 260
ВЧ 60-2	600	400	2	200	200 ... 280
ВЧ 70-3	700	400	3	300	229 ... 275
ВЧ 80-3	800	500	3	200	220 ... 300
ВЧ 100-4	1 000	700	4	300	302... 369
ВЧ 120-4	1 200	900	4	300	302... 369

5.2. СВАРИВАЕМОСТЬ ЧУГУНА

Различают физическую и технологическую свариваемость. *Физическая свариваемость* характеризуется возможностью протекания физико-химических процессов (диффузии, образования твердых растворов и др.) между основным металлом и металлом сварочной ванны, в результате чего образуется неразъемное соединение. На основании этого чугуна следует отнести к группе хороших свариваемых металлов.

Под *технологической свариваемостью* понимают способность свариваемого металла образовывать без нарушения сплошности, искажения формы и снижения качества основного металла неразъемное соединение. С этой точки зрения чугун является трудносвариваемым сплавом.

Свариваемость чугуна ухудшают три основных фактора:

- возможность образования в шве и околошовной зоне хрупких и труднообрабатываемых структур отбела и закалки;
- повышенная склонность металла к образованию трещин;
- склонность к образованию пор.

При рассмотрении структурных превращений в околошовной зоне в процессе сварки серого чугуна используем тройную диаграмму состояния железо — углерод — кремний ($\text{Fe} - \text{C} - \text{Si}$) (рис. 5.1). В соответствии с этой диаграммой в околошовной зоне отметим наличие пяти основных участков.

Участок *I*, примыкающий непосредственно к сварочной ванне, характеризуется наличием твердой и жидкой фаз. При быстром охлаждении жидкая фаза затвердевает с образованием белого чугуна, в твердой фазе возможно образование структур закалки.

На участке *II* металл находится в твердом состоянии, но, нагретый до высоких температур, полностью перекристаллизовывается. Структура на этом участке зависит от исходного состояния сплава и может состоять из аустенита и графита, аустенита и цементита либо из всех трех составляющих. При быстром охлаждении из аустенита может выделиться цементит, а при его переохлаждении — структуры закалки (мартенсит и др.).

На участке *III* (неполной перекристаллизации) наблюдается измельчение зерен.

Участок *IV* характеризуется увеличением содержания графита, что вызвано распадом карбидов.

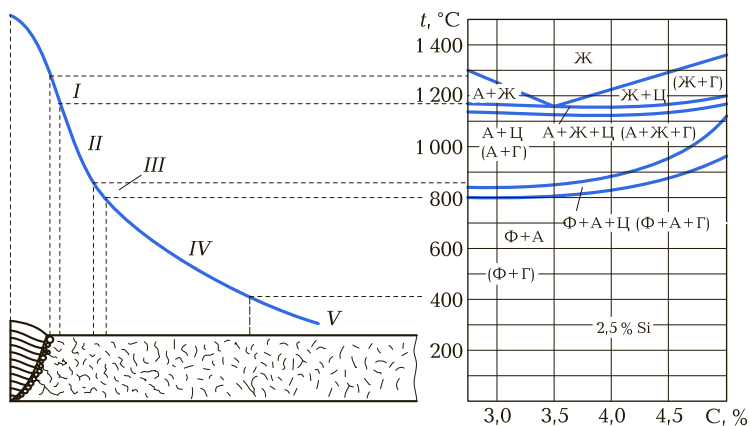


Рис. 5.1. Диаграмма состояния железо—углерод—кремний и структурные участки [I—V] околошовной зоны при сварке чугуна:

А — аустенит; Г — графит; Ж — жидкость; Ф — феррит; Ц — цементит; в скобках указаны структуры при высокой скорости охлаждения

На участке V металл имеет исходную структуру, так как его температура не превышает 400...500 °С.

Для предотвращения образования хрупких структур на участках I и II околошовной зоны необходимо уменьшить скорость охлаждения металла и перепад температур на соседних участках. Наиболее радикальный метод устранения структур закалки и отбела — подогрев изделия перед сваркой (горячая сварка) и его замедленное охлаждение по окончании процесса.

Пониженная стойкость чугуна к образованию трещин, связанная прежде всего с низкими прочностью и пластичностью сплава, усугубляется образованием хрупких структур в металле шва и околошовной зоне. Трещины в сварном соединении могут возникнуть вследствие неравномерного нагрева и охлаждения деталей, литейной усадки металла шва, высокой жесткости свариваемого изделия.

Процесс сварки характеризуется концентрированным локальным нагревом изделия, создающим в нем большой перепад температур, который вызывает значительные термические напряжения. Эти напряжения могут привести к образованию трещин до начала структурных превращений или в период охлаждения сварного соединения, вызывающего напряжения растяжения.

Трещины могут возникнуть не только в шве и околошовной зоне, но и на других участках детали, где вследствие дополнитель-

ной деформации, вызываемой сваркой или локальным предварительным нагревом, появляются напряжения, превышающие предел прочности чугуна при растяжении. Обычно эти холодные трещины развиваются мгновенно, со значительным звуковым и механическим эффектом. Наиболее благоприятные условия для трещинообразования в околошовной зоне создаются при сварке чугуна с крупными и многочисленными выделениями графита в виде пластинок. Менее склонны к трещинообразованию мелкозернистые перлитные чугуны с мелкими графитовыми включениями. Чугуны, легированные никелем, титаном или молибденом, более стойки к трещинообразованию, что связано с измельчением структуры металлической основы сплава и графитовых включений.

По характеру излома обычного серого чугуна (в первом приближении) можно судить о его свариваемости. Так, лучше сваривается чугун, имеющий мелкозернистую структуру и светло-серый излом, хуже — чугун с крупнокристаллическим изломом, имеющий крупные включения графита. Плохо сваривается чугун с черным изломом.

Основной способ борьбы с трещинообразованием и отбелом — снижение скорости охлаждения. Этого можно достигнуть при горячей сварке. Вероятность трещинообразования уменьшается при низкотемпературных процессах пайкосварки, пайки и др., происходящих без расплавления основного металла.

При сварке чугуна происходит интенсивное газовыделение из сварочной ванны, которое может привести к образованию газовых пор в наплавленном металле. Поры в основном представляют собой пузырьки водорода, азота, водяного пара и оксида углерода, не успевшие выделиться до затвердевания металла. Газы в сварочную ванну попадают из пламени и окружающей атмосферы; они образуются в результате реакций, происходящих в жидком металле. Механизм образования пор, вызванных присутствием водорода и азота, связан с изменением их растворимости в металле при изменении его температуры. В расплавленном состоянии металл сварочной ванны может растворить значительное количество водорода и азота. По мере охлаждения металла растворимость газов снижается. Скачкообразное снижение растворимости отмечается и в момент кристаллизации. Образующиеся при этом газовые пузырьки могут полностью выйти на поверхность сварочной ванны или остаться в металле шва и вызвать его пористость.

Образование пор, вызываемых нерастворимыми в чугуне водяными парами и оксидом углерода, имеет иную природу. В том

случае, если эти газы образуются в жидкой перегретой ванне, они могут интенсивно выделяться из нее (металл кипит), причем, удаляясь, увлекать за собой другие газы и неметаллические включения. При этом обеспечивается получение плотного шва. Однако, как и в предыдущем случае, если пузырьки образуются и выделяются в момент кристаллизации шва, то они могут не успеть всплыть и остаться в металле в виде пор. Схематично влияние скорости кристаллизации на выделение пузырьков газа из сварочной ванны показано на рис. 5.2.

При газовой сварке чугуна основным способом устранения пористости является уменьшение скорости кристаллизации сварочной ванны, что достигается, как правило, наличием общей жидкой ванны. По окончании заполнения разделки дефекта сварщик прогревает жидкую ванну пламенем горелки, создавая условия для удаления газов. В отдельных случаях сварщик, обнаружив в сварочной ванне газовые пузырьки, временно прекращает расплавление присадочного материала, дополнительно прогревает сварочную ванну до видимого удаления этих пузырьков. Затрудненный выход газов из сварочной ванны может быть вызван резким переходом сплава из жидкого состояния в твердое, а также образованием тугоплавкой оксидной пленки на поверхности жид-

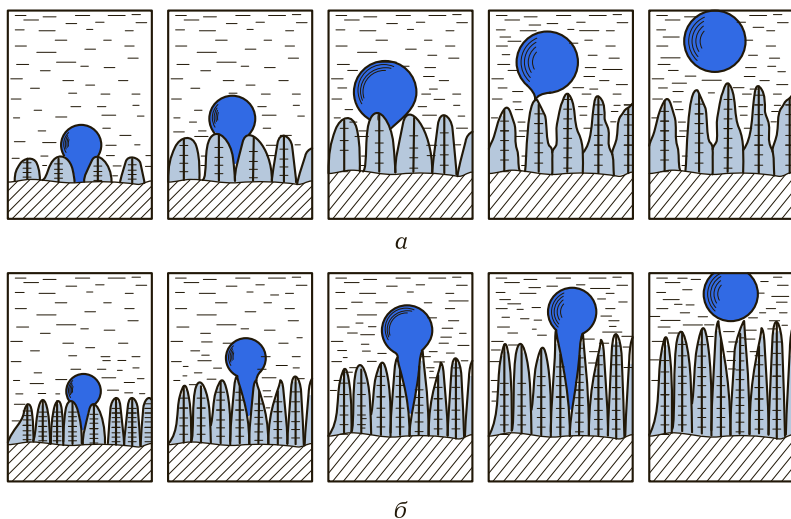


Рис. 5.2. Схемы роста и отрыва пузырька газа при низкой (а) и высокой (б) скорости кристаллизации сварочной ванны

кой ванны. Для облегчения выхода газов сварочную ванну рекомендуется непрерывно перемешивать присадочным прутком. Тугоплавкие и вязкие оксидные пленки уstraняют применяя специальные флюсы.

5.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ ЧУГУНА

Газовую сварку чугуна выполняют с общим и местным нагревом до температуры 300...400 °С. После сварки деталь должна медленно остывать для получения однородной равномерной структуры серого чугуна и предупреждения возникновения трещин.

Общий равномерный нагрев необходим для предупреждения значительного коробления и уменьшения скорости охлаждения, а следовательно, уstraнения образования структур отбела, закалки

Таблица 5.5. Способы уstraнения дефектов в чугунных отливках

Вид дефекта	Место расположения	Способ уstraнения
Раковины, газовая и усадочная пористость	На угловых участках, в зоне бобышек	Газовая сварка с чугунным присадочным материалом без дополнительного нагрева (холодная сварка) или с местным дополнительным нагревом
	В жестком контуре (середина направляющей, большое число ребер или отверстий, середина плоскости и т. п.)	Газовая сварка с чугунным присадочным материалом и с местным дополнительным нагревом или с общим нагревом (горячая сварка)
Трещины (сквозные и несквозные) в ма-габаритных отливках массой до 50 кг	В центральной или периферийной части отливки (с закрытыми или открытыми концами)	Газовая сварка с чугунным присадочным материалом и с общим нагревом (горячая сварка)
Отбитые части в малогабаритных отливках	На угловых участках	Газовая сварка с чугунным присадочным материалом без дополнительного нагрева (холодная сварка)

и трещин при расположении дефекта в жестком замкнутом контуре, а также для предупреждения возникновения значительных напряжений растяжения.

Местный нагрев рекомендуется при допущении некоторого коробления детали и при расположении дефекта в нежестком контуре. Местный нагрев осуществляют горелками. При этом важно обеспечить одновременные и постепенные нагрев и охлаждение нагреваемых элементов конструкции.

В табл. 5.5 приведены способы устранения дефектов в чугунных отливках, выявленных до окончательной механической обработки (припуск до 5 мм, объем наплавленного металла до 100 см³).

Сварку с нагревом называют *горячей* сваркой, а сварку без нагрева — *холодной*.

5.4. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГОРЯЧЕЙ СВАРКЕ ЧУГУНА

При сварке чугуна обязательно применение *флюсов*, которые, попадая в зону действия пламени, предотвращают окисление кромок твердого металла; извлекают из жидкого металла оксиды и неметаллические включения; образуют пленку, предохраняющую расплавленный металл от окисления. При сварке чугуна применяют, как правило, кислые флюсы, состоящие в основном из боросодержащих веществ. Отшлакование оксида кремния возможно и с помощью углекислых солей натрия или калия.

Таблица 5.6. Составы флюсов, применяемых при сварке чугуна

Компонент флюса	Номер флюса				
	1	2	3	4	5
	Содержание, мас. %				
Прокаленная бура	100	56	50	—	23
Карбонат натрия	—	22	—	50	27
Карбонат калия	—	22	—	—	—
Гидрокарборат натрия	—	—	47	50	—
Кремнезем	—	—	3	—	—
Нитрат натрия	—	—	—	—	50

Таблица 5.7. Состав, %, чугунных присадочных прутков для сварки

Марка прутка	Углерод	Кремний	Сера	Фосфор	Марганец	Хром	Никель
			не более			не более	
А	3,0...3,5	3,0...3,4	0,08	0,4	0,5...0,8	0,05	0,3
Б	3,0...3,5	3,5...4,0	0,08	0,5	0,5...0,8	0,05	0,3

Составы наиболее распространенных флюсов при сварке чугуна приведены в табл. 5.6.

При сварке чугуна используют *присадочный материал* в виде чугунных прутков марок А и Б (табл. 5.7) с невысоким содержанием углерода. В результате наплавленный металл имеет преимущественно ферритную структуру, что не всегда отвечает техническим условиям на изготовление чугунных отливок.

5.5. ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ ЧУГУНА С ПОДОГРЕВОМ

Отливки сложной конфигурации, а также прошедшие частично механическую обработку детали, в которых выявлены дефекты в жестком контуре, необходимо подвергать общему предварительному нагреву в печах или горнах до температуры 500...600 °С (до коричнево-красного цвета). Общему нагреву подвергают отливки (толщиной более 50 мм) с дефектами в местах интенсивного теплоотвода.

Местный нагрев выполняют с учетом конфигурации изделия с тем, чтобы создать в нагреваемом участке равномерную тепловую деформацию, которая примерно равна деформации в момент сварки в дефектной части.

Местному или общему нагреву в печах или с помощью переносных газовых горелок подвергают мало- и среднегабаритные отливки с дефектами в жестком контуре и со значительными припусками на обработку, компенсирующими их коробление.

Для предотвращения охлаждения в процессе сварки детали (отливки) большой массы накрывают листовым асбестом или помещают в специальную камеру-кессон. Отливки, имеющие небольшую массу и несложную конфигурацию, не предохраняют от охлаждения в процессе сварки. Продолжительность перерыва между окончанием подогрева и началом сварки не должна превы-

шать 5 мин, чтобы температура детали перед сваркой была не ниже 400 °С.

Мощность пламени при сварке выбирают в зависимости от площади дефекта:

Площадь дефекта, см ²	До 5	5...25	Более 25
Номер наконечника горелки	5	6	7; 8

На выбор мощности пламени влияет и толщина стенки детали, на которой расположен дефект. Как правило, для стенок толщиной более 30 мм применяют наконечники с № 6 или 7.

Диаметр присадочных прутков выбирают в зависимости от мощности пламени и площади дефекта:

Площадь дефекта, см ²	До 20	20...60	Более 60
Диаметр прутка, мм	6...8	10...12	14...16

Форма сечения прутка заметно не влияет на процесс сварки, который начинается с прогрева пламенем горелки основного металла вокруг дефекта и доведения его до светло-красного цвета (до температуры примерно 850 °С). Затем пламя направляют на поверхность разделки, которую доводят до плавления.

Пламя должно быть нормальным, плавление происходит за счет его восстановительной части. С расплавленной и офлюсованной поверхности дефекта присадочным прутком удаляют неметаллические включения. Затем дефект заполняют расплавленным присадочным материалом, периодически добавляя флюс на кончике прутка. Сварку следует вести ванным способом: металл сварочной ванны поддерживают в жидком состоянии до полного заполнения дефекта присадочным металлом. Этот способ обеспечивает наиболее полное удаление газов и неметаллических включений из металла шва и равномерную структуру в зоне термического влияния.

Однако при заварке краевых дефектов (в бобышках, платиках, бортиках, уголках) поддерживать ванну в жидком состоянии затруднительно. Сварщик, манипулируя пламенем горелки, должен с помощью прутка не допустить стекания жидкого металла. В начальный момент (рис. 5.3, а) угол наклона пламени к поверхности детали составляет примерно 80°, а затем постепенно уменьшается почти до 10° (рис. 5.3, б). При краевом дефекте целесообразно, чтобы наплавленный металл находился в полужидком состоянии; для этого необходимо время от времени отводить горелку для охлаждения ванны. Продолжительные перерывы при послойной наплавке могут привести к образованию шлаковых прослоек

между слоями или даже к их несплавлению. Наплавленный металл должен находиться выше основного металла не менее чем на 3 мм. Если при этом образуются натеки, то их доводят до оплавления и удаляют присадочным прутом.

В процессе сварки сварщик может установить наличие газовых пор в расплавленном металле. Для этого после образования жидкой ванны пламенем горелки металл ванны вытесняют, обнажая дно ванны. Наличие газовых пузырей на дне указывает на низкое качество присадочного прутка или свариваемого металла. В этом случае следует заменить присадочный пруток и удалить (выплеснуть) ранее наплавленный металл. В отдельных случаях газы удаляют за счет увеличения продолжительности существования жидкой сварочной ванны.

Для получения сварного соединения, свойства которого равноценны свойствам основного металла, необходимо после сварки уменьшить скорость охлаждения металла в интервале температур, соответствующих перлитному превращению. Для этого горелку медленно отводят от поверхности ванны на 50...60 мм, а наплавленный металл подогревают пламенем в течение 0,5...1,5 мин. Процесс замедленного охлаждения контролируют визуально с помощью защитных очков; по периферии шва должно образоваться темное кольцо охлаждающегося металла. После распространения этого кольца на центр наплавки пламя горелки включают. Для замедленного охлаждения исправленную деталь засыпают песком или накрывают листовым асбестом.

Для уменьшения внутренних напряжений и предупреждения образования трещин детали большой толщины и сложной конфигурации после устранения дефектов рекомендуется подвергать

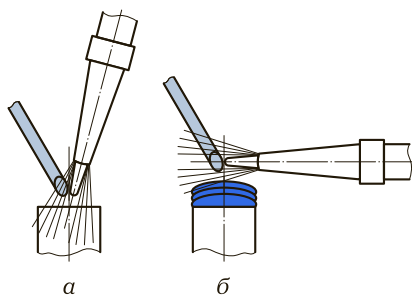


Рис. 5.3. Схема исправления углового дефекта:
а — начало сварки; б — окончание сварки

вторичному нагреву (отжигу) в горне или печи при температуре 650 ... 750 °С. Отливки охлаждаются вместе с горном (печью).

5.6. ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ ЧУГУНА БЕЗ ПОДОГРЕВА

Сварку без предварительного нагрева (холодную сварку) применяют в тех случаях, когда детали (кронштейны, рычаги и т. п.) при нагревании и охлаждении способны свободно расширяться и сжиматься, не вызывая значительных остаточных напряжений. При этом мощность пламени горелки должна быть максимально возможной для обеспечения замедленного охлаждения в интервале температур перлитного превращения.

При холодной газовой сварке происходит местный разогрев пламенем горелки основного металла в области дефекта и прилегающих к нему зон. Технологический процесс сварки без предварительного нагрева аналогичен технологическому процессу горячей сварки. Перед заполнением сварочной ванны необходимо подогреть пламенем горелки участки, прилегающие к дефекту. После окончания заполнения дефекта горелку в течение 2...3 мин медленно от него отводят, направляя пламя на участки, прилегающие к дефекту. Деталь или часть детали, на которой находится заваренный участок, для замедленного охлаждения засыпают песком или накрывают листовым асбестом.

5.7. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГАЗОВАЯ СВАРКА ЧУГУНА

Дефекты в чугунных отливках могут быть обнаружены на различных стадиях механической обработки. Наибольшие трудности возникают при устранении дефектов, обнаруженных на последних стадиях обработки, когда остаются малые припуски на нее. В этих случаях опасно применять сварку с подогревом, так как возникающие при этом термические напряжения, могут вызвать такие деформации изделия, которые нельзя устранить последующей механической обработкой. Устранение указанных дефектов обычными методами холодной сварки может привести к образованию трещин или труднообрабатываемых участков со структурой закалки.

В этом случае целесообразнее применять пайкосварку, при которой сварное соединение образуется так же, как при пайке, т. е. без расплавления основного металла.

В начале низкотемпературной пайкосварки общая жидкая ванна не образуется, и процесс осуществляют путем наплавки отдельными каплями. Капли жидкого припая, попадая на основной металл, разогретый ниже температуры кристаллизации припоя, и соприкасаясь с ним, отдают ему часть своей теплоты, вследствие чего повышается температура поверхностного слоя основного металла. Капля жидкого припоя под действием флюса и давления пламени легко растекается тонким слоем по основному металлу. Часть жидкого металла под действием капиллярных сил заполняет пустоты, образующиеся в чугуне в результате поверхностного выкрашивания или окисления графита.

При низкотемпературной пайкосварке отрицательное влияние свободного графита на процесс смачивания устраняют введением во флюс активных добавок. Флюс, взаимодействуя со свободным углеродом, разрыхляет последний, что, в свою очередь, снижает межфазную поверхностную энергию и улучшает условия смачивания.

Дефектные участки к ремонту подготавливают механическим путем. Наибольшее распространение получили сверление и вырубка пневматическим зубилом. Острые кромки притупляют, чтобы профиль разделки (рис. 5.4) можно было равномерно прогреть пламенем, в результате чего обеспечиваются свободный доступ и выход газов в сторону от наконечника горелки. При устранении сквозных трещин притупление не должно превышать 1,5 мм.

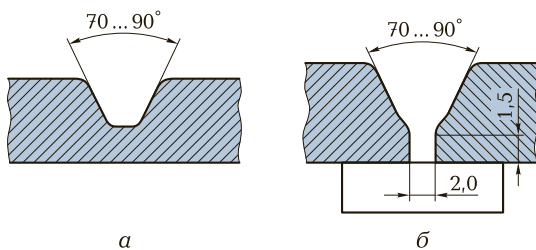


Рис. 5.4. Профиль разделки дефекта под пайкосварку:

а — разделка несквозного дефекта; *б* — разделка сквозного дефекта с применением подкладки из огнеупорного материала

Низкотемпературную пайкосварку чугунным присадочным материалом применяют для исправления мелких дефектов на поверхностях чугунных деталей, имеющих незначительный припуск на обработку, при необходимости получения структур чугуна в наплавленном металле.

Чугунные прутки марок НЧ-2 и УНЧ-2 имеют следующий химический состав, мас. %:

Элемент	НЧ-2	УНЧ-2
Углерод.....	3,0... 3,5	3,4... 3,7
Кремний.....	3,5... 4,0	3,5... 3,8
Марганец.....	0,6... 0,7	0,6... 0,7
Фосфор.....	0,2... 0,4	0,2... 0,4
Никель.....	0,4... 0,6	0,4... 0,6
Титан.....	0,15... 0,2	0,15... 0,2
Медь.....	Не более 0,1	Не более 0,1
Сера.....	Не более 0,05	Не более 0,03

Прутки УНЧ-2 по сравнению с прутками НЧ-2 обеспечивают более плотный наплавленный металл шва за счет более низкого содержания серы и более благоприятного соотношения между углеродом и кремнием.

Для пайкосварки чугунными прутками применяют флюсы марок ФСЧ-2 и МАФ-1.

При пайкосварке нагрев осуществляют ацетиленокислородным пламенем. Схема процесса устранения сквозных дефектов (трещин) показана на рис. 5.5, а. При устранении засверленных дефектов (пористость, раковины) присадочный материал наносят по винтовой восходящей линии (рис. 5.5, б). Угол между осью пламени и плоскостью разделки составляет 20...30°. Приса-

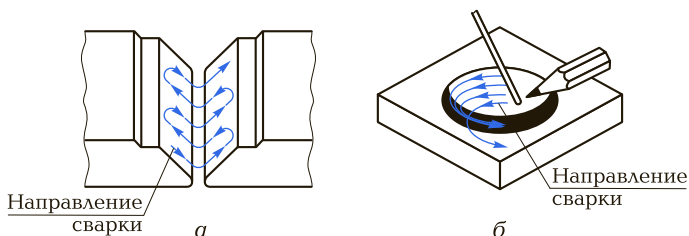


Рис. 5.5. Схемы процесса низкотемпературной пайкосварки чугунным присадочным материалом при исправлении дефектов:
 а — сквозных с продольной разделкой; б — засверленных типа раковин

дочный пруток располагают на расстоянии 23...25 мм от ядра пламени.

При использовании флюса ФСЧ-2 осуществляют местный предварительный нагрев в зоне дефекта до температуры 900...950 °С и выше. При такой высокой температуре не исключено появление структур закалки в ЗТВ. Флюс используют в тех случаях, когда допускается повышенная твердость наплавленного металла, например при исправлении дефектов в направляющих токарно-винторезных станков мод. 1К62 перед поверхностной закалкой.

Флюс МАФ-1 и прутки УНЧ-2 позволяют вести процесс при рабочей температуре 750...800 °С. При пайкосварке не происходит закалки околошовной зоны.

Низкотемпературная пайкосварка не исключает предварительного нагрева детали. Нагрев до температуры 300...400 °С в значительной степени облегчает выполнение работы по устранению дефектов на толстостенных деталях.

В отдельных случаях взамен сварки целесообразно применять пайкосварку чугуна латунными припоями.

Преимущество пайкосварки чугуна латунью по сравнению со сваркой плавлением заключается в том, что нагрев чугуна до температуры плавления латуни (850...900 °С) существенно не изменяет структуры металла и не вызывает значительные термические напряжения.

Угол скоса кромок детали толщиной до 25 мм при пайкосварке составляет 45°; при толщине более 25 мм рекомендуется ступенчатая разделка. Пайкосваркой лучше соединять шероховатые, а не гладкие поверхности кромок: гладкие плохо смачиваются латунью, что не обеспечивает прочного сцепления латуни с чугуном. Углерод, выделяясь в виде графита на поверхности кромок, также препятствует прочному сцеплению металлов. Графит с поверхности кромок выжигают на глубину 0,2...1,5 мм двумя способами: соединяемые кромки детали покрывают пастой из железных опилок и борной кислоты и нагревают пламенем горелки; кромки детали нагревают пламенем горелки, отрегулированным с избытком кислорода. В обоих случаях кромки детали нагревают до температуры 750...900 °С. Более широкое применение на практике нашел второй способ.

Техника пайкосварки чугуна состоит в следующем. Кромки нагревают до красного цвета, посыпают флюсом и лудят участками. При этом пламя должно быть нейтральным или с небольшим избытком кислорода. Кромки должны находиться в наклонном

положении. Пайкосварку выполняют снизу вверх, при этом расплавленная латунь не стекает на нелуженую поверхность.

Горелку и присадочный материал при пайкосварке латунью располагают так же, как и при правом способе сварки (рис. 5.6). После окончания процесса целесообразно места соединения прогреть, покрыть асбобумагой и медленно охладить. Описанный способ можно применять при пайкосварке чугуна со сталью.

Мощность пламени, т. е. количество сжигаемого в единицу времени горючего, должна соответствовать удельному расходу ацетилена — около $75 \text{ дм}^3/\text{ч}$ на 1 мм толщины детали. Номер наконечника выбирают в зависимости от мощности. В качестве припоев используют латунь Л63 или ЛОК 59-1-03 (ГОСТ 16130—90). Припой ЛОК 59-1-03 обеспечивает получение более плотного паяно-сварного шва и протекание бездымного процесса, т. е. угар цинка незначителен. При пайкосварке указанными припоями применяют флюсы следующих составов: 100 % буры; 50 % буры и 50 % борной кислоты.

Часто возникает необходимость в исправлении дефектов на поверхностях чугунных деталей, припуск на обработку которых составляет несколько микрометров, причем в отдельных случаях обязательно получение шва, близкого по цвету и твердости к основному металлу. Дефекты на указанных поверхностях исправляют низкотемпературной пайкосваркой латунными припоями, по технологическим приемам аналогичной описанному процессу низкотемпературной пайкосварки чугунным присадочным материалом.

Рабочая температура процесса пайкосварки латунными припоями, т. е. местный нагрев поверхности металла в зоне наплав-

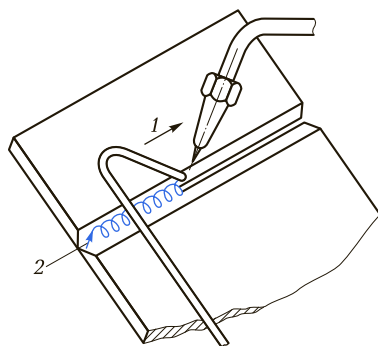


Рис. 5.6. Схема пайкосварки латунным припоем:

1, 2 — направления движения горелки и прутка соответственно

Таблица 5.8. Флюсы для низкотемпературной пайкосварки латунными припоями

Марка флюса	Состав флюса		Область применения
	Компонент	Содержание, мас. %	
ФПСН-1	Карбонат лития	25 ± 0,5	Для латуни без алюминия
	Кальцинированная сода	25 ± 1	
	Борная кислота	50 ± 1	
ФПСН-2	Карбонат лития	22,5 ± 0,5	Для латуни, содержащей до 1 % алюминия
	Кальцинированная сода	22,5 ± 0,5	
	Борная кислота	45 ± 1	
	Солевая плавяная лигатура*	10 ± 1	

* Состав: 72,5 % хлорида натрия и 27,5 % фторида натрия.

ки, составляет 650...750 °С. Снизить рабочую температуру по сравнению с температурой при обычных способах пайкосварки латунными припоями можно применением специальных флюсов (табл. 5.8).

Флюсы ФПСН-1 и ФПСН-2 нейтрализуют действие свободно-го графита, частицы которого выступают на свариваемой поверхности и препятствуют ее смачиванию. Флюсы облегчают процесс

Таблица 5.9. Латунные припои для низкотемпературной пайкосварки

Марка припоя	Состав припоя, мас. %					
	Медь	Олово	Кремний	Марганец	Никель	Алюминий
ЛОК 59-1-03	58...60	0,7...1,1	0,2...0,4	—	—	—
ЛОМНА 49-05-10-4-04	48...50	0,9...1,0	—	9,5...10,5	3,5...4,5	0,2...0,6

Окончание табл. 5.9

Марка припоя	Температура плавления, °С	Твердость НВ	Цвет
ЛОК 59-1-03	905	80...100	Желтый
ЛОМНА 49-05-10-4-04	835	180...200	Белый

смачивания и образование металлических связей на границе чугуна — латунь при рабочей температуре 650...750 °С (ниже температуры солидуса латуни на 150...200 °С). При температуре плавления 600...650 °С указанные флюсы являются индикаторами начала процесса пайкосварки, т. е. расплавление флюса служит сигналом для введения и расплавления припоя.

В качестве припоя в зависимости от требований к поверхности с дефектом применяют сплавы, составы которых приведены в табл. 5.9.

Припой ЛОК 59-1-03 применяют в тех случаях, когда не требуется, чтобы цвет и твердость наплавки и основного металла были одинаковыми. В припое содержится в среднем 0,3 % кремния, что обуславливает бездымный процесс пайкосварки, т. е. на поверхности расплавленного металла образуется слой оксидов кремния, препятствующий испарению цинка. У медно-цинковых сплавов, не содержащих кремния, угар цинка составляет 5 %.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте различные виды чугуна.
2. Какие трудности существуют при газовой сварке чугуна?
3. Какова роль флюса при газовой сварке чугуна?
4. Укажите основные способы газовой сварки чугуна.
5. Перечислите особенности процесса пайкосварки чугуна.
6. Какие присадочные материалы применяют при газовой сварке чугуна?

ГАЗОВАЯ СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

6.1. СВАРКА МЕДИ

Медь обладает высокой химической стойкостью в различных средах, особыми физическими свойствами, способностью хорошо обрабатываться (штамповкой, прокаткой и т. д.). Плотность меди зависит от способа ее обработки: плотность электролитической меди — $8\,920\text{ кг/м}^3$, литой — $8\,930$; проволоки — $8\,940\text{ кг/м}^3$.

Температура плавления меди — $1\,083\text{ }^\circ\text{C}$. Медь имеет высокую теплопроводность, что обуславливает ее широкое применение для изготовления испарителей, теплообменников, пищевых котлов и др.

Медь и ее сплавы обладают высокими механическими свойствами и в отличие от большинства металлов сохраняют их, в том числе пластичность и ударную вязкость, при низких температурах.

Сварные конструкции изготавливают в основном из проката в виде листов или труб. Свариваемость и технологические свойства меди отличают ее от других конструкционных материалов. Трудности при сварке меди связаны в основном с высокой теплопроводностью, низкой стойкостью шва к образованию трещин и повышенной склонностью к образованию газовых пор в металле шва.

Теплопроводность меди в 6—7 раз выше теплопроводности стали. Для компенсации больших потерь теплоты за счет ее отвода в околошовную зону при сварке меди используют предварительный или сопутствующий нагрев кромок и более мощное сварочное пламя, а также наконечник горелки, который на один-два номера больше, чем наконечник для стали такой же толщины. Наибольшее распространение имеют стыковые соединения. Не рекомендуется использовать нахлесточные и тавровые соединения.

На свариваемость меди большое влияние оказывают содержащиеся в ней примеси, например кислород, висмут и свинец, ко-

торые снижают стойкость медных сварных швов к трещинообразованию.

Медь имеет сильно выраженное сродство к кислороду; по ГОСТ 859—66 в ней содержится до 0,15 % кислорода. В околошовной зоне наибольшее влияние оказывает кислород основного металла, поэтому для улучшения качества сварных соединений промышленностью выпускается специальная медь МЗр с пониженным содержанием кислорода (0,01 %). Однако кислород в околошовную зону может попасть и путем диффузии из материала шва и окружающих газов. В процессе затвердевания металла растворимость кислорода снижается и по границам зерен выделяется эвтектика медь—оксид меди Cu_2O , которая охрупчивает металл. При горячей прокатке эти прослойки разрушаются, а некоторые из них располагаются в направлении волокон металла.

В процессе сварки хрупкие прослойки эвтектики могут образоваться в околошовной зоне, если свариваемая медь содержала большое количество кислорода. При сварке в ЗТВ при температуре 1 065 °С хрупкие прослойки, которые разрушены прокаткой, вновь расплавляются и выпадают по границам зерен, охрупчивая околошовную зону. Чтобы исключить образование оксида меди Cu_2O в металле шва, применяют различные технологические приемы. Например, металл шва защищают от окисления флюсами и нагревом нормальным пламенем, сварочную ванну дополнительно раскисляют присадочным металлом, содержащим раскислители. Кроме того, прослойки оксида меди Cu_2O разрушают проковкой металла шва после сварки.

Водород также оказывает вредное влияние на свойства меди. Растворимость водорода в меди резко снижается при кристаллизации металла, в результате чего в металле шва могут образоваться поры. Особенно опасно наличие водорода в присутствии оксида меди Cu_2O . Водород, так же, как и диоксид углерода (углекислый газ), может восстанавливать оксид меди Cu_2O по реакциям



Пары воды и углекислый газ, не имея возможности выделиться из металла путем диффузии, образуют поры и могут быть причиной трещинообразования. Растрескивание меди в результате образования паров воды получило в технике название «водородная болезнь». Для ее предупреждения при сварке меди в пламени не должно быть избытка горючего газа. Кроме того, для уменьшения продолжительности контакта пламени с жидким металлом

сварку необходимо вести с возможно большей скоростью. Лучшие результаты получают при правом способе сварки.

Технология сварки меди. Для обеспечения высококачественной сварки меди необходимо раскислять сварочную ванну. Эффективно применение присадочного материала, содержащего в качестве раскислителей кремний, марганец и др. Рекомендуются также присадочные материалы на медной основе, легированные серебром, оловом. Для сварки ответственных деталей из меди рекомендуется применение присадочного материала МСр1, содержащего 0,8... 1,2 % серебра.

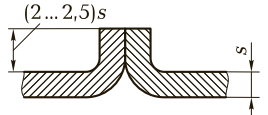
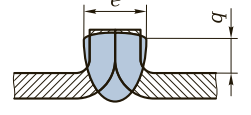
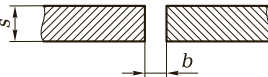
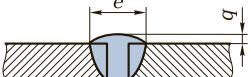
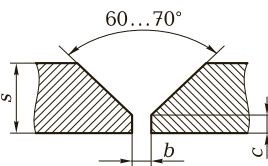
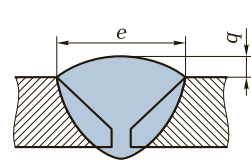
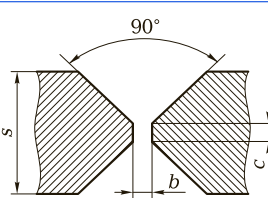
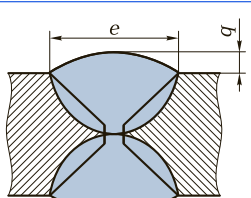
При газовой сварке меди применяют флюс. Однако при сварке тонкого металла (до 3 мм) его можно не применять. Для сварки меди используют флюсы в парообразном и порошкообразном виде и в виде пасты. Флюсы должны не только защищать металл от прямого воздействия газов, но и связывать и удалять из сварочной ванны растворенный в ней оксид меди Cu_2O (табл. 6.1).

Рекомендуется применять прокаленную буру — содержащую одну молекулу кристаллизационной воды ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Прокаленную буру получают из обычной технической буры при ее нагреве в открытом фарфоровом или шамотовом тигле либо на противне из коррозионно-стойкой (нержавеющей) стали. Полученную массу размалывают до порошкообразного состояния в шаровой мельнице или ступке и в таком виде применяют при сварке.

Таблица 6.1. Флюсы, применяемые при газовой сварке меди

Компонент флюса	Номер флюса								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Содержание, мас. %								
Бура	100	25	50	30	50	50	70	56	78
Борная кислота	—	75	50	50	35	—	10	—	4
Хлорид натрия	—	—	—	10	—	—	20	22	13
Ортофосфат натрия	—	—	—	10	15	15	—	—	—
Кварцевый песок	—	—	—	—	—	15	—	—	—
Карбонат калия	—	—	—	—	—	—	—	22	—
Древесный уголь	—	—	—	—	—	20	—	—	—
Гидрокарбонат натрия	—	—	—	—	—	—	—	—	5

Таблица 6.2. Размеры конструктивных элементов кромок стыковых соединений под газовую сварку меди

Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Характер шва	Конструктивные элементы		Размеры, мм				
			подготовленных кромок деталей	шва	s	b	c	e	q
C1	С отбортовкой двух кромок	Одно-сторонний			До 2	—	—	3...6	1...2
C2	Без скоса кромок				До 4	1...2	—	6...10	1...2
C3	Со скосом двух кромок				4...10	1...2	2...3	10...25	1,5...2,0
C4	С двусторонней разделкой				10...25	1...2	2...3	20...30	2...3

Готовый флюс хранят в сосудах с герметически закрывающейся крышкой.

В состав флюса иногда вводят соли фосфорной кислоты (флюсы № 5 и 6). Такие флюсы рекомендуется применять при сварке присадочной проволокой, не содержащей раскислителя.

Флюс вводят непосредственно в зону сварки (насыпают совком или ложкой) и периодически добавляют его присадочной проволокой либо предварительно наносят флюс в виде пасты на кромки основного металла и присадочный пруток.

Типы сварных соединений и подготовка кромок под сварку.

При газовой сварке меди, как правило, применяют стыковые и угловые соединения с внешним угловым валиком. Нахлесточные и тавровые соединения не дают хороших результатов. Кромки под сварку разделяют согласно указаниям, приведенным в табл. 6.2.

Стыковые соединения толщиной до 2 мм сваривают в основном без присадочного материала. Во избежание протекания металла через зазор между кромками под них подкладывают асбест или графит.

При сварке соединений толщиной от 3 мм применяют V-образный скос кромок. Угол раскрытия для этой разделки составляет 90° с притуплением, равным $1/5$ толщины металла, но не менее 1,5...2,0 мм.

Для соединений толщиной более 10 мм и при одновременной работе двух сварщиков, выполняющих сварку в вертикальном направлении одновременно с обеих сторон стыка, применяют X-образную разделку кромок.

При сварке следует избегать резких переходов в сечениях медных трубных сварных соединений, поэтому при сборке труб-

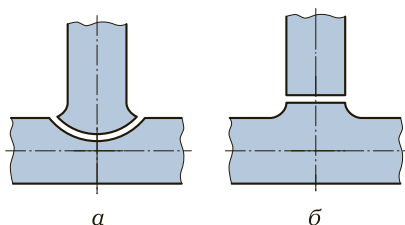


Рис. 6.1. Схемы подготовки под сварку трубчатых соединений из меди:

а — развальцовка привариваемого патрубка; *б* — вытяжка главной трубы

чатых соединений рекомендуется развальцовка привариваемого патрубка или вытяжка главной трубы (рис. 6.1).

Режимы сварки. При сварке меди используют ацетиленокислородное пламя и пламя газов-заменителей (пропан-бутан, природный и т. д.). При работе с газом-заменителем сварщику сложнее визуальным образом установить требуемый характер пламени, что может привести к снижению качества сварки.

Мощность пламени, т. е. расход ацетилена, $\text{дм}^3/\text{ч}$, при сварке одной горелкой

$$V_a = (150 \dots 200)s, \quad (6.3)$$

где s — толщина меди, мм.

Нижний предел расхода ацетилена принимают для меди толщиной до 10 мм, верхний — для меди большей толщины. Медь толщиной более 8 мм рекомендуется сваривать одновременно двумя горелками; при этом мощность подогревающей горелки определяют по формуле (6.3), а сварочной — из соотношения $V_a = 100s$. При использовании газов-заменителей необходимо учитывать коэффициент замены. Характер пламени устанавливают из соотношения $\beta = 1,1 \dots 1,2$, т. е. строго нормальный.

Листовую медь толщиной до 5 мм сваривают левым способом, большей толщины — желателен правый способ. Для лучшего заполнения разделки кромок и получения шва большей высоты свариваемые листы укладывают под углом $7 \dots 10^\circ$ к горизонтальной плоскости. Зазор должен иметь вид раскрывающихся ножиц. При сварке длинных швов желателен листы не закреплять прихватками или жесткими зажимами. При больших зазорах для устранения утечки металла рекомендуется сваривать на графитовых подкладках. Если подкладку применить нельзя, то используют прихватки.

Медь сваривают в один слой, так как уже первый слой создает жесткое закрепление, а при наложении второго слоя (при температуре горячеломкости меди $250 \dots 500^\circ\text{C}$) возможно трещинообразование.

Если к сварному изделию предъявляют повышенные требования по прочности и пластичности, то шов нужно подвергать проковке: металл толщиной до 4 мм — в холодном состоянии, большей толщины — в нагретом до температуры $500 \dots 600^\circ\text{C}$.

Сварка с присадочной проволокой, легированной кремнием, фосфором или серебром, без последующей проковки сварного шва обеспечивает временное сопротивление металла шва при разрыве примерно $160 \dots 200$ МПа и угол загиба 180° .

6.2. СВАРКА ЛАТУНИ

Латунь подразделяют на простую и специальную. По технологическим признакам латунь делят на две группы: обрабатываемую давлением и литейную. В сварных конструкциях применяют преимущественно латунь первой группы в виде проката. Для латунных отливок сварку используют в основном в целях исправления дефектов.

Простая латунь состоит в основном из меди и цинка. Практическое применение нашли сплавы, содержащие не более 50 % цинка, которые характеризуются увеличением прочности с повышением содержания цинка при одновременном снижении коррозионной стойкости, электрической проводимости и теплопроводности. Простые латуни подразделяют на две группы. Сплавы первой группы, так называемые α -латуни, содержат до 39 % цинка и представляют собой однородный твердый раствор цинка в меди, исключительно пластичны при комнатной температуре, легко обрабатываются глубокой вытяжкой, штамповкой, холодной прокаткой и волочением. В процессе холодного деформирования латунь нагартовывается.

Ко второй группе относят латуни, содержащие более 39 % цинка, которые состоят из α - и β -фаз, либо содержащие более 46 % цинка, которые состоят только из β -фазы. Двухфазные латуни хорошо деформируются при нагреве. В отличие от α -латуней в двухфазных латунях присутствие свинца не вызывает горячеломкости.

Специальная латунь кроме меди и цинка содержит другие легирующие добавки (алюминий, никель, железо, олово, свинец, кремний, марганец).

Сварка латуни связана со значительными трудностями вследствие активного поглощения газов жидкой сварочной ванной, повышенной склонности металла шва и околшовной зоны к поро- и трещинообразованию.

Интенсивность испарения цинка зависит от его содержания в латуни и режима сварки. Испарение цинка также приводит к снижению качества сварного соединения, поскольку увеличивает пористость металла шва. Для уменьшения испарения цинка при газовой сварке используют пламя с избытком кислорода, специальные присадочные металлы и флюсы.

Технология сварки латуни. Отечественная промышленность выпускает различные присадочные проволоки для сварки латуни (ГОСТ 16130—90). При выборе присадочной проволоки исходят

Таблица 6.3. Химический состав присадочных проволок для сварки латуни

Марка проволоки	Содержание, мас. %								
	Компоненты (остальное — цинк)				Примеси, не более				
	Медь	Кремний	Бор	Олово	Свинец	Железо	Сурьма	Висмут	Фосфор
Л63	60,5...63,5	—	—	—	0,08	0,15	0,005	0,002	0,01
Л62-0,5	60,5...63,5	0,3...0,7	—	—	0,08	0,15	0,005	0,002	0,01
ЛОК 59-1-0,3	58...60	0,2...0,4	—	0,7...1,0	0,10	0,15	0,010	0,003	0,01
ЛКБО 62-0,2-0,04-0,5	60,5...63,5	0,1...0,3	0,03...0,10	0,03...0,07	0,10	0,15	0,005	0,002	0,01

Таблица 6.4. Рекомендуемые технологические условия сварки и механические свойства сварного соединения из латуни

Марка проволоки	Толщина, мм, и марка основного металла	Флюс	Предел прочности металла шва при растяжении, МПа	Угол изгиба, ...°	Ударная вязкость металла шва, кДж/м ²
Л62-0,5	3...4, Л63	Прокаленная бура	380	180	65
Л63	3...4, Л63	БМ-1, прокаленная бура	320	180	65
ЛОК 59-1-0,3	1...4, ЛО63	Прокаленная бура	380	160	60
ЛКБО 62-0,2-0,04-0,5	2, Л63	—	380	180	65

Примечание. Для всех случаев сварку ведут в нижнем положении ацетиленокислородным пламенем.

из состава основного металла и требований, предъявляемых к сварному соединению.

Для сварки простой латуни можно применять латунную проволоку той же марки, что и основной металл, с использованием флюса БМ-1, предотвращающего испарение цинка из сварочной ванны. Лучшие результаты получены при применении присадочной проволоки Л62-0,5. При этом, используя даже порошковый флюс, можно практически избежать угара цинка (испарением и окислением; угар цинка составляет 0,7 ... 1,0 %).

Высокие качественные показатели сварки получены при использовании самофлюсующегося присадочного материала АКБО 62-0,2-0,04-0,5. Составы присадочной проволоки и механические свойства сварных соединений приведены в табл. 6.3 и 6.4.

Флюсы при сварке латуни применяют почти всегда. При сварке латуни, как правило, образуются основные оксиды, например оксиды цинка, марганца и др. Поэтому в состав применяемых флюсов входят соединения, имеющие кислую основу.

Флюсы для сварки латуни получают на основе бористых соединений с различными добавками (табл. 6.5). Их применяют в виде порошка, пасты и легко испаряющейся жидкости. В первых двух случаях дозированная подача флюса затруднительна.

Флюс БМ-1 можно применять для сварки латуни присадочными материалами, содержащими и не содержащими кремний. При этом пары оксида цинка не выделяются. Возможность точного дозирования флюса обеспечивает стабильные результаты сварки. Образующиеся на сварном соединении шлаки легко смываются водой.

Типы сварных соединений и подготовка кромок под сварку. При газовой сварке латуни применяют в основном стыковые соединения.

Кромки под сварку подготавливают таким образом, чтобы за один проход получить полный провар по всей толщине свариваемого металла. Основные виды подготовки кромок при газовой сварке латуни приведены в табл. 6.6. Для деталей малой толщины (до 2 мм) наибольшее распространение получили соединения встык с отбортовкой кромок, свариваемые без присадочного материала. При выполнении соединений из латуни толщиной 5 мм и более лучшие результаты получают при V-образной разделке кромок, позволяющей избежать многослойной сварки. Общий угол разделки кромок составляет 70 ... 90°.

Перед сваркой кромки очищают механическим (напильником, проволочной щеткой, пескоструйной обработкой) и химическим

Таблица 6.5. Флюсы для газовой сварки латуни

Номер или марка флюса	Состав флюса		Способ приготовления
	Компонент	Содержание, мас. %	
1	Бура	100	—
2	Борная кислота Бура Ортофосфат натрия	35 50 15	Перемешивание в мельнице или ступке
3	Бура Борная кислота	20 80	—
БМ-1	Метилборат Метиловый спирт	70 30	Ректификация

(например, травлением в 10%-ном водном растворе азотной кислоты с последующей промывкой горячей водой) способами. Установливаемый перед сваркой латуни зазор имеет форму ножиц.

После установки зазора кромки свариваемых листов соединяют прихватками. Длина прихваток и расстояние между ними зависят от толщины свариваемого металла и длины шва. При сварке малогабаритных изделий из тонкой латуни длина прихваток составляет не более 5 мм, расстояние между ними — 50...100 мм. Толщина прихватки в поперечном сечении должна быть не менее 0,5...0,7 толщины свариваемого металла.

Режимы сварки. На качество получаемых сварных соединений влияет скорость сварки, с увеличением которой уменьшается испарение цинка. В среднем скорость ручной однослойной сварки латуни с порошковым флюсом составляет 4...6 м/ч.


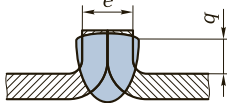
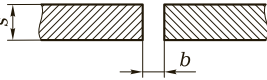
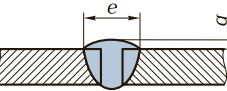
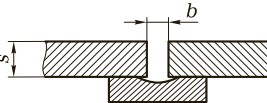
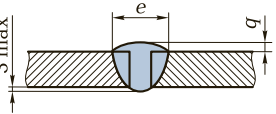
Скорость сварки обуславливается мощностью пламени, $\text{дм}^3/\text{ч}$:

$$V_a = (100 \dots 120)s. \quad (6.4)$$

Расход ацетилена выбирают по табл. 6.7, при использовании газов-заменителей учитывают коэффициент замены.

Для увеличения скорости сварки, уменьшения газонасыщенности шва и увеличения степени провара изделия толщиной более 6 мм сваривают с подогревом, применяя вторую горелку обычно с наконечником № 5 или 6. Сварку ведут окислительным пламенем ($\beta = 1,3 \dots 1,4$). Влияние состава пламени (отношения кислорода и ацетилена на угар цинка и кремния) показано на рис. 6.2. Характер пламени регулируют по внешнему виду ядра.

Таблица 6.6. Размеры конструктивных элементов кромок стыковых соединений под газовую сварку латуни

Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Характер шва	Конструктивные элементы		Размеры, мм				
			подготовленных кромок деталей	шва	s	b	c	e	q
C1	С отбортовкой двух кромок	Одно-сторонний			0,5...1,0	—	—	2...4	2...4
C2	Без скоса кромок				1,0...6,0	0,5...2,0	—	4...12	1...2
C3	Со скосом двух кромок				3,0...5,0	2,0...3,0	—	6...10	1...2

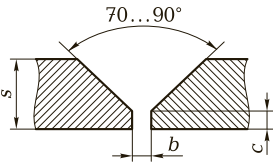
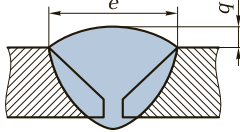
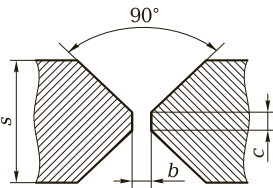
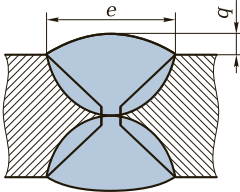
Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Характер шва	Конструктивные элементы		Размеры, мм				
			подготовленных кромок деталей	шва	s	b	c	e	q
C4	Со скосом двух кромок	Одно-сторонний			6...15	2...4	1...1,5	10...25	2...3
C5	С двумя симметричными скосами двух кромок	Двухсторонний			15...25	2...4	2...4	15...30	2...3

Таблица 6.7. Режимы газовой сварки латуни

Толщина свариваемых деталей, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Номер наконечника горелки по ГОСТ 1077—79Е	Расход, дм ³ /ч			
			Ацетиленокислородное пламя		Пропан-бутанокислородное пламя	
			Ацетилен	Кислород	Пропан-бутановая смесь	Кислород
До 0,5	—	1	30...90	40...130	20...50	200
1,0...2,0	2,0	2; 3	180...380	250...630	100...230	400...600
2,1...3,0	3,0	4	350...580	600...810	215...350	600...1 200
3,1...4,0	4,0	4; 5	580...920	810...1 300	350...550	1 200...2 000
5,1...6,0	5,0	5; 6	790...1 400	1 100...1 920	475...800	2 000...3 500
7,1...10,0	8,0	7	1 270...2 000	1 780...2 800	—	—

В качестве присадочного материала для сварки латуни применяют проволоку или прутки. Пламя горелки должно быть направлено так, чтобы конец ядра пламени находился на расстоянии 10...15 мм от поверхности ванны. Нельзя касаться ядром поверхности присадочного прутка и сварочной ванны, так как это вызывает перегрев расплавленного металла и поглощение им водорода. Конец присадочного прутка может быть погружен в расплавленную ванну. Угол наклона мундштука горелки к поверхности свариваемого металла в зависимости от толщины металла составляет 30...90° и может изменяться в зависимости от степени нагрева изделия. Производительность процесса сварки зависит от угла наклона мундштука: она тем выше, чем больше этот угол.

Латунь сваривают, как правило, левым способом в один слой с проваром кромок на всю толщину металла. При сварке латуни толщиной более 3 мм полный провар получают наложением с обратной стороны металла шва подварочного шва. При толщине 5 мм и более применяют технологическую подкладку из латуни или меди (остающаяся) либо коррозионно-стойкой стали (съёмная).

Учитывая склонность латуни к горячеломкости, необходимо уменьшить сварочные деформации, например, применением метода ступенчатой и обратно-ступенчатой сварки.

Сварку латуни выполняют чаще в нижнем положении. Вследствие высокой жидкотекучести латуни ее сварка в горизонтальном и вертикальном положениях затруднительна. В потолочном положении латунь сваривают очень редко и только при ремонтных работах, когда положение шва изменять нельзя. Применение кремнистого присадочного материала, особенно в сочетании с газообразным флюсом БМ-1, позволяет сваривать латунь во всех пространственных положениях благодаря образованию вязкой шлаковой пленки на поверхности ванны.

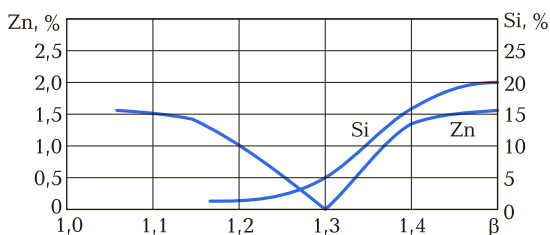


Рис. 6.2. Зависимость угара цинка Zn и кремния Si из металла шва при сварке латуни Л63 от состава пламени

Латунь в вертикальном положении следует сваривать снизу вверх левым способом, направляя пламя под углом 45° к свариваемым кромкам, как бы поддерживая пламенем каплю расплавленного металла. Присадочный пруток при этом наклонен к свариваемым кромкам под углом 45° и с направлением пламени образует угол 90° .

При газифлюсовой сварке латуни применяют флюс БМ-1, подаваемый в пламя горелки автоматически с помощью установки КГФ-3-71. Использование флюса БМ-1 практически мало изменяет технологический процесс сварки. При этом в качестве горючего газа рекомендуется применять ацетилен. Использование газов-заменителей резко снижает активность флюса. Отношение расходов кислорода и ацетилена $\beta = 1,1 \dots 1,4$ обеспечивает бездымный процесс сварки и высокие механические свойства металла шва. При оптимальном расходе флюса, составляющем $20 \dots 40$ г/кг наплавленного металла (три-четыре деления флюсопитателя), пламя имеет ярко-зеленый цвет. Газофлюсовая сварка рекомендуется прежде всего для получения ответственных изделий, а также изделий, на которые должны быть нанесены гальванические покрытия. Кроме того, этот метод сварки следует применять в тех случаях, когда необходимо получить одноцветное сварное соединение.

Обработка соединений после сварки. Проковку шва применяют в промышленной практике для уплотнения металла шва и его поверхностного упрочнения ручным алюминиевым молотком или пневмомолотком. При этом повышается предел выносливости сварных соединений при циклических нагрузках.

Латуни, содержащие менее 60 % меди ($(\alpha + \beta)$ -латуни), можно проковать при температуре 650°C ; латуни, содержащие более 60 % меди (α -латуни), подвергают проковке в холодном состоянии; при этом выпуклость (усиление) шва заглаживают заподлицо с основным металлом, металл шва упрочняется наклепом.

Низкотемпературным отжигом (при температуре $270 \dots 300^\circ\text{C}$) снимают остаточные напряжения, возникающие в процессе изготовления латунных сварных конструкций, не изменяя структуры металла. Такой отжиг предохраняет латунь от последующего коррозионного растрескивания.

Швы после сварки зачищают химическим или механическим (зубилом, механической щеткой) способом в основном для улучшения внешнего вида изделия. Кроме того, в отдельных случаях остатки флюса могут вызывать коррозию металла, потому их удаляют с поверхности шва.

Шлаки, образующиеся на сварном соединении после сварки с флюсом БМ-1, смывают водой. Окалину после отжига удаляют травлением в растворе следующего состава: 50 г серной кислоты и 140 г хромпика на 1 л воды. После травления сварное изделие промывают раствором соды (при температуре 40...60 °С), а затем водой.

6.3. СВАРКА БРОНЗЫ

Бронза — это медный сплав, в котором основными легирующими компонентами являются олово, алюминий, марганец, кремний, бериллий, железо и другие элементы. Бронзу подразделяют на оловянную, в которой преобладающим легирующим компонентом является олово, и безоловянную, не содержащую олова в качестве легирующего компонента. Свойства бронзы, в том числе свариваемость, обусловлены основными легирующими добавками.

Оловянная бронза — это сплав меди с оловом, а также более сложный медно-оловянный сплав с добавками фосфора, цинка, никеля и других элементов. В технических сплавах содержится 3...14 %, реже — до 20 % олова. Для обработки давлением применяют сплавы, содержащие до 8 % олова.

Для уменьшения или полного устранения сварочных напряжений и деформаций необходим местный или общий нагрев литой бронзы до температуры 500...600 °С. Общий нагрев осуществляют в специальных жаровнях, горнах или печах, местный — пламенем сварочной горелки. Сваривать рекомендуется ацетиленокислородным пламенем, которое должно быть мягким, с низким давлением кислорода. Для уменьшения угара олова основной металл и сварочную ванну необходимо нагревать, отступая от ядра пламени на 7...10 мм.

Мощность горелки, т.е. расход ацетилена, $\text{дм}^3/\text{ч}$:

$$V_a = (70 \dots 120)s. \quad (6.5)$$

Пламя должно быть нормальным; избыток в нем кислорода способствует выгоранию олова, а избыток ацетилена приводит к газовой пористости в наплавленном металле.

При наличии трещин и крупных раковин с поверхности необходимо удалить остатки формовочной смеси и шлака до появления чистого металла. Рекомендуется V-образная разделка кромок. В зависимости от глубины дефекта угол раскрытия составляет

60...90°. При наличии сквозных трещин скос кромок выполняют с притуплением 3...4 мм.

В качестве присадочных прутков используют бронзу, состав которой близок к составу основного металла. Выпускают тянутые или прессованные прутки диаметром 5...12 мм. В отдельных случаях, когда допускается разнородность по цвету и свойствам наплавленного и основного металлов, можно применять латунные присадочные прутки (табл. 6.8).

В процессе сварки олово окисляется, поэтому в присадочной проволоке его должно быть на 1...2 % больше, чем в основном металле. В качестве присадочного материала рекомендуется бронза БрОФ6,5-0,4. Для сварки оловяной бронзы применяют те же флюсы, что и при сварке меди. Для улучшения свойств сварного соединения рекомендуется отжиг отливок.

Безоловянная бронза (алюминиевая, кремниевая) редко подвергается газовой сварке. Алюминиевая бронза содержит обычно до 10 % алюминия, дополнительно легируют железом, марганцем и никелем. Алюминиевая бронза имеет высокие антифрикционные свойства, морозостойкая, немагнитна, отличается пониженной свариваемостью. Основные трудности при сварке алюминиевой бронзы, особенно при содержании более 5 % алюминия, связаны с образованием тугоплавкого оксида алюминия Al_2O_3 , оседающего при сварке на дно жидкой ванны. Газовая сварка не дает устойчивых результатов, поэтому ее редко применяют.

Предварительный нагрев детали до температуры 350...400 °С намного облегчает и ускоряет ее сварку. В качестве присадочного материала применяют прутки того же состава, что и основной металл, с пониженным содержанием алюминия (менее 5 %). Мож-

Таблица 6.8. Выбор присадочной проволоки и номера флюса для сварки бронзы

Марки бронзы	Марка присадочной проволоки	Номер или марка флюса	Температура подогрева
БрО10Ц2, БрОФ6-0,15	БрОЦ4-3	1; 2	400...500 °С
БрО5Ц6С5	БрОФ6,5-0,15	3	
БрАЖ9-4	БрАЖМц10-3-1,5	4	
БрАМц9-2	БрАМц9-2	АФ-4А	

Таблица 6.9. Режимы газовой сварки бронзы

Толщина свариваемых деталей, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Номер наконечника горелки по ГОСТ 1077—79Е	Расход, дм ³ /ч			
			Ацетиленокислородное пламя		Пропан-бутанокислородное пламя	
			Ацетилен	Кислород	Пропан-бутановая смесь	Кислород
До 1,5	1,6	2; 3	150...225	180...250	90...140	315...490
1,6...2,5	2,0	3; 4	225...375	250...450	140...225	490...800
2,6...4,0	3,0	4; 5	375...700	450...850	225...420	800...1470
4,1...8,0	4,0...5,0	5; 6	700...1600	850...1960	420...960	1470...3360
8,1...15,0	6,0	6; 7	1600...3000	1960...3600	—	—

но применять флюсы, рекомендуемые для сварки меди. При повышенном содержании алюминия применяют флюсы, используемые при сварке алюминия: АФ-4А либо флюс, состоящий из одной трети АФ-4А и двух третей смеси 45%-ной борной кислоты и 55%-ной буры (прокаленной).

Сварку бронзы ведут нормальным пламенем, соблюдая отношение $\beta = 1,2 \dots 1,3$. Пламя должно быть мягким. Мощность горелки, $\text{дм}^3/\text{ч}$, при сварке с подогревом $V = (100 \dots 150)s$, при сварке без подогрева $V = (125 \dots 175)s$.

Режимы газовой сварки бронзы приведены в табл. 6.9.

6.4. СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Свойства и классификация алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы при малой плотности обладают большой удельной прочностью, высокими механическими свойствами, теплопроводностью, электрической проводимостью, коррозионной стойкостью и хорошими технологическими свойствами.

Высоких механических свойств достигают введением в алюминиевые сплавы легирующих элементов, например марганца, меди, магния, кремния, цинка, хрома, никеля и др. Большинство легирующих элементов образуют с алюминием ограниченные твердые растворы. Алюминиевые сплавы подразделяют на две основные группы: деформируемые и литейные.

К *деформируемым* относят сплавы, подвергаемые обработке давлением различными методами: ковкой, штамповкой, прокаткой, прессованием, волочением. Сплавы этой группы можно подразделить на не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой. В промышленности применяют деформируемые двойные сплавы алюминия с медью, магнием, кремнием и марганцем; тройные сплавы алюминия с медью и магнием, медью и никелем, магнием и кремнием, магнием и марганцем; многокомпонентные сплавы алюминия (например, дуралюмины).

Наиболее распространенными деформируемыми сплавами алюминия, не упрочняемыми термической обработкой, являются его сплавы с марганцем (АМц), а также с магнием (АМг, АМгЗ, АМг5 и др.). Большинство этих сплавов отличается высокими пластичностью, коррозионной стойкостью и хорошей (АМц, АМгЗ) или удовлетворительной (АМг1, АМг5, АМг6) свариваемостью при газовой сварке. Однако их прочность сравнительно невелика.

Каждый из сплавов может быть мягким (отожженным), полунагартованным и нагартованным.

К деформируемым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относят дуралюмины (Д1, Д16), а также сплавы АВ, АК и В95. Основным видом термической обработки является закалка с последующим естественным или искусственным старением. При закалке сплавы нагревают до температуры, соответствующей структуре однородного твердого раствора (480...530 °С), выдерживают в течение 0,5...2 ч и фиксируют структуру охлаждением в холодной воде. Естественное старение осуществляют путем выдержки при комнатной температуре в течение 5 сут, а искусственное — при температуре 100...200 °С в течение нескольких часов. В результате старения прочность и твердость сплава повышаются.

Литейные сплавы используют для изготовления фасонных деталей, часто имеющих сложную конфигурацию. Естественно, они должны обладать высокими литейными свойствами. Наиболее распространены сплавы на основе алюминия и кремния, алюминия и магния, алюминия и меди, а также тройные — на основе алюминия, кремния и меди, алюминия, кремния и магния, алюминия, меди и цинка, алюминия, меди и никеля и др. Большинство литейных алюминиевых сплавов упрочняют термической обработкой на различных режимах.

Наибольшее распространение среди литейных сплавов получили сплавы на основе алюминия и кремния (4...13%) — силумины, обладающие высокими технологическими свойствами и удовлетворительной коррозионной стойкостью. Силумины имеют сравнительно низкие показатели пластичности; для их повышения силумины модифицируют, после чего они приобретают мелкозернистую структуру.

Свойства алюминиевых сплавов, определяющие их свариваемость. К особенностям алюминиевых сплавов можно отнести сравнительно низкую температуру плавления при высокой теплопроводности. В связи с этим возникают трудности с дозированием количества теплоты, подводимой к месту сварки.

Алюминий обладает высоким химическим сродством к кислороду. Это приводит к тому, что на поверхности свариваемых деталей образуется слой оксида алюминия. Это тонкий и прочный слой достаточно тугоплавкий: температура плавления примерно 2050 °С. Плотность оксида алюминия почти в 1,5 раза больше плотности жидкого металла, поэтому при сварке он может тонуть в жидком металле, образуя в нем включения, снижающие каче-

ство металла шва. Даже после удаления механическим или химическим способом слой оксида вновь образуется за десятые доли секунды. Наличие слоя оксида алюминия препятствует процессу сварки.

Алюминиевые сплавы отличаются высоким коэффициентом линейного расширения (примерно в 2 раза больше, чем у низкоуглеродистой стали). Это приводит к тому, что при сварке возникают значительные остаточные напряжения и деформации, которые в большей степени проявляются в угловых и тавровых соединениях. Алюминиевые сплавы, особенно литейные, обладают низкой прочностью при высоких температурах, что затрудняет получение надежных сварных соединений. В связи с этим необходимо тщательно выполнять сварочные операции (в частности, нельзя допускать перемещения деталей при сварке).

Сварочная ванна жидкого металла при сварке алюминиевых сплавов находится в вязком состоянии. Это затрудняет правильное формирование сварного шва и ведение процесса сварки.

При сварке алюминиевых сплавов возможно образование пористости в металле шва. Это вызвано тем, что при взаимодействии расплавленного алюминия с парами воды образуется атомарный водород, который хорошо растворяется в металле сварочной ванны:



Столь же активно растворяется водород, выделяющийся в зоне сварки при разложении углеводов.

В процессе кристаллизации металла сварного шва часть растворенного водорода не успевает выделиться из него. При переходе алюминия из жидкого состояния в твердое происходят резкое изменение растворимости водорода и выделение большого количества его из раствора. Высокая скорость кристаллизации препятствует выходу газа в атмосферу и создает благоприятные условия для образования пор.

При газовой сварке некоторых термически неупрочняемых сплавов (АМг5, АМг6), содержащих повышенное количество магния, в околошовной зоне вспучивается металл и образуется пористость. Предварительный нагрев свариваемых деталей и уменьшение скорости сварки позволяют уменьшить вероятность возникновения пористости.

Технология сварки алюминиевых сплавов. В качестве горючего газа для газовой сварки алюминиевых сплавов чаще используют ацетилен. Однако из-за низкой температуры плавления допус-

кается применение водорода и других газов-заменителей, например пропан-бутановой смеси.

Применение водорода допускается при толщине материала до 2 мм. Следует учитывать, что расплавленный металл сварочной ванны активно поглощает водород. Этот процесс усиливается по мере повышения температуры. Поглощение водорода ухудшает качество металла шва, поэтому не следует допускать перегрева.

Применение пропан-бутановой смеси при сварке, например, деталей из сплава АМц толщиной до 3 мм обеспечивает такие же производительность и качество получаемых соединений, как и при использовании ацетиленокислородного пламени. При сварке деталей толщиной 5...8 мм производительность на 15...20 % ниже, чем при применении ацетилена, при этом заметного снижения механических свойств свариваемых деталей не происходит. Ширина ЗТВ при сварке деталей из сплава АМц пропан-бутаном в 1,5—2 раза больше, чем при применении ацетилена.

При выборе присадочного материала для газовой сварки алюминия желательнее, чтобы его состав отличался от состава основного металла, исключение составляют лишь чистый алюминий и сплавы типа АМц. Применение присадочного материала с составом, аналогичным составу основного металла, при сварке алюминиевых сплавов повышенной прочности приводит к получению соединений, которые не обладают достаточно высокой прочностью и могут иметь трещины и пористость.

Обычно применяют присадочный материал в виде тянутой или прессованной проволоки, литых прутков длиной 600...650 мм, диаметр которых должен соответствовать толщине свариваемых деталей.

Поверхность присадочного материала должна быть гладкой и чистой, без плен, трещин, закатов, вмятин, заусенцев, расслоений и резких перегибов. Тянутую проволоку поставляют в нагартованном состоянии в бухтах, горячепрессованную — в бухтах или в виде прутков длиной не менее 3 м. Следы масел, грязи должны быть удалены обезжириванием и травлением (технология обезжиривания и травления присадки та же, что и для основного металла).

При отсутствии присадочной проволоки требуемой марки (табл. 6.10) допускается использовать полосы, нарезанные из листов или бракованных деталей того же состава. Ширина полос обычно в 2 раза больше их толщины. По возможности полосы калибруют, придавая их сечению округлость путем волочения через простейшие фильеры. При этом заостренный конец поло-

Таблица 6.10. Выбор присадочной проволоки для газовой сварки алюминиевых сплавов

Марки сплавов	Марки присадочной проволоки по ГОСТ 7871 — 75
АД, АД1, АД0	СВАК5, СВА97
АМц	СВАМц
АМг2, АМг3, АМг4	СВАМг3, СВАМг6
АМг5	СВАМг5, СВАМг6
АМг6	СВАМг6, СВАМг61
МВ, АД31, АД33	СВАК5, Св1557
АЛ2, АЛ4, АЛ6	СВАК5

сы закрепляют в суппорте, а фильеры — в патроне токарного станка.

Для сварки алюминия, содержащего до 0,6 % железа и до 0,6 % кремния, можно применять присадочный материал того же состава или (лучше) сплавы АК5 и АМц.

Для сварки сплавов системы алюминий — марганец применяют присадочный материал из сплава той же системы или из сплава АК5. При сварке деталей малой толщины (около 1 мм) применение этого присадочного материала обеспечивает соединение, соответствующее по прочности основному металлу.

Для сварки сплавов системы алюминий — магний в качестве присадочного материала используют сплав АМг той же системы с повышенным содержанием магния, обеспечивающим снижение температуры плавления. Для сплава с 2...7 % магния обычно применяют присадочный материал, содержащий 5 % магния. Увеличение содержания магния в присадке до 7 % повышает прочность металла шва. Применение присадочной проволоки СВАК5 для сварки термически не обрабатываемых сплавов этой системы, например сплава АМг5, не допускается, так как при этом образуется хрупкое соединение — силицид магния Mg_2Si , которое располагается по границам зерен и способствует образованию трещин в металле шва.

При сварке сплава АМг6 хорошие результаты дает применение присадочной проволоки марки СВАМг61 взамен СВАМг6. Присадочная проволока марки СВАМг61 содержит цирконий, который вызывает модифицирование металла шва, в результате чего более чем в 1,5 раза уменьшается количество трещин в шве по сравне-

нию с количеством трещин при применении присадочной проволоки СВАМг6.

Сплавы системы алюминий — магний — кремний при сварке склонны к образованию кристаллизационных трещин, поэтому в качестве присадочного материала рекомендуется применять сплав системы алюминий — кремний.

Газовая сварка высокопрочных алюминиевых сплавов типа Д16 и В95 не дает удовлетворительных результатов из-за низкой прочности получаемых сварных соединений, составляющей лишь 50...60 % прочности основного металла. Резкое уменьшение прочности объясняется перегревом металла шва и выделением по границам зерен в околошовной зоне хрупких прослоек из соединения CuAl_2 .

При сварке деталей из разнородных алюминиевых сплавов, если в сочетаниях отсутствуют сплавы АМг, АМг3 и АМг5, обычно применяют присадочную проволоку марки СВАК5. При сочетании сплавов АМц с АМг3, а также АЛ13 с АМг3 применяют присадочную проволоку марки СВАМг3.

Дефекты в отливках из алюминиевых сплавов заваривают присадочным материалом того же состава, что и основной металл. Широкое распространение получила присадочная проволока марки СВАК12 из модифицированного силумина, содержащая 11,5...13,5 % кремния и присадочная проволока марки СВАК5.

Флюсы. Газовую сварку алюминиевых сплавов выполняют с применением флюсов. Составы флюсов, используемых для газовой сварки алюминия и его сплавов, приведены в табл. 6.11.

Для газовой сварки алюминия используют флюсы в виде порошка или паст, которые получают разведением порошкообразных смесей в мягкой (лучше дистиллированной) воде или в спирте до кашицеобразной консистенции непосредственно перед сваркой.

Флюс разводят в фарфоровой, фаянсовой, стеклянной или эмалированной посуде. Длительное хранение флюса в разведенном состоянии ухудшает его качество и делает непригодным для сварки, поэтому порошкообразный флюс необходимо разводить в таком количестве, которое может быть израсходовано в течение 4...5 ч. Флюс наносят тонким слоем на присадочный материал или на поверхность свариваемых деталей специальной волосяной кистью. Присадочный пруток (проволоку) можно покрывать флюсом, погружая его конец в разведенный флюс. При выполнении прихватки флюс наносят лишь на присадочный материал.

Таблица 6.11. Флюсы, применяемые при газовой сварке алюминия и его сплавов

Компонент флюса	Номер флюса				Марка флюса		
	1	2	3	4	ВАМИ	Н-1	АФ-4А
	Содержание, мас. %						
Хлорид натрия	30	19	41	16	30	20	28
Хлорид калия	45	29	51	44	50	45	50
Хлорид лития	15	—	—	—	—	—	14
Хлорид бария	—	48	—	20	—	20	—
Фторид натрия	—	—	8	20	—	15	8
Фторид калия	7	—	—	—	—	—	—
Фторид кальция	—	4	—	—	—	—	—
Сульфат натрия	3	—	—	—	—	—	—
Криолит	—	—	—	—	20	—	—

Остатки флюсов могут вызвать коррозию сварных соединений, поэтому после сварки соответствующие участки на сварных изделиях зачищают металлической щеткой и подвергают специальной обработке. Сварные соединения, с которых трудно удалить остатки флюсов и шлаки, при сварке деталей из алюминиевых сплавов применять не рекомендуется. При необходимости сварки на закрытых участках конструкций (трубы, закрытые профили и т. п.) используют фторидные флюсы, которые не содержат хлористых солей. Остатки таких флюсов и образуемые ими шлаки не вызывают коррозии. Однако эти флюсы менее технологичны, имеют более высокую температуру плавления, меньшую жидкотекучесть и выделяют при сварке токсичные пары. Кроме того, они образуют тяжелые шлаки, плохо удаляемые с поверхности сварного шва. Для удаления тяжелых шлаков изделия, охладившиеся после сварки, смачивают водой и затем нагревают швы жестко отрегулированным пламенем. Вследствие различия коэффициентов теплового расширения шлака и металла частицы шлака отделяются.

Подготовка к сварке. В зависимости от толщины соединяемых деталей используют различные виды подготовки кромок (табл. 6.12). Детали малой толщины (до 1,2 мм), изготовленные из плас-

тичных и хорошо сваривающихся алюминиевых сплавов, сваривают встык с отбортовкой кромок. Высота отбортовки в 1,5—2 раза больше толщины свариваемой детали. Иногда отбортовке подвергают лишь одну из деталей. Увеличение жесткости, достигаемое при отбортовке, снижает вероятность коробления при сварке. Высота отбортовки по всей длине соединения должна быть одинаковой. Отогнутые кромки должны быть загнуты с одинаковым радиусом и при сварке должны полностью расплавляться. Только в этом случае обеспечивается хорошее формирование шва и легкое удаление остатков флюса после сварки.

Газовую сварку встык без скоса кромок применяют при толщине деталей до 4 мм. При двусторонней сварке кромки можно выполнять без скоса на деталях толщиной до 10 мм. Однако при этом возникает опасность непровара в корне шва, поэтому в ответственных конструкциях такие соединения не допускаются. При толщине 4...20 мм применяют соединения со скосом кромок и углом раскрытия 60...70°. Их рекомендуется сваривать с одной стороны и обязательно подваривать шов с обратной стороны.

Таблица 6.12. Размеры конструктивных элементов кромок соединяемых деталей

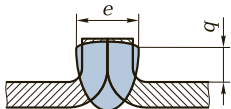
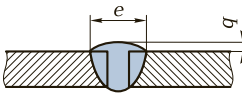
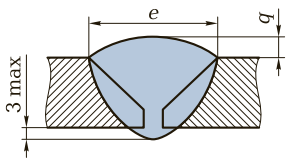
Вид соединения	Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Характер шва	Конструктивные
				подготовленных кромок деталей
Стыковое	C1	С отбортовкой двух кромок	Односторонний	
	C2	Без скоса кромок		
	C3	Со скосом двух кромок		

При толщине более 20 мм используют соединения с двумя симметричными скосами двух кромок и тем же углом раскрытия. Притупление кромок в обоих последних случаях изменяется на 1,5... 3,0 мм в зависимости от толщины металла.

Тавровые соединения допускаются в отдельных случаях при условии полного проплавления вертикально расположенной детали (стенки).

Разделку кромок выполняют на строгальных и фрезерных станках. После разделки с кромок удаляют заусенцы, так как при сварке они препятствуют одновременному расплавлению кромок свариваемой детали.

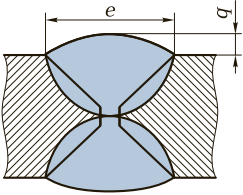
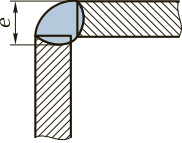
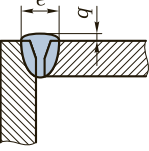
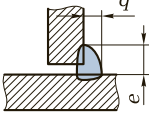
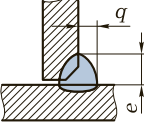
Очистка деталей. Детали перед сваркой тщательно очищают от грязи, краски и масел с помощью напильников, шаберов и проволочных металлических щеток, изготовленных из стальной проволоки диаметром не более 0,15 мм (чтобы не получить грубых царапин на поверхностях деталей). Можно применять ручные щетки, а также щетки, насаженные на электрическую или пневматическую дрель. Не разрешается механическая очистка деталей, из-

ний под газовую сварку алюминия и его сплавов					
элементы	Размеры, мм				
шва	s	b	c	e	q
	0,5...2,0	—	—	6...10	1,5...2,5
	0,8...4,0	0...2,0	—	6...10	1,0...1,5
	4...10	2,5...4,0	1,5...3,0	14...20	1,5...2,0

Вид соединения	Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Характер шва	Конструктивные
				подготовленных кромок деталей
	С4	С двумя симметричными скосами двух кромок	Двусторонний	
Угловое	У1	Без скоса кромок	Односторонний	
	У2	Со скосом двух кромок		
Тавровое	Т1	Без скоса кромок		
	Т2	Со скосом одной кромки		

готовленных из лакированных алюминиевых сплавов. Использование для очистки абразивных инструментов (шлифовальных кругов и шкурки) не допускается.

Очистке подвергают участок, примыкающий к свариваемой кромке, шириной 25...30 мм.

элементы	Размеры, мм				
	<i>s</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>q</i>
	10 ... 20	3,5 ... 5,0	3 ... 4	17 ... 25	3 ... 4
	До 1,5	0,3 ... 0,5	—	2 ... 5	—
	1,5 ... 3,0	0,5 ... 1,0	—	4 ... 7	—
	3 ... 5	0,8 ... 1,5	1,0 ... 1,2	8 ... 15	1
	Более 5	1 ... 2	1,2 ... 1,5	12 ... 20	—
	До 1,5	0,3 ... 0,5	—	3 ... 6	1
	1,5 ... 3,0	0,5 ... 1,0	—	3 ... 10	—
	3 ... 5	0,8 ... 1,5	—	5 ... 12	5 ... 8
	Более 5	1 ... 2	—	12 ... 18	—

При необходимости обработки большого числа деталей их очищают обезжириванием и травлением. Для обезжиривания используют органические растворители, например бензин, дихлорэтан, ацетон. Часто применяют 5%-ный водный раствор гидроксида натрия. Выдержка в этом растворе должна быть непро-

должительной (1...2 мин), так как гидроксид натрия взаимодействует с алюминием. Обезжиренные детали промывают в теплой воде (температура не ниже 25 °С) и протирают жесткими волосяными щетками.

Травление осуществляют при комнатной температуре в 15%-ном водном растворе азотной кислоты при температуре 60...65 °С в течение 2...5 мин или в 30%-ном водном растворе азотной кислоты в течение 1...2 мин для нейтрализации остатков щелочи. Затем детали промывают в теплой воде, протирают жесткими волосяными щетками или тряпками и сушат при температуре 60 °С до окончательного удаления влаги.

Очищенные детали рекомендуется подвергать сварке не позднее чем через 8 ч после окончания очистки. В противном случае кромки могут вновь окислиться. Непосредственно перед сваркой соединяемые кромки рекомендуется зачищать металлической щеткой или шабером.

Сборка. Детали, подготовленные к сварке, устанавливают и закрепляют таким образом, чтобы получить хороший провар. Стыковые соединения следует выполнять с зазорами (табл. 6.13); при этом зазор должен быть равномерным по всей длине шва.

В целях предотвращения чрезмерных деформаций при сварке замкнутых конструкций, например баков из тонкостенного материала толщиной до 1,2 мм, на деталях выполняют зиги (рис. 6.3). В результате нагрева при сварке они выпрямляются, что способствует уменьшению деформаций и напряжений в сварном соединении.

При сварке деталей малой толщины постоянство зазора в стыковом соединении обеспечивают в основном прихваткой. Прихватку выполняют присадочным материалом, который в дальнейшем используют для сварки деталей. Расстояние между отдельными прихватками и их размеры приведены в табл. 6.13.

Для соединения встык деталей с отбортованными кромками расстояние между прихватками увеличивают вдвое по сравнению с указанным в табл. 6.13. В зависимости от конструктивных особенностей изделия и условий сварки приведенные в табл. 6.13 значения параметров могут быть уточнены. Места под прихватки подвергают предварительному равномерному нагреву. Прихватки должны иметь возможно меньшую площадь и высоту, чтобы при последующей сварке не возникло местных утолщений на сварном шве. При выполнении прихваток соединяемые детали должны быть жестко закреплены в специальных приспособлениях, исключающих их взаимное смещение. Прихватки следует выполнять,

Таблица 6.13. Зависимость зазоров и размеров прихваток от толщины свариваемых встык деталей из алюминиевых сплавов

Толщина детали, мм	Зазор между деталями, мм	Расстояние между прихватками, мм	Размеры прихватки, мм	
			Высота	Длина
До 1,5	0,5... 1,0	20... 30	1,0... 1,5	2... 4
1,5... 3,0	0,8... 2,0	30... 50	1,5... 2,5	4... 6
3... 5	1,8... 3,0	50... 80	2,5... 4,0	6... 8
5... 10	2,5... 4,0	80... 120	4... 6	8... 12
10... 25	3,5... 5,0	120... 200	6... 12	12... 26
Свыше 25	4,5... 6,0	200... 360	12... 20	26... 60

начиная от середины стыка. Если стыковые соединения деталей из листового материала сваривают без прихваток, то детали необходимо собирать с зазором, который постепенно увеличивается к концу стыка.

Подготовка к сварке деталей из литейных алюминиевых сплавов принципиально не отличается от подготовки деталей из деформируемых сплавов. Сваркой устраняют такие дефекты отливок, как трещины, усадочные и газовые раковины, включения, рыхлости, обнаруженные до механической обработки и после нее, неправильно просверленные отверстия, недостаточная толщина стенок, вызванная недоливом или возникшая в результате брака при механической обработке. Заварка дефектов отливок допускается на участках, доступных для сварки и последующего контроля.

Перед заваркой бракованные отливки очищают от формовочных материалов и подвергают пескоструйной обработке после

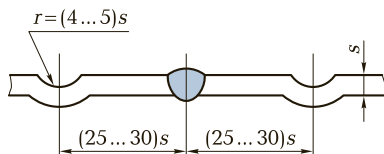


Рис. 6.3. Увеличение жесткости листа толщиной s из алюминиевого сплава в зоне сварки с помощью зигов радиусом r

удаления литников и выпоров. Детали, поступающие на заварку после эксплуатации, очищают от загрязнений, краски, масел обезжириванием с последующей механической обработкой мест, подлежащих заварке, или их зачистке шарошками. Впитавшиеся в поры отливки остатки масел выжигают. При ремонте литых алюминиевых деталей такой же обработке подвергают не только сами детали, но и их отломившиеся куски.

Для разделки дефектных мест используют шарошки, пневмозубила, сверла и другие инструменты. Если стенка детали имеет малую толщину, то трещину в ней подготавливают к заварке без скоса кромок. Концы сквозной трещины засверливают сверлом диаметром 6...8 мм на всю толщину стенки. Если же трещина не сквозная, то ее засверливают на глубину, превышающую глубину трещины на 2...3 мм. При большой толщине стенки литой детали трещину разделяют путем скоса ее кромок на всю длину с получением V-образной канавки с углом раскрытия, равным 90°. Дно образовавшейся канавки должно быть скругленным. В ее основании оставляют притупление не менее 3 мм. Раковины, шлаковые включения и рыхлости разделяют до полного удаления дефектного металла. Наряду с режущими инструментами для разделки дефектных мест можно использовать пламя газовой горелки.

Режимы сварки. Часовой расход ацетилен в зависимости от толщины свариваемых деталей приведен в табл. 6.14.

Пламя горелки при сварке алюминиевых сплавов должно быть нормальным. В отдельных случаях допускается небольшой избыток ацетилен. При большом избытке ацетилен в швах

Таблица 6.14. Режимы газовой сварки алюминия и его сплавов

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Расстояние между прихватками, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм
1,0...1,5	0,5...1,0	20...30	1,5...2,5
1,6...3,0	0,8...2,0	30...50	2,5...3,0
3,1...5,0	1,8...3,0	50...80	3,0...4,0
5,1...10	2,5...4,0	80...120	4,0...6,0
10,1...15	3,5...5,0	120...210	6,0...8,0

может возникнуть пористость в швах. Нельзя допускать избытка кислорода, который благоприятствует образованию оксида алюминия. Во время сварки пламя горелки должно быть расположено таким образом, чтобы конец его ядра находился на расстоянии 3...5 мм от поверхности расплавленного металла. Сварка ядром пламени не допускается. Присадочный материал должен плавиться только в пределах сварочной ванны расплавленного металла шва.

Угол наклона мундштука горелки к поверхности свариваемых деталей в начале сварки должен составлять примерно 90°. Затем, по мере нагрева деталей, в зависимости от их толщины угол наклона при сварке деформируемых сплавов может изменяться от 30 до 45° при толщине деталей до 5 мм и от 45 до 60° при толщине более 5 мм. При заварке дефектов литья угол наклона мундштука горелки сначала устанавливают равным 90°, а затем постепенно, по мере прогрева доводят до 45... 60°. Угол наклона присадочного прутка во всех случаях составляет 40... 60°.

Способ газовой сварки выбирают в зависимости от толщины деталей s . При $s \leq 5$ мм чаще применяют левый способ; при $s > 5$ мм сварку можно выполнять правым способом.

При сварке встык деталей толщиной до 3 мм в нижнем положении горелка и присадка должны совершать только прямолинейное поступательное движение без поперечных колебаний. При большей толщине деталей горелке и присадке сообщают спирале- или маятникообразные перемещения относительно оси сварного шва, причем движения мундштука горелки и конца присадки должны быть направлены в противоположные стороны.

Расход, дм ³ /ч			
Ацетиленокислородное пламя		Пропан-бутанокислородное пламя	
Ацетилен	Кислород	Пропан-бутановая смесь	Кислород
50 ... 125	55 ... 135	90 ... 120	250 ... 350
120 ... 240	130 ... 260	120 ... 250	420 ... 900
200 ... 400	250 ... 440	250 ... 600	900 ... 1 200
400 ... 700	430 ... 750	600 ... 1 200	2 100 ... 4 000
700 ... 1 200	740 ... 1 400	1 200 ... 1 800	4 500 ... 5 400

Сварку деталей из листового проката рекомендуется выполнять после отжига. Однако допускается сваривать закаленные, нагартованные или подвергнутые старению детали.

Детали при сварке не следует закреплять в приспособлении. При применении приспособления оно не должно препятствовать свободному расширению и усадке деталей, а также непрерывной сварке шва на всю длину.

Необходимо стремиться к сварке в нижнем положении. Сварка в наклонном положении под углом, не превышающим 45° , допускается лишь в отдельных случаях, так же как и сварка горизонтальных швов. Сварка вертикальных и потолочных швов не допускается. Сварку следует начинать отступив на 80...100 мм от края деталей, чтобы предотвратить трещинообразование у конца шва. Пропущенный участок затем заваривают в обратном направлении.

Сваривать следует с большой скоростью, чтобы не перегревать металл, и по возможности непрерывно, без отрыва пламени. Шов следует заканчивать за одну операцию. Не рекомендуется выполнять многослойные швы, так как в них часто возникает пористость. После окончания сварки или при необходимости прервать ее горелку следует отводить от расплавленной сварочной ванны постепенно, чтобы избежать резкого охлаждения шва и образования трещин. В случае перерывов в сварке, а также при выполнении замкнутых швов (например, кольцевых) ранее наложенные участки шва должны быть перекрыты на длине 6...25 мм (в зависимости от толщины деталей). Не допускается вторичный проход по уже выполненному шву для улучшения его внешнего вида. Если длина шва превышает 500 мм, следует применять обратноступенчатый способ сварки.

Детали со стенками толщиной более 5 мм перед сваркой рекомендуется подогреть до температуры 300...350 °С газовыми (ацетиленокислородными или ацетиленовоздушными) горелками. Температуру подогрева контролируют с помощью термокрасок, а также путем наблюдения за началом обугливания древесных опилок, насыпанных на поверхность детали, или дубовой палочки, находящейся в контакте с ней.

Технология газовой заварки отливок мало отличается от технологии заварки деталей из деформируемых сплавов. Обычно все отливки перед заваркой нагревают в электропечах. Отливки из силумина в зависимости от состава сплава и размеров нагревают до температуры 350...400 °С. Крупногабаритные отливки иногда заваривают непосредственно в нагревательных устройствах.

При заварке дефектного участка малогабаритные отливки подогревают горелкой или электронагревательными приспособлениями, особенно в случае его расположения в такой зоне отливки, где возможны ее свободные деформации. Температуру нагрева отливок контролируют с помощью термокрасок. Отливки с тонкими стенками следует заваривать на асбестовых подкладках. Каждый дефектный участок заваривают без перерывов.

Заварку трещин начинают от их середины участками длиной до 60...70 мм поочередно в одну и другую сторону. Сварные швы должны иметь усиление, достаточное для получения требуемого размера детали при последующей механической обработке. После заварки отливки медленно охлаждают. Нельзя оставлять отливку на сквозняке или в помещении с низкой температурой. Ее следует накрыть листовым асбестом, а в отдельных случаях засыпать песком. После заварки отливки часто подвергают отжигу в печи для снятия остаточных напряжений.

Обработка после сварки. Сварные изделия после сварки обрабатывают в целях повышения их прочности и стойкости к коррозии. Прочность повышают термической обработкой, проковкой и устранением дефектов сварки. Термическая обработка полностью или частично снимает остаточные напряжения, возникающие в изделии в процессе сварки, а также повышает механические свойства материала в результате улучшения структуры металла шва и околошовной зоны. Остаточные напряжения после заварки дефектных мест в отливках из силуминов снимают отжигом при температуре 300...350 °С с выдержкой в печи в течение 2...5 ч. Отжигу подвергают отливки сложной конфигурации, а также отливки, к точности размеров которых предъявляют повышенные требования.

Чаще всего термической обработке подвергают сварные изделия, которые имеют небольшие размеры, простую конструкцию и выполнены из материалов, подвергающихся закалке и старению (например, отливки из сплава АЛ9). Термическая обработка сварных алюминиевых изделий допускается только в том случае, если она не вызывает чрезмерных деформаций при короблении.

Проковка повышает механические свойства сварного шва некоторых алюминиевых сплавов. Ее можно проводить в холодном и нагретом состоянии. Холодной проковке обычно подвергают швы на деталях из чистого алюминия и сплавов системы алюминий — марганец, при проковке которых не происходит трещинообразования. Проковку в нагретом состоянии обычно совмещают с отжигом при температуре 300...350 °С в целях снятия остаточных напряжений.

Остатки флюса и шлаков удаляют для предотвращения развития коррозии: флюсы — непосредственно после окончания сварки (не позднее чем через 1 ч) промывкой поверхностей швов и примыкающего к ним основного металла с обеих сторон проточной горячей водой (при температуре 60...80 °С) с помощью волосяных щеток. После этого детали промывают 2%-ным водным раствором хромового ангидрида той же температуры и вновь проточной горячей водой. Промытые детали сушат в сушильном шкафу при температуре 110...180 °С или горячим воздухом при температуре 60...110 °С до полного удаления влаги. Для контроля тщательности промывки используют 2%-ный раствор нитрата серебра. При попадании капель этого раствора на недостаточно очищенную от флюса поверхность образуется белый осадок. В этом случае промывку необходимо повторить. При невозможности сварки детали за одну операцию разрешаются межоперационная промывка в горячей воде с последующей тщательной сушкой и окончательная промывка в водном растворе хромового ангидрида. При этом перерыв между промывкой в горячей воде и в растворе хромового ангидрида не должен превышать 24 ч. При большем перерыве межоперационную промывку проводят в растворе хромового ангидрида.

6.5. СВАРКА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Свойства и классификация магниевых сплавов. Сплавы магния характеризуются малой плотностью и высокой удельной прочностью. Жесткость конструкций из магниевых сплавов выше, чем из алюминиевых.

По способу производства магниевые сплавы подразделяют на литейные и деформируемые. Литейные сплавы менее распространены. Деформируемые сплавы широко применяют в различных конструкциях в виде поковок и штампованных заготовок, листового проката, профилей, прутков и труб.

Литейные и деформируемые магниевые сплавы можно разделить на сплавы следующих систем: магний — кремний; магний — марганец; магний — цирконий; магний — алюминий — цинк; магний — цинк — цирконий; магний — марганец — церий.

Деформируемые магниевые сплавы, относящиеся к системе магний — марганец — церий, обладают высокими механическими свойствами, хорошей свариваемостью и коррозионной стойкостью. Сплавы систем магний — алюминий — цинк и магний —

цинк — цирконий имеют более высокую прочность, но сильно разупрочняются при температуре выше 150 °С. Характерным для деформируемых магниевых сплавов является то, что одна часть из них не упрочняется термической обработкой (сплавы МА1, МА2, МА3 и МА8), а другая (сплавы МА5) термически упрочняется после гомогенизации и искусственного старения.

Свойства магниевых сплавов, определяющие их свариваемость. На свариваемость магниевых сплавов влияют следующие особенности их физико-химических свойств:

- температура плавления магния немного ниже, чем алюминия, однако его теплопроводность значительно уступает теплопроводности алюминия, поэтому для сварки деталей сравнительно большой толщины требуется меньшее количество теплоты;
- магний имеет высокое химическое сродство к кислороду, поэтому возможно возгорание металла при сварке;
- сплавы характеризуются высоким коэффициентом линейного расширения, вследствие чего при сварке возникают значительные остаточные напряжения и деформации;
- сплавы обладают склонностью к поглощению газов в расплавленном состоянии, что приводит к образованию пористости;
- большинство магниевых сплавов имеет широкий температурный интервал кристаллизации при наличии легкоплавких эвтектик в их структуре, что может привести к образованию кристаллизационных трещин при сварке;
- сплавы обладают низкой коррозионной стойкостью, что необходимо учитывать при выборе составов сварочных флюсов и обработке швов после сварки для их защиты от воздействия внешней среды.

Литейный сплав МЛ1, относящийся к системе магний — кремний, отличается низкими прочностью и коррозионной стойкостью, поэтому в сварных конструкциях его применяют редко. Вследствие узкого температурного интервала кристаллизации этот сплав обладает хорошей свариваемостью.

Сплавы системы магний — марганец (литейный МЛ2, деформируемый МА1) характеризуются хорошей свариваемостью. Кристаллизационные трещины в них при газовой сварке не образуются. Однако механические свойства сварных соединений из этих сплавов невысокие вследствие образования крупнозернистой

структуры в околошовной зоне. Прочность и пластичность металла шва у сплава МА1 значительно меньше, чем у деформированного основного металла.

К системе магний — алюминий — цинк относится большинство деформируемых (МА2, МА2-1, МА3, МА5) и литейных (МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6) магниевых сплавов. Сплавы, содержащие более 1 % цинка, отличаются широким температурным интервалом кристаллизации и плохой свариваемостью. Сплавы указанной системы, содержащие более 5 % алюминия (МА3, МЛ4, МЛ5), склонны к коррозии под напряжением. В сплавах МА2 и МА2-1, содержащих менее 5 % алюминия, этой склонности не наблюдается.

Сплавы системы магний — марганец — церий (например, деформируемый сплав МА8), отличаются высокими механическими свойствами и мелкозернистой структурой, однако склонны к образованию кристаллизационных трещин, которые при газовой сварке можно устранить применением присадочного материала с повышенным содержанием алюминия.

Сплавы системы магний — алюминий — цирконий (литейный МЛ12 и деформируемый ВМ65-1) отличаются плохой свариваемостью, поэтому в сварных конструкциях их не применяют.

Технология сварки магниевых сплавов. Наибольшее распространение в качестве горючего газа для сварки магниевых сплавов получил ацетилен. Однако при сварке деталей малой толщины применяют пропан-бутановую смесь, водород, а также его смеси с ацетиленом и метаном, природный газ и другие газы-заменители.

В качестве присадочного материала используют прессованную проволоку или прутки из сплава того же химического состава, что и состав основного металла. При сварке деформируемых сплавов допускается применение присадочного материала в виде полос, нарезанных из листового материала той же марки, а при сварке литейных сплавов и заварке дефектов литья — в виде прутков диаметром 5... 10 мм.

При сварке деформируемого сплава МА1 допускается применение присадочного материала марок МА1 и МА8, при сварке сплава МА8 — марок МА8 и МА2-1, а при сварке сплава МА2 — присадочного материала той же марки.

Присадочный материал перед сваркой необходимо предварительно обезжирить и подвергнуть травлению в 20%-ном растворе азотной кислоты. Практикуется зачистка присадочного материала металлической щеткой непосредственно перед сваркой. Применение для зачистки шлифовальных кругов и шкурок не допускается.

Для газовой сварки магниевых сплавов можно использовать флюсы на основе хлоридов и фторидов. Хлоридные флюсы технологичны, однако их применение связано с опасностью коррозии сварных соединений под действием остатков флюса. Эти флюсы используют при сварке малоответственных соединений, а также соединений, подвергаемых после сварки специальной обработке для повышения коррозионной стойкости (например, выдерживание сваренных деталей в течение 5 мин в подогретом до температуры 70... 80 °С водном растворе, содержащем 2 % бихромата калия, 3 % азотной кислоты и 0,1 % хлорида аммония, с последующей их промывкой и сушкой).

Фторидные флюсы не вызывают коррозии, однако менее технологичны. Их плотность больше плотности расплавленного металла сварочной ванны, поэтому частицы флюса могут оставаться в металле шва. Наибольшее распространение имеют флюсы, состав которых приведен в табл. 6.15. Компоненты, входящие в состав флюса, должны быть химически чистыми. Флюсы допускаются готовить методами плавления и механического перемешивания. Лучшие результаты получают при применении флюса, полученного плавлением. Готовый флюс хранят в стеклянной таре с герметически притертой пробкой.

Перед нанесением на присадку флюс разводят в керамической посуде или в посуде из коррозионно-стойкой стали дистиллированной водой до сметанообразного состояния (из расчета примерно 60 г флюса на 100 г воды). Разведенный флюс можно хранить не более 9 ч. Добавлять новую порцию флюса в уже разведенный и использованный более 6 ч назад не разрешается.

Подготовка к сварке. При газовой сварке магниевых сплавов применяют стыковые соединения.

Детали из листового материала толщиной до 1,2 мм сваривают с отбортовкой кромок при радиусе изгиба до 2 мм. Отбортованные кромки должны прилегать друг к другу по всей длине соединения. Детали толщиной до 3 мм сваривают встык без скоса кромок при зазоре между ними до 2 мм. При толщине детали, превышающей 3 мм, выполняют скос кромок с углом раскрытия, равным 60... 70°. В зависимости от толщины детали зазор изменяется от 1,5 до 6 мм, а величина притупления — от 1,5 до 2,5 мм.

Поверхность деталей должна быть тщательно очищена от масел, грязи, краски и оксидов обезжириванием в специальных растворителях с последующим травлением в щелочах, а также механическим способом. При травлении удаляется оксидный (анодированный) слой, вызывающий пористость в металле шва.

Таблица 6.15. Флюсы для сварки магниевых сплавов

Марка флюса	Состав флюса	
	Компонент	Содержание, мас. %
ПО	Фторид кальция	17,4
	Фторид бария	35,2
	Фторид магния	26,2
	Фторид лития	21,2
МФ-1	Фторид кальция	25
	Фторид бария	30
	Фторид магния	10
	Фторид лития	15
	Криолит	20
ВФ-156	Фторид кальция	14,8
	Фторид бария	33,3
	Фторид магния	24,8
	Фторид лития	19,5
	Криолит (чистый)	4,8
	Оксид магния	2,8
13	Фторид кальция	13
	Фторид бария	26
	Фторид магния	19
	Фторид лития	16
	Фторид кадмия	15
	Кислый фосфорно-кислый натрий	11

Детали и присадочный материал обезжиривают путем обтирания ветошью или концами, пропитанными бензином, ацетоном или специальной смывкой. После обезжиривания травят в растворе, нагретом до температуры 70...100 °С и содержащем гидроксид натрия (300...600 г/л), нитрит натрия (150...200 г/л) и нитрат натрия (40...70 г/л). Время травления составляет 5...60 с в зависимости от габаритных размеров деталей. Затем детали промывают последовательно в горячей (при температуре 30...50 °С) и холодной проточной воде. После этого травят в растворе хромового ангидрида (150...250 г/л) в течение 15 мин при комнатной температуре, промывают в горячей и холодной проточной воде и сушат в сушильном шкафу при температуре 50...60 °С.

Слой оксида и другие загрязнения удаляют с обеих сторон детали механическим способом, шарошками, напильниками и

металлическими щетками на ширине 20...30 мм. При этом не следует наносить глубокие царапины на зачищаемых поверхностях. Шлифовальные инструменты для зачистки деталей применять не допускается. После зачистки с поверхности деталей удаляют стружки и опилки.

Свариваемые кромки деталей после сборки должны быть хорошо подогнаны друг к другу. Смещение или перекос кромок не должен превышать 10 % толщины свариваемой детали. При сварке деталей разной толщины допускается смещение или перекос, не превышающий 10 % толщины более тонкой детали. Обычно сваривают детали с соотношением толщин от 1 : 1 до 1 : 1,5. Прихватку деталей выполняют газовой сваркой тем же присадочным материалом и при том же режиме, что и при последующей сварке. Размеры прихваток и расстояние между ними приведены в табл. 6.16.

Литые детали из магниевых сплавов сваривают в основном при устранении брака литья. Отливки перед заваркой необходимо очистить от грязи и остатков формовочной смеси, а в месте заварки — от литейной корки и оксидной пленки на расстоянии 20...30 мм от края разделки. Детали, поступающие на заварку из механических цехов, очищают от грязи и краски металлическими щетками, а затем обезжиривают.

Разделку под сварку выполняют шарошками, сверлами или другими режущими инструментами, чтобы место подварки имело плавные очертания и переходы от боковой поверхности к основанию. Радиус перехода должен быть не менее 10 мм, а угол между боковой поверхностью и основанием разделки — 35...50°. При наличии сквозных дефектов, например трещин или спаев, оставляют притупление, равное 1,5...2,0 мм. Трещины разделяют с

Таблица 6.16. Размеры прихваток в зависимости от толщины металла при сварке магниевых сплавов

Толщина металла, мм	Размеры прихватки, мм		Расстояние между прихватками, мм
	Длина	Высота	
До 1,5	5...10	1...2	20...40
1,5...3,0	5...10	1,5...2,5	30...60
3...5	6...12	2,0...3,5	50...80
5...10	8...15	3...5	80...120
Более 10	10...30	4...6	120...200

одной или с двух сторон под углом не менее 30°. Концы трещин необходимо предварительно засверлить сверлом диаметром 2...3 мм. Раковины и шлаковые включения разделяют до полного удаления дефектного металла. Если дефектный участок находится вблизи от кромки отливки, то его разделяют с выходом на кромку.

Режимы сварки. Расход газов при сварке магниевых сплавов составляет 75...100 дм³/ч на 1 мм толщины свариваемых деталей. Основные параметры режима газовой сварки магниевых сплавов те же, что и сварки алюминиевых сплавов. Характер пламени горелки — строго нейтральный. Избыток кислорода или ацетилена не допускается. Пламя горелки во время сварки должно быть расположено таким образом, чтобы конец его ядра находился на расстоянии 3...5 мм от поверхности расплавленного металла. Сварка ядром пламени не допускается. Конец прутка должен быть погружен в ванну расплавленного металла.

Выбор способа газовой сварки зависит от толщины деталей: до 5 мм рекомендуется левый, более 5 мм — правый. Сваривать следует только в нижнем положении. Предельный угол наклона свариваемой детали из деформируемых сплавов к горизонтальной плоскости не должен превышать 45°. При заварке дефектных участков на отливках угол наклона должен быть не более 30°. Выполнение вертикальных и потолочных швов недопустимо.

Характер движения горелки и присадочного материала определяется толщиной свариваемых деталей. При толщине до 3 мм стыковые соединения выполняют при поступательном движении горелки и присадочного материала без каких-либо поперечных колебаний. При сварке деталей большей толщины горелке и присадочному материалу сообщают колебательные движения, направленные в противоположные стороны.

Для выполнения шва за один проход сварку необходимо вести быстро и непрерывно. При перерывах и при окончании сварки горелку следует отводить медленно, чтобы не допустить резкого охлаждения шва. В то же время следует избегать перегрева околошовной зоны.

Детали из деформируемых магниевых сплавов толщиной более 5 мм обычно сваривают с предварительным нагревом до температуры 300...350 °С (местным горелками или общим в печи). В горелках для местного подогрева используют ацетилен с кислородом или природный газ с воздухом. Пламя горелок должно быть нейтральным, расстояние от ядра пламени до подогреваемой поверхности — не менее 10 мм.

Дефектные места на отливках можно заваривать без предварительного нагрева, а также после местного или общего подогрева. Заварку выполняют при температуре не ниже 10°C в помещении, в котором не должно быть сквозняков. Без предварительного нагрева заваривают дефектные участки в малонагруженных или тонкостенных зонах отливок, расположенных около края последних. Местный подогрев применяют перед подваркой дефектных участков, расположенных на значительном расстоянии от ребер жесткости и при толщине завариваемой части детали более 6 мм. Область местного подогрева должна охватывать часть поверхности, удаленную на 20 мм от края разделки. Общий подогрев применяют перед подваркой дефектных участков, расположенных вблизи от зон повышенной жесткости и при толщине завариваемой части детали менее 6 мм. Заварка считается законченной после получения шва с выпуклостью (усилением) высотой 3...6 мм.

Обработка после сварки. Непосредственно после сварки (не более чем через 3 ч после ее окончания) с наружной и внутренней поверхностей сварных швов металлическими щетками и дробеструйной обработкой удаляют остатки флюса и шлака. Промывка деталей после сварки в воде и их травление не допускаются. В тех случаях, когда остатки шлака не опасны для работы изделия, их можно не удалять. Избыток наплавленного металла удаляют механической или слесарной обработкой. После выполнения всех перечисленных операций детали из магниевых сплавов подвергают очистке, обезжириванию и противокоррозионной обработке, затем — контролю и, если предусмотрено техническими условиями, термической обработке.

Отливки после заварки дефектных участков рекомендуется отжигать при температуре $300...350^{\circ}\text{C}$ в течение 2...2,5 ч для снятия остаточных напряжений. Иногда проводят местный отжиг участка заварки пламенем горелки в течение 5...10 мин, контролируя температуру нагрева этого участка термокрасками. Прочность сварных соединений, полученных газовой сваркой, сравнительно невелика (60...80 % прочности основного металла).

6.6. СВАРКА СВИНЦА

Свинец характеризуется большой плотностью и высокой коррозионной стойкостью в концентрированных кислотах.

Сварка свинца затруднена из-за низкой температуры его плавления ($327,3^{\circ}\text{C}$) и активного образования тугоплавкого оксида свинца (температура плавления 888°C). Низкая температура плавления и невысокая теплопроводность свинца позволяют применять при газовой сварке водородно-воздушное и водородно-кислородное пламя, а также газы-заменители в смеси с воздухом или кислородом (пропан или пропан-бутановая смесь, природный газ, пары керосина и др.) и ацетиленокислородное и ацетиленовоздушное пламя. Мощность пламени составляет $15 \dots 20 \text{ дм}^3/\text{ч}$ ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла. Пламя должно быть нормальным ($\beta = 1,0 \dots 1,2$). В качестве присадочного материала используют свинец в виде прутков или полос того же состава, что и основной металл.

Флюс при сварке деталей небольшой толщины обычно не применяют. При сварке деталей большой толщины используют флюс, состоящий из равных частей стеарина и канифоли.

Сваривать можно при любом пространственном положении шва — встык и внахлестку. При сварке нижних швов на деталях малой толщины используют мягкое пламя, на деталях большой толщины и при выполнении потолочных швов — жесткое пламя.

При сварке в нижнем положении для деталей малой толщины (до 1,5 мм) применяют отбортовку кромок, при толщине 6 мм и более — разделку кромок с углом скоса, равным $30 \dots 35^{\circ}$. Характерным для свинца является способ сварки отдельными сварочными ванночками (каплями). Одновременно доводят до расплавления

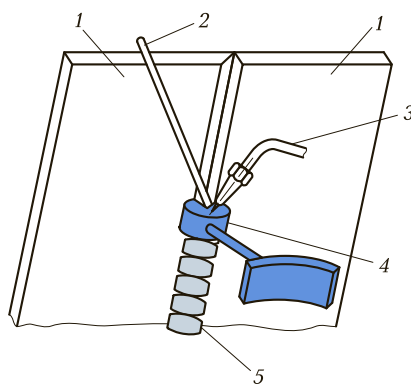


Рис. 6.4. Схема сварки в кристаллизаторе:

- 1 — свариваемые детали; 2 — присадочная проволока;
3 — газовая горелка; 4 — кристаллизатор; 5 — шов

ния кромку; при этом образуется маленькая ванночка, в которую вводят отдельную каплю присадочного материала и сразу же отводят пламя горелки от изделия, давая металлу шва затвердеть. Движение горелки должно быть только поступательным с вертикальными колебаниями. Весь шов выполняют небольшими перекрывающимися друг друга сварочными ванночками. При толщине основного металла 8 мм и более применяют многослойную сварку.

Нахлесточные швы выполнять легче, но при этом повышается расход металла. Величина нахлестки составляет 60...70 мм. Сваривают отдельными сварочными ванночками левым способом. Высота усиления шва не должна превышать 5 мм. Мундштук горелки держат под углом 45° к поверхности свариваемого металла.

При вертикальной сварке сначала расплавленный металл поддерживают стальным прутом или применяют для формирования шва специальный кристаллизатор (рис. 6.4).

6.7. СВАРКА НИКЕЛЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Никель обладает ценными техническими свойствами, обуславливающими его применение для изготовления ответственных конструкций в химической, пищевой и других отраслях промышленности. Никель имеет высокие плотность (8 900 кг/м³) и температуру плавления (1 455 °С). Для сварных конструкций применяют преимущественно технический никель марок от Н0 до Н4, выпускаемый в виде листов, лент, труб и проволоки.

Наиболее вредные примеси в никеле — сера и свинец, вызывающие краснотомкость. Сера образует с никелем легкоплавкую хрупкую эвтектику Ni—NiS с температурой плавления 644 °С. Отрицательное влияние серы проявляется при ее содержании около 0,01 %. Учитывая это, при сварке никеля следует применять ацетилен, очищенный от примесей сероводорода. Свинец нерастворим в никеле, и уже при его содержании 0,002...0,005 % сплавы на никелевой основе могут разрушаться при горячей обработке давлением.

Трудности при сварке никеля вызваны резким изменением растворимости газов при кристаллизации, которое может привести к пористости в металле шва, а также к образованию тугоплавкого оксида никеля NiO (температура плавления 1 655 °С). Кроме того, наличие в металле даже небольшого количества кислорода (0,02 %) вызывает его хладноломкость. Для уменьшения окисления

Таблица 6.17. Флюсы для сварки никеля и его сплавов

Номер флюса	Состав флюса	
	Компонент	Содержание, мас. %
1	Бура прокаленная	100
2	Бура прокаленная	25
	Борная кислота	75
3	Бура прокаленная	30
	Борная кислота	50
	Хлорид натрия	10
	Хлорид калия	10

сварочной ванны при газовой сварке применяют нормальное или слегка науглероживающее ($\beta = 0,974 \dots 1,05$) пламя.

В качестве присадочного материала используют полосы основного металла или проволоку того же состава. Кроме того, применяют никель, легированный раскислителями, в составе которых до 3 % марганца или 0,06 % магния и 0,2 % кремния. Легирование присадочного металла марганцем и магнием способствует уменьшению образования горячих трещин. Марганец и магний связывают серу в соответствующие сульфиды, причем сульфид марганца, как и сульфид никеля, выделяется по границам зерен, но менее вреден, поскольку имеет высокую температуру плавления (1325 °С). Сульфид магния нерастворим в никеле и выделяется внутри зерен, не ухудшая свойств металла. Диаметр присадочной проволоки принимают равным половине толщины свариваемого металла. Никель можно сваривать без флюса, но лучшие результаты получают при его использовании (табл. 6.17). Флюсы применяют в виде порошков или паст. Кроме того, никель можно сваривать с газообразным флюсом, например БМ-1.

Мощность пламени принимают равной 140...200 дм³/ч ацетилен на 1 мм толщины. Ядро пламени при сварке должно находиться на расстоянии 3...4 мм от поверхности сварочной ванны. При сварке тонкого металла (до 1,5...2,0 мм) применяют левый способ, металла большей толщины — правый.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие свойства меди влияют на процесс ее газовой сварки?
2. Каковы особенности газовой сварки меди?

3. Каковы особенности газовой сварки латуни?
4. Укажите основные технологические особенности газовой сварки бронзы.
5. Какие трудности существуют при газовой сварке алюминия и его сплавов?
6. В чем заключается сложность выбора мощности газового пламени при сварке алюминия?
7. Какова роль флюса при газовой сварке алюминия?
8. Каковы особенности технологии газовой сварки алюминия и его сплавов?
9. Какие свойства влияют на свариваемость магниевых сплавов?
10. Какие горючие газы используют для сварки магниевых сплавов?
11. Какие присадочные материалы применяют при газовой сварке магниевых сплавов?
12. Каково назначение флюсов при газовой сварке магниевых сплавов?
13. В чем заключаются особенности технологии газовой сварки магниевых сплавов?
14. Приведите особенности технологии газовой сварки свинца.
15. Каковы особенности технологии газовой сварки никелевых сплавов?

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для получения детали заданной конфигурации используют различные способы обработки металлов. Малогабаритные детали экономически целесообразно изготавливать штамповкой, иногда резанием. Крупногабаритные детали не всегда удается получить указанными способами. Для их изготовления необходимо мощное дорогостоящее оборудование. В этом случае используют термическую резку — удаление металла с поверхности заготовки или разделение металлической заготовки на части путем ее проплавки по заданной линии или объему.

Различают *разделительную* и *поверхностную* резку. В результате резки в обрабатываемой металлической заготовке выполняют полость — рез. Полость разделительного реза 1 (рис. 7.1), имеющего форму узкой сквозной щели, ограничена боковыми поверхностями и не имеет донной поверхности. В передней части неза-

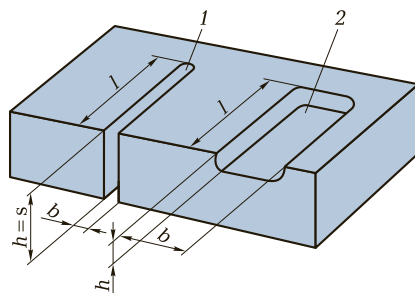


Рис. 7.1. Разделительный [1] и поверхностный [2] резы:
 l , b , h и s — соответственно длина, ширина, глубина и толщина металла

вершенного реза находится его лобовая поверхность. Полость, образующаяся при поверхностной резке, — рез 2 — имеет донную поверхность, а также может иметь боковые и лобовую поверхности.

Поверхностную и разделительную термическую резку выполняют местным проплавлением металла. Для этой цели используют источники теплоты, которые быстро нагревают до расплавления необходимые участки металла.

Источник должен обладать большой тепловой мощностью, а также обеспечивать высокую концентрацию тепловой энергии для того, чтобы нагрев и расплавление металла при резке происходили на участке заданной (обычно очень малой) ширины.

Для повышения эффективности резки необходимо, чтобы теплота от источника равномерно (линейно) распределялась по толщине разрезаемого металла. В качестве источников тепловой энергии для резки используют энергию химической реакции сгорания металла в кислороде (кислородная (автогенная, газовая) или кислородно-флюсовая резка) или электрический дуговой разряд (электрическая резка).

7.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

По степени механизации процесса резку подразделяют на *ручную* и *механизированную*. Ручную резку применяют на предприятиях, где объем перерабатываемого металла невелик и применение средств механизации процесса не является экономически оправданным.

Для обработки заготовок из низкоуглеродистой, конструкционной и низколегированной сталей применяют обычную газовую (кислородную) резку, из высоколегированной стали, чугуна и цветных сплавов — кислородно-флюсовую резку.

Существуют особые способы кислородной резки:

- подводная (при ремонтных работах под водой);
- кислородно-копьевая;
- электрокислородная.

Для коррозионно-стойкой стали толщиной до 80 мм, алюминиевых и магниевых сплавов целесообразно применять *плазменно-дуговую* резку. При резке цветных металлов используют азотово-

дородные смеси. Для резки конструкционной и высоколегированной сталей в качестве плазмообразующей среды применяют сжатый воздух.

7.3. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ РЕЗКИ

Газовая (кислородная) резка представляет собой процесс интенсивного окисления металла в определенном объеме с последующим удалением жидкого оксида струей кислорода.

Процесс резки начинают с подогрева верхней кромки металла подогревающим пламенем до температуры воспламенения металла в кислороде, которая в зависимости от химического состава металла составляет 1 050... 1 200 °С. При достижении температуры воспламенения на верхней кромке металла на нее из режущего сопла подается струя кислорода; при этом металл начинает гореть в струе кислорода с образованием оксидов и выделением значительного количества теплоты, обеспечивающей разогрев металла вблизи верхней кромки до температуры плавления.

Расплав жидких оксидов, образовавшийся на верхней части кромки, перемещается по боковой кромке реза струей кислорода и осуществляет нагрев нижних слоев металла, которые последовательно окисляются до тех пор, пока весь металл не будет прорезан на всю глубину. Одновременно с этим начинают перемещать резак с определенной скоростью в направлении резки. На лобовой поверхности реза по всей толщине образуется непрерывный слой горячего металла.

Окисление металла в каждый момент времени начинается сверху и последовательно передается нижним слоям.

Условия протекания кислородной резки. Для протекания процесса кислородной резки необходимо обеспечение следующих условий:

- контакт между струей кислорода и жидким металлом;
- подогрев неокисленного металла до температуры воспламенения;
- выделение продуктами горения количества теплоты, необходимого для создания на поверхности реза слоя расплавленного металла;
- достаточная вязкость жидкого расплава для создания возможности перемешивания жидкого металла струей кислорода.

Приведенные условия определяют требования к металлу, обрабатываемому кислородной резкой. Прежде всего *температура плавления* оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла. В противном случае струя кислорода не сможет окислить расплавленный металл.

Если *температура воспламенения* металла превышает температуру плавления, то металл начинает плавиться и выдуваться струей кислорода без последующего его окисления (плавильный процесс). Этот процесс требует значительных энергетических затрат. При низкой теплоте образования оксида лобовая поверхность реза не прогревается до температуры плавления, процесс резки прерывается. По тем же причинам отрицательно влияет на способность металла подвергаться кислородной резке его высокая теплопроводность.

Из чистых металлов кислородной резкой хорошо обрабатываются железо и титан. Невозможно разрезать обычным кислородным способом никель, медь, алюминий, магний, хром и цинк.

Влияние легирующих примесей на резку стали. В технике обычно применяют не чистые металлы, а сплавы; из них наиболее широко используют сплавы железа и углерода — сталь и чугун. Наличие примесей влияет на способность стали обрабатываться кислородной резкой из-за образования тугоплавких оксидов в слое жидкого расплава, выдуваемого из реза кислородной струей.

Углерод, содержащийся в стали, приводит, с одной стороны, к повышению температуры ее воспламенения в струе кислорода, с другой — к снижению температуры плавления. Сталь, содержащую до 1 % углерода, разрезают кислородной резкой без затруднений. Кроме того, повышение содержания углерода в стали снижает ее вязкость. Именно этим обстоятельством можно объяснить более низкие скорости резки стали, содержащей в составе сотые доли процента углерода. Повышение содержания углерода в стали (более 1 %) увеличивает температуру воспламенения и снижает температуру плавления, что приводит к нарушению условий кислородной резки. В связи с этим чугун не может обрабатываться обычной кислородной резкой.

Марганец и медь в количествах, обычных для стали, практически не влияют на технологические параметры кислородной резки. Кислородной резкой можно разрезать сталь, содержащую до 18 % марганца.

Кремний содержится обычно в небольшом количестве (до 2 %) в низколегированной стали, что практически не влияет на скорость резки.

При содержании в стали до 2 % хрома ее также разрезают с использованием режимов, принятых для низкоуглеродистой стали. Увеличение содержания хрома до 6 % приводит к снижению скорости резки. Хромистая сталь с содержанием хрома более 6 % вследствие тугоплавких оксидов не может быть обработана обычной кислородной резкой. Для резки этой стали в разрез вводят специальные флюсующие материалы.

Сталь с высоким (до 30 %) содержанием никеля можно разрезать кислородным способом, если содержание углерода не превышает 0,35 %; в противном случае резка затрудняется, требуется предварительный нагрев.

Кислородная резка стали с содержанием до 10 % вольфрама осуществляется без затруднений. При более высоком содержании вольфрама в разрезе образуется большое количество вязких тугоплавких оксидов вольфрама, препятствующих удалению расплава из реза.

7.4. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ СТАЛИ

Резка стали средней толщины. Качество реза и производительность процесса в значительной степени зависят от подготовки металла к резке. Листовой прокат стали различных марок необходимо подавать на рабочее место резчика очищенным от окалины, ржавчины и других загрязнений.

Перед ручной кислородной резкой поверхность проката очищают от окалины и ржавчины обычно пламенем резака узкой полосой по линии предполагаемого реза. Для этого необходим незначительный прогрев поверхности металла подогревающим пламенем резака, в результате которого окалина отскакивает от поверхности листа.

Перед механизированной резкой листовой прокат подвергают правке прокаткой на специальных листопрямляющих машинах и затем сплошной очистке. Существуют химический, механический и газопламенный способы очистки. Химическую очистку проводят травлением стального проката в растворе соляной или серной кислоты. При этом листы укладывают в специальные ванны. Продолжительность очистки листов из низкоуглеродистой и низколегированной сталей составляет 1...2 ч, из высоколегированной — более 3 ч.

Расстояние между мундштуком и поверхностью разрезаемого металла определяет качество резки и производительность процесса. Оптимальными приняты следующие расстояния между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла при ацетиленокислородной резке стали:

Толщина							
металла, мм	3... 10	10... 25	25... 50	50... 100	100... 200	200... 300	
Расстояние, мм	3	4	4... 5	4... 6	5... 8	7... 10	

При работе на газах-заменителях рекомендуемое расстояние увеличивают на 30... 50 %.

Для поддержания постоянным расстояния между мундштуком и разрезаемым металлом при ручной резке используют специальные опорные тележки, при механизированной — устройства стабилизации положения резака.

Технология резки стали. Процесс резки начинают с нагрева поверхности металла в начальной точке реза до температуры воспламенения металла в струе кислорода. После пуска кислородной струи и начала непрерывного окисления по толщине резак начинают перемещать по линии реза. Обычно процесс резки начинают с кромки листового проката.

При вырезке внутренних элементов заготовок сначала необходимо пробить отверстие по всей толщине металла. Пробивку начального отверстия (рис. 7.2) в стальном листе начинают также с подогрева поверхности металла. При достижении заданной температуры плавно открывают вентиль режущего кислорода и наклоняют резак под углом 5... 15° в сторону, обратную направлению резки. Одновременно с этим начинают перемещение резака

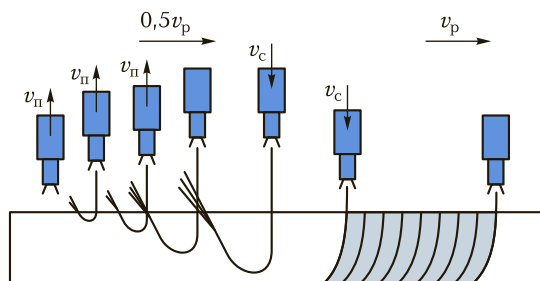


Рис. 7.2. Схема пробивки начального отверстия в листе:

v_n — скорость подъема мундштука; v_c — скорость снижения мундштука; v_p — скорость резки

на пониженной скорости. После прожигания отверстия резак устанавливается перпендикулярно к поверхности листа.

При механизированной кислородной резке резак закреплен в суппорте перпендикулярно к поверхности листа. Во избежание забрызгивания расплавленным металлом выходного отверстия для режущего кислорода и подогревающих каналов мундштука начало резки выполняют по специальному циклу. После прогрева металла в зоне пробивки включают подачу режущего кислорода первой ступени под давлением 98... 196 кПа. Одновременно резак механизмом подъема плавно удаляется от металла со скоростью v_n на расстояние, равное $3/4$ разрезаемой толщины. С началом пуска режущего кислорода включается подача машины на пониженной скорости, равной половине оптимальной (v_p). При таком начале резки расплавленные частицы шлака не засоряют мундштук, процесс пробивки отверстия протекает устойчиво.

При пробивке начального отверстия в листе получают кромку реза невысокого качества, поэтому место начала пробивки при механизированной резке располагают вне контура разрезаемой детали (при вырезке наружного контура — снаружи, при вырезке внутреннего контура — внутри).

Операции пробивки на машинах с числовым программным и фотокопировальным управлением выполняются автоматически. На машинах термической резки удается стабильно пробивать начальные отверстия в листовом прокате толщиной до 100 мм.

После начала резки и выхода резака на контур детали процесс резки протекает устойчиво при правильно выбранных технологических режимах. Для заданной скорости резки устанавливается определенная величина отставания Δ , которая возрастает с увеличением скорости резки. Термином «отставание» пользуются для определения расстояния в направлении резки между осью сопла и точкой на нижней стороне разрезаемого листа, где выходит струя режущего кислорода (рис. 7.3).

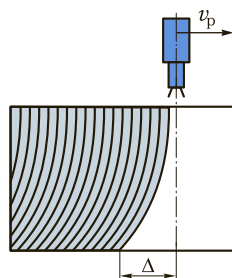


Рис. 7.3. Схема формирования отставания Δ при газовой резке со скоростью v_p

В большинстве случаев целесообразно уменьшить скорость резки, если при этом обеспечиваются точность вырезанной детали и такое качество поверхности реза, которые позволят отказаться от дополнительной механической обработки. Если вырезаемые детали должны быть подвергнуты последующей механической обработке, можно не стремиться к высокому качеству поверхности реза и значительно увеличить скорость резки.

Для ручной разделительной резки могут быть приняты режимы, соответствующие 3-му классу точности по ГОСТ 14792—80. В конце реза при замыкании контура детали скорость резки плавно снижают до 50 % оптимального значения, что позволяет избежать появления перемычки в нижней части листа.

Одной из широко применяемых операций, выполняемых кислородной резкой, является снятие фасок под сварку. Кромку заданной конфигурации можно получить при установке резаков по схемам, представленным на рис. 7.4 и 7.5.

При подготовке кромок под V-образную разделку с образованием одностороннего скоса сверху (рис. 7.4, а) резак 1 выполняет вертикальный рез, а резак 2, следующий за первым, — наклонный. Расстояние A зависит от толщины разрезаемого металла и должно быть достаточным для того, чтобы не происходило приваривания металла к нижней кромке реза. Недостаток этой схемы — сложное начало резки, потому что перед началом резки наклон-

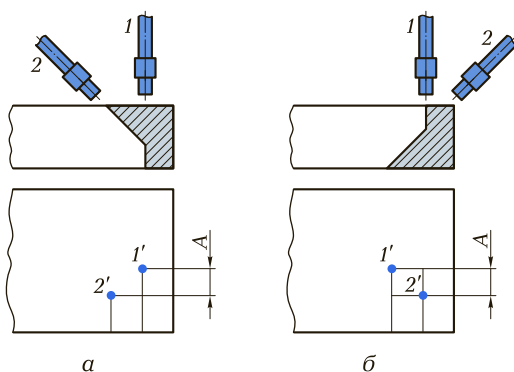


Рис. 7.4. Схемы расположения резаков при подготовке кромок под V-образную разделку:

а, б — образование скоса сверху и снизу соответственно;
 1, 2 — резаки; 1', 2' — точки расположения резаков;
 А — взаимное смещение резаков

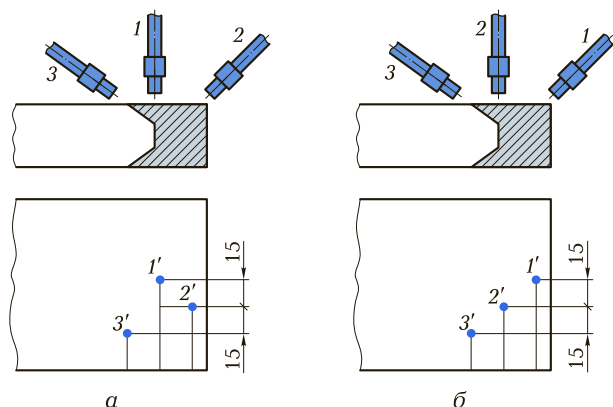


Рис. 7.5. Схемы расположения резаков при подготовке кромок под X-образную разделку:

а, б — вертикальный резак впереди и в центре соответственно;
1–3 — резаки; *1'–3'* — точки расположения резаков

ным резаком необходимо остановить машину и осуществить подогрев металла. В результате остановки машины и повторного включения режущего кислорода вертикального резака в месте его остановки на поверхности реза образуется канавка глубиной до 2 мм.

При образовании одностороннего скоса снизу (рис. 7.4, б) струя режущего кислорода резака 2 сначала срезает металл небольшой толщины, идущий в отход, а затем резаком 1 выполняется резка наклонной кромки металла, предварительно нагретого вертикальным резаком. Достоинства такой схемы — увеличение скорости резки и отсутствие необходимости в остановке машины перед началом резки кромки вертикальным резаком. Недостаток схемы заключается в более низком качестве поверхности реза при обработке металла толщиной более 35 мм.

Подготовка кромок под X-образную разделку осуществляется при одновременной работе трех резаков; при этом вертикальный резак образует притупление, наклонные резаки выполняют фаски. На практике применяют две схемы работы резаков.

При работе по первой схеме (рис. 7.5, а) впереди перемещается вертикальный резак 1, за ним — резак 2, срезающий нижнюю фаску, следом — резак 3, обрабатывающий верхнюю фаску. Расстояние между осями резаков 1 и 2 должно быть как можно меньшим, чтобы металл, разрезаемый резаком 2, не успел остыть пос-

ле резки резаком 1 и покрыться слоем оксидов. В противном случае кислородная струя, ударяясь о застывший слой оксидов, отражается от него и устремляется вниз по вертикальному резу. При такой схеме установки резаков производительность резки высока и не требуется останавливать машину при врезании в металл резаков 2 и 3. Эту схему применяют преимущественно при прямолинейной резке проката.

При фигурной резке со скосом кромок под сварку используют вторую схему (рис. 7.5, б), обеспечивающую более высокую точность вырезанных деталей. При резке со скосом кромок под сварку резку необходимо начинать с кромки металла, так как пробить в листе начальное отверстие несколькими резаками не представляется возможным.

При вырезке внутренних контуров сначала центральным резаком 2 вырезается прямоугольное окно небольшого размера и от него в дальнейшем начинается процесс резки.

Качество поверхности реза в соответствии с ГОСТ 14792—80 определяется отклонением поверхности реза от перпендикуляра к поверхности листа и шероховатостью поверхности реза. В зависимости от технологического назначения детали качество поверхности реза может быть высшее (класс 1), повышенное (класс 2) и обычное (класс 3).

Класс 1 соответствует наилучшим результатам, достигаемым в наиболее благоприятных условиях при точном соблюдении оптимальных режимов резки, применении оборудования высшего класса, высоком качестве изготовления мундштуков.

Класс 2 соответствует устойчивым результатам, получаемым на обычных серийно выпускаемых машинах в производственных условиях.

Класс 3 соответствует устойчивым производственным показателям, достигаемым на серийном оборудовании при режимах, обеспечивающих наилучшие экономические показатели процесса.

В табл. 7.1 приведены предельные отклонения реза от перпендикулярности и параметры шероховатости для различных диапазонов толщин разрезаемого листового стального проката (ГОСТ 14792—80).

Точность размеров вырезанной заготовки, связанная с процессом резки (параметрами режущей струи, деформациями и т. п.), определяется ГОСТ 14792—80. Таким образом, точность размеров вырезаемых деталей должна укладываться в суммарный допуск точности машины и точности собственно резки.

Таблица 7.1. Качество поверхности реза листового стального проката

Толщина металла, мм	Класс качества		
	1	2	3
5... 12	0,2/0,050	0,5/0,08	1,0/0,16
13... 30	0,3/0,060	0,7/0,16	1,5/0,25
31... 60	0,4/0,070	1,0/0,25	2,0/0,50
61... 100	0,5/0,085	1,5/0,50	2,5/1,00

Примечание. В числителе условной дроби — предельное отклонение реза от перпендикулярности, мм, в знаменателе — параметр шероховатости Ra , мм.

Деформация при резке — одна из главных причин отклонения размеров вырезанных деталей от заданных. Деформация металла при резке обусловлена неравномерностью нагрева металла до высокой температуры. Пластические деформации, возникающие по кромкам вырезаемых деталей, вызывают укорочение, изгиб деталей, а также потерю устойчивости заготовки (отклонение от плоскостности).

Несмотря на большое число факторов, влияющих на величину деформации, можно дать общие рекомендации по повышению точности вырезаемых деталей. Прежде всего необходимо уделять особое внимание расположению деталей на обрабатываемом стальном листе. В целях снижения деформаций при комплектовании раскроя следует избегать размещения на листе только узких длинных деталей. Длинные детали целесообразно компоновать на листе вместе с короткими, размещая первые вдоль продольной кромки листа. Для уменьшения деформаций необходимо по возможности применять совмещенные резы, которые одновременно служат контурами двух рядом расположенных деталей.

При необходимости вырезки из листа различных по размерам деталей резку начинают с края листа и перемещаются вдоль его короткой стороны (рис. 7.6). Направление обхода контура выбирают с таким расчетом, чтобы в первую очередь обрабатывались кромки, примыкающие к металлу, идущему в отход. В последнюю очередь следует выполнять рез, отделяющий деталь от основной массы листа. В процессе резки жесткость обрезки должна быть меньше жесткости вырезаемой детали, поэтому следует предусматривать разрезку отходов.

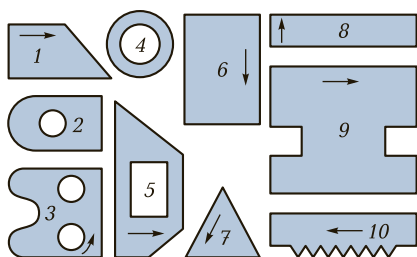


Рис. 7.6. Последовательность вырезки деталей из листа:
1–10 – номера операций; стрелками показано направление резки

При вырезке деталей с отношением длины к ширине более трех необходимы перемычки. В зависимости от величины допустимой деформации и толщины детали назначают число и длину перемычек. Как правило, перемычки должны находиться на обрабатываемом контуре детали с шагом 1...3 м, их длина в зависимости от толщины металла составляет 15...50 мм. Резку полос из листа необходимо выполнять несколькими резаками, что практически исключает искривление заготовок.

Для снижения деформации резку необходимо выполнять на максимальной (для данного класса качества реза) скорости, с минимальной мощностью подогревающего пламени и минимальным (в соответствии с требованиями к процессу) расстоянием между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла.

Резка стали малой толщины. Особенность кислородной резки листового проката малой толщины (до 5 мм) состоит в том, что подогревающее пламя разогревает весь лист по толщине до высокой температуры (примерно 950 °С) с образованием достаточно большого пятна нагрева. Вследствие этого шлаки, выдуваемые струей кислорода из разреза, смачивают нижнюю кромку с образованием трудноотделимого грата. В связи с этим меры, направленные на достижение хорошего качества при кислородной резке тонкого металла, предусматривают уменьшение высокотемпературного пятна нагрева на нижней поверхности листа.

Для резки тонкого металла применяют мундштуки специальной конструкции с последовательным расположением отверстия для режущего кислорода позади отверстия для пламени (рис. 7.7, а). Отверстие для режущего кислорода располагают ближе к поверхности металла. При таком расположении отверстий металл поступает в зону режущей струи разогретым до более низкой темпера-

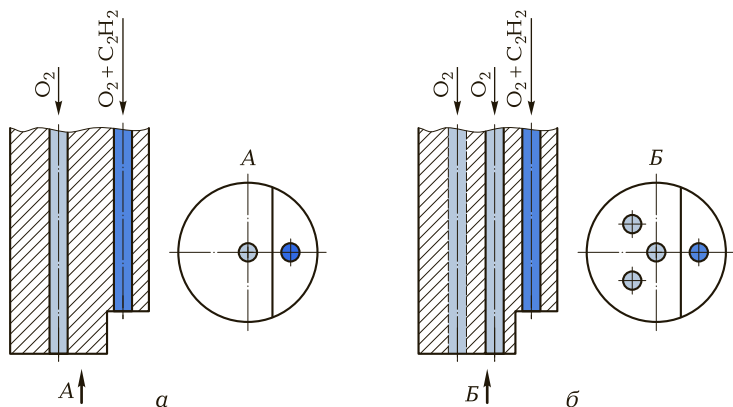


Рис. 7.7. Схемы мундштуков для резки металла малой толщины:
 а — с расположением отверстия для режущего кислорода позади отверстия для пламени; б — с трехструйным режущим каналом

туры, чем при традиционном кольцевом пламени, применяемом для сварки металла средней толщины.

Хорошее качество поверхности реза обеспечивают мундштуки с трехструйным режущим каналом (рис. 7.7, б), у которых первая (по ходу резки) струя осуществляет процесс резки металла по толщине, а две боковые выполняют зачистку дефектного слоя на боковых кромках реза.

Такие конструкции мундштуков используют для прямолинейной разделительной резки тонкого металла. Для фигурной резки применяют мундштуки с расположением подогревающего пламе-

Таблица 7.2. Режимы газовой резки стали малой толщины

Толщина металла, мм	Расход, $\text{дм}^3/\text{ч}$			Скорость резки, м/ч
	кислорода	ацетилена	воздуха	
2	1 000/160	150	2 000	51,1
3	1 100/200	180	2 500	46,8
4	1 200/240	210	3 000	45,0
5	1 300/280	250	4 000	43,2

Примечание. В числителе условной дроби приведены значения расхода режущего кислорода, в знаменателе — подогревающего кислорода.

ни вокруг режущего сопла. Отличие состоит в добавлении внешнего кольцевого канала, через который на кромку реза подается охлаждающий воздух или воздушно-водная смесь. Режимы механизированной газовой резки стали малой толщины приведены в табл. 7.2.

Пакетная резка. При необходимости получения большого числа однотипных деталей из листов тонкого металла применяют пакетную резку. Для этого листы разрезают на карты, которые затем собирают в пакет. Поверхность листового металла должна быть очищена от загрязнений. Для резки используют кислород низкого давления. При обычных давлениях режущего кислорода резка протекает неустойчиво, с выхватами контура детали в зонах неплотного прилегания собранных листов в пакете. В случае использования кислорода низкого давления зазоры до 2...3 мм между картами в пакете не оказывают существенного влияния на качество резки. Собранный пакет стягивают по краям струбцинами (рис. 7.8), после чего листы закрепляют с помощью дуговой сварки.

При пакетной резке особое внимание необходимо уделять началу процесса. При вырезке наружных контуров деталей процесс начинают с края пакета. Для облегчения прорезания пакета листы укладывают «лесенкой» с припуском 0,5...1,0 мм при установке каждой последующей карты. Пробить начальное отверстие при вырезке внутреннего контура не представляется возможным, поэтому его получают засверловкой. Врезание режущей струи в металл необходимо осуществлять на пониженной скорости. Режимы пакетной резки стали приведены в табл. 7.3.

При резке тонкого металла верхний лист оплавляется подогревающим пламенем. Для устранения этого дефекта при сборке пакета сверху укладывают любой некачественный металл, идущий затем в отход.

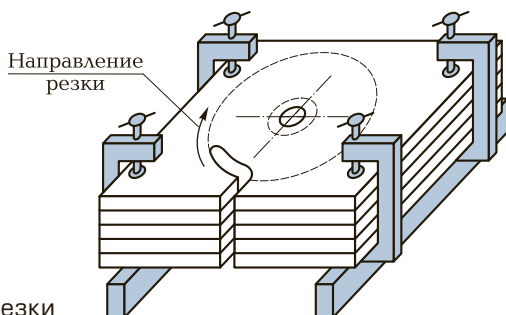


Рис. 7.8. Схема пакетной резки

Таблица 7.3. Режимы пакетной резки стали

Толщина листового металла, мм	Число листов в пакете	Давление режущего кислорода, кПа	Скорость резки, м/ч
2	25	78...88	15,0
3	20	88...98	13,2
4	15	98...107	12,0
6	12	107...117	10,8
10	8	117...137	9,7
12	6	117...137	10,8
16	6	117...137	9,7
20	4	117...137	9,7
24	3	117...137	10,8
30	3	127...147	9,7
60	2	137...167	9,0

Резка стали большой толщины. Основная особенность резки стали большой толщины (более 300 мм) состоит в необходимости сформировать фронт окисления металла большой протяженности, поэтому требуются специальная режущая аппаратура и выполнение особых приемов резки.

Для достижения стабильных показателей производительности и качества резки струя режущего кислорода должна сохранять окислительную способность и кинетическую энергию на возможно большей длине по толщине разрезаемого металла. Мощность подогревающего пламени должна быть такой, чтобы обеспечить подогрев шлаков в нижней части реза и защиту режущей струи от подсоса воздуха. Таким образом, расход режущего кислорода и горючего газа назначают намного большим, чем при кислородной резке стали обычной толщины. Резку выполняют, как правило, с использованием кислорода низкого давления (до 392 кПа), мундштуки резаков имеют обычные цилиндрические сопла большого диаметра. Скорость истечения струи невысока; при этом каждая частица кислорода дольше соприкасается с расплавом в резе, благодаря чему уменьшаются потери кислорода.

При резке стали большой толщины для уменьшения нагрева мундштука отраженной теплотой и во избежание засорения каналов для выхода горючей смеси брызгами шлака рекомендуется поддерживать значительно большее расстояние от среза мундштука до поверхности разрезаемого металла, чем при резке листового проката.

В целях создания условий для вытекания шлака высота свободного пространства под изделием должна быть не менее 60 % его толщины. Кроме того, для защиты резчика и машины от теплового воздействия и брызг шлака необходимо предусматривать их ограждение асбестовыми или железными щитами.

Особое внимание необходимо уделять операциям, предшествующим резке. Место начала резки следует хорошо подогреть. Для этого рекомендуется располагать мундштук на 1/3 его диаметра над кромкой заготовки. Если в момент врезания струи режущего кислорода в металл установить слишком высокое для данного сопла давление кислорода перед резаком, то цилиндричность струи и плавность ее истечения нарушатся. В результате этого образуется порог, ниже которого реакция горения прекратится.

Высококачественная резка стали большой толщины может быть обеспечена в том случае, если резак начинает перемещаться сразу после пуска струи режущего кислорода. Тогда при параллельном расположении струи режущего кислорода и торцовой поверхности разрезаемого изделия, если заготовки имеют прямоугольную форму, требуется очень точная установка резака в начальное положение над кромкой металла. Начало резки значительно облегчается, если резак наклонить на 2...3° в сторону разрезаемой заготовки (рис. 7.9). При этом на торцовой поверхности разрезаемого изделия образуется канавка, способствующая концентрации потока шлака и, соответственно, улучшается нагрев металла вдоль линии образуемого разреза.

В конце резки необходимо снизить ее скорость и наклонить резак в противоположную сторону, чтобы обеспечить прорезание нижней кромки заготовки.

Существенное значение при резке стали большой толщины имеет подогревающее пламя. Для обеспечения прогрева шлаков в нижней части реза и защиты струи кислорода от перемешивания с воздухом при резке стали толщиной более 1 000 мм в резаках за режущим соплом располагают дополнительно сопло для подачи горючего газа.

При резке стали толщиной более 2 000 мм 65 % горючего газа подается в рез через дополнительное сопло.

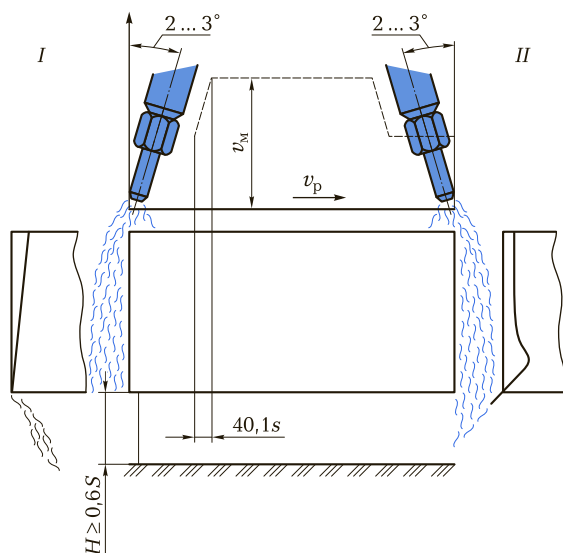


Рис. 7.9. Схема резки металла большой толщины:

s — толщина изделия; v_p — скорость резки; v_m — скорость резки на участке с вертикальным расположением мундштука; H — высота свободного пространства под изделием; I, II — положение резака в начале и конце резки соответственно

Эффективность процесса резки металла большой толщины зависит от типа горючего газа. При резке предпочтительно использовать газы-заменители с низкой скоростью воспламенения.

7.5. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА РЕЗКИ

Применение кислородной завесы. Скорость кислородной резки можно увеличить повышением чистоты режущего кислорода. Чтобы уменьшить загрязнение режущей струи, между выходным отверстием режущего кислорода и подогревающим пламенем предусмотрен кольцевой канал так называемой кислородной завесы, из которой выходит кислород с относительно небольшой скоростью истечения. Поток режущего кислорода, окружающий основную струю, предотвращает подсос продуктов горения подогре-

вающего пламени и воздуха, что позволяет повысить скорость резки. Применение кислородной завесы обеспечивает увеличение скорости резки в 1,35—1,5 раза при одновременном повышении расхода режущего кислорода, поэтому этот способ резки применяют ограниченно.

Контактная резка. Уменьшению подсоса окружающего воздуха и газов пламени способствует метод контактной резки, разработанный японской фирмой Iwatani. Внутренний мундштук, выступающий на 2...3 мм за срез наружной гильзы, имеет канал для режущего кислорода с плавной входной частью и коническим расширением на выходе. Во время резки расстояние между режущим соплом и поверхностью разрезаемого металла поддерживают постоянным в пределах 1...3 мм в зависимости от толщины проката. Контактная резка обеспечивает повышение скорости резки на 50 %, снижение расхода кислорода и горючего газа на 20 %. Недостатком способа является повышенный износ мундштуков вследствие налипания брызг расплавленного металла, окалина и нагрева мундштука подогревающим пламенем.

Резка горячего металла. Нагрев металла перед резкой до температуры 1 000 °С обеспечивает увеличение скорости резки в 2,5—3 раза (резка горячего металла). Значительное увеличение скорости резки отмечается начиная с температуры 600 °С. Одновременно выявлено снижение удельного расхода режущего кислорода примерно в 2,5 раза. Ввиду высокой эффективности процесса металл необходимо разрезать в горячем состоянии, непосредственно после прокатки или после освобождения отливок из формы.

Принцип повышения скорости резки нагретой стали использован в новых высокопроизводительных процессах кислородной резки листовой стали, к которым относятся двухструйная резка и резка под острым углом атаки струи режущего инструмента.

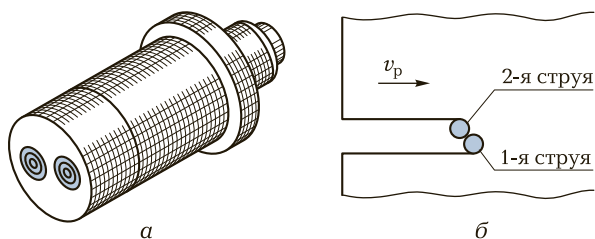


Рис. 7.10. Мундштук (а) и схема двухструйной скоростной резки (б)

При двухструйной резке в мундштуке рассверливают два режущих канала (рис. 7.10, а), расположенных на расстоянии 8...10 мм друг от друга. При перемещении мундштука ось второго канала смещается на 0,5...1,0 мм в направлении, перпендикулярном к направлению резки (рис. 7.10, б). В процессе резки 1-я (передняя) струя прорезает металл по всей толщине, осуществляя нагрев тонкого слоя металла, который сжигается затем 2-й (задней) струей. Поверхность реза со стороны 1-й струи получается грубой, с сильно выраженной шероховатостью и большим отставанием линий реза. Со стороны 2-й струи кромка относительно гладкая. Эта струя осуществляет зачистку поверхности реза после 1-й струи и обеспечивает качество поверхности при высокой скорости резки.

На рис. 7.11 показана зависимость скорости резки листового проката обычным и двухструйным мундштуками от толщины разрезаемого металла. Применение двухструйного мундштука позволяет увеличить скорость резки более чем в 1,7 раза по сравнению с обычной резкой. Описанный способ кислородной резки можно

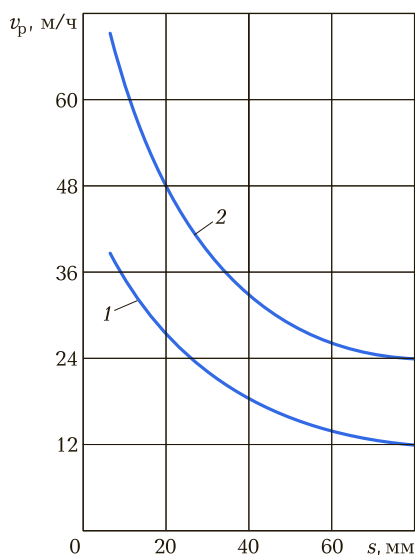
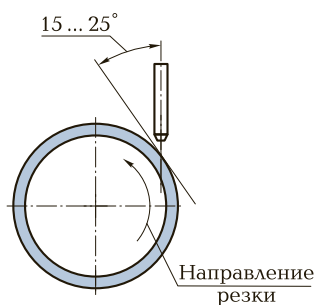


Рис. 7.11. Зависимость скорости резки v_p от толщины разрезаемого металла s :

- 1 — обычная разделительная кислородная резка;
- 2 — двухструйная скоростная резка

Рис. 7.12. Схема скоростной резки труб



применять для выполнения прямолинейных и криволинейных резов с большим радиусом кривизны.

При направлении струи режущего кислорода под острым углом к поверхности разрезаемого изделия шлак, выходящий из реза, перемещается по нижней кромке листа, что обеспечивает предварительный нагрев металла. Если при резке труб уменьшить угол атаки струи режущего кислорода до 15...25° (рис. 7.12), то образующийся при резке шлак перемещается по наружной и внутренней стенкам трубы, благодаря чему участок значительной длины прогревается перед резкой до высоких температур.

В табл. 7.4 приведены режимы скоростной и обычной кислородной резки труб. Видно, что при установке резака под углом атаки к поверхности трубы скорость резки увеличивается в 3—5 раз.

При резке листового стального проката обычно применяют меньшие углы атаки, чем при резке труб, но и в этом случае удастся значительно повысить скорость резки. Резку с острым углом атаки струи режущего кислорода применяют в основном для пря-

Таблица 7.4. Режимы скоростной и обычной кислородной резки труб

Резка	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Угол атаки струи режущего кислорода, ...°	Расход, дм ³ /ч		Скорость резки, м/ч
				кислорода	ацетилена	
Обычная	325	6	90	2 700	600	46,4
	720	10	90	4 000	700	36,0
	820	9	90	4 000	700	36,0
Скоростная	325	6	20	12 100	600	147,2
	720	10	10	36 400	700	192,2
	820	9	10	36 400	700	201,6

молиейного раскроя листовой стали толщиной 4...25 мм при невысоких требованиях к качеству поверхности реза.

Комбинированная поверхностно-разделительная резка. Этот способ объединяет два смежных процесса — поверхностную и разделительную резку. В направлении резки располагают рядом две режущие струи — с дозвуковой (60...300 м/с) и сверхзвуковой (более 300 м/с) скоростью потока. Первая струя выжигает в обрабатываемом металле узкую и глубокую канавку. Следующая непосредственно за ней сверхзвуковая струя со скоростью примерно 600 м/с прорезает оставшуюся нагретую часть листа по ширине выжженной канавки. Так, резку (угол атаки дозвуковой струи — 60° и расход кислорода — $13 \text{ дм}^3/\text{с}$) стали толщиной 15 мм выполняли со скоростью 0,033 м/с. Ширина реза составила 8 мм. По сравнению с обычной разделительной резкой скорость резки увеличилась примерно в 4 раза.

Смыв-процесс. В целях повышения качества поверхности реза разработан новый способ кислородной резки — смыв-процесс, представляющий собой комбинацию резки струей с острым углом атаки режущей струи и двухструйной скоростной резки. При этом способе (рис. 7.13) мундштук резака располагается под углом α к поверхности металла. Основная режущая струя прорезает металл на всю толщину s , дополнительные режущие струи срезают только дефектную кромку реза, чем достигаются высокие качество поверхности реза и производительность процесса. Смыв-процесс обеспечивает повышение скорости резки в 1,5—2,5 раза по сравнению со скоростью обычной вертикальной резки. Шероховатость поверхности не превышает, как правило, 15 мкм при толщине заготовки до 50 мм.

Резка кислородом высокого давления. Высокие скорости резки можно обеспечить, если в рез направить кислородную струю, имеющую наивысшую кинетическую энергию (резка кислородом высокого давления). Этому условию удовлетворяют сверхзвуковые сопла

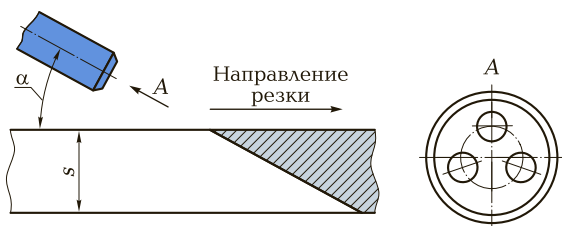
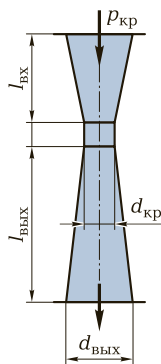


Рис. 7.13. Схема кислородной резки способом смыв-процесс

Рис. 7.14. Сверхзвуковое сопло для резки стали:

$l_{\text{вх}}$, $l_{\text{вых}}$ — длина входного и выходного участков сопла соответственно; $d_{\text{кр}}$ — диаметр критического сечения сопла; $d_{\text{вых}}$ — выходной диаметр сопла; $p_{\text{кр}}$ — критическое давление



(рис. 7.14) при подаче в них кислорода высокого давления (более 700 кПа). Повышенное давление режущего кислорода перед соплом позволяет при прочих равных условиях увеличить в 1,5—2 раза производительность процесса и сократить на 50 % ширину реза.

7.6. РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Титан и его сплавы обладают высокими прочностью и температурой плавления при низкой плотности ($4\,500\text{ кг/см}^3$), поэтому они находят все возрастающее применение в авиа- и судостроении, химическом и нефтяном машиностроении и др.

При нормальной температуре титан устойчив к окислению. Интенсивное поглощение кислорода поверхностью начинается при температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$, водорода — при $200\text{ }^\circ\text{C}$, азота — при $600\text{ }^\circ\text{C}$. При температуре до $600\text{ }^\circ\text{C}$ интенсивному окислению титана препятствует поверхностный оксидный слой. При повышении температуры оксиды начинают растворяться в титане, что приводит к резкому увеличению диффузии кислорода, водорода и азота в металл.

Тепловой эффект окисления титана более высокий, чем железа, а теплопроводность ниже. Температура воспламенения титана составляет $1\,100\text{ }^\circ\text{C}$. Вследствие этого титан и его сплавы обрабатываются обычной кислородной резкой без затруднений. Режимы механизированной резки титана приведены в табл. 7.5.

Скорость резки титановых сплавов в 2—5 раз выше, чем низкоуглеродистой стали, а расход ацетилена и кислорода — ниже.

Процесс резки титана сопровождается сильным свечением зоны реакции (наподобие горящего магния), поэтому для защиты глаз от светового воздействия светофильтры защитных очков должны быть с более высоким коэффициентом поглощения. В целях повышения устойчивости процесса кислородной резки титана расстояние между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла увеличивают примерно в 1,5 раза по сравнению с принятым при резке низкоуглеродистой стали.

Ввиду высокой активности титана и его сплавов на поверхности реза располагается слой с измененным химическим составом глубиной до 2,5 мм, в котором содержатся оксиды и нитриды титана. В связи с этим для деталей, кромки которых подвергаются сварке, в целях получения надлежащего качества сварки поверхностный слой металла должен быть удален строганием или фрезерованием. Величины припусков деталей из титана на механическую обработку приведены в табл. 7.6.

У деталей, кромка которых может работать при знакопеременных нагрузках, обычно удаляют ЗТВ на глубину, равную удвоенному припуску.

Для кислородной резки титана и его сплавов применяют те же машины и аппаратуру, что и для резки стали. Особое внимание необходимо обращать на оснащение рабочего поста средствами удаления образующихся при резке газообразных продуктов реак-

Таблица 7.5. Режимы механизированной резки титана

Толщина металла, мм	Давление режущего кислорода, кПа	Расход, дм ³ /ч		Скорость резки, м/ч
		кислорода	ацетилена	
10	392	3 000/250	220	105,0
20	392	3 500/360	290	90,0
40	392	4 000/400	360	72,0
60	588	4 800/400	360	51,1
80	588	6 000/470	400	39,2
100	784	9 600/610	500	30,2
150	784	13 100/650	540	20,9

П р и м е ч а н и я. 1. Давление ацетилена составляет 9,8... 29,4 кПа, подогревающего кислорода — 98... 196 кПа.

2. В числителе условной дроби приведены значения расхода режущего кислорода, в знаменателе — подогревающего кислорода.

Таблица 7.6. Припуски на механическую обработку деталей из титана

Толщина металла, мм	Отклонение поверхности от перпендикулярности, мм	Шероховатость поверхности, мм	Глубина окисленного слоя, мм	Припуск, мм
45	0,10	0,25	0,60	1,00
60	0,15	0,30	0,60	1,00
100	0,25	0,85	0,75	1,85
160	0,40	0,90	0,92	2,40

ции окисления титана. В процессе резки образуется дым белого цвета, который должен быть удален из зоны резки и очищен в специальных устройствах.

7.7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

Поверхностная кислородная резка. Несмотря на внешние различия разделительной и поверхностной кислородной резки, сущность этих процессов одна и та же. В обоих случаях струя режущего кислорода, встречаясь с поверхностью обрабатываемого металла, разогретого до температуры воспламенения, сжигает определенное количество металла в ограниченном объеме и удаляет образовавшиеся при этом жидкие шлаки.

При поверхностной резке вследствие резкого расширения струи кислорода на выходе скорость ее истечения ниже скорости звука. Такая «мягкая» кислородная струя, наклоненная к поверхности металла под углом 10... 45°, окисляет жидкий расплав на фронтальной части реза, перемещает расплавленный шлак и частицы неокисленного металла по поверхности заготовки на некотором расстоянии впереди струи (рис. 7.15), образуя на поверхности металла канавку овальной формы. Разогретые шлаки, перемещаясь по поверхности металла, подогревают слой металла, подлежащие дальнейшему окислению. Вследствие этого скорость поверхностной резки намного превышает скорость разделительной кислородной резки. При разделительной резке низкоуглеродистой стали толщиной 10... 300 мм скорость перемещения резака составляет 6,1 ... 46,8 м/ч.

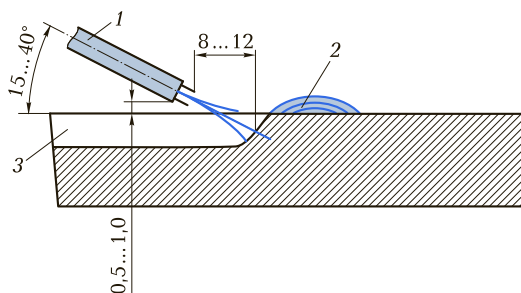


Рис. 7.15. Схема поверхностной кислородной резки стали:

1 — резак; 2 — жидкий оксид металла; 3 — канавка

Поверхностная кислородная резка нашла широкое применение в металлургии при удалении поверхностных дефектов литья, в сварочном производстве для удаления некачественных участков швов, при выполнении ремонтных работ и т. п.

При выборке дефектов сварных швов, удалении прихваток, разделке трещин применяют легкие ручные резак. При удалении отдельных местных дефектов на холодной или нагретой поверхности проката, отливок (в этом случае требуются относительно неглубокие и широкие канавки) резку выполняют ручными резаками большой длины — РПА и РПК. Резаки имеют одинаковую конструкцию, первые работают на ацетилене, вторые — на газозаменителях.

Преимуществами процесса поверхностной кислородной резки по сравнению с другими способами удаления дефектов являются высокая производительность процесса, позволяющая удалять до 5 кг стали за 1 мин при ручной резке; возможность визуального обнаружения дефектов, которые четко выявляются на поверхности реза; отсутствие наклепа на обработанных поверхностях.

Вместе с тем при поверхностной кислородной резке, так же как и при разделительной, слои металла, прилегающие к поверхности реза, быстро нагреваются и охлаждаются, в результате чего на обработанной поверхности высокоуглеродистой и легированной сталей могут возникать трещины, располагающиеся обычно поперек канавки. Трещины могут образоваться в процессе зачистки, в период охлаждения заготовки или спустя некоторое время после остывания. Вероятность образования трещин тем выше, чем больше размеры канавки (особенно ее глубина), чем выше в стали содержание углерода и других легирующих элементов, по-

вышающих склонность металла к закалке, и чем больше скорость охлаждения металла после резки. Возможность образования трещин устраняют путем предварительного нагрева заготовок.

При поверхностной резке металл в начальной точке нагревается до температуры воспламенения. Благодаря значительному расширению струи кислорода на выходе из мундштука канавка на поверхности заготовки имеет бóльшую ширину, чем выходной диаметр сопла, а ее глубина в значительной степени зависит от угла наклона мундштука к поверхности заготовки, скорости перемещения резака и расхода режущего кислорода. При этом чем больше угол наклона мундштука, тем шире канавка и тем меньше ее глубина; чем выше скорость перемещения резака, тем мельче канавка.

В случае необходимости обработки поверхности целиком резку начинают с одной из узких кромок. Резак с зажженным, отрегулированным пламенем устанавливают вблизи кромки изделия. Мундштук устанавливают под углом 80° к поверхности с наклоном в сторону, обратную направлению перемещения резака; расстояние между мундштуком и поверхностью заготовки составляет примерно 10 мм. После прогрева кромки открывают вентиль режущего кислорода и одновременно устанавливают резак под углом $15...20^\circ$; при этом ось мундштука должна совпадать с направлением перемещения резака. При поверхностной резке металла опорное кольцо мундштука скользит по поверхности заготовки, благодаря чему расстояние между мундштуком и металлом поддерживается постоянным. При обработке всей поверхности заготовки поверхностную резку выполняют в несколько проходов.

Если с поверхности заготовки необходимо удалить местный дефект, то мундштук резака устанавливают на расстоянии 20...50 мм от места расположения дефекта. Начинают поверхностную резку, как было указано ранее. Следует иметь в виду, что нельзя задерживать резак в месте начала резки, так как это приводит к образованию глубоких выхватов. Поверхностную резку необходимо выполнять по возможности за один прием, без перерывов. Для ускорения начала резки в пламя можно подавать стальной пруток. Капли расплавленного металла позволяют быстро начать процесс, не дожидаясь нагрева металла поверхности до температуры воспламенения. Это имеет особое значение при использовании газов-заменителей.

В табл. 7.7 приведены ориентировочные режимы поверхностной резки заготовок из низкоуглеродистой и низколегированной

Таблица 7.7. Режимы поверхностной резки заготовок резаками РПА и РПК

Номер мундштука	Давление кислорода перед резаком, кПа	Расход кислорода, $\text{дм}^3/\text{ч}$	Скорость зачистки, м/ч	Производительность, кг/ч	Размеры канавок, мм	
					Ширина	Глубина
1	294...588	18 000...40 300	40...468	1,0...3,0	15...30	2...12
2	294...784	20 200...55 400	40...600	1,2...3,5	18...35	2...16
3	343...980	30 200...75 600	40...600	2,6...4,5	30...50	2...20

сталей резаками РПА и РПК при использовании кислорода чистотой 98,5 %.

При вырезке канавок, как и при поверхностной кислородной резке, мундштук в начальный момент располагают под некоторым углом к обрабатываемой поверхности. При выборке канавок угол наклона мундштука к поверхности металла должен быть больше, чем при поверхностной резке металла (20...25°). Как только образуется канавка при пуске струи режущего кислорода, мундштук опускают в образовавшееся углубление и равномерно перемещают в направлении резки. Этот процесс применяют для удаления не только корней сварных швов, но и дефектных участков сварных швов, а также для разделки трещин.

Кислородно-флюсовая резка. Ранее было показано, что не все виды стали могут быть разрезанным обычной кислородной резкой. Повышение содержания в стали легирующих элементов, прежде всего хрома, приводит к тому, что в образующейся жидкой пленке на поверхности реза содержится большое количество тугоплавких оксидов хрома (до 20 %). Температура плавления хромистых железняков с таким содержанием хрома составляет примерно 2 000 °С, что значительно превышает температуру плавления разрезаемой стали. Кроме того, хромистые железняки обладают высокой вязкостью расплава, что препятствует процессам обмена между кислородом режущей струи и пленкой жидкого расплава, т.е. его окислению.

Для кислородной резки высоколегированной стали необходимо обеспечить расплавление и перевод в шлак образующихся тугоплавких оксидов, что может быть достигнуто путем повышения температуры в резе или перевода шлаков в более легкоплавкие соединения. Известны различные способы резки высоколегиро-

ванной стали, реализующие указанные направления воздействия на тугоплавкие оксиды: использование высокотемпературных дуговых и плазменных процессов резки или кислородно-флюсовой резки.

Кислородно-флюсовую резку широко используют при резке заготовок из листового проката, отрезке прибылей, резке слитков на мерные длины и др. Сущность процесса кислородно-флюсовой резки заключается в том, что в зону резки вводят порошкообразный флюс, который, поступая в рез, сгорает в струе кислорода и значительно повышает температуру лобовой поверхности в резе. Кроме того, его продукты окисления сплавляются с оксидами поверхностной пленки и образуют шлаки с более низкой температурой плавления, довольно легко удаляемые из реза.

В качестве флюса используют железный порошок (ГОСТ 9849—86) или смеси порошков железа, магния, алюминия и силикокальция (табл. 7.8).

С повышением содержания углерода в железном порошке его температура в зоне резки снижается, тогда как температура воспламенения повышается. Вследствие этого скорость резки уменьшается, а расход железного порошка возрастает. На процесс резки влияет также содержание в железном порошке кислорода, который присутствует в нем в виде оксидов, тормозящих процесс резки, поскольку на их нагрев расходуется дополнительное количество теплоты.

В то же время при кислородно-флюсовой резке флюсонесущим газом служит кислород. При использовании флюса высокой чистоты порошок может воспламениться на выходе из флюсоподающих трубок, что приводит к прекращению его доступа в зону реакции.

Таблица 7.8. Составы флюсов, применяемых для резки высоколегированной хромистой и хромоникелевой сталей

Резка	Содержание, мас. %				
	Железный порошок	Алюминиевый порошок	Алюминиево-магниевый порошок	Порошок силикокальция	Порошок ферросилиция
Разделительная	100	—	—	—	—
	80...90	10...20	—	—	—
	—	—	60...80	—	20...40
Поверхностная	100	—	—	—	—
	—	—	25...30	70...75	—

В соответствии с ГОСТ 9849—86 железные порошки по гранулометрическому составу разделены на крупные (размер частиц 0,45...2,5 мм), средние (0,16...0,45 мм), мелкие (0,07...0,16 мм) и особо мелкие (0,045...0,07 мм). Гранулометрический состав характеризует сыпучесть порошка. Порошок, состоящий из мелких частиц, имеет более высокую сыпучесть. Так, сыпучесть мелких порошков составляет 45...50 с/100 г, средних — 20...25 с/100 г.

Выбор гранулометрического состава порошка для кислородно-флюсовой резки определяется конструктивными особенностями флюсоподающей системы. Для флюсопитателей с вихревыми циклонными камерами, применяющимися главным образом в нашей стране, используют мелкий железный порошок, для флюсопитателей инжекторного типа — средний и крупный. В соответствии с указанным стандартом эти порошки имеют следующее обозначение: ПЖ4М, ПЖ5М, ПЖ4С, ПЖ5С, ПЖ4К, ПЖ5К.

В большинстве случаев при кислородно-флюсовой резке высоколегированной стали применяют железные порошки. При резке специальных материалов можно использовать другие флюсы. Так, при резке никелевых сплавов, а также бетона применяют смеси железного и алюминиевого порошков, при поверхностной резке высокохромистой стали — смеси железного порошка и силикокальция. Добавление к железному порошку алюминия повышает температуру расплава в резе и увеличивает его жидкотекучесть.

Особенности технологии кислородно-флюсовой резки. Последовательность выполнения технологических операций такая же, как и при обычной кислородной резке, с тем лишь различием, что подача флюса осуществляется через 1...2 с после зажигания подогревающего пламени. Расход флюса устанавливает оператор, заранее регулируя давление флюсонесущего газа в бачке и зазор между седлом и штоком в соответствии с толщиной разрезаемого металла. Правильность выбора расхода флюса можно установить визуально при осмотре верхней кромки реза: на этом участке остаются небольшие валики расплавленного железного порошка (рис. 7.16). Малый расход флюса замедляет процесс резки из-за недостаточного количества теплоты, выделяющейся в резе, и увеличенной вязкости шлака. Повышенный расход флюса вызывает увеличение размера валиков и также снижает скорость резки.

Для успешного протекания процесса необходимо, чтобы расстояние между мундштуком и металлом было достаточным для прогрева флюса пламенем перед его поступлением в струю режущего кислорода. В связи с этим при кислородно-флюсовой резке

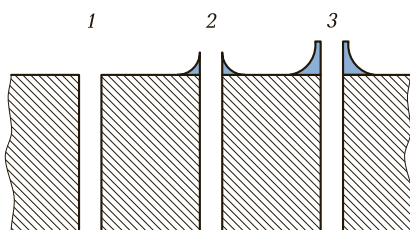


Рис. 7.16. Влияние расхода флюса на формирование реза:

- 1 — недостаток подачи флюса; 2 — нормальный расход флюса;
3 — избыток подачи флюса

высоколегированной стали обычной толщины (до 300 мм) мундштук устанавливают на большем расстоянии (примерно 25 мм) от поверхности металла. При резке листового металла с кромки резака устанавливают перпендикулярно к поверхности металла на краю листа. После подогрева кромки до температуры воспламенения включают подачу флюса и режущего кислорода. Продолжительность нагрева металла при кислородно-флюсовой резке значительно меньше, чем при кислородной, поэтому процесс можно начинать без остановки резака на кромке.

Подача железного порошка или других флюсов в рез требует дополнительного количества горючего газа и режущего кислорода, так как флюс перед поступлением в рез должен быть расплавлен и в резе окислен. В табл. 7.9 приведены режимы механизированной резки коррозионно-стойкой стали 08X18H12T при чистоте кислорода 99,2 %.

Кислородно-флюсовая резка чугуна, меди и ее сплавов. Одним из основных условий протекания процесса кислородной резки является соблюдение следующего требования: температура плавления металла должна быть ниже температуры его воспламенения в струе кислорода. Железоуглеродистый сплав с высоким содержанием углерода — чугун — этому требованию не удовлетворяет. Под действием пламени резака чугун можно лишь расплавить, процесс интенсивного окисления сплава не наступает. В связи с этим резку чугуна обычно выполняют кислородно-флюсовым способом. Введением в зону резки железного порошка достигается повышение температуры расплава на лобовой поверхности реза и, как следствие, его жидкотекучести. Кроме того, дополнительное количество оксида железа, поступающего в жидкий расплав, снижает содержание в нем углерода, вследствие этого расплав начинает интенсивно окисляться. Для снижения вязкос-

Таблица 7.9. Режимы кислородно-флюсовой резки коррозионно-стойкой стали

Показатель	Толщина металла, мм						
	10	20	30	40	60	80	100
Давление кислорода, кПа	588... 686	588... 686	686... 784	490... 588	588... 686	490... 588	490... 588
Расход, дм ³ /ч:							
режущего кислорода	5 800	8 500	10 700	12 600	16 100	18 600	21 100
подогревающего кислорода	800	1 000	1 100	1 100	1 200	1 200	1 200
ацетилена	750	800	900	900	1 000	1 000	1 000
Скорость резки, м/ч:							
прямолинейной	45,7	33,8	27,7	24,1	19,8	17,3	16,2
фигурной	28,4	20,9	17,3	15,1	12,6	10,8	10,0
Отставание при резке, мм:							
прямолинейной	3	6	9	12	18	24	30
фигурной	1	2	3	4	6	8	10

ти шлаков, образующихся в резе, к железному порошку добавляют феррофосфор, ферросилиций.

При кислородно-флюсовой резке чугуна под воздействием циклов нагрева и охлаждения на поверхности реза и в ЗТВ происходят изменения структуры металла с образованием высокопрочных составляющих — цементита и др. (отбеливание чугуна). В связи с этим, если кромка изделия должна подвергаться последующей механической обработке, заготовку перед резкой нагревают до температуры 200...300 °С. Предварительный нагрев снижает также вероятность образования трещин на кромке.

Чугун является труднообрабатываемым материалом; скорость его резки в 2—4 раза ниже скорости резки низкоуглеродистой стали, а расход газов — выше (табл. 7.10).

Медь и ее сплавы также нельзя разрезать обычным кислородным способом вследствие низкого теплового эффекта реакции окисления и высокой температуры плавления оксидов, образующихся при резке. Для осуществления процесса необходимо получить в резе высокую температуру, обеспечивающую расплавление тугоплавких оксидов и их удаление из реза. Ввиду высокой теплопроводности меди и ее сплавов вдувание в рез железного порошка не обеспечивает необходимой температуры в резе, поэтому в состав флюса кроме железного порошка вводят алюминиевый порошок и феррофосфор. Увеличение до 30 % в составе флюса алюминиевого порошка повышает скорость резки, однако поверхность реза имеет невысокое качество. Более чистую поверхность можно получить при добавлении к железоалюминиевому порошку феррофосфора, который способствует образованию в резе легкоплавких шлаков с малой вязкостью.

Таблица 7.10. Режимы кислородно-флюсовой резки чугуна

Показатель	Толщина металла, мм						
	20	50	100	150	200	250	300
Удельный расход, дм ³ /м реза:							
кислорода	900	2 000	4 500	8 500	13 500	20 000	37 500
ацетилен	100	160	300	450	600	750	900
Удельный расход флюса, кг/м реза	2,0	3,5	6,0	9,0	11,5	14,0	17,0
Скорость резки, м/ч	7,9	5,4	3,0	2,1	1,8	1,5	1,2

Таблица 7.11. Режимы резки меди в холодном и подогретом состоянии

Толщина металла, мм	Состояние металла перед резкой	Расход флюса, кг/ч	Скорость резки, м/ч
20	Металл холодный	16,8	4,8
	Металл нагрет до темно-красного свечения	12,0	7,2
50	Металл холодный	20,4	1,5
	Металл нагрет до темно-красного свечения	16,8	2,7

Скорость резки меди и ее сплавов существенно увеличивается при подогреве заготовок. Приведенные в табл. 7.11 данные показывают, что скорость резки нагретого металла возрастает примерно на 50 % при соответственном сокращении расхода флюса.

Высокая теплопроводность меди и ее сплавов затрудняет процесс резки, поэтому мощность подогревающего пламени увеличивают в 4—6 раз по сравнению с его мощностью при кислородно-флюсовой резке высокохромистой стали той же толщины.

Следует отметить, что в настоящее время для резки проката из медных сплавов широко применяют плазменно-дуговые способы, обеспечивающие более высокие производительность и качество поверхности кромки. Однако если необходимо разрезать заготовку большой толщины, то по-прежнему используют кислородно-флюсовый способ.

Поверхностная кислородно-флюсовая резка. Для повышения качества проката слитки, слябы, блюмы из высоколегированной стали подвергают местной или сплошной зачистке в целях удаления раковин, газовых пор, пригара, трещин, располагающихся, как правило, на поверхности заготовок. По технологии поверхностная кислородно-флюсовая резка высоколегированной стали мало отличается от поверхностной кислородной резки низкоуглеродистой стали. Машинные или ручные резаки оснащают приставками для подачи флюса, а установки — флюсопитателями. Как и кислородная резка низкоуглеродистой стали, процесс поверхностной кислородно-флюсовой резки выполняется с более высокими скоростями, чем разделительная. В качестве флюса используют порошки ПЖ4М, ПЖ5М или алюминиево-магниевый порошок с ферросилицием или силикокальцием. При этом алюми-

ниевом-магниевого порошка, сгорая в струе кислорода, обеспечивает высокую температуру расплава, выдуваемого из реза, а ферросилиций и силикокальций способствуют повышению жидкотекучести шлаков. Этим достигается более высокая чистота поверхности реза, чем при использовании в качестве флюса только железного порошка.

Резка металла кислородным копьём. Сущность этого процесса заключается в том, что в стальную трубу, разогретую на конце пламенем ацетиленокислородной горелки или каким-либо другим источником теплоты, подается кислород. Жидкие оксиды, образующиеся при горении концевой части трубы, разогревают материал до температуры плавления; кроме того, они реагируют со многими тугоплавкими материалами, образуя жидкотекучие шлаки. Струей кислорода шлаки удаляются из отверстия в зазор между образовавшимся отверстием и поверхностью трубы.

Копье представляет собой толстостенную цельнотянутую трубу с наружным диаметром 20...35 мм либо тонкостенную стальную трубу, в которую вставлена стальная проволока диаметром 3...4 мм, с заполнением 60...65 % площади внутреннего сечения трубы. Питание кислородом копыя осуществляется от цеховой магистрали или рампы. Давление на входе в копьё составляет 588...1 470 кПа.

При прожигании отверстия копьё прижимают к обрабатываемому материалу с усилием, необходимым для преодоления сопротивления застывающих шлаков. В процессе горения копьё непрерывно укорачивается, причем в зависимости от толщины прожигаемого материала расход трубы может быть в 5—25 раз больше длины полученного отверстия. В целях ускорения процесса прожигания отверстия не рекомендуется совершать возвратно-поступательные движения копьём вдоль линии реза, необходимо лишь периодически поворачивать копьё вокруг оси на угол 10...15° в обе стороны. Для улучшения условий удаления шлака из отверстия резку бетона лучше выполнять снизу вверх или под углом до 10° к горизонтали.

Наибольшую производительность прожигания отверстий в материалах обеспечивает процесс порошково-копьевого реза, который сочетает характерные особенности обычного кислородного копыя, проникающего непосредственно в зону расплавления материала, и кислородно-флюсовой резаки.

Подводная резка. Этот вид реза применяют при судоремонтных, судоподъемных, аварийно-спасательных и восстановитель-

ных работах. Подводные работы выполняют при помощи кислородной, воздушно-плазменной, дуговой и электрокислородной резки. Наибольшее распространение получила кислородная резка с использованием жидкого горючего (бензина).

Для резки металла под водой на глубине до 30 м применяют переносную установку БУПР, которая включает в себя резак; пульт управления, состоящий из газовых редукторов и щита управления с электрозапалом; змеевики и рампу для подключения баллонов; бронированные шланги для кислорода и бензина; электрозапал для зажигания пламени под водой; батарею щелочных аккумуляторов для питания электрозапала постоянным током напряжением 12 В.

Бензин подается в резак давлением азота. Пламя резака зажигают под водой. После зажигания его регулируют по мощности и составу; при этом резак плотно прижимают к обрабатываемой поверхности для оттеснения воды от места начала резки. Регулируя подачу бензина, устанавливают пламя с типичным красноватым оттенком. Недостаток бензина вызывает желтую, избыток — голубую окраску пламени. Если появились искры, то это означает, что место начала резки прогрето достаточно и можно начинать резку, открыв вентиль режущего кислорода. Для процесса резки характерны красноватое свечение и образование водоворота. В процессе резки необходимо по возможности резак перемещать равномерно.

Таблица 7.12. Режимы кислородной резки стали под водой на установке БУПР

Толщина металла, мм	Скорость резки, м/ч	Удельный расход	
		кислорода, дм ³ /м реза	бензина, л/м реза
10	24,0 ... 30,0	1 200	0,8
20	12,0 ... 15,0	2 400	1,8
40	6,0 ... 8,0	4 800	4,3
60	4,0 ... 5,0	7 000	7,2
80	3,0 ... 3,6	10 000	11,0
100	2,5 ... 3,0	12 000	14,0

Плотное прилегание мундштука к поверхности металла обуславливает интенсивный разогрев металла в зоне газового пузыря. Вследствие этого верхние кромки реза оплавляются, и рез принимает форму конуса. При подводной резке ширина реза больше, чем при обычной кислородной резке на воздухе.

Производительность резки зависит от толщины разрезаемого металла, квалификации резчика, удобства работы в зоне резки, прозрачности воды и др. Режимы кислородной резки стали под водой приведены в табл. 7.12.

В целях улучшения условий резки под водой применяют резки, обеспечивающие создание газового пузыря в зоне резки (рис. 7.17). Для образования пузыря используют воздух, азот, углекислый газ и др. Поступающий по трубке 4 воздух оттесняет из зоны резки воду, чем обеспечиваются улучшение условий нагрева поверхности металла пламенем резака и повышение скорости резки на 30...50 %.

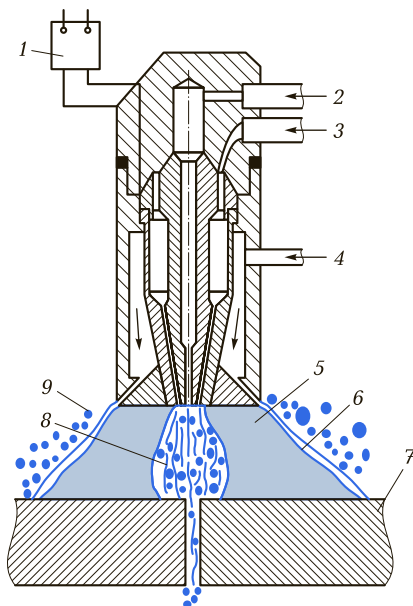


Рис. 7.17. Схема подводной кислородной резки с газовым пузырем:

- 1 — запальник; 2—4 — трубки для подачи режущего кислорода, горючей смеси и воздуха соответственно; 5 — газовый пузырь;
- 6 — поток воздуха; 7 — разрезаемый металл; 8 — пламя;
- 9 — пузырьки воздуха

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность процесса газовой резки металлов?
2. Какие условия определяют возможность протекания процесса газовой резки?
3. Какие функции выполняет подогревающее пламя?
4. Какие условия необходимы для осуществления резки металла газоокислительным пламенем?
5. Какие условия определяют разрезаемость стали кислородом?
6. Каковы особенности пакетной резки тонкого металла?
7. Укажите технологические особенности резки титана и его сплавов.
8. Каковы особенности резки стали большой толщины?
9. Перечислите меры для повышения производительности и качества резки.
10. В каких случаях применяют резку кислородом высокого давления?
11. В чем заключаются особенности поверхностной кислородной резки?
12. Какова сущность процесса кислородно-флюсовой резки?
13. Опишите сущность процесса резки металлов кислородным копьем.
14. В чем состоит сущность процесса подводной кислородной резки с газовым пузырем?

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

8.1. СХЕМЫ ПОСТОВ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

Выбор схем газопитания сварочного поста зависит от состава горючей смеси и принципа работы аппаратуры. При использовании инжекторной аппаратуры с ацетиленокислородным пламенем пост оборудуют по схемам, показанным на рис. 8.1.

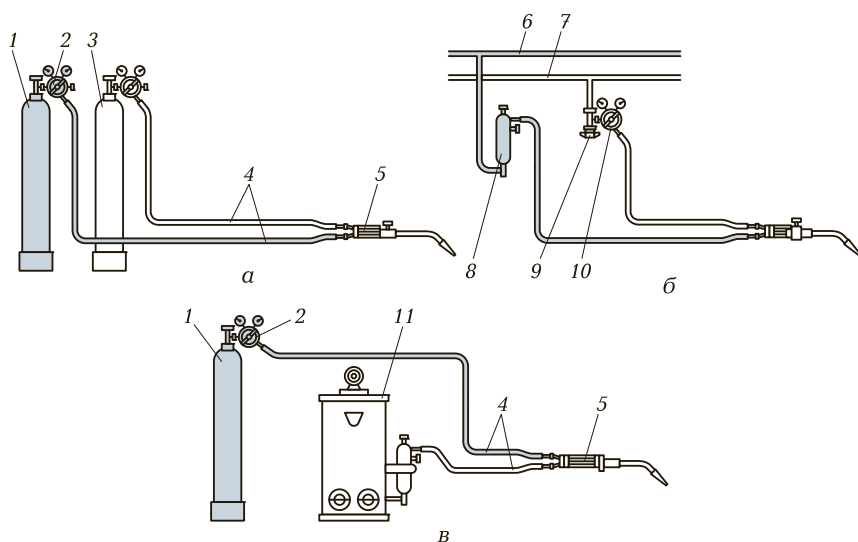


Рис. 8.1. Схемы газопитания сварочного поста:

а — от баллонов; *б* — от газопроводов; *в* — от ацетиленового генератора; 1 — баллон с кислородом; 2 — кислородный редуктор; 3 — баллон с ацетиленом; 4 — шланги; 5 — горелка; 6 — кислородный трубопровод; 7 — ацетиленовый трубопровод; 8 — водяной затвор; 9 — кислородный вентиль; 10 — кислородный постовой редуктор; 11 — ацетиленовый генератор

Основное назначение аппаратуры, входящей в состав сварочного поста, заключается в обеспечении подвода горючих газов к сварочной горелке с заданным расходом и предотвращении попадания пламени в баллоны с горючими газами при аварийном обратном ударе пламени.

В зависимости от назначения сварочные посты могут быть передвижными или стационарными. Передвижные сварочные посты могут быть собраны в любом месте на предприятии или в цехе. На стационарных сварочных постах питание газом осуществляется централизованно; при этом к местам потребления газ подается по газопроводам.

Для питания сварочных постов ацетиленом его получают в ацетиленовых генераторах из карбида кальция и воды либо подают из баллона (или централизованной магистрали).

8.2. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Согласно ГОСТ 5190—78 ацетиленовые генераторы классифицируют по давлению вырабатываемого ацетилена, производительности, конструкции, применяемой системе регулирования взаимодействия карбида кальция с водой.

Генераторы низкого давления изготавливают на давление ацетилена до 0,01 МПа, генераторы среднего давления — на давление ацетилена 0,01...0,07 МПа. Выпускают также генераторы на давление ацетилена 0,07...0,15 МПа; они относятся к генераторам среднего давления, но имеют более высокую производительность.

По расчетной производительности генераторы изготавливают на 0,5; 0,75; 1,25; 2,5; 3,5; 10; 20; 40; 30; 160 и 320 м³/ч.

По конструкции генераторы выполняют передвижными и стационарными. Передвижные генераторы имеют производительность до 3 м³/ч.

По системе регулирования взаимодействия карбида кальция с водой генераторы изготавливают с количественным регулированием взаимодействующих веществ и с регулированием продолжительности контакта кальция с водой, которое называется переменным регулированием.

В генераторах с количественным регулированием применяют дозирование карбида кальция или воды. Если дозируется карбид кальция, а вода в зоне реакции находится в постоянном количе-

стве, то система называется «карбид в воду». При дозировании воды и одновременной нагрузке всего количества карбида кальция система называется «вода на карбид».

Применяют также комбинированную систему, при которой дозируют оба вещества.

В генераторах с повременной системой регулирования контакт карбида кальция с водой происходит периодически, с определенными перерывами. Подвижным веществом обычно является вода. Такие генераторы относятся к работающим по системе «вытеснения».

Применяют также сочетание двух указанных систем в одном генераторе в целях более плавного регулирования газообразования и уменьшения выброса газа в атмосферу.

В зависимости от способа взаимодействия карбида кальция с водой генераторы принято кратко обозначать следующим образом:

- КВ — «карбид в воду»;
- ВК — «вода на карбид»;
- ВК и ВВ — комбинированные «вода на карбид» и «вытеснение воды».

Конструкции различных ацетиленовых генераторов приведены на рис. 8.2.

В соответствии с ГОСТ 519—78 промышленностью выпускаются передвижные ацетиленовые генераторы типа АСП-10 (это ацетиленовый генератор среднего давления, передвижной, производительностью 1,25 м³/ч) и стационарные генераторы типов АСК-3, АСК-4, АСК-5, ГНД-20, ГНД-40.

Каждый тип ацетиленового генератора имеет свои достоинства и недостатки. Не все типы генераторов находят равноценное применение, однако можно применять любой генератор, находящийся в исправном рабочем состоянии.

Наиболее предпочтительными являются генераторы комбинированной системы «вода на карбид» и «вытеснения воды».

Генератор рассчитывают для работы на карбиде кальция с кусками определенных размеров. Разложение карбида кальция в генераторе должно регулироваться автоматически, в зависимости от расхода газа. Генератор должен обладать высоким коэффициентом полезного использования карбида кальция (в соответствии с паспортом на карбид данного сорта). Современные генераторы имеют коэффициент полезного использования карбида кальция до 0,98.

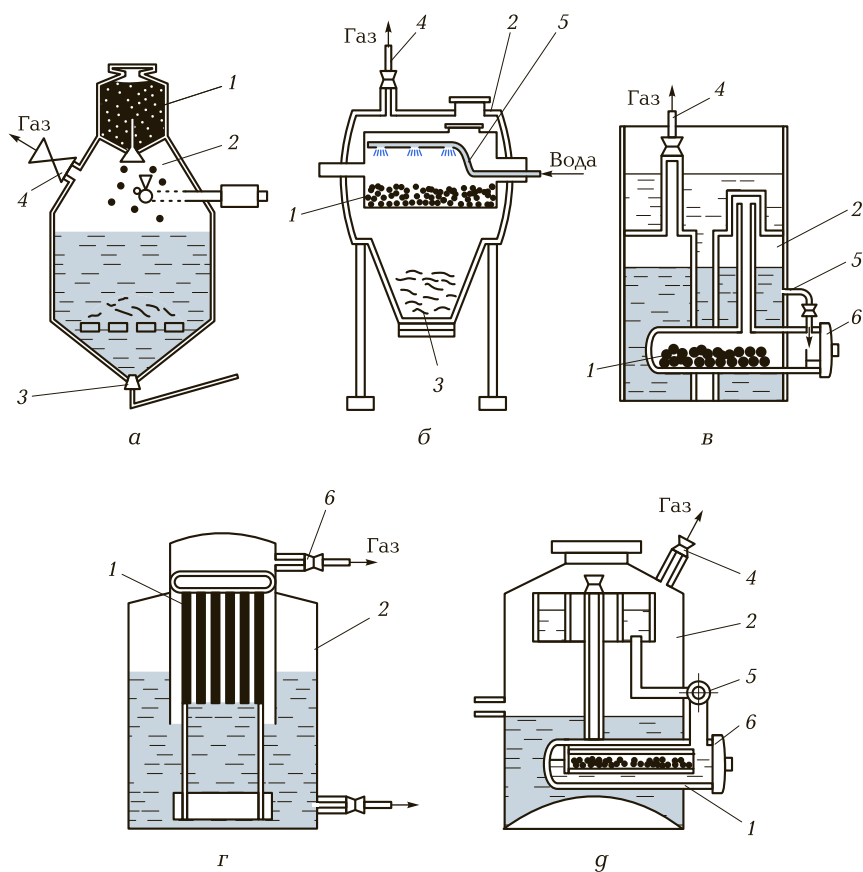


Рис. 8.2. Схемы ацетиленовых генераторов:

а — «карбид в воду»; *б* — «вода на карбид»; *в* — «вытеснение воды»; *г, д* — комбинированные системы; 1 — бункер или барабан с карбидом кальция; 2 — газосборник; 3 — спуск газа; 4 — штуцер для отбора газа; 5 — система подачи воды; 6 — реторта

Избыточное давление в генераторе не должно превышать 0,15 МПа.

Во избежание выброса ацетилена в помещение при внезапном прекращении отбора газа генератор должен быть герметичным и иметь газосборник достаточного объема. Кроме того, генератор должен обеспечивать хорошую очистку получаемого газа.

Рассмотрим устройство и работу генератора АСП-10, представленного на рис. 8.3. Корпус состоит из трех частей: верхней — газообразователя, средней — вытеснителя и нижней — промывателя и газосборника. Верхняя часть с нижней соединены между собой переливной трубкой 4. В газообразователе происходит разложение карбида кальция водой с выделением ацетилена. В вытеснителе формируется воздушная подушка, которая в процессе работы генератора контактирует с водой в газообразователе.

В промывателе происходят охлаждение ацетилена и его отделение от частичек извести. В верхней части промывателя скапливается ацетилен. Эта часть аппарата называется газосборником.

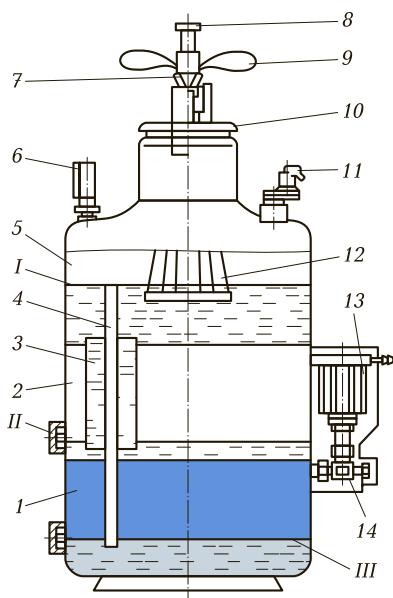


Рис. 8.3. Схема передвижного ацетиленового генератора АСП-10:
 1 — промыватель; 2 — вытеснитель; 3 — патрубок; 4 — переливная трубка; 5 — газообразователь; 6 — манометр; 7 — винт; 8 — шток; 9 — рукоятка; 10 — крышка; 11 — предохранительный клапан; 12 — корзина для карбида кальция; 13 — предохранительный сухой затвор; 14 — вентиль; I, II, III — уровни воды соответственно в газообразователе, вытеснителе и промывателе

Вода в газообразователь заливается через горловину. При достижении уровня переливной трубки 4 вода поступает из газообразователя в промыватель. Заполнение промывателя происходит до уровня II.

Карбид загружают в корзину 12, закрепляют поддон корзины, устанавливают и прижимают крышку 10 с мембраной усилием, создаваемым винтом 7. Образующийся в газообразователе ацетилен по трубке 4 поступает в промыватель, проходит через слой воды, охлаждается и промывается. Из промывателя ацетилен проходит через вентиль по шлангу и поступает через предохранительный затвор 13 на потребление.

Регулирование процесса разложения карбида кальция в газообразователе происходит одновременно двумя способами: вертикальным движением корзины с карбидом кальция в воду и за счет работы вытеснителя.

По мере повышения давления в газообразователе корзина с карбидом, связанная с пружиной мембраны, перемещается вверх, уровень орошения карбида уменьшается, выработка ацетилена ограничивается и повышение давления прекращается.

При снижении давления в газообразователе усилием пружины мембрана и корзина с карбидом опускаются в воду. Таким образом, с помощью мембраны с пружиной осуществляется автоматическое регулирование давления ацетилена в аппарате.

Давление в аппарате одновременно регулируется вытеснением воды из газообразователя в вытеснитель через патрубков 3 и обратно.

По мере выделения ацетилена давление в газообразователе возрастает, вода переливается в вытеснитель. Уровень воды в газообразователе понижается, и корзина с карбидом оказывается выше уровня воды; при этом реакция разложения карбида кальция водой прекращается.

При понижении давления в газообразователе вода из вытеснителя поднимается вверх и вновь происходит орошение карбида в газообразователе.

Предохранительный клапан 11 служит для сброса избыточного давления ацетилена. В месте присоединения клапана к корпусу установлена сетка для задержания частиц карбида.

Вентиль 14 служит для пуска и регулирования подачи ацетилена к потребителю. Давление ацетилена в газообразователе контролируется манометром 6.

Слив ила из газообразователя и воды, содержащей ил, из промывателя осуществляется через вентиль 14.

8.3. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ И ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

Предохранительными затворами называют устройства, предназначенные для защиты ацетиленовых генераторов и трубопроводов для горючих газов от обратного удара пламени.

Обратным ударом называется проникание пламени внутрь каналов сопла горелки или резака и распространение его на

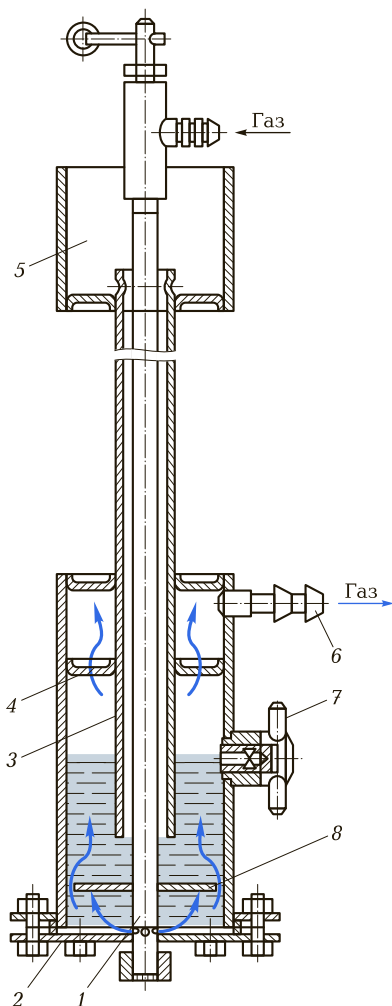


Рис. 8.4. Конструкция жидкостного затвора низкого давления открытого типа:

1 — газоподводящая трубка; 2 — съемное днище; 3 — наружная трубка; 4 — каплеотбойник; 5 — воронка; 6 — ниппель; 7 — контрольный вентиль; 8 — рассекатель

встречу потоку горючей смеси. Вероятность обратного удара пламени в основном определяется соотношением между скоростью истечения смеси и так называемой нормальной скоростью воспламенения смеси. Нормальной скоростью воспламенения или скоростью горения называется скорость распространения пламени, направленная перпендикулярно к поверхности фронта пламени в данной точке. Внешне обратный удар характеризуется резким хлопком и гашением пламени. Основными причинами обратных ударов являются перегрев наконечника и засорение мундштука, при которых скорость истечения горючей смеси резко снижается и делается меньше скорости воспламенения.

Ацетиленовые жидкостные затворы классифицируют по следующим признакам: по пропускной способности — 800; 1 250; 2 000; 3 200 $\text{дм}^3/\text{ч}$; по предельному давлению — низкого давления (до 0,01 МПа) и среднего давления (0,01...0,15 МПа).

На рис. 8.4 приведена конструкция жидкостного затвора низкого давления открытого типа. Ацетилен поступает в затвор по

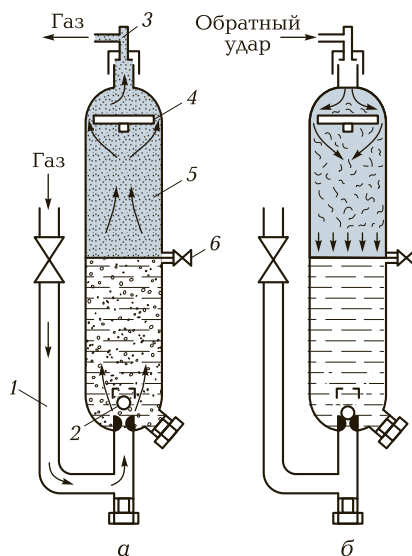


Рис. 8.5. Схема жидкостного затвора среднего давления закрытого типа:

а — нормальная работа; *б* — обратный удар; 1 — трубка; 2 — клапан; 3 — ниппель; 4 — диск; 5 — корпус; 6 — контрольный кран

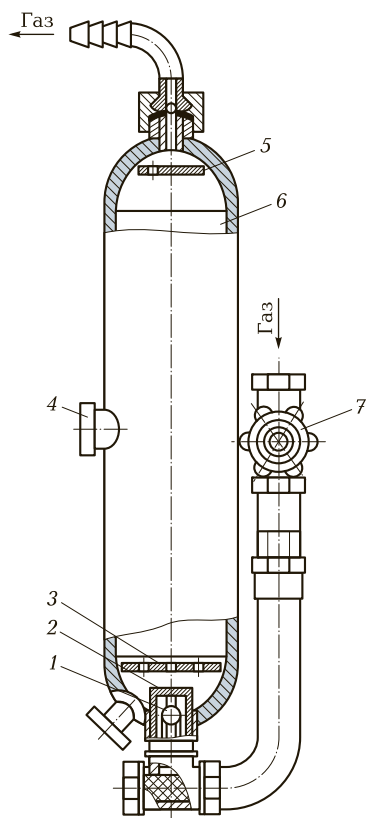


Рис. 8.6. Конструкция предохранительного жидкостного затвора ЗСП-8 для ацетилена среднего давления:

- 1 — обратный клапан; 2 — распределительный колпачок;
- 3 — рассекатель; 4 — пробка; 5 — каплеотбойник; 6 — корпус;
- 7 — вентиль

трубке 1, вытесняя своим давлением воду в наружную трубку 3, и выходит через ниппель 6 в горелку. Давление определяется высотой столба жидкости в затворе, находящейся на уровне контрольного вентиля 7, и ее верхним уровнем в кольцевом пространстве между трубками 1 и 3. При обратном ударе пламени вода из корпуса затвора вытесняется в трубку 1 и частично в воронку 5, заполняя собой всю трубку 1; этим создается гидравлический столб, препятствующий прохождению пламени через предохранительный затвор. По окончании обратного удара вода стекает в корпус затвора, и он снова готов к работе.

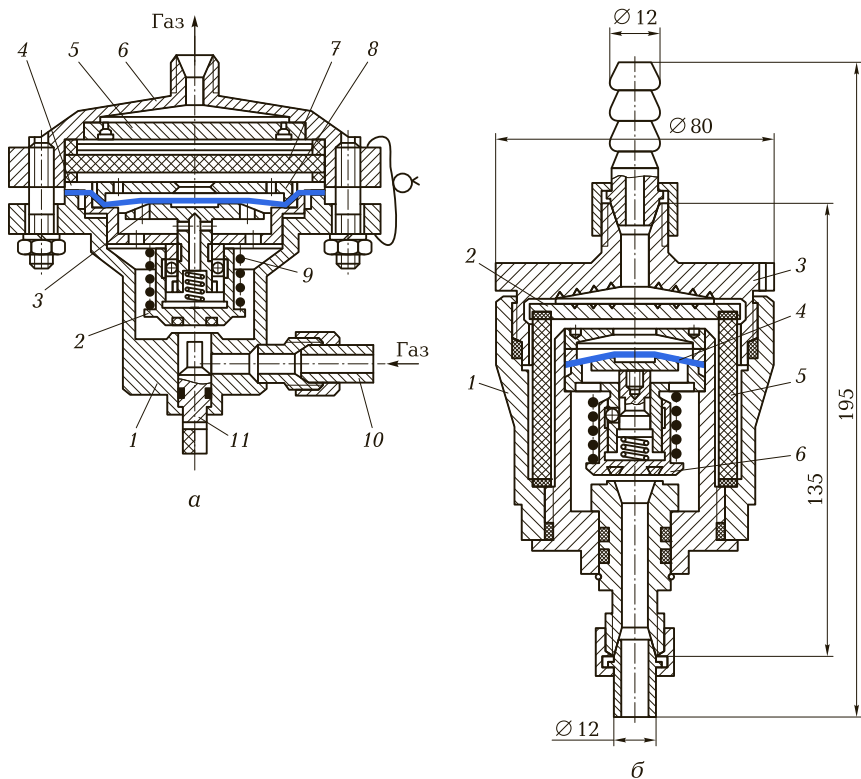


Рис. 8.7. Конструкции затворов сухого типа:

a – ЗСЗ-1: 1 – корпус; 2 – клапан; 3 – шток; 4 – мембрана; 5 – отбойник; 6 – крышка; 7 – пламегасящий элемент; 8 – шпилька; 9 – пружина; 10 – ниппель; 11 – шток; *б* – ЗСУ-1: 1 – корпус блока пламегашения; 2 – отбойник; 3 – крышка; 4 – обратный клапан; 5 – пламегасящий элемент; 6 – отсечной клапан

Максимальное давление для такого затвора определяется высотой трубок 1 и 3 и обычно не превышает 0,01 МПа. Иногда в целях предотвращения уноса воды и повышения надежности в работе газовый объем затвора заполняют керамическими кольцами.

Для генераторов и сварочных постов среднего давления (до 0,15 МПа) используют жидкостные затворы закрытого типа (рис. 8.5). Ацетилен проходит по трубке 1 через клапан 2 в корпус 5, заполненный водой до уровня контрольного крана б, и через ниппель 3 поступает в горелку. При обратном ударе пламени давле-

ние в затворе резко повышается, вода давит на клапан 2 и закрывает его, отключая трубопровод подвода газа. Одновременно волна взрыва гасится при ее прохождении через узкую щель между стенкой корпуса затвора и краем диска 4.

В настоящее время промышленность выпускает предохранительные жидкостные затворы типа ЗСП-8 (рис. 8.6). Недостатком жидкостных затворов является замерзание воды при работе на морозе. В зимнее время при работе на открытом воздухе в жидкостный затвор заливают морозоустойчивые водяные растворы: этиленгликоль — два объема, вода — один объем; глицерин — два объема, вода — один объем.

Сухие предохранительные затворы типа ЗСЗ-1 можно эксплуатировать при любой температуре окружающей среды. Затвор ЗСЗ-1 (рис. 8.7, а) состоит из корпуса 1 и крышки 6, которые крепятся между собой шпильками 8. Между крышкой и корпусом установлены отбойник 5, пламегасящий элемент 7, мембрана 4 и

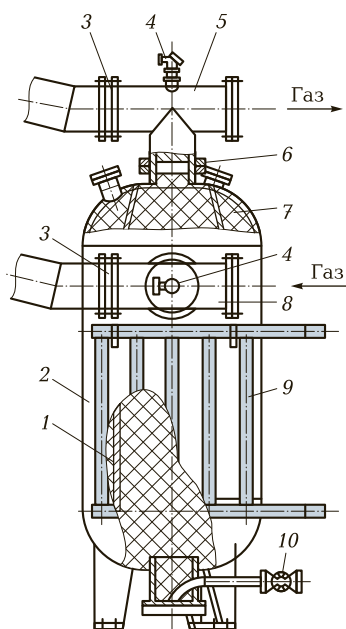


Рис. 8.8. Конструкция огнепреградительной башни:

- 1 — внутренняя труба; 2 — корпус; 3 — мембранные узлы;
- 4 — термометры; 5, 8, 9 — коллекторы; 6 — решетка;
- 7 — насадка; 10 — вентиль

клапан 2. Затвор приводится в рабочее состояние вводом штока 11. Газ по ниппелю 10 поступает в затвор, своим давлением отжимает мембрану 4 от штока 3 и через выходной ниппель поступает в горелку или резак.

При обратном ударе ударная волна пламени гасится на отбойнике 5, а пламя — в пламегасящем элементе 7. Мембрана 4 прижимается давлением пламени к штоку 3 и закрывает доступ горючего газа в корпус затвора. Под давлением горючего газа мембрана 4 давит на шток 3, который перемещается вниз, в результате чего под действием пружины 9 клапан 2 закрывает входное отверстие для доступа газа в затвор. Пропускная спо-

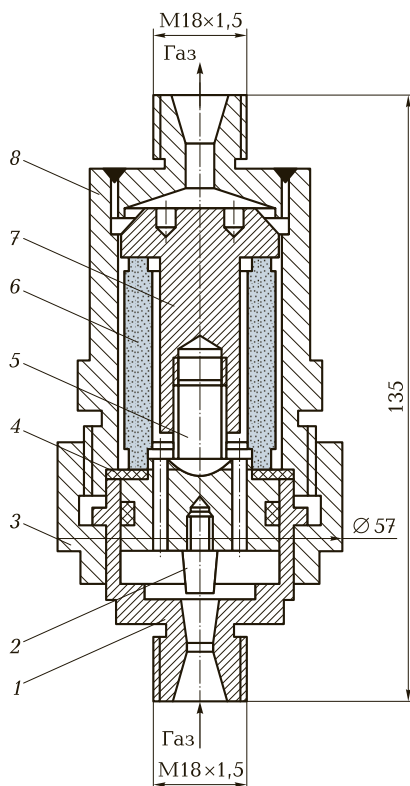


Рис. 8.9. Конструкция огнепреградителя типа ЗВП-1:

- 1 — седло; 2 — фторопластовый клапан; 3 — гайка;
- 4 — мембрана; 5 — стяжка; 6 — металлокерамический элемент;
- 7 — опорный шток; 8 — корпус

способность затвора при температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа — 5 000 дм³/ч, рабочее давление поступающего газа — 0,15 МПа.

На стационарных генераторах высокой производительности в состав оборудования ацетиленовых станций включают огнепреградительные башни (рис. 8.8) пропускной способностью до 320 000 дм³/ч, с сухим пламегасящим элементом. Для повышения надежности в работе огнепреградительная башня снабжена термомоэлектрическими датчиками и системой обогрева для работы в холодное время.

Для локализации взрывного распада ацетилена высокого давления часто применяют огнепреградители типа ЗВП-1 (рис. 8.9). Основным элементом огнепреградителя — пламегаситель, состоящий из металлокерамического элемента 6, опорного штока 7 и стяжки 5, на которой установлен фторопластовый клапан 2. Пламегаситель в сборе опирается на резиновую мембрану 4, края которой защемлены с помощью седла 1 и гайки 3.

При возникновении взрывного распада ацетилена под действием резко возросшего давления пламегаситель, деформируя мембрану, перемещается в сторону седла; при этом клапан перекрывает поток газа через огнепреградитель и пламя локализуется в порах металлокерамического элемента.

8.4. БАЛЛОНЫ ДЛЯ СЖАТЫХ ГАЗОВ, ВЕНТИЛИ ДЛЯ БАЛЛОНОВ

Стальные баллоны малого и среднего объема для газов на давление до 20 МПа соответствуют требованиям ГОСТ 949—73.

Баллоны вмещают различный объем газов с определенным давлением. Баллоны вместимостью до 12 дм³ относят к баллонам малого объема, вместимостью 20...50 дм³ — к баллонам среднего объема.

Баллоны, предназначенные для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов при температуре от –50 до +60 °С изготавливают из бесшовных труб.

Баллоны, рассчитанные на рабочее давление 10; 15 и 20 МПа, изготавливают из углеродистой стали, а баллоны, рассчитанные на рабочее давление 15 и 20 МПа, — из легированной стали.

Баллоны для кислорода выпускаются производством на расчетное давление 15 МПа, баллоны для ацетилена — на расчетное давление 10 МПа.

Наибольшее распространение имеют баллоны вместимостью 40 дм³.

По требованию заказчика баллоны могут не окрашиваться. Тем не менее клеймо должно быть отчетливо видно на сферической части у горловины баллона. В табл. 8.1 приведены цвета условной окраски баллонов для хранения и транспортирования газов.

Часть верхней сферы баллона не окрашивают; на ней выбивают паспортные данные: товарный знак предприятия-изготовителя; номер баллона; дату (месяц, год) изготовления и год следующего испытания, которые проводят каждые пять лет; массу полного баллона, кг; вместимость баллона, дм³; клеймо ОТК.

Баллоны для кислорода (рис. 8.10) при длине корпуса 1 390 мм имеют массу 43,5 и 60 кг. Для подсчета количества кислорода в баллоне необходимо вместимость баллона в кубических дециметрах умножить на давление газа в килограмм-силы на квадратный сантиметр. Например, при вместимости баллона 40 дм³ и давлении кислорода внутри баллона 15 МПа (150 кгс/см²) количество кислорода в баллоне $40 \cdot 150 = 6\,000$ дм³ (6 м³).

Нижней частью баллоны опираются на башмаки для предотвращения ударов по корпусу в процессе транспортирования и обеспечения устойчивого вертикального положения при установке на сварочном посту. Верхняя часть баллонов также защищена от случайных ударов толстостенными колпаками.

Баллон на сварочном посту устанавливают вертикально и закрепляют цепью или хомутом для предохранения от падения. При кратковременных монтажных работах баллон можно укладывать на землю так, чтобы вентиль был выше башмака баллона; для этого верхнюю часть баллона опирают на деревянную подкладку с вырезом.

Таблица 8.1. Цвета условной окраски баллонов для газовой сварки и резки

Газ	Цвет окраски	Текст надписи	Цвет надписи
Ацетилен	Белый	Ацетилен	Красный
Водород	Темно-зеленый	Водород	Красный
Кислород	Голубой	Кислород	Черный
Пропан	Красный	Пропан	Белый
Прочие горючие газы	Красный	(Наименование газа)	Белый

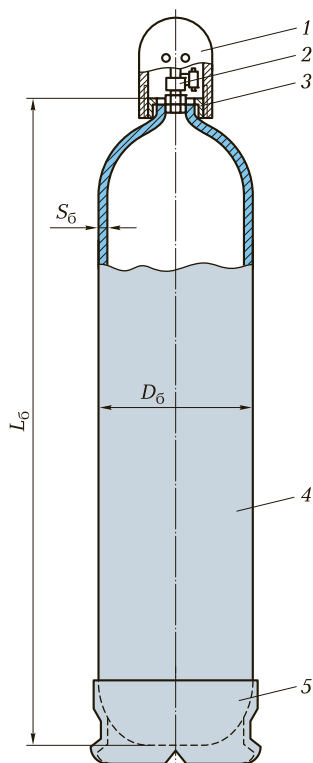


Рис. 8.10. Конструкция кислородного баллона:

1 — предохранительный колпак; 2 — запорный вентиль; 3 — кольцо; 4 — корпус; 5 — опорный башмак; L_6 , D_6 , S_6 — длина, диаметр и толщина стенки баллона соответственно

Баллон подготавливают к работе в следующем порядке: открывают колпак; отвинчивают заглушку штуцера; осматривают вентиль, чтобы убедиться в отсутствии следов масла. Если на вентиле замечено наличие масла, то таким баллоном пользоваться нельзя и сварщик должен отставить этот баллон и известить мастера или руководителя работ.

Если вентиль исправен, то его штуцер продувают кратковременным поворотом маховика на небольшой угол; при этом следует стоять сбоку от штуцера вентиля.

Если вентиль не открывается или имеет утечку газа (травит), то баллон необходимо отставить для возврата на кислородный завод.

Далее проверяют состояние накидной гайки редуктора и присоединяют редуктор к вентилю баллона, затем ослабляют регулирующий винт редуктора.

Медленным вращением маховика открывают вентиль баллона и устанавливают рабочее давление кислорода с помощью регулирующего винта редуктора. После этого можно производить отбор газа из баллона.

При понижении давления газа в редукторе газ охлаждается. Если в газе содержится влага, то может произойти замерзание каналов вентиля и редуктора. В этом случае вентиль и редуктор следует подогревать только горячей водой или паром.

Для безопасного хранения газа под высоким давлением ацетиленовые баллоны (рис. 8.11) заполняют специальной пористой

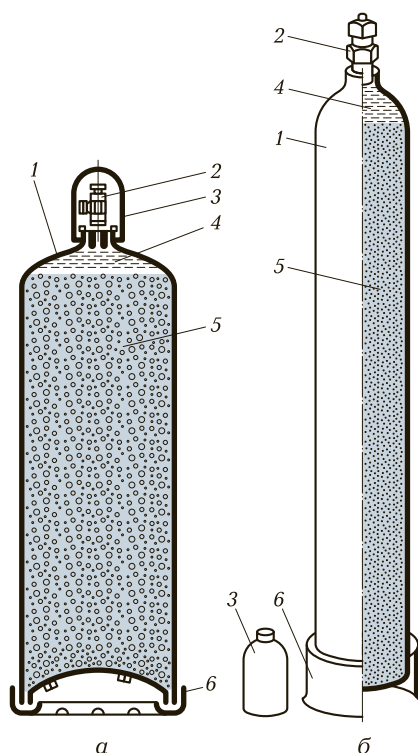


Рис. 8.11. Конструкции ацетиленовых баллонов:

- а* — сварного; *б* — бесшовного; 1 — корпус; 2 — запорный вентиль; 3 — предохранительный колпак; 4 — газовая подушка; 5 — пористая масса с ацетоном; 6 — опорный башмак

массой из древесного угля, пемзы, инфузорной земли и пропитывают ее ацетоном, в котором ацетилен хорошо растворяется. Находясь в порах массы, растворенный в ацетоне ацетилен становится взрывобезопасным, и его можно хранить в баллоне под давлением до 2,5...3,0 МПа (25...30 кгс/см²). Номинальное давление в баллоне для ацетилена — 1,9 МПа (19 кгс/см²) при температуре 20 °С.

При открывании вентиля баллона ацетилен выделяется из ацетона и в виде газа выходит через редуктор в шланг горелки. Ацетон остается в порах массы и вновь растворяет ацетилен при последующем наполнении баллонов газом.

Ацетилен из баллонов по сравнению с ацетиленом из генератора обеспечивает бóльшую безопасность при работе, имеет бо-

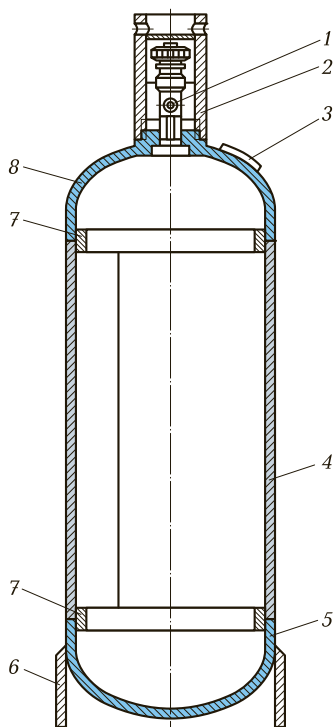


Рис. 8.12. Конструкция баллона для пропана и пропан-бутановой смеси:

- 1 — вентиль; 2 — колпак; 3 — табличка паспорта баллона;
- 4 — корпус; 5 — днище; 6 — опорный башмак; 7 — подкладные кольца; 8 — верхняя сфера

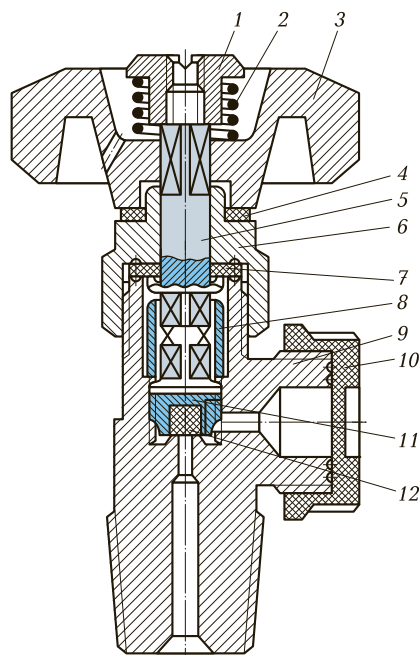


Рис. 8.13. Конструкция кислородного баллонного вентиля:

- 1 — гайка; 2 — пружина; 3 — маховик; 4, 7 — капроновые прокладки; 5 — шпindelь; 6 — накидная гайка; 8 — муфта; 9 — корпус вентиля; 10 — заглушка; 11 — корпус клапана; 12 — уплотнитель

более высокую чистоту, содержит меньше влаги, обеспечивает более высокое давление газа перед горелкой или резаком.

Для определения количества ацетилена необходимо взвешивать пустой и наполненный баллоны. Пустые баллоны должны храниться с плотно закрытыми вентилями, чтобы избежать утечки ацетона.

Баллоны для пропана и пропан-бутановой смеси (рис. 8.12) изготавливают сваркой из листовой углеродистой стали с толщиной стенки 3 мм и вместимостью 40 и 55 дм³. Баллоны рассчитаны на максимальное рабочее давление 1,6 МПа.

Вентили для кислородных баллонов изготавливают из латуни. Сталь для деталей вентиля, соприкасающихся с кислородом, применять нельзя, так как в среде сжатого влажного кислорода она подвергается сильной коррозии. В кислородном вентиле вследствие случайного попадания масла или при воспламенении от

трения самодельной прокладки сальника возможно возгорание стальных деталей, так как сталь может гореть в струе сжатого кислорода.

Латунь не горит в кислороде, ее применение в кислородных вентилях безопасно. Маховики, заглушки и другие детали вентиляей изготавливают из алюминиевых сплавов или пластмасс.

Кислородный вентиль (рис. 8.13) имеет сальниковое уплотнение с капроновой прокладкой 7, в которую буртиком упирается шпindel 5, прижимаемый пружиной 2 (при открытом клапане — давлением газа). Вращение маховика 3 передается клапану через муфту 8, надеваемую на квадратные хвостовики шпинделя и клапана.

Ацетиленовые вентили (рис. 8.14) изготавливают из стали, применение которой в среде ацетилена безопасно. В ацетиленовых вентилях запрещается применять медь и сплавы, содержащие более 70 % меди, так как с медью ацетилен может образовывать взрывчатое соединение — ацетиленистую медь. К ацетиленовому

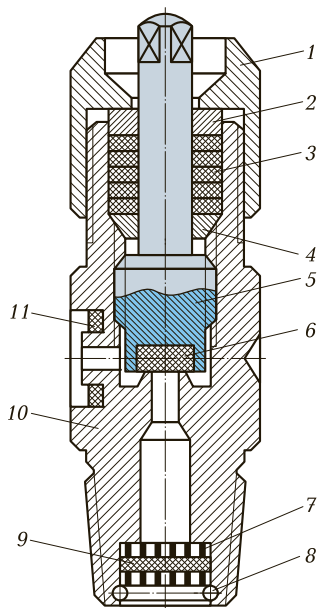


Рис. 8.14. Конструкция ацетиленового баллонного вентиля:

- 1 — гайка сальника; 2 — шайба; 3 — сальниковые прокладки;
- 4 — сальниковое кольцо; 5 — шпindel; 6 — уплотнитель;
- 7 — фильтр; 8 — проволочное кольцо; 9 — войлочная прокладка;
- 10 — корпус; 11 — прокладка штуцера

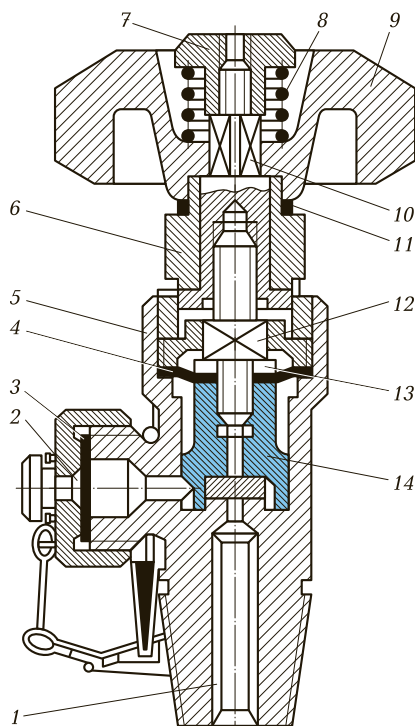


Рис. 8.15. Конструкция пропанового баллонного вентиля:

- 1 — корпус; 2 — заглушка; 3, 4, 11 — прокладки; 5 — буска;
 6 — накладная гайка; 7 — гайка сальника; 8 — пружина;
 9 — маховик; 10 — шпindelь; 12 — шток; 13 — шайба;
 14 — клапан

вентилю редуктор присоединяют хомутом, снабженным винтом. Шпindelь вращают торцовым ключом, надеваемым на квадратный конец шпindelя. Нижняя часть шпindelя 5 имеет вставку из эбонита и служит клапаном. Для уплотнения сальниковой прокладки 3 применяют набор кожаных колец. В хвостовик вентиля вставляют войлочный фильтр 7.

Различные конструкции кислородных и ацетиленовых вентиляей, как и разная окраска баллонов, служат для предупреждения ошибочного наполнения ацетиленом кислородного баллона или наоборот. Ошибка представляет большую опасность, так как может привести к взрыву баллонов.

Вентили для пропана и пропан-бутановой смеси (рис. 8.15) имеют стальной корпус 1, клапан 14 и шпindelь 10, соединенные

эластичной резиновой прокладкой 4, которая обеспечивает герметичность гайки 7 сальника.

8.5. РЕДУКТОРЫ ДЛЯ СЖАТЫХ ГАЗОВ

Газовый редуктор предназначен для снижения давления газа, поступающего из баллона или газопровода, и стабилизации расхода и давления на выходном ниппеле. В редукторе *прямого* действия давление поступающего газа стремится открыть клапан, через который газ входит в рабочую камеру редуктора; в редукторе *обратного* действия это давление стремится закрыть клапан. В первом случае рабочее давление по мере расхода газа из баллона несколько снижается; редуктор имеет падающую характеристику. Во втором случае характеристика возрастающая: с уменьшением давления газа в баллоне рабочее давление на выходе из редуктора повышается. Более удобными и безопасными в эксплуатации являются редукторы обратного действия.

По роду газа редукторы подразделяют на кислородные, ацетиленовые, пропан-бутановые и метановые. Внешне они различаются окраской, цвет которой должен быть таким же, как и у баллона для данного газа. Различаются газовые редукторы и конструкцией присоединительных устройств для крепления редукторов к баллону: у ацетиленовых редукторов это хомут с упорным винтом, у остальных редукторов — накидная гайка с резьбой, соответствующей резьбе на вентиле баллона.

По схеме редуцирования редукторы выполняют одноступенчатыми (однокамерными) и двухступенчатыми (двухкамерными), в которых давление снижается в два этапа. Принцип действия всех редукторов одинаков. Рассмотрим его на примере одноступенчатого баллонного редуктора.

На рис. 8.16 приведены схемы одноступенчатых редукторов. Снижение давления сжатого газа обеспечивается посредством его дросселирования через редуцирующий клапан.

Для поддержания давления газа в рабочей камере на постоянном уровне служит гибкая мембрана, на одну сторону которой действует давление этого газа (рабочее давление), а на другую — усилие главной регулировочной пружины или установочное давление (в редукторах с беспружинным регулированием рабочего давления).

При изменении давления газа в рабочей камере редуктора мембрана деформируется, увеличивая или уменьшая площадь проходного сечения редуцирующего клапана, что, в свою очередь, приводит к уменьшению или увеличению степени дросселирования газа. При уменьшении проходного сечения клапана расход газа уменьшается, а степень дросселирования возрастает, при увеличении сечения — наоборот. В редукторе обратного действия (рис. 8.16, *а*) давление газа до редуцирования действует на клапан сверху, стремясь закрыть его, тогда как в редукторе прямого действия (рис. 8.16, *б*) — снизу, стремясь открыть его. Наиболее широкое применение находят редукторы обратного действия, поскольку они компактнее, проще по конструкции, имеют меньше деталей и надежнее в работе. Это объясняется тем, что в редукторах обратного действия упрощается связь редуцирующего клапана с мембраной и, кроме того, основная рабочая характеристика (зависимость давления газа на выходе от расхода газа из баллона) является возрастающей, а у редукторов прямого действия — падающей.

Подсоединять редуктор к баллону следует при вывернутом до отказа винте 12, предварительно продув отверстие вентиля баллона, открыв его на 1...2 с и убедившись, что на резьбе вентиля и гайки редуктора отсутствуют следы масла или другие загрязнения.

Промышленностью выпускаются одноступенчатые (рис. 8.17, *а*) и двухступенчатые (рис. 8.17, *б*) кислородные редукторы. В двухступенчатых редукторах давление снижается в двух ступенях: в первой ступени давление снижается с начального значения 15 МПа до промежуточного значения 4 МПа, а во второй — до конечного рабочего давления 0,3...1,5 МПа. Двухступенчатые редукторы обеспечивают практически постоянное давление газа на горелке, однако они сложнее по конструкции, чем одноступенчатые, и значительно дороже.

На газовые редукторы питания постов и установок газовой сварки, резки, пайки, наплавки, нагрева и других процессов газопламенной обработки распространяются требования ГОСТ 13861—89. Срок службы редукторов — от 4,5 до 7,5 лет. Выпускают 17 типов редукторов, но наиболее широкое распространение получили 10 типов.

Марки редукторов обозначаются буквами и цифрами. Буквы несут следующую информацию: Б — баллонный; С — сетевой; Р — рамповый; А — ацетилен; В — водород; К — кислород; М — метан; П — пропан; О — одна ступень с пружинным заданием;

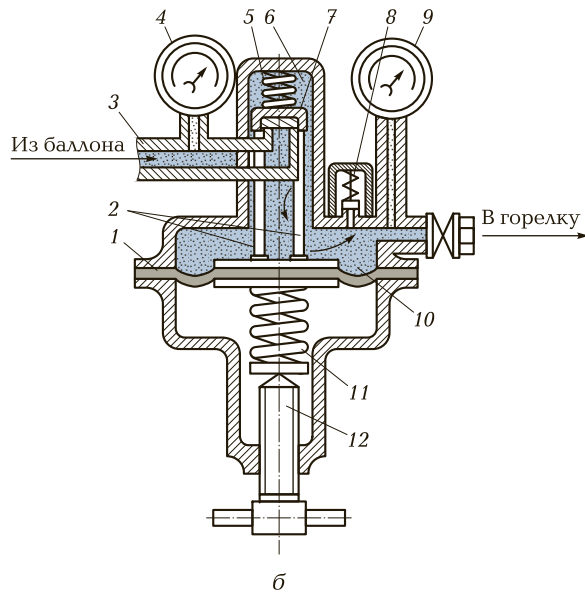
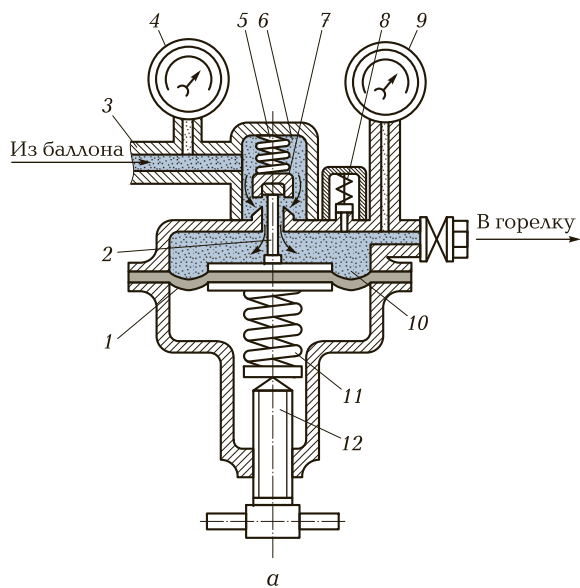


Рис. 8.16. Конструкции одноступенчатых редукторов:

а — обратного действия; *б* — прямого действия; 1 — мембрана; 2 — передаточный диск со штифтом; 3 — штуцер для впуска газа; 4, 9 — манометры высокого и низкого (рабочего) давления соответственно; 5 — вспомогательная пружина; 6, 10 — камеры высокого и низкого давления соответственно; 7 — редуцирующий клапан; 8 — предохранительный клапан; 11 — главная нажимная пружина; 12 — регулировочный винт

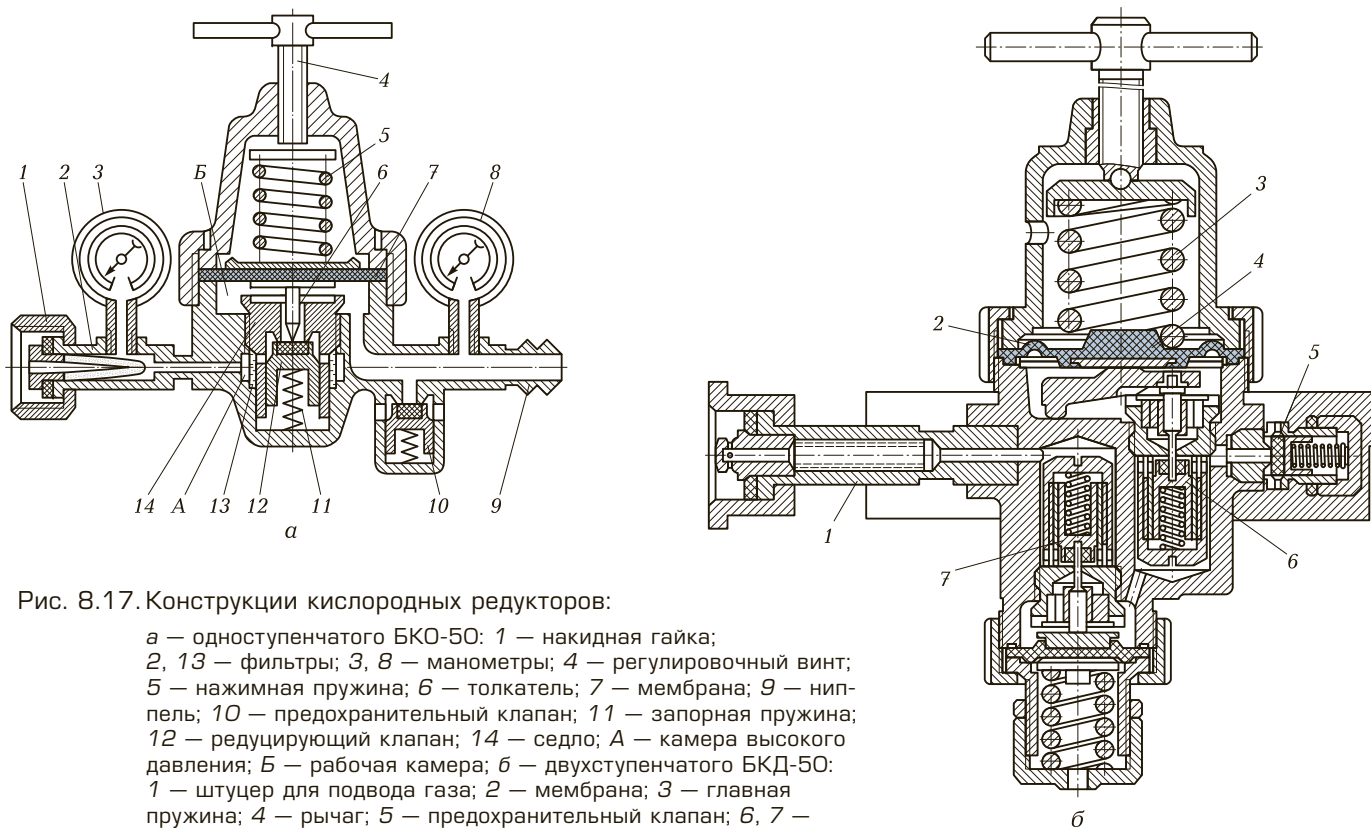


Рис. 8.17. Конструкции кислородных редукторов:

а — одноступенчатого БКО-50: 1 — накидная гайка; 2, 13 — фильтры; 3, 8 — манометры; 4 — регулировочный винт; 5 — нажимная пружина; 6 — толкатель; 7 — мембрана; 9 — ниппель; 10 — предохранительный клапан; 11 — запорная пружина; 12 — редуктирующий клапан; 14 — седло; А — камера высокого давления; Б — рабочая камера; *б* — двухступенчатого БКД-50: 1 — штуцер для подвода газа; 2 — мембрана; 3 — главная пружина; 4 — рычаг; 5 — предохранительный клапан; 6, 7 — редуктирующий клапан соответственно второй и первой ступени

Д — две ступени с пружинным заданием; З — одна ступень с пневматическим задатчиком. Цифры указывают наибольшую пропускную способность редукторов в кубических метрах в час. Каждому типу редуктора соответствует одна или несколько марок. Редукторы изготавливают по ГОСТ 6268 — 78 для работы в различных климатических условиях.

Баллонные и сетевые редукторы для кислорода, водорода и ацетилена используют при температуре от -25 до $+50$ °С, редукторы для пропана и метана — при температуре от -15 до $+45$ °С. Рамповые редукторы рассчитаны на работу при температуре от $+50$ до -50 °С.

Основные параметры применяемых газовых редукторов указаны в табл. 8.2.

Корпуса редукторов окрашивают в тот же цвет, что и баллоны (см. табл. 8.1): кислородный — в голубой, ацетиленовый — в белый, пропановый — в красный. Ацетиленовые редукторы по принципу действия аналогичны кислородным. Отличие заключа-

Таблица 8.2. Основные параметры применяемых газовых редукторов

Тип редуктора	Наибольшая пропускная способность V , $\text{дм}^3/\text{ч}$	Наибольшее давление газа на выходе p_1 , МПа	Наибольшее рабочее давление p_2 , МПа	Масса, кг, не более
БКО-25	25 000	20	0,8	3,5
БКО-50	50 000	0,8	0,2	
БҚД-25	25 000	1,25	0,21	
БАО-5	5 000	2,5	0,3	2,0
БАД-5		0,15	0,22	
БПО-5		0,15	0,36	
СКО-10	10 000	1,6	0,5	1,8
САО-10		0,12	0,1	
СПО-6		0,3	0,15	
СМО-35	35 000			
РКЗ-250	250 000	20	1,6	13,0
РКЗ-500	500 000			
РАО-30	30 000	2,5	0,1	8
РАД-30				10
РПО-25	25 000	—	0,3	8
РПД-25		—		10

ется в способе присоединения к вентилю баллона. Перед присоединением редуктора к вентилю баллона необходимо продуть штуцер вентиля, убедиться в исправности прокладки на штуцере редуктора и резьбы накидной гайки редуктора, в отсутствии на них загрязнений.

Присоединив редуктор к вентилю, полностью ослабляют регулирующий винт редуктора, а затем открывают вентиль баллона, следя за показаниями манометра высокого давления. Рабочее давление устанавливают вращением регулирующего винта по часовой стрелке. Когда давление достигнет заданного значения, можно пустить газ в горелку.

Манометры редуктора должны быть исправны и проверены. Ремонт редукторов и манометров осуществляют специализированные мастерские или лаборатории предприятий, имеющих специальное оборудование, обученных и аттестованных специалистов и разрешение на проведение ремонтных работ.

8.6. ТРУБОПРОВОДЫ И ШЛАНГИ ДЛЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ И КИСЛОРОДА

При значительном расходе кислорода его следует подавать в сварочный цех по трубопроводу от батареи кислородных баллонов. Для этой цели применяют газораспределительные рампы.

Баллоны устанавливают в одну или две группы, подсоединяют гибкими медными трубками к трубам-коллекторам через вентили. Каждый коллектор имеет по главному запорному вентилю. Когда из одного коллектора отбирают газ, ко второму присоединяют новые баллоны, наполненные газом. Вентили позволяют отсоединять каждый баллон от рампы, не прерывая отбора газа из остальных баллонов. Рампа имеет центральный редуктор для снижения давления газа, подаваемого в цех по трубопроводу. Рампы устанавливают в отдельном изолированном помещении. Баллоны с кислородом на давление до 15 МПа присоединяют к рампе медными трубками с наружным диаметром 8 мм, толщиной стенки 1,5 мм и внутренним диаметром 5 мм.

Распределительные рампы применяют и для ацетиленовых баллонов. Хомуты ацетиленовых редукторов крепят к коллекторной стальной трубе через бронированные гибкие резинотканевые шланги. На коллекторе устанавливают запорный вентиль и рамповый ацетиленовый редуктор.

Рукава (шланги) служат для подвода газа в горелку или резак. Резиновые рукава для газовой сварки и резки металлов изготовляют по ГОСТ 9356—75 или по международному стандарту ИСО 3821—77. Требования ГОСТ 9356—75 распространяются на резиновые рукава с нитяным каркасом, применяемые для подачи под давлением ацетилена, городского газа, пропана, бутана, жидкого топлива и кислорода к инструментам для газовой сварки или резки металлов. Рукава работоспособны в районах с умеренным и тропическим климатом при температуре окружающего воздуха от -35 до $+70$ °С и в районах с холодным климатом — от -55 до $+70$ °С.

В зависимости от назначения резиновые рукава подразделяют на следующие классы:

- для подачи ацетилена, городского газа, пропана и бутана под давлением 0,63 МПа;
- подачи жидкого топлива (бензина, уайт-спирита, керосина или их смеси) под давлением 0,63 МПа;
- подачи кислорода под давлением 2 и 4 МПа.

Основные размеры и минимальный радиус изгиба рукавов для газовой сварки и резки металлов приведены в табл. 8.3.

Пример условного обозначения: Рукав I-16-0,63 ГОСТ 9356—75 (I — класс; 16 — диаметр внутренний, мм; 0,63 — рабочее давление, МПа; для работы в умеренном климате).

Если после значения давления через пробел стоит буква Т, то такие рукава применяют для работы в районах с тропическим

Таблица 8.3. Основные размеры и минимальный радиус изгиба рукавов для газовой сварки и резки металлов

Внутренний диаметр, мм		Наружный диаметр, мм		Минимальный радиус изгиба, мм
Номинальное значение	Предельное отклонение	Номинальное значение	Предельное отклонение	
6,3	$\pm(0,2 \dots 0,8)$	12,0	$\pm 0,5$	60
8,0	$\pm 0,5$	16,0	$\pm 1,0$	80
9,0	$\pm 0,5$	18,0	$\pm 1,0$	90
10,0	$\pm 0,5$	19,0	$\pm 1,0$	100
12,0	$\pm 1,0$	22,5	$\pm 1,0$	120
12,5	$\pm 1,0$	23,0	$\pm 1,0$	120
16,0	$\pm 1,0$	26,0	$\pm 1,0$	160

климатом, если буквы ХЛ — для работы в районах с холодным климатом.

В зависимости от назначения рукава его наружный слой должен быть окрашен около места маркировки в соответствующий цвет:

- красный цвет — рукав класса I для ацетилена, городского газа, пропана и бутана;
- желтый цвет — рукав класса II для жидкого топлива;
- синий цвет — рукав класса III для кислорода.

Допускаются наружный слой черного цвета для рукавов всех классов, работающих в районах с тропическим, умеренным и холодным климатом; обозначение класса рукава двумя резиновыми цветными полосами на наружном слое для всех климатических районов или двумя рисками. На кислородные рукава с наружным слоем черного цвета обозначение класса рукавов не наносят.

На каждом рукаве по всей длине с интервалами наносят маркировку методом тиснения и цветной краской.

Трубопроводы для подачи ацетилена прокладывают из стальных бесшовных труб, соединяемых сваркой. Ацетиленовый трубопровод окрашивают в белый цвет. Размеры труб для ацетилена низкого давления приведены в табл. 8.4.

Внутренний диаметр ацетиленопровода среднего давления (0,01...0,15 МПа) не должен превышать 50 мм, ацетиленопровода высокого давления (свыше 0,15 МПа) — не более 20 мм. При

Таблица 8.4. Размеры труб для трубопровода подачи ацетилена низкого давления, подводимого к сварочному посту

Общая длина трубопровода, м	Внутренний диаметр трубы, мм, при расходе ацетилена, $\text{дм}^3/\text{ч}$					
	1 000	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000
10	19	25	32	38	45	45
20	19	32	38	45	45	50
30	25	32	38	45	50	65
50	25	38	45	50	65	65
100	32	38	50	65	65	76
150	32	45	50	65	76	76
200	38	45	65	76	76	76

большом расходе газа прокладывают два и более параллельных трубопровода.

По стенам и колоннам трубопровод закрепляют на высоте не менее 2,5 м от пола.

Для стока конденсата трубопроводу придают уклон 5° в сторону влагосборника. Отводы от главной трубы к постовым затворам выполняют из труб с внутренним диаметром 13 мм ($1/2''$).

Трубопроводы для подачи кислорода под давлением 1,5 МПа изготавливают из стальных газовых сварных (усиленных) или бесшовных труб. При давлении 1,5...6,4 МПа применяют только стальные бесшовные трубы. При давлении выше 6,4 МПа необходимо использовать медные или латунные цельнотянутые трубы, так как при высоком давлении может произойти возгорание стальной трубы в кислороде от искры при трении частиц окалина о стенки трубы, случайного попадания и самовоспламенения масла, возгорания прокладок и других явлений, связанных с местным выделением теплоты.

Трубопроводы для подачи кислорода окрашивают в голубой цвет. При прокладке трубопровода в земле применяют стальные бесшовные трубы независимо от давления газа.

Трубы для подачи кислорода соединяют между собой сваркой; для медных труб применяют пайку стыков твердым медно-цинковым припоем в раструб или на муфтах.

Все трубы для подачи кислорода после монтажа обязательно обезжиривают растворителем (четырёххлористым углеродом) с последующей продувкой паром или сухим, очищенным от паров

Таблица 8.5. Размеры труб для трубопровода подачи низкого кислорода давления, подводимого к сварочному посту

Общая длина трубопровода, м	Внутренний диаметр трубы, мм, при расходе кислорода, $\text{дм}^3/\text{ч}$					
	1 000	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000
10	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
20	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
30	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
60	4,5	5,5	7,0	8,0	9,0	10,0
100	5,0	6,0	7,5	9,0	10,0	11,0
200	6,0	7,0	9,0	10,0	11,0	12,0
500	7,0	9,0	11,0	12,0	13,0	15,0

масла, воздухом до полного удаления растворителя (исчезновения запаха).

При совместной прокладке трубопровод для подачи кислорода располагают ниже чем для подачи ацетилена с расстоянием между ними не менее 250 мм и высотой от уровня пола не менее 2,5 м.

Для подачи кислорода к сварочным постам под низким давлением 0,5...1,0 МПа диаметр трубы выбирают по табл. 8.5.

8.7. СВАРОЧНЫЕ ГОРЕЛКИ

Горелка — это устройство, предназначенное для получения устойчиво горящего пламени необходимой тепловой мощности, размеров и формы. Конструкция горелок обеспечивает смешение горючих газов и кислорода в требуемых соотношениях и плавное регулирование мощности пламени и состава горючей смеси. Все существующие конструкции газопламенных горелок можно классифицировать следующим образом:

- по способу подачи горючего газа в смесительную камеру — инжекторные и безынжекторные;
- мощности пламени — микромощные (расход ацетилена 10...60 дм³/ч), малой мощности (25...400 дм³/ч), средней мощности (50...2 800 дм³/ч) и большой мощности (2 800...7 000 дм³/ч);
- назначению — универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка, подогрев) и специализированные (только сварка или только подогрев, закалочные и др.);
- числу и типу мундштуков — одно- и многопламенные;
- способу применения — для ручных способов газопламенной обработки и для механизированных процессов.

Для сварки чаще всего применяют однопламенные *инжекторные горелки*, работающие на смеси ацетилена с кислородом. Кислород в инжекторной горелке (рис. 8.18) через ниппель 2 проходит под давлением 0,1...0,4 МПа и с высокой скоростью выходит из центрального канала инжектора 13. При этом струя кислорода создает разрежение на выходе ацетиленовых каналов, за счет которого ацетилен инжектируется (подсасывается) в смесительную камеру 16, откуда образовавшаяся горючая смесь направляется в мундштук 1 и на выходе сгорает. Инжекторные горелки

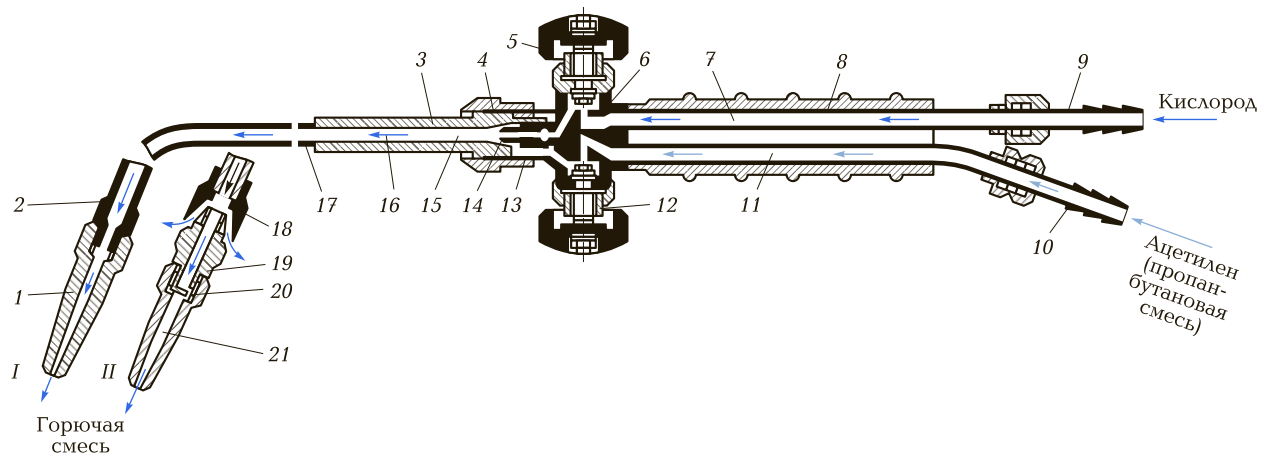


Рис. 8.18. Конструкция инжекторной горелки:

1, 3 — соответственно мундштук и сменный наконечник для ацетилено-кислородной горелки; 2 — ниппель наконечника; 4 — зазор между стенками смесительной камеры и корпусом; 5, 12 — регулирующие вентили подачи кислорода и горючего газа соответственно; 6 — корпус; 7, 11, 17 — трубки для подвода кислорода, горючего газа и горячей смеси соответственно; 8 — рукоятка; 9, 10, 19 — штуцеры; 13 — инжектор; 14 — канал малого сечения; 15 — канал смесительной камеры; 16 — смесительная камера; 18 — подогреватель; 20, 21 — боковые отверстия в штуцере; I, II — сменные наконечники для ацетилено-кислородной и пропан-бутано-кислородной горелки соответственно

Таблица 8.6. Технические характеристики инжекторных горелок

Показатель	Номер			
	0	1	2	3
Толщина свариваемой низкоуглеродистой стали, мм	0,2...0,5	0,5...1,0	1...2	2...4
Расход, дм ³ /ч:				
ацетилена	40...50	55...90	130...180	250...350
кислорода	45...55	70...100	140...200	270...380
Давление на входе в горелку, МПа:				
ацетилена	—	—	0,01...0,1	—
кислорода	0,15...0,3	—	0,2...0,3	—

(например, типа Г4) нормально работают при давлении поступающего ацетилена 0,001 МПа и выше.

Повышение давления горючего газа перед горелкой облегчает работу инжектора и улучшает регулирование пламени, хотя это может привести к возникновению хлопков и обратных ударов пламени. В связи с этим при использовании инжекторных горелок рекомендуется поддерживать перед ними давление ацетилена (при работе от баллона) в пределах 0,02...0,05 МПа. Достоинство инжекторных горелок — возможность устойчивой работы даже при низком давлении горючего газа.

На производстве применяют различные горелки, отличающиеся конструктивным исполнением, мощностью и назначением. Наибольшее распространение имеют сварочные универсальные горелки средней мощности, для ремонтных кузовных работ — малой мощности.

Горелки снабжают набором сменных наконечников разных номеров, различающихся расходом газов и предназначенных для сварки металла разной толщины.

Номер наконечника выбирают в соответствии с толщиной свариваемого металла и требуемым расходом ацетилена (в кубических дециметрах в час на 1 мм толщины). В табл. 8.6 приведены технические характеристики наиболее распространенных инжекторных горелок малой и средней мощности.

Менее универсальны *безынекторные горелки* (рис. 8.19), в которых горючий газ и кислород подаются под одинаковым дав-

(ГОСТ 1077–79Е)

наконечника

4	5	6	7	8	9
4...7	7...11	11...17	17...30	30...50	Более 50
420...600	700...950	1 130...1 500	1 800...2 500	2 500...4 500	4 500...7 000
450...650	750...1 000	1 200...1 650	2 000...2 800	3 000...5 600	4 700...9 300
—	—	—	0,01...0,1	0,01...0,1	0,01...0,1
—	—	0,2...0,35	—	0,25...0,5	0,25...0,5

лением 0,05...0,10 МПа, что обеспечивает постоянный состав смеси в течение всего времени работы горелки (например, типа ГАР). Для точного регулирования давления газов вентили этих горелок снабжены игольчатыми шпинделями. Безынжекторные горелки не могут работать на горючем газе низкого давления, однако обеспечивают постоянный состав горючей смеси во время работы и просты по конструкции.

Технические характеристики безынжекторных горелок типа Г1 приведены в табл. 8.7, универсальных ацетиленокислородных горелок — в табл. 8.8.

Горелки для горючих газов-заменителей можно подразделить на следующие группы:

- горелки с подогревом горючей смеси до ее выхода из мундштука;

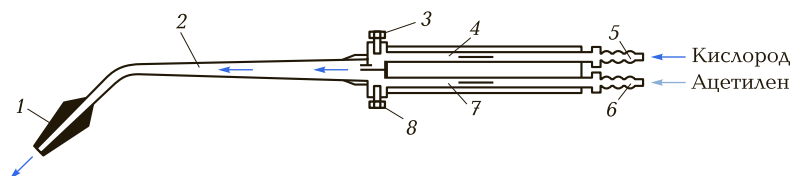


Рис. 8.19. Конструкция безынжекторной горелки:

1 — мундштук; 2 — трубка наконечника; 3, 8 — вентили;
4, 7 — трубки для подвода кислорода и ацетилена
соответственно; 5, 6 — ниппели

Таблица 8.7. Технические характеристики безынжекторных горелок типа Г1 (ГОСТ 1077–79Е)

Показатель	Номер наконечника		
	000	00	0
Толщина свариваемой низкоуглеродистой стали, мм	До 0,1	0,1 ... 0,2	0,2 ... 0,8
Расход, дм ³ /ч:			
ацетилена	5 ... 10	10 ... 25	25 ... 60
кислорода	6 ... 11	11 ... 28	28 ... 65
Давление на входе в горелку, МПа:			
ацетилена	—	0,01 ... 0,10	—
кислорода	—	0,01 ... 0,10	—

Таблица 8.8. Характеристики универсальных ацетиленокислородных горелок (ГОСТ 1077–79Е)

Тип горелки	Модель горелки	Номера наконечников	Масса, кг, не более	Внутренний диаметр присоединительного рукава, мм
Г1 (микромощности)	ГС-1	000; 00; 0	0,4	4
Г2 (малой мощности)	Г2-04	0; 1; 2; 3; 4	0,7	6
Г3 (средней мощности)	Г3-03	0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1,2	9
Г4 (большой мощности)	ГС-4	8; 9	2,5	9

Примечания: 1. Горелки типа Г1 — безынжекторные, остальных типов — инжекторные.

2. Горелка ГС-4 предназначена для подогрева; горелка Г2-04 по конструкции подобна ранее выпускавшимся горелкам Г2-02, «Звездочка», «Малютка»; горелку Г3-03 используют взамен горелок «Звезда», «Москва», ГС-3, ГС-3а.

- обычные горелки для ацетиленокислородной сварки, укомплектованные инжекторами, смесительными камерами и мундштуками с расширенными проходными сечениями;
- камерно-вихревые горелки;
- горелки, работающие на жидких горючих.

Камерно-вихревые горелки используют для некоторых процессов газопламенной обработки — нагрева, пайки, сварки пластмасс, где не требуется высокой температуры ацетиленокислородного пламени.

Горелки, работающие на жидких горючих, рекомендуются для подогрева, сварки, правки, наплавки и пайки черных и цветных металлов.

Горелки для пропана, пропан-бутановой смеси (рис. 8.20) и других газов-заменителей отличаются от ацетиленовых горелок тем, что они снабжены устройством для подогрева смеси горючего газа с кислородом до ее выхода из канала мундштука (например, типа ГЗУ-3-02). Подогреватель 3 ввинчивают между трубкой 5 для подвода горючей смеси и мундштуком 1 горелки, через его отверстия — сопла 4 — часть горючей смеси выходит наружу еще до поступления в мундштук. При работе горелки пламя 6 от сгорания этой части смеси обволакивает мундштук 1 и подогревает до температуры 300...350 °С основную часть смеси, проходящую через него. В результате скорость сгорания газа и температура сварочного пламени повышаются. Это увеличивает эффективную мощность пламени и производительность процесса обработки металла. Каждая горелка укомплектована набором наконечников, позволяющих задавать необходимый расход газа и регулировать мощность пламени.

Технические характеристики сварочных горелок для газов — заменителей ацетилена представлены в табл. 8.9.

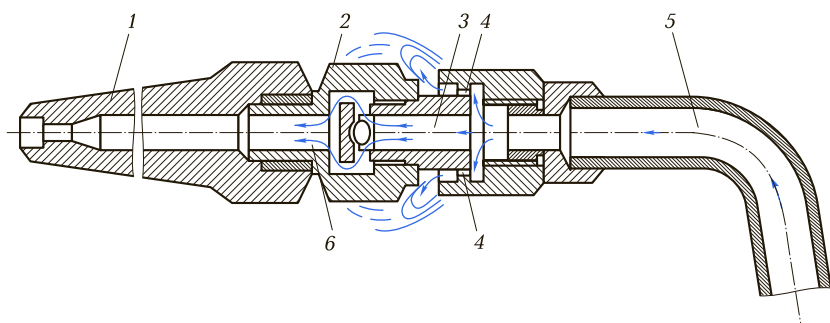


Рис. 8.20. Конструкция наконечника с подогревателем для сварки на пропан-бутановой смеси:

- 1 — мундштук; 2 — подогревающая камера; 3 — подогреватель;
- 4 — сопла подогревателя; 5 — трубка для подвода горючей смеси; 6 — подогревающее пламя

Таблица 8.9. Технические характеристики сварочных горелок для

Марка горелки	Номер наконечника	Расход, $\text{дм}^3/\text{ч}$	
		пропан-бутановой смеси	природного газа
ГЗУ-4	1	25...60	70...170
	2	60...125	170...360
	3	125...220	360...580
	4	200...335	580...940
ГЗУ-3	5	400...650	1 020...1 650
	6	650...1 050	1 650...2 700
	7	1 050...1 700	2 700...4 500

Исправная, правильно собранная и отрегулированная горелка должна давать нормальное устойчивое сварочное пламя. Если горение неровное, пламя отрывается от мундштука, гаснет или дает обратные удары и хлопки, следует тщательно отрегулировать вентилями подачу кислорода и ацетилена. Если после регулирования неполадки не устраняются, то их причиной являются неисправности в самой горелке: неплотности в соединениях, повреждение выходного канала мундштука или инжектора, неправильная установка деталей горелки при сборке, засорение каналов, износ деталей и т. д.

Перед началом работы проверяют исправность горелки. Для проверки инжектора на кислородный ниппель надевают шланг, а в корпус горелки вставляют наконечник, накидную гайку которого плавно затягивают ключом.

Установив давление кислорода в соответствии с номером наконечника, пускают в горелку кислород, открывая кислородный вентиль. В ацетиленовом ниппеле горелки должно образоваться разрежение; его легко обнаружить, приложив к отверстию ниппеля палец, который должен присасываться. Если подсос есть, то горелка исправна.

При отсутствии подсоса следует проверить:

достаточно ли плотно прижимается инжектор к седлу корпуса горелки. При обнаружении неплотности следует сместить инжектор до упора его в седло при вставленном в ствол наконечнике;

газов — заменителей ацетилена

кислорода	Давление, МПа		Толщина металла, мм
	горючего газа	кислорода	
105...260	0,03	0,1...0,4	0,5...1,5
260...540	0,03	0,15...0,4	1,5...2,5
540...840	0,03	0,2...0,4	2,5...4,0
840...1400	0,03	0,2...0,4	4,0...7,0
1350...2200	0,02	0,2...0,4	—
2200...3600	0,02	0,2...0,4	—
3600...5800	0,02	0,2...0,4	—

не засорены ли каналы мундштука, смесительной камеры и ацетиленовой трубки. При засорении необходимо прочистить каналы тонкой медной проволокой и продуть.

После проверки горелки следует подсоединить оба шланга, закрепить их на ниппелях хомутиками и зажечь горючую смесь.

Если при зажигании смеси горелка дает хлопок или при полном открытии ацетиленового вентиля в пламени не появляется избытка ацетилена (черная копоть), то необходимо проверить степень затяжки накидной гайки наконечника, давление кислорода и убедиться в беспрепятственном поступлении ацетилена в горелку (возможны наличие воды в шланге, перегиб шланга, придавливание шланга деталями, перекручивание шланга и т. д.).

При прекращении работы горелки, а также при частых хлопках или обратных ударах необходимо закрыть сначала ацетиленовый вентиль, затем — кислородный.

Иногда частые хлопки и обратные удары вызываются перегревом мундштука после продолжительной работы. В этом случае необходимо погасить пламя горелки в приведенном порядке и охладить мундштук горелки в сосуде с водой.

Инжекторная горелка нормально и безотказно работает, если соотношение диаметров каналов инжектора, смесительной камеры и мундштука выбрано правильно.

Если мундштук обгорел, имеет забоины и его отверстие сильно разработано, то следует конец мундштука аккуратно опилить

мелким напильником, слегка зачеканить или осадить ударами молотка, а затем прокалывать сверлом соответствующего диаметра. Поверхность мундштука необходимо заполировать.

Пропуск газа через сальники вентиля горелки устраняют заменой набивки сальников или подтягиванием гаек сальников.

8.8. РЕЗАКИ ДЛЯ РУЧНОЙ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

В газокислородном резаке конструктивно объединены подогревательная и собственно режущая части. Подогревательная часть по принципу устройства, конструкции и методам расчета аналогична сварочным горелкам. В зависимости от давления горючего газа подогревательная часть может быть инжекторной или безынжекторной. Инжектор необходим при использовании ацетилена низкого давления. При использовании ацетилена среднего давления или горючих газов, подаваемых под достаточным давлением, можно применять резаки с безынжекторным подогревательным устройством. В промышленности обычно используют резаки с инжекторным подогревательным устройством независимо от давления применяемого горючего газа.

Относительное расположение каналов для режущего кислорода и подогревающего пламени показано на рис. 8.21. Последовательное расположение отверстий для режущего кислорода и подогревающего пламени в настоящее время применяют редко, оно пригодно лишь для резки в одном направлении; впереди должно находиться подогревающее пламя, а за ним — струя режущего кислорода. При изменении направления резки на противоположное режущий кислород попадает на недостаточно нагретый металл и процесс резки прекращается. Значительно удобнее концентрическое расположение выходных отверстий для смеси подогревательного пламени и для режущей струи кислорода.

В резаках с концентрическим расположением выходных отверстий подогревающее пламя получает форму огненной трубки, вдоль оси которой располагается режущая струя кислорода. Устройство с кольцевой щелью наиболее распространено в кислородных резаках малой и средней мощности, изготавливаемых отечественной промышленностью. Для мощных резаков кольцевая щель не дает пламени достаточной мощности, увеличение ширины щели делает пламя неустойчивым и приводит к обратным уда-

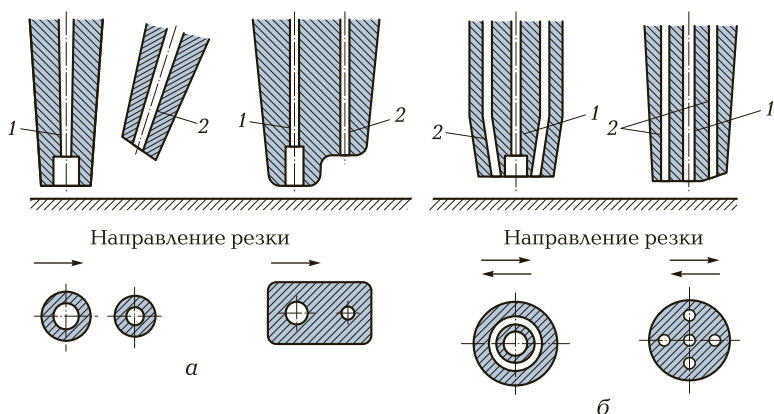


Рис. 8.21. Последовательное (а) и концентрическое (б) расположение сопел газокислородного резака:

1 — сопло для режущего кислорода; 2 — сопло для подогревающей смеси

рам. В связи с этим для резаков средней и большой мощности рекомендуется подавать подогревательную смесь через отверстия круглого сечения, расположенные концентрически вокруг отверстия для режущего кислорода в один или два ряда.

Резаки с выходными отверстиями, расположенными концентрически, позволяют вести резку в любом направлении: струя режущего кислорода всегда попадает на достаточно нагретый металл, что, в частности, для фигурной резки, когда направление резки постоянно изменяется, необходимо. Благодаря перечисленным достоинствам такие резаки нашли более широкое применение, чем резаки с последовательным расположением отверстий.

Мощность подогревающего пламени выбирают в соответствии с толщиной разрезаемого металла. Обычно для расчетов принимают, что 85 % теплоты, необходимой для процесса резки, получается в результате реакции сгорания железа в кислороде, а остальные 15 % дает подогревающее пламя. При конструировании резака следует обеспечить необходимую длину подогревающего пламени, чтобы оно могло подогревать нижележащие слои металла. В мощных резаках для резки стали большой толщины приходится применять подогревающее пламя длиной более 1 м. Длина пламени зависит от применяемого горючего газа, точнее, от скорости его сгорания. Быстрого сгорающие газы, например ацетилен, дают короткое пламя. Газы, горящие медленнее, дают пламя бо-

лее длинное. Особенно длинное пламя дает водород, поэтому его и применяют в резке металла большой толщины. Достаточно длинное пламя дают также метан, природный газ. Пламя регулируется на максимальную температуру, поэтому имеет обычно избыток кислорода по сравнению с пламенем, применяемым для сварки.

Для резки стали необходима достаточно мощная струя кислорода, обеспечивающая требующуюся скорость сжигания металла. Струя на всю толщину разрезаемого металла должна быть по возможности цилиндрической, с минимальным уширением, для обеспечения постоянной ширины реза по всей толщине металла. Для успешного сдувания расплавленного шлака и доступа к поверхности металла скорость кислорода в струе должна быть высокой: как показывает опыт, приблизительно 500...700 м/с, т.е. сверхзвуковой.

Важное значение имеет *устройство внутреннего канала* режущего мундштука или сопла для режущего кислорода. Обычно в отечественной промышленности применяют цилиндрические или ступенчато-цилиндрические сопла. Цилиндрические сопла обладают низким КПД, и для получения необходимых скорости истечения кислорода и длины цилиндрической части струи приходится прибегать к довольно высокому давлению кислорода, поступающего в резак, причем это давление быстро растет с увеличением толщины разрезаемого металла. Сопла с криволинейными образующими дают значительно лучшие результаты. Улучшение работы сопла проявляется прежде всего в снижении рабочего давления режущего кислорода на входе в резак. Единственным основанием применения цилиндрических сопел в настоящее время может являться лишь простота их изготовления. Несовершенство цилиндрических сопел особенно сказывается при резке стали большой толщины.

Для подачи кислорода высокого давления требуются специальные *бронированные шланги*. В связи с этим толщина 400...500 мм для цилиндрических сопел может считаться предельной.

В мощных кислородных резаках кислород — режущий, и для подогревающего пламени его подают по отдельным шлангам, поэтому к резаку подводят три шланга — два кислородных и один ацетиленовый. Малые и средние резаки обычно изготавливают двухшланговыми, кислород подводится одним общим шлангом и уже в самом резаке распределяется на режущее сопло и на питание подогревающего пламени. Отечественной промышленностью изготавливаются несколько типов кислородных резаков для ручной

резки различного назначения, а также специальные резаки для установки на газорезущих машинах.

Ручные резаки. Для резки ручным резаком в качестве горючего применяют ацетилен, его заменители и керосин. На рис. 8.22 представлена схема ручного универсального резака Р2А-02. На корпусе 9 резака с отверстиями для кислорода и горючего газа установлены вентили подогревающего и горючего газа, и в него впаяны две трубки со штуцерами для подвода кислорода 7 и горючего газа 8. На трубки надета рукоятка 6. К корпусу накидной гайкой 11 подсоединена камера 12 с инжектором 10, в которой происходит смешение подогревающего кислорода и горючего газа. Применение инжектора позволяет работать от сетей горючего газа с низким (до 0,98 кПа), средним и высоким давлением. Подогревающий кислород, проходя через инжектор, обеспечивает в смесительной камере разрежение, благодаря чему происходит подсос горючего газа. Далее горючая смесь по трубке 13 подается в головку 3 резака, а из нее поступает в шлицевые каналы, расположенные на внутреннем мундштуке 2.

Применение шлицевых выходных каналов для горючей смеси способствует устойчивой работе резаков. Режущий кислород через вентиль 5 и трубку 4 подается в головку и далее в канал внутреннего мундштука 2.

Резак РЗП-02 для резки на газах-заменителях имеет аналогичную конструкцию и отличается от резака Р2А-02 большими раз-

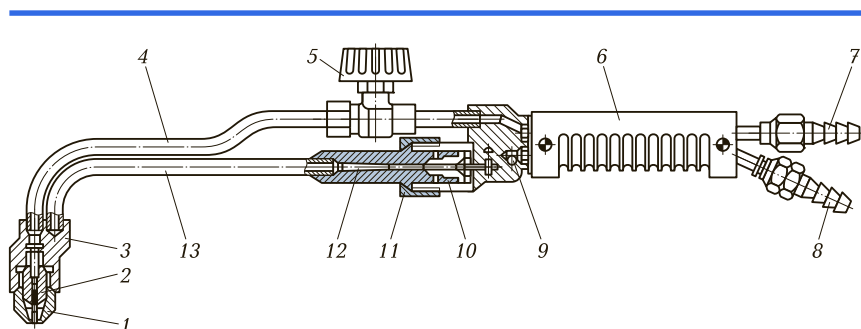


Рис. 8.22. Конструкция ручного универсального резака Р2А-02:

- 1, 2 — наружный и внутренний мундштуки соответственно;
- 3 — головка; 4, 13 — трубки для подвода режущего кислорода и горючей смеси соответственно;
- 5 — вентиль; 6 — рукоятка;
- 7, 8 — штуцеры для подвода кислорода и горючего газа соответственно;
- 9 — корпус; 10 — инжектор; 11 — накидная гайка;
- 12 — смесительная камера

мерами инжектора и выходных шлицов. Резаки обеих марок могут быть оснащены опорной тележкой и циркулем. Технические характеристики универсальных резаков Р2А-02 и РЗП-02 приведены в табл. 8.10.

Для разделительной ручной кислородной резки наиболее широко применяют резаки «Маяк», «Факел», «Пламя». Данные марки резаков предназначены для ацетиленокислородной резки. Принцип смешения газов во всех резаках одинаков. Резаки могут быть оснащены тележкой, которая воспринимает вертикальную нагрузку, обеспечивает постоянство расстояния между торцом резака и металлом, а также равномерное перемещение резака, что позволяет повысить качество резки. В комплект тележки входит циркульное устройство, обеспечивающее повышение производительности и качества кромки при вырезке дисков и фланцев. Резаки снабжены набором мундштуков и запасными частями. У резаков «Факел» и «Пламя» инжектирующий узел расположен около вертикального корпуса, а головка крепится к двум трубкам. По верхней трубке подается режущий кислород, по нижней — смесь горючего газа с кислородом.

Таблица 8.10. Технические характеристики универсальных резаков

Показатель	Толщина	
	3...8	8...15
Номер наружного мундштука	1А,	
Номер внутреннего мундштука	0А, 0П	1А, 1П
Давление кислорода на входе в резак, кПа	196...245	294...343
Расход, дм ³ /ч:		
кислорода	1 600...1 900	2 900...3 200
ацетилена	400	500
пропан-бутановой смеси	300	400
природного газа	600	600
Скорость резки, м/ч	29...36	27...29
Ширина реза, мм	2,0	2,5

Примечание. Давление ацетилена на входе в резак — 3...98 кПа, пропан-

При монтажных, ремонтных и других работах часто применяют вставные резаки для разделительной резки (РВ1А-02 и РВ2А-02), срезки заклепок (РАЗ), резки труб (РАТ) и вырезки отверстий (РАО). Вставной резак типа РВ1А (рис. 8.23) предназначен для резки низкоуглеродистой и низколегированной сталей толщиной 3...70 мм. Резак закрепляется на сварочной горелке ГО-3 с помощью накидной гайки 5. В корпусе 2 кислород разделяется на режущий, подаваемый через вентиль 3 по трубке 1 в головку 8 резака и далее в режущий канал внутреннего мундштука 9, и подогревающий, который, проходя через инжектор 6, в камере 7 смешивается с горючим газом, поступающим в нее через отверстие 4. Подогревающее пламя выходит из щели, образуемой внутренним 9 и наружным 10 мундштуками.

Выпускают два комплекта для сварки и резки: КГС-1 — на базе горелки малой мощности Г2-05 и вставного резака РВ1А-02; КГС-2 — на базе горелки средней мощности Г3-05 и вставного резака РВ2А-02. Комплект КГС-1 обеспечивает резку металла толщиной 5...100 мм и сварку низкоуглеродистой стали толщиной 0,5...9,0 мм, комплект КГС-2 — 3...200 и 0,5...20,0 мм соответственно.

Р2А-02 и РЗП-02

стали, мм			
15...30	30...50	50...100	100...200
1П		2А, 2П	
2А, 2П	3А, 3П	4А, 4П	5А, 5П
294...392	294...392	294...392	490...735
3 800...4 700	5 600...7 300	9 200...11 500	15 000...21 000
500...600	600...750	650...800	1 000...1 200
400...500	450...500	500...600	600...800
800...900	800...900	950...1 200	300...1 800
22...27	18...22	14...18	7...14
3,5	4,5	5,5	8,0

бутановой смеси и природного газа — 20...147 кПа.

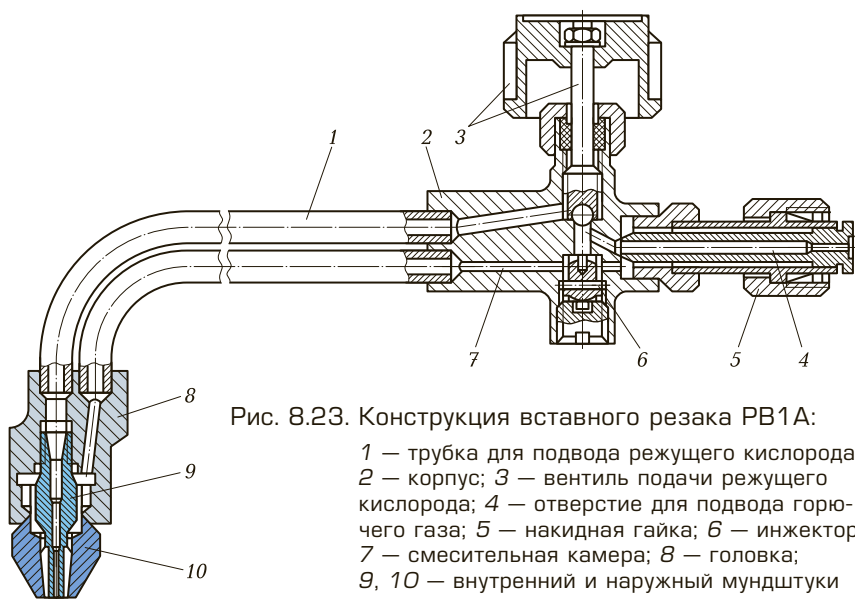


Рис. 8.23. Конструкция вставного резака PB1A:

1 — трубка для подвода режущего кислорода;
 2 — корпус; 3 — вентиль подачи режущего кислорода;
 4 — отверстие для подвода горючего газа; 5 — накидная гайка; 6 — инжектор;
 7 — смесительная камера; 8 — головка;
 9, 10 — внутренний и наружный мундштуки соответственно

Технические характеристики вставных резаков приведены в табл. 8.11.

При эксплуатации ручных резаков перед началом работы необходимо проверить герметичность и прочность всех соединений, а также убедиться в наличии инжекции в резаке.

Таблица 8.11. Технические характеристики вставных резаков в зависимости от толщины стали

Показатель	Толщина стали, мм					
	3...8	8...15	15...30	30...50	50...100	100...200
Давление кислорода, кПа	245	343	392	412	490	735
Расход газа, $\text{дм}^3/\text{ч}$:						
кислорода	1 900	3 200	4 700	7 000	9 100	17 100
ацетилена	360	400	500	600	700	1 100
Время резки 1 м, с	150	180	270	300	480	720
Ширина реза, мм	2,0	2,5	3,5	4,5	7,0	8,0

Примечание. Давление ацетилена на входе в резак — 0,98...98 кПа.

При регулировании пламени резака необходимо установить рабочее давление кислорода на редукторе согласно режиму резки, затем на 1/4 оборота открыть вентиль подачи подогревающего кислорода и поджечь горючую смесь, после чего полностью открыть кислородный вентиль резака и отрегулировать пламя ацетиленовым вентиляем.

Категорически запрещается перегибать загоревшийся шланг. При образовании обратного удара (воспламенения горючей смеси внутри резака, при котором взрывная волна распространяется по подводящему трубопроводу в направлении баллона с ацетиленом) предварительно гасят пламя резака и перекрывают вентиль баллона.

Резаки для резки стали с использованием жидкого горючего.

На строительных площадках и в полевых условиях для кислородной резки низкоуглеродистой и низколегированной сталей широко применяют керосинорезы РК-02. В качестве горючего для резки используют пары керосина.

Керосинорез РК-02 (рис. 8.24) состоит из ствола 9, в котором смонтированы вентиль 10, регулирующий подачу подогревающего кислорода, и пусковой вентиль 3 режущего кислорода, инжекторно-смесительной камеры с асбестовой набивкой на наружной поверхности и головки 2 с подогревающим соплом 15. Керосинорез снабжен сменными мундштуками 1.

Керосин подается в резак от бачка с ручным насосом по специальному рукаву под давлением 20...200 кПа.

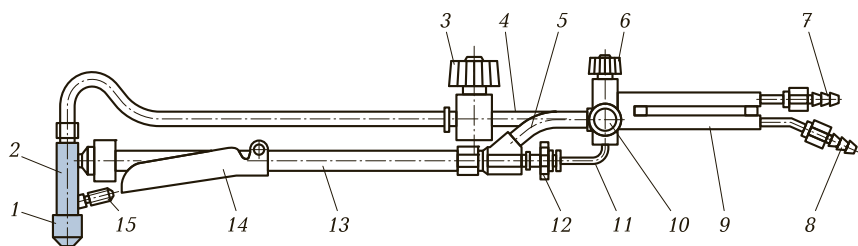


Рис. 8.24. Конструкция керосинореза РК-02:

- 1 — сменный мундштук; 2 — головка; 3, 10 — вентили подачи режущего и подогревающего кислорода соответственно; 4, 5 — трубки для подвода кислорода; 6, 12 — керосиновые вентили; 7, 8 — ниппели трубок подачи кислорода и керосина соответственно; 9 — ствол; 11 — трубка для подвода керосина; 13 — трубка с испарителем; 14 — щиток; 15 — подогревающее сопло

После заливки горючего и герметизации бачка в него с помощью насоса закачивают воздух, благодаря которому керосин по рукаву поступает к ниппелю 8. Кислород через ниппель 7, вентиль 6, трубку 5 и инжектор подается в смесительную камеру, расположенную в головке резака, в которой смешивается с парами горючего, поступающего из испарителя. Керосин от штуцера через трубку 11 подается в заполненный асбестовой набивкой испаритель, который в процессе работы керосинореза нагревается пламенем подогревающего сопла 15. Расход паров горючего регулируется вентилем 12, жестко связанным с трубкой инжектора.

При работе с керосинорезом необходимо соблюдать ряд особых правил. В частности, для предотвращения обратного удара пламени в кислородный рукав давление в бачке горючего всегда должно быть меньше рабочего давления кислорода, что исключает перетекание керосина в кислородный рукав. При перерывах в работе резак следует располагать головкой вниз для свободного вытекания горючего в случае негерметичности вентиля. Необходимо следить за исправностью обратного клапана, установленного на линии кислорода.

В резаках с распылением горючей жидкости в головке испарение капель жидкости происходит в выходном отверстии мундштука, разогретого до высокой температуры. Резак этого типа обладает повышенной устойчивостью против обратных ударов пламени по сравнению с резаками инжекторного типа, однако он не всегда может работать при низких температурах.

Кроме керосинорезов и бачков, выпускаемых в виде отдельных изделий, изготавливают также комплекты оборудования КЖГ-1 для резки на жидком горючем, включающие в себя тележку, на которую устанавливают бачок БГ-02 для жидкого горючего, баллон для кислорода и керосинорез РК-02 с рукавами и кислородным редуктором ДКП-1-65.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам классифицируют ацетиленовые генераторы?
2. Какие системы регулирования процесса получения ацетилена применяют в генераторах?
3. Из каких основных частей состоит ацетиленовый генератор АСП-10?
4. Приведите конструктивные особенности и принцип работы жидкостного предохранительного затвора.

5. Какие затворы применяют для газов-заменителей?
6. Каковы конструктивные особенности и принцип работы сухого предохранительного затвора?
7. Какие изготавливают баллоны для хранения и транспортирования сжатых газов?
8. В какие цвета окрашивают баллоны?
9. Каковы основные элементы конструкции баллонов?
10. Почему замерзают вентили на баллонах?
11. Чем отличаются кислородные вентили от ацетиленовых?
12. Каковы правила хранения баллонов на сварочном посту?
13. Благодаря чему сохраняется ацетилен в баллонах?
14. Чем отличается баллон для пропан-бутановой смеси от ацетиленового?
15. Каковы назначение редукторов и принципы работы постового одноступенчатого редуктора?
16. Чем отличается двухступенчатый редуктор от одноступенчатого?
17. Какие требования предъявляют к редукторам по климатическим условиям?
18. В какие цвета окрашивают редукторы и почему?
19. Чем различаются рампы ацетиленовых и кислородных баллонов?
20. По каким параметрам классифицируют рукава (шланги)?
21. Что вы знаете о кислородных и ацетиленовых трубопроводах?
22. Каково назначение сварочной горелки?
23. Чем различаются инжекторные и безинжекторные горелки?
24. Каково назначение инжектора?
25. Почему происходят хлопки и обратные удары?
26. Какие существуют типы горелок?
27. Какие резакки применяют для ручной резки металла?
28. Каков порядок подготовки к работе резаков?
29. Как следует обращаться с горелкой или резаком в пределах рабочего места?

Список литературы

1. *Маслов В. И.* Сварочные работы : учеб. пособие для нач. проф. образования / В. И. Маслов. — 6-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 240 с.
2. *Полевой Г. В.* Газопламенная обработка металлов : учебник / Г. В. Полевой, Г. К. Сухинин. — М. : Издательский центр «Академия», 2005. — 336 с.
3. *Овчинников В. В.* Газорезчик : учеб. пособие / В. В. Овчинников. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 64 с. — (Сварщик).
4. *Овчинников В. В.* Газосварщик : учеб. пособие / В. В. Овчинников. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 64 с. — (Сварщик).

Оглавление

Предисловие	4
Глава 1. Материалы для газовой сварки и резки металлов	5
1.1. Кислород, его свойства и получение	5
1.2. Горючие газы, их получение и свойства	6
1.3. Флюсы для газовой сварки	18
1.4. Присадочные материалы	22
Глава 2. Сварочное пламя, его строение и характеристики	27
2.1. Образование сварочного пламени	27
2.2. Строение сварочного пламени	28
2.3. Тепловые характеристики сварочного пламени	31
2.4. Образование сварного соединения	33
2.5. Металлургические процессы, протекающие в сварочной ванне	34
2.6. Структурные превращения в сварном шве и околошовной зоне	36
2.7. Напряжения и деформации	38
2.8. Подогревающее пламя для газовой резки	39
2.9. Струя режущего кислорода	41
2.10. Влияние процесса резки на металл поверхности реза	43
Глава 3. Технология газовой сварки	47
3.1. Области применения газовой сварки	47
3.2. Типы сварных соединений и швов при газовой сварке	48
3.3. Подготовка деталей перед сваркой	51
3.4. Режимы сварки	53
3.5. Особенности сварки швов в различных положениях	59
3.6. Дефекты сварных швов	60
Глава 4. Технология газовой сварки стали	63
4.1. Общие сведения об углеродистой и низколегированной сталях	63
4.2. Особенности газовой сварки углеродистой и низколегированной сталей	65
4.3. Термическая обработка и правка изделий после сварки	71
4.4. Особенности сварки труб	73
4.5. Газовая сварка легированной стали	77
Глава 5. Газовая сварка чугуна	81
5.1. Характеристика и классификация чугунов	81
5.2. Свариваемость чугуна	86

5.3. Классификация способов сварки чугуна	90
5.4. Материалы, применяемые при горячей сварке чугуна	91
5.5. Технология газовой сварки чугуна с подогревом	92
5.6. Технология газовой сварки чугуна без подогрева	95
5.7. Низкотемпературная газовая сварка чугуна	95
Глава 6. Газовая сварка цветных металлов и сплавов	102
6.1. Сварка меди	102
6.2. Сварка латуни	108
6.3. Сварка бронзы	118
6.4. Сварка алюминия и его сплавов	121
6.5. Сварка магниевых сплавов	138
6.6. Сварка свинца	145
6.7. Сварка никеля и его сплавов	147
Глава 7. Газовая резка	150
7.1. Общие сведения	150
7.2. Классификация способов термической резки	151
7.3. Сущность процесса газовой резки	152
7.4. Технология разделительной газовой резки стали	154
7.5. Методы повышения производительности и качества резки	166
7.6. Разделительная кислородная резка титана и его сплавов	171
7.7. Специальные виды кислородной резки	173
Глава 8. Оборудование и аппаратура для газовой сварки и резки	187
8.1. Схемы постов газовой сварки и резки	187
8.2. Ацетиленовые генераторы	188
8.3. Предохранительные затворы и огнепреградители	193
8.4. Баллоны для сжатых газов, вентили для баллонов	199
8.5. Редукторы для сжатых газов	207
8.6. Трубопроводы и шланги для горючих газов и кислорода	212
8.7. Сварочные горелки	216
8.8. Резаки для ручной кислородной резки	224
Список литературы	234

Учебное издание

Овчинников Виктор Васильевич
Технология газовой сварки и резки металлов

Учебник

5-е издание, стереотипное

Редакторы *Н. А. Фетисова, С. И. Зубкова*
Технический редактор *Н. И. Горбачёва*
Компьютерная верстка: *Л. М. Беяева*
Корректор *С. Ю. Свиридова*

Изд. № 705213887. Подписано в печать 21.11.2016. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Балтика». Усл. печ. л. 15,0.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU.ПЦ01.Н00695 от 31.05.2016.



Издательский центр «Академия»

*Учебная литература
для профессионального
образования*

Наши книги можно приобрести (оптом и в розницу)

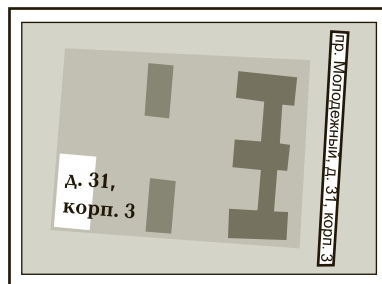


Москва
129085, Москва, пр-т Мира, д.101в, стр. 1
(м. Алексеевская)
Тел.: (495) 648-0507, факс: (495) 616-0029
E-mail: sale@academia-moscow.ru

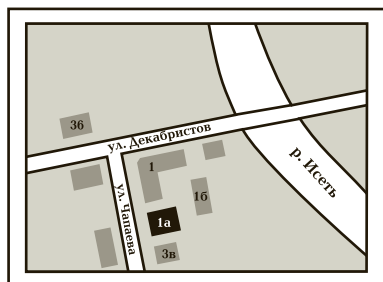
Филиалы:



Северо-Западный
194044, Санкт-Петербург,
ул. Чугунная, д. 14, оф. 319
Тел./факс: (812) 244-9253
E-mail: spboffice@acadizdat.ru

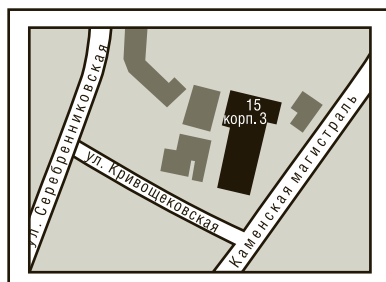


Приволжский
603101, Нижний Новгород,
пр. Молодежный, д. 31, корп. 3
Тел./факс: (831) 259-7431,
259-7432, 259-7433
E-mail: pf-academia@bk.ru



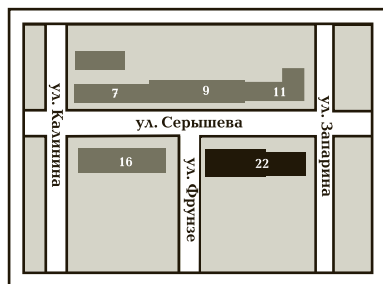
Уральский

620142, Екатеринбург, ул. Чапаева,
д. 1а, оф. 12а
Тел./факс: (343) 257-1006, 257-3473
E-mail: academia-ural@mail.ru



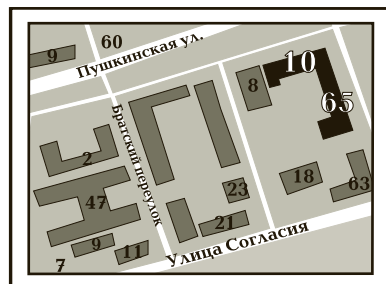
Сибирский

630007, Новосибирск,
ул. Кривошековская, д. 15, корп. 3,
Тел./факс: (383) 362-2145, 362-2146
E-mail: academia_sibir@mail.ru



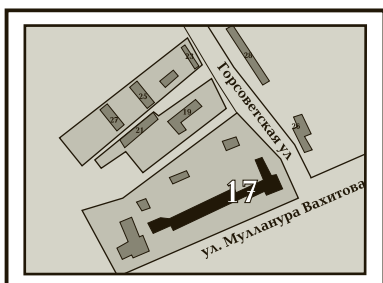
Дальневосточный

680038, Хабаровск, ул. Серышева,
д. 22, оф. 519, 520, 523
Тел./факс: (4212) 56-8810
E-mail: filialdv-academia@yandex.ru



Южный

344082, Ростов-на-Дону,
ул. Пушкинская, д. 10/65;
Тел./факс: (863) 203-5512, 269-5365
E-mail: academia-UG@mail.ru



Представительства: в Республике Татарстан

420034, Казань, ул. Горсоветская,
д. 17/1, офис 36
Тел./факс: (843) 562-1045
E-mail: academia-kazan@mail.ru

в Республике Казахстан

Алматы, пр-т Абая, д. 26А, оф. 209
Моб.тел. (701) 014-3775
Тел.: (727) 250-0316
E-mail: academia_kazakhstan@mail.ru

в Республике Дагестан

Тел.: 8-928-982-9248

www.academia-moscow.ru



Предлагаем вашему вниманию следующие книги:

С. А. ЛАВРЕШИН

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБУЧЕНИЕ ГАЗОСВАРЩИКОВ

Объем 192 с.

В учебном пособии изложены теоретические основы газовой сварки и пайки металлов. Приведены свойства металлов и их сплавов, классификация и маркировка углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных металлов и их сплавов. Подробно рассмотрены устройство и правила эксплуатации газосварочного оборудования, технологические особенности процессов сварки и пайки. Указаны требования, предъявляемые к оборудованию поста газопламенной обработки металлов и сварочным материалам, причины, вызывающие дефекты в сварных швах, способы обнаружения и устранения дефектов. Особое внимание уделено вопросам охраны труда, правилам пожарной безопасности при выполнении газосварочных работ. Учебное пособие может быть использовано при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02.02) по профессии «Сварщик (электросварочные и газосварочные работы)».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

В. В. ОВЧИННИКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ СВАРКИ

Объем 208 с.

В учебном пособии рассмотрены физические и технические основы, области применения и перспективы использования традиционных и специальных методов сварки в твердой фазе и сварки плавлением. Приведены основные технологические параметры и режимы сварки для ряда конструктивных материалов. Даны технологические схемы изготовления типовых сварных конструкций. Учебное пособие может быть использовано при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02) по профессии «Сварщик».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

www.academia-moscow.ru
