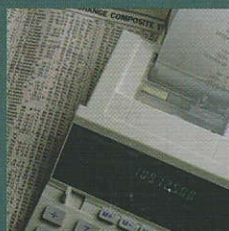
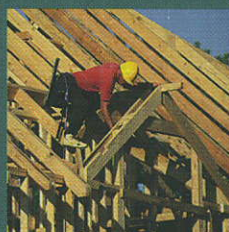
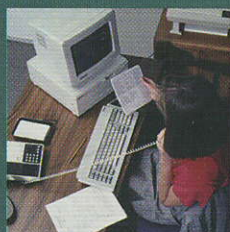
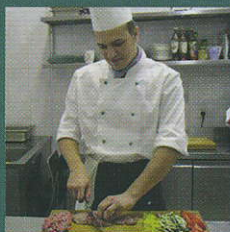


НЕПРЕРЫВНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

СВАРЩИК

В. В. ОВЧИННИКОВ

ГАЗОРЕЗЧИК



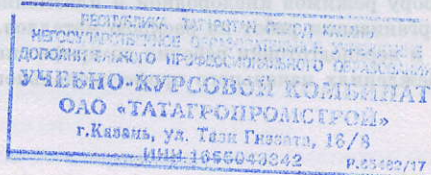
НЕПРЕРЫВНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

СВАРЩИК

В. В. ОВЧИННИКОВ

ГАЗОРЕЗЧИК

Допущено
Экспертным советом
по профессиональному образованию
в качестве учебного пособия
для использования в учебном процессе
образовательных учреждений,
реализующих программы
начального профессионального образования
и профессиональной подготовки



Москва
Издательский центр «Академия»
2007

УДК 621(075.9)

ББК 34:34.4

О-355

Серия «Непрерывное профессиональное образование»

Рецензенты:

зам. генерального директора ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»,
д-р техн. наук, проф. А.С.Зубченко;
преподаватель ГУЦ «Профессионал» С.А.Лаврешин

Овчинников В.В.

О-355 Газорезчик : учеб. пособие / В.В.Овчинников. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 64 с. — (Сварщик).

ISBN 978-5-7695-3789-9

В учебном пособии предлагается применение компетентностного подхода к подготовке сварщика.

Рассмотрены основные процессы, протекающие при термической резке сталей и сплавов цветных металлов. Описаны технология резки, оборудование, применяемое при резке, способы повышения производительности и качества процесса резки. Даны рекомендации по выбору режимов кислородной и плазменной резки. Описаны правила безопасности при организации работ по раскрою металлов.

Для подготовки и переподготовки рабочих по профессии «Газорезчик». Может быть использовано в учреждениях начального профессионального образования.

УДК 621(075.9)

ББК 34:34.4

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

© Овчинников В.В., 2007

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2007

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2007

© Крюков К.А., дизайн серии, 2007

ISBN 978-5-7695-3789-9

К читателю

Термическая резка является основной операцией при получении металлических заготовок заданных размеров. Современное производство предъявляет высокие требования к качеству вырезаемых и разрезаемых заготовок, поэтому рабочим необходимо знать специфику процессов термической резки и уметь работать на сложном современном оборудовании. Учебное пособие послужит основой для профессиональной деятельности газорезчиков.

Благодаря учебному пособию вы будете **знать**:

- особенности процессов газовой и плазменной резки металлов;
- строение газового пламени;
- технологические особенности резки сталей и титановых сплавов;
- устройство газовых и плазменных резаков.

Благодаря учебному пособию вы будете **уметь**:

- выполнять разметку заготовок под газовую и плазменную разделительную резку;
- правильно выбирать параметры режима резки применительно к виду обрабатываемого материала и его толщине;
- производить вырезку простых деталей газовой и плазменной резкой с учетом припуска на дальнейшую обработку.

1.1

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 тела или разделение металлического предмета на части путем его проплавления по заданной линии или объему.

Различают *разделительную* и *поверхностную* резку. В результате резки в обрабатываемом металлическом теле выполняют полость — рез. Полость разделительного реза 1 (рис. 1.1), имеющего форму узкой сквозной щели, ограничена боковыми поверхностями и не имеет донной поверхности. В передней части незавершенного 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 участки металла, необходимые для образования реза.

Источник должен обладать большой тепловой мощностью, а также обеспечивать высокую концентрацию тепловой энергии для того, чтобы нагрев и

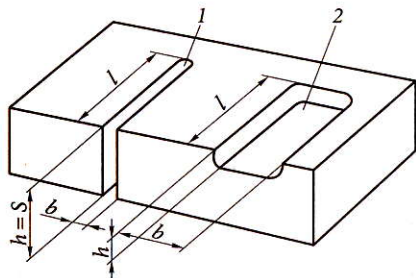


Рис. 1.1. Разделительный 1 и поверхностный 2 резы:
 l , b , h и S — соответственно длина, ширина, глубина
и толщина металла

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 или электрический дуговой разряд. В первом случае говорят о так называемой кислородной (автогенной, газовой) или кислородно-флюсовой резке, во втором — о способах электрической резки.

1.2

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.

В настоящее время в ведущих отраслях промышленности уровень механизации работ по раскрою с помощью резки составляет 70 ... 80 %. Высокий уровень механизации процесса резки на современных машинах с фотокопировальным или числовым программным управлением создал предпосылки для разработки и внедрения в производство поточных комплексно-механизированных и гибких автоматизированных линий термической резки листовой стали.

Для обработки заготовок из низкоуглеродистых, конструкционных и низколегированных сталей применяют обычную *газовую (кислородную)* резку, из высоколегированных сталей, чугуна и цветных сплавов — *кислородно-флюсовую* резку.

Существуют особые способы кислородной резки:

- подводная, применяемая, как правило, при ремонтных работах под водой;
- кислородно-копьевая;
- электрокислородная.

В настоящее время кислородная резка является одним из основных технологических процессов в заготовительном производстве и находит применение в металлургии, металлообрабатывающей промышленности и строительстве.

Плазменно-дуговую резку целесообразно применять для коррозионно-стойких сталей толщиной до 80 мм, алюминиевых и магниевых сплавов. При плазменно-дуговой резке цветных металлов используют азотоводородные смеси. Для резки конструкционных и высоколегированных сталей в качестве плазмообразующей среды используют сжатый воздух.

Общие сведения. 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 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, у верхней кромки до температуры плавления.

Образовавшийся на верхней части кромки расплав жидких оксидов 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 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 выдвигаться 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 самым причинам отрицательно сказывается на способности металла подвергаться кислородной резке их высокая теплопроводность.

Общие сведения. 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 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, у верхней кромки до температуры плавления.

Образовавшийся на верхней части кромки расплав жидких оксидов 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 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 выдвигаться 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 самым причинам отрицательно сказывается на способности металла подвергаться кислородной резке их высокая теплопроводность.

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

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

В технике обычно применяют сплавы металлов, из них наиболее широко используют сплавы железа и углерода — сталь и чугун. Наличие примесей в стали влияет на способность стали обрабатываться кислородной резкой из-за образования в слое жидкого расплава, выдуваемого из реза кислородной струей, тугоплавких оксидов.

Влияние легирующих примесей на резку стали. Остановимся подробнее на влиянии легирующих примесей на способность стали обрабатываться кислородной резкой.

Углерод, содержащийся в стали, приводит, с одной стороны, к повышению температуры ее воспламенения в струе кислорода, с другой — к снижению температуры плавления. Стали, содержащие до 1 % углерода, разрезаются кислородной резкой без затруднений. Кроме того, повышение содержания углерода в стали снижает ее вязкость. Именно этим обстоятельством можно объяснить более низкие скорости резки железа, содержащего 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 чугуны обычной кислородной резкой обрабатываться не могут.

Марганец и медь в количествах, встречающихся обычно в сталях, практически не влияют на технологические параметры кислородной резки. Кислородной резкой могут разрезаться стали, содержащие до 18 % марганца.

Кремний, хром, алюминий, никель с увеличением их содержания в стали ухудшают процесс резки.

Кремний содержится обычно в небольшом количестве (до 2 %) в низколегированных сталях, что практически не сказывается на скорости резки.

При содержании в сталях до 2 % хрома их также разрезают с использованием режимов, принятых для низкоуглеродистых сталей. Увеличение содержания хрома до 6 % приводит к снижению скорости резки. Хромистые стали с содержанием хрома более 6 % из-за образования тугоплавких оксидов не могут быть обработаны обычной кислородной резкой. Для резки этих сталей в разрез вводят специальные флюсующие материалы.

Стали с высоким содержанием никеля (до 30 %) можно разрезать кислородным способом, если содержание углерода в них не превышает 0,35 %, в противном случае резка затрудняется, требуется предварительный подогрев.

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.

1.4 Подогревающее пламя

Применяемые газы. 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 исходный продукт для его получения — карбид кальция — требует в производстве больших энергозатрат. Вследствие этого в настоящее время при кислородной резке ацетилен применяется редко. В основном используют газы — заменители ацетилена: природный газ, пропан-бутановые смеси и др. Свойства некоторых горючих газов представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Горючий газ	Температура пламени в смеси с кислородом, °С	Минимальная теплота сгорания, кДж/м ³	Коэффициент замены ацетилена ψ	Оптимальное соотношение между объемами кислорода и горючего газа	
				при нормальном пламени	при избытке кислорода в пламени
Ацетилен	3 100 ... 3 200	52 800	1,0	1,1	1,7
Водород	2 100 ... 2 500	10 400	5,2	0,4	0,6
Пропан	2 600 ... 2 750	87 100	0,6	3,5	5,0
Природный газ	2 000 ... 2 200	31 440	1,6	1,0	1,5
Коксовый газ	2 000 ... 2 200	14 700	3,0	0,6	0,8

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

крыта различными загрязнениями (окалина, пригар) или увеличено расстояние между поверхностью разрезаемого металла и резаком по технологическим соображениям.

Во второй стадии процесса подогревающее пламя разогревает впереди лежащие поверхностные слои металла до температуры воспламенения, чем обеспечивается непрерывность ведения процесса. В 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 для режущего кислорода. Для ручных и машинных резаков применяется концентричное расположение выходных отверстий по отношению к режущему соплу. У ручных резаков пламя выходит из щели, образуемой наружной поверхностью внутреннего мундштука и внутренней поверхностью наружного мундштука.

1.5 Струя режущего кислорода

От свойств струи режущего кислорода 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, который с удалением струи от сопла увеличивается. Вследствие этого струя режущего кислорода по мере удаления от сопла расширяется, и ее скорость уменьшается. Одновременно снижается чистота кислорода.

Динамические свойства струи режущего кислорода определяются *формой режущего сопла*. Полное давление струи уменьшается с увеличением расстояния от среза сопла. Наибольшие значения полного давления струи соответствуют соплам с плавным входом и коническим расширением на выходе. У сопел ступенчато-цилиндрического типа внезапное расширение струи при переходе от горлового канала к выходному приводит к завихрению струи в «мертвых» зонах.

Стальной прокат обычной толщины обрабатывается при давлении режущего кислорода перед резаком 392...1 176 кПа (3,92...11,76 кгс/см²). Для резки стальных отливок и поковок большой толщины (свыше 300 мм) приме-

няется низкое давление кислорода (до 392 кПа) с использованием в мундштуках сопел режущего кислорода цилиндрического типа.

Важным параметром режущей струи является *скорость ее истечения* из сопла. При кислородной резке считается наиболее благоприятным 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, что снижает кинетическую энергию струи и ухудшает ее режущие свойства. Снижение статического давления ниже атмосферного приводит к изменению формы струи на выходе из сопла и не обеспечивает качественного процесса резки.

Повышение скорости потока режущего кислорода увеличивает динамическое воздействие на пленку жидкого металла, что обеспечивает повышение скорости кислородной резки металла при прочих равных условиях (рис. 1.2), поэтому для резки следует применять кислород высокого давления.

Кроме определенного объема кислорода, поступающего для окисления металла, в рез необходимо подать дополнительное количество кислорода для выдувания из щели реза жидких шлаков. Практика показывает, что *коэффициент использования кислорода* определяется в основном требованиями, предъявляемыми к качеству поверхности реза, и толщиной металла. Коэффициент использования кислорода имеет наименьшие значения при резке металла толщиной 5...10 мм (0,2...0,4), а с увеличением толщины до 100 мм возрастает примерно в 2 раза и далее меняется 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 0,5 количество инертных примесей в струе кислорода возрастает в 2 раза, проникание частиц кислорода через слой инертных примесей затрудняется и реакция окисления за-

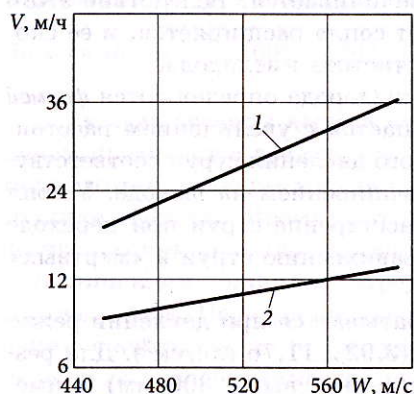


Рис. 1.2. Зависимость скорости резки V от скорости потока кислорода W :

1 — толщина стали 20 мм; 2 — толщина стали 100 мм

медляется. 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 %.

1.6

Влияние процесса резки на металл поверхности реза

При кислородной резке стали на лобовой поверхности реза развивается высокая температура, превышающая на 200... 500 °С температуру плавления стали. Выделившаяся при резке теплота распространяется по детали и нагревает прилегающие к резу слои металла, создавая зону термического влияния (ЗТВ). Термическое воздействие на металл характеризуется очень быстрым нагревом поверхности реза и прилегающих к нему слоев металла до температуры, близкой к температуре плавления, высокой скоростью охлаждения и замедлением ее по мере снижения температуры (рис. 1.3). Чем ближе 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 °С/с. Такие скорости охлаждения приводят к образованию закалочных структур на поверхности реза даже при относительно низком содержании углерода в разрезаемой стали.

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

При кислородной резке стали на кромке реза происходит изменение химического состава металла. Оно вызвано тем, что в жидком расплаве происходит окисление элементов с большим сродством к кислороду. К таким элементам относятся марганец, кремний, хром. Они в первую очередь окисляются в жидком расплаве, вследствие чего их содержание на кромке реза снижается. Никель, молибден и медь, обладающие меньшим сродством 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.

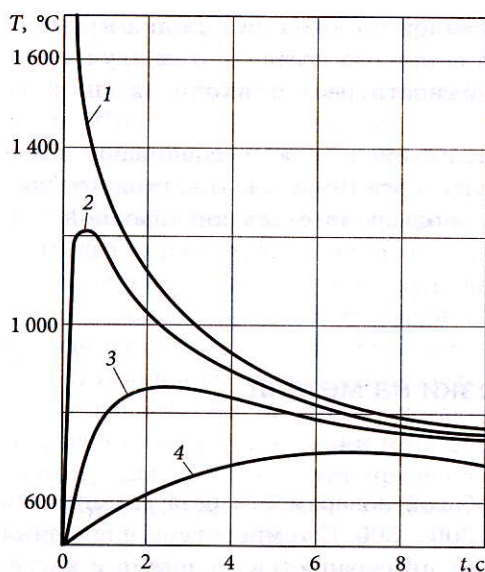


Рис. 1.3. Термический цикл кислородной раздельной резки низкоуглеродистой стали толщиной 20 мм в точках, расположенных на различном расстоянии от поверхности реза:

1 — 0,6 мм; 2 — 2 мм; 3 — 6 мм; 4 — 10 мм;
 T — температура; t — время

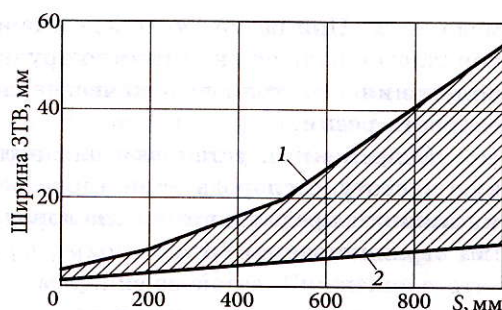


Рис. 1.4. Зависимость ширины зоны термического влияния от толщины металла S :

1 — нижняя кромка; 2 — верхняя кромка

Протяженность 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. 1.4). В ЗТВ выявляются три характерных участка: участок оплавленного металла с измененным химическим составом и температурой нагрева выше температуры плавления стали; участок перегрева, нагретый до температур, превышающих температуру фазового превращения; участок неполной перекристаллизации. Участок с измененным химическим составом при резке металла средней толщины 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 подогрев заготовок, который снижает скорость охлаждения металла кромки и обеспечивает получение более пластичных структурных составляющих. Стали, содержащие 16...30 % хрома и до 0,3 % углерода, при нагреве до температуры свыше 950 °C приобретают крупнозернистое строение и по-

вышенную хрупкость, которые не устраняются последующей термической обработкой, поэтому их резку рекомендуется выполнять на возможно максимальных скоростях с охлаждением кромки реза воздухом или водой.

1.7

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 различных марок сталей необходимо подавать на рабочее место резчика очищенным от окалины, ржавчины и других загрязнений.

При резке в зимних условиях листы нужно подавать в цех заблаговременно, чтобы они успели нагреться до температуры окружающего воздуха. Это снизит вероятность образования трещин на кромке реза. Прибыли в зоне резки должны быть тщательно очищены от формовочной смеси, песка и пригара.

Перед **ручной** кислородной резкой поверхность проката очищается 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 подвергается правке прокаткой на специальных листопрямильных машинах и затем сплошной очистке. Существуют химический, механический и газопламенный способы очистки. Химическая очистка проводится травлением стального проката в растворе соляной или серной кислоты. При этом листы укладывают в специальные ванны. Продолжительность очистки листов из низкоуглеродистых и низколегированных сталей составляет 1...2 ч, из высоколегированных — более 3 ч.

Среди различных способов механической очистки поверхности наибольшее распространение получила дробеметная очистка, при которой лист перемещается с равномерной скоростью, а поверхность листа обрабатывается пучком дроби, вылетающей с большой скоростью из дробеметной камеры. Этот процесс очистки является экологически чистым и наиболее производительным.

Расстояние между мундштуком и поверхностью разрезаемого металла определяет качество резки и производительность процесса. Необходимо устанавливать торец мундштука на определенном расстоянии от поверхности разрезаемого металла. 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 ацетилена рекомендуемое расстояние увеличивается 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.

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 начинают процесс резки с кромки листового проката. При вырезке внутренних элементов заготовок вначале необходимо пробить отверстие по всей толщине металла. Пробивка начального отверстия (рис. 1.5) в стальном листе начинается 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 на пониженной скорости. После прожигания отверстия резак устанавливают 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 (см. рис. 1.5). После прогрева металла в зоне пробивки включают подачу режущего кислорода первой ступени с давлением не более 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 частички шлака не засоряют мундштук, процесс пробивки отверстия протекает устойчиво. После прохождения резакom третьей части пути, определенной для пробивки, включается полное давление режущего кислорода с одно-

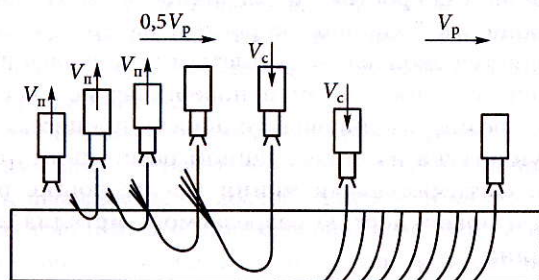


Рис. 1.5. Схема пробивки начального отверстия в листе:

V_n — скорость подъема мундштука; V_c — скорость снижения мундштука; V_p — скорость резки

временным опусканием резака, которое осуществляется со скоростью V_c . Отверстие прожигается полностью.

При пробивке начального отверстия в листе кромка реза получается 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.

При резке проката большой толщины начальное отверстие получают засверловкой либо кислородно-копьевой резкой.

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, 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. 1.6).

В большинстве случаев целесообразно уменьшить скорость резки, если при этом обеспечиваются точность вырезанной детали и такие качества поверхности резки, которые позволяют отказаться от дополнительной механической обработки. Если вырезаемые детали должны быть подвергнуты последующей механической обработке, поверхность реза может быть невысокого качества и скорость резки можно значительно увеличить.

На производительность и качество кислородной резки кроме скорости резки, давления и расхода режущего кислорода, расхода и соотношения газов подогревающего пламени влияют факторы, которые не всегда можно учесть в производственных условиях. К таким факторам относятся температура окружающей среды, качество металла и его поверхности, качество ка-

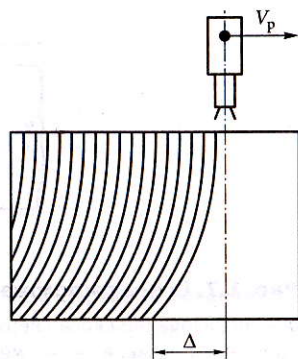


Рис. 1.6. Схема формирования отставания при газовой резке:

V_p — скорость резки; Δ — отставание

налов мундштуков и др. Поэтому данные по режимам резки могут быть использованы с некоторыми поправками, вытекающими из производственных условий.

Для ручной разделительной резки могут быть приняты режимы, соответствующие третьему классу точности. В конце реза при замыкании контура детали скорость резки плавно понижают до 50 % оптимальной, что позволяет избежать появления перемычки в нижней части листа.

Одной из широко применяемых операций, выполняемых кислородной резкой, является снятие фасок под сварку. Кромка заданной конфигурации может быть получена при установке резаков по схемам, представленным на рис. 1.7 и 1.8.

При подготовке кромок под V-образную разделку с образованием одностороннего скоса сверху (рис. 1.7, а) резак 1 выполняет вертикальный рез, 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 наклонным резак необходимо остановить машину и выполнить 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. 1.7, б) струя режущего кислорода резака 2 сначала срезает небольшую толщину металла, идущего в отход, а затем резак 1 выполняется резка наклонной кромки металла, предварительно нагретого вертикальным резак. Преимущество такой схемы — увеличение скоростей резки, а также отсутствие необходимости в остановке машины перед началом резки кромки вертикальным резак. Не-

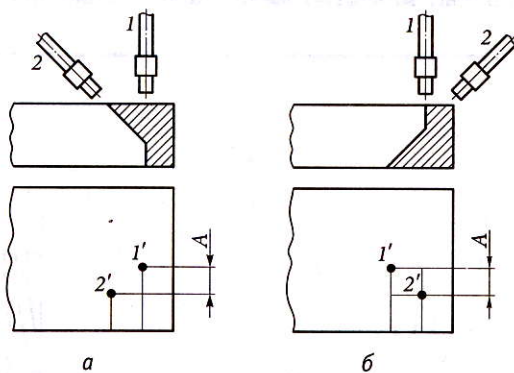


Рис. 1.7. Схемы расположения резаков при подготовке кромок под V-образную разделку:

а — образование скоса сверху; б — образование скоса снизу; 1, 2 — резаки; 1', 2' — точки расположения резаков; A — смещение резаков относительно друг друга

достаток этой схемы — несколько меньшая чистота поверхности реза при обработке металла толщиной более 35 мм.

Подготовка кромок под Х-образную разделку осуществляется при одновременной работе трех резаков, при этом вертикальный резак образует приуглубление, наклонные резаки — фаски. На практике применяют две схемы работы резаков.

При работе по первой схеме (рис. 1.8, 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 резак 2, не успел остыть после резки резак 1 и покрыться пленкой оксидов. В противном случае кислородная струя, ударяясь о застывшую пленку оксидов, отражается от нее и устремляется вниз по вертикальному резу. При такой схеме установки резаков производительность резки высокая и нет необходимости в остановке машины при врезании в металл резаков 2 и 3. Эта схема применяется преимущественно при прямолинейной резке проката.

При фигурной резке со скосом кромок под сварку применяют вторую схему (рис. 1.8, б), обеспечивающую более высокую точность вырезанных деталей. При резке со скосом кромок под сварку начало резки необходимо выполнять с кромки металла, так как пробить в листе начальное отверстие несколькими резаками не представляется возможным.

При вырезке внутренних контуров сначала центральным резак 2 вырезается прямоугольное окно небольшого размера, и от него в дальнейшем начинается процесс резки.

Эффективность процесса кислородной резки зависит от точности вырезаемых заготовок и качества поверхности. Точность резки характеризуется совпадением размеров вырезаемых деталей с заданными размерами.

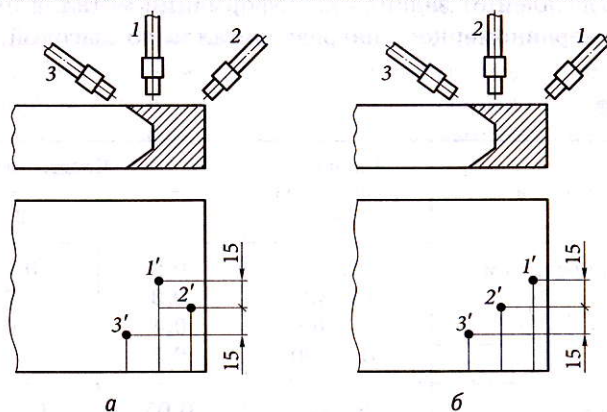


Рис. 1.8. Схемы расположения резаков при подготовке кромок под Х-образную разделку:

а — вертикальный резак впереди; б — вертикальный резак в центре; 1 — 3 — резаки; 1' — 3' — точки расположения резаков

Качество поверхности реза определяется в соответствии с ГОСТ 14792—80 следующими показателями: 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. 1.2 приведены предельные отклонения реза по неперпендикулярности и шероховатости для различных диапазонов толщин разрезаемого листового стального проката (ГОСТ 14792—80).

Различная точность резки, т.е. совпадение размеров вырезанной детали с заданными, зависит от точности машины, точности изготовления копир-чертежей, состояния поставки металла (наличие внутренних напряжений в листовом прокате). Установлено три класса точности машин (ГОСТ 5614—74): первый относится к машинам, электромеханическая погрешность которых не превышает $\pm 0,5$ мм, второй — ± 1 мм, третий — $\pm 1,5$ мм.

Точность размеров вырезанной заготовки, связанная с процессом резки (параметрами режущей струи, деформациями и т.п.), определяется ГОСТ 14792—80. Таким образом, размерная точность вырезаемых деталей должна укладываться в суммарный допуск точности машины и точности собственно резки.

Деформация при резке — одна из главных причин отклонения размеров вырезанных деталей от заданных. Деформация металла при резке возникает вследствие неравномерного нагрева металла до высокой температуры и

Таблица 1.2

Показатели качества	Толщина разрезаемой стали, мм	Классы качества		
		1	2	3
Неперпендикулярность, мм	5 ... 12	0,2	0,5	1,0
	13 ... 30	0,3	0,7	1,5
	31 ... 60	0,4	1,0	2,0
	61 ... 100	0,5	1,5	2,5
Шероховатость, мм	5 ... 12	0,05	0,08	0,16
	13 ... 30	0,06	0,16	0,25
	31 ... 60	0,07	0,25	0,50
	61 ... 100	0,085	0,5	1,0

его охлаждения с образованием пластических деформаций в зоне нагрева. Пластические деформации, возникающие по кромкам вырезаемых деталей, вызывают укорочение, изгиб деталей, а также потерю устойчивости заготовки (отклонение от плоскостности). Количественно деформации зависят от размеров вырезаемых заготовок, теплофизических и механических свойств листового металла, расположения деталей на листе, последовательности их резки, а также от технологических параметров процесса резки (скорости резки, расхода режущего кислорода и мощности подогревающего пламени, ширины реза, наличия шлака на кромках реза и т.п.).

Несмотря на большое число факторов, влияющих на величину деформации, можно дать общие рекомендации по повышению точности вырезаемых деталей. Прежде всего необходимо обращать особое внимание на расположение деталей на обрабатываемом стальном листе. В целях снижения деформаций при комплектовании раскроя необходимо избегать размещения на листе одних узких длинных деталей. Длинные детали следует компоновать на листе с короткими и размещать 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 необходимо резку начинать с края листа и перемещаться вдоль его короткой стороны (рис. 1.9). 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 обреза должна быть меньше жесткости вырезаемой детали, поэтому следует предусматривать разрезку отходов.

При вырезке деталей с отношением длины к ширине более 3 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.

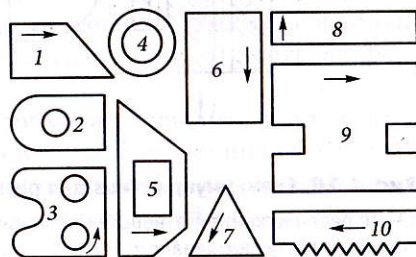


Рис. 1.9. Последовательность (1—10) вырезки деталей из листа

Для снижения деформации резку необходимо выполнять на максимальной скорости для данного класса качества реза с минимальной мощностью подогревающего пламени и минимальным в соответствии с требованиями к процессу расстоянием между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла.

Можно уменьшить значения погрешностей размеров деталей путем применения рациональной конструкции стола, на котором выполняется резка. Конструкция стола должна обеспечивать жесткое крепление, чтобы противостоять деформации изгиба вырезаемых деталей и обрези. Во избежание смещения листа в процессе резки необходимо предусматривать возможность свободного перемещения обрези.

Резка стали малой толщины. Своеобразие 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 довольно большого пятна. Вследствие этого шлаки, выдуваемые струей кислорода из разреза, смачивают нижнюю кромку с образованием трудноотделимого графа, поэтому 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 за отверстием для пламени (рис. 1.10, а). Отверстие для режущего кислорода располагают ближе к поверхности металла. При таком расположении отверстий металл поступает в зону режущей струи разогретым до более низ-

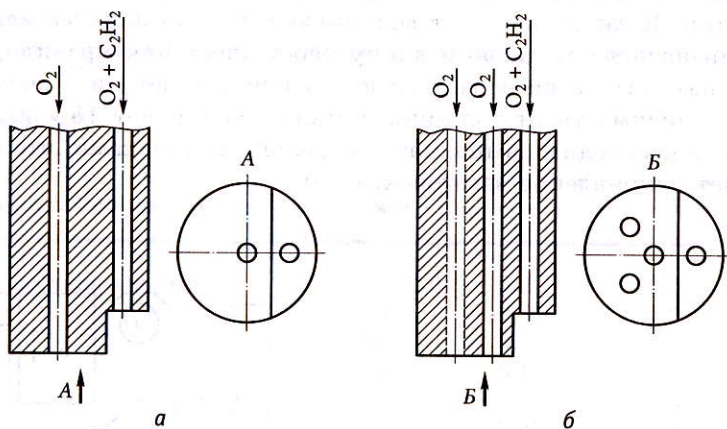


Рис. 1.10. Схемы мундштуков для резки металла малой толщины:

а — с расположением отверстия для режущего кислорода за отверстием для пламени; б — с трехструйным режущим каналом

кой температуры, чем при традиционном кольцевом пламени, применяемом для сварки металла средней толщины.

Хорошее качество поверхности реза обеспечивают мундштуки с трехструйным режущим каналом (рис. 1.10, 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 пламени вокруг режущего сопла. Отличие состоит в добавлении внешнего кольцевого канала, через который на кромку реза подается охлаждающий воздух или воздушно-водяная смесь. Режимы механизированной кислородной резки тонкого металла приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Толщина разрезаемой стали, мм	Расход газа, м³/ч				Скорость резки, м/ч
	кислорода		ацетилена	воздуха	
	режущего	подогревающего			
2	1,0	0,16	0,15	2,0	51,1
3	1,1	0,20	0,18	2,5	46,8
4	1,2	0,24	0,21	3,0	45,0
5	1,3	0,28	0,25	4,0	43,2

Пакетная резка. При необходимости получения из листов тонкого металла большого числа однотипных деталей можно применять 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 трубцами (рис. 1.11), после чего листы закрепляют с помощью дуговой сварки.

При пакетной резке особое внимание необходимо уделять началу процесса. При вырезке наружных контуров деталей процесс начинается 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

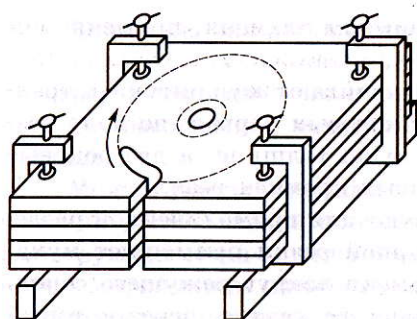


Рис. 1.11. Схема выполнения пакетной резки

возможным, поэтому его получают засверловкой. Врезание режущей струи в металл необходимо осуществлять на пониженной скорости. Режимы пакетной резки стали приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

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

При пакетной резке тонкого металла верхний лист оплавляется подогревающим пламенем. Для устранения этого дефекта при сборке пакета сверху укладывают любой некачественный металл, идущий затем в отход.

Резка стали большой толщины. Основная особенность резки стали большой толщины (более 300 мм) состоит в необходимости сформировать фронт окисления металла большой протяженности, поэтому при резке металла большой толщины 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 большими, чем при кислородной резке стали обычной толщины. Резку выполняют, как правило, с использованием кислорода низкого давления до 392 кПа (3,92 кгс/см²), 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.

Струя большого диаметра обеспечивает окисление соответственно большого количества металла в верхней части реза, чем улучшается прогрев металла в нижней части реза. Образующийся шлак заполняет раковины и пустоты, располагающиеся довольно часто в прибылях, в связи с чем кислородная струя не теряет устойчивости и не меняет направления при резке металла с внутренними дефектами.

При резке стали большой толщины для уменьшения нагрева мундштука отраженной теплотой и во избежание засорения каналов для выхода горючей смеси брызгами шлака рекомендуется поддерживать расстояние от среза мундштука до поверхности разрезаемого металла значительно большим, чем при резке листового проката.

Для создания условий для свободного 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 ограждение их 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 торцевой поверхности разрезаемого изделия, если

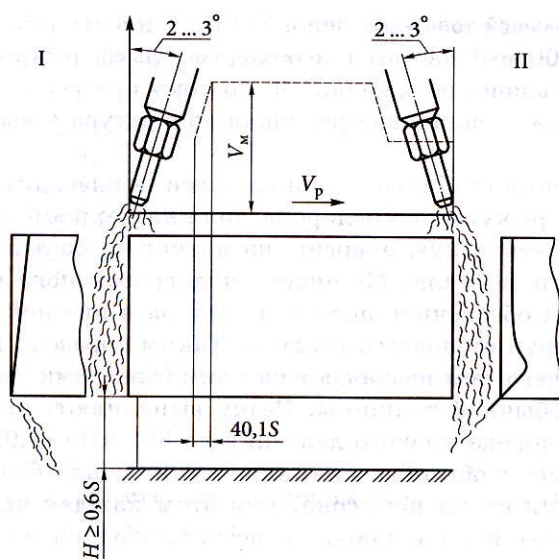


Рис. 1.12. Схема резки металла большой толщины:

S — толщина изделия; V_p — скорость резки; V_m — скорость резки на участке с вертикальным расположением мунштука; H — свободное пространство под изделием; I, II — положения начала и завершения процесса резки соответственно

заготовки имеют прямоугольную форму, требуется очень точная установка резака в начальное положение над кромкой металла. Начало резки значительно облегчается, если резак наклонить на $2...3^\circ$ в сторону разрезаемой заготовки (рис. 1.12). При этом на торцевой 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, что обеспечит прорезание нижней кромки заготовки.

Большое 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 1000 мм в резаках за режущим соплом располагают дополнительно сопло для подачи горючего газа.

При резке стали толщиной более 2000 мм 65 % горючего газа подается в рез через дополнительное сопло.

От типа горючего газа зависит эффективность процесса резки металла большой толщины. При резке предпочтительно использовать газы — заменители ацетилена, имеющие низкую скорость воспламенения.

Применение кислородной завесы. Увеличить скорость кислородной резки можно повышением чистоты режущего кислорода. Чтобы уменьшить загрязнение режущей струи, между выходным отверстием режущего кислорода и подогревающим пламенем расположен кольцевой канал так называемой кислородной завесы, из которой выходит кислород с относительно небольшой скоростью истечения. Окружающий основную струю поток режущего кислорода предотвращает подсос продуктов горения подогревающего 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 применяется ограниченно.

Контактная резка. Уменьшению подсоса окружающего воздуха и газов пламени способствует метод контактной резки, разработанный японской фирмой Iwatani. Внутренний мундштук выступает на 2...3 мм за срез наружной гильзы и 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 поддерживается 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 из-за налипания брызг расплавленного металла и окалины и нагрева мундштука подогревающим пламенем.

Резка горячего металла. Нагрев металла перед резкой до температуры 1000 °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 ряде новых высокопроизводительных процессов кислородной резки листовой стали, к которым относятся двухструйная резка и резка под острыми углами атаки струи режущего инструмента.

При двухструйной резке в мундштуке рассверливают два режущих канала 1 (рис. 1.13, а), расположенные друг от друга на расстоянии 8...10 мм. При перемещении мундштука ось второго канала смещается на 0,5...1,0 мм в направлении, перпендикулярном направлению резки (рис. 1.13, б). В процессе резки передняя струя прорезает металл по всей толщине, осуществляя нагрев тонкого слоя металла, который сжигается затем задней струей. Поверх-

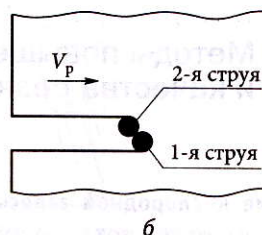
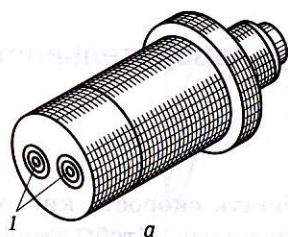


Рис. 1.13. Схема двухструйной скоростной резки:

a — мундштук; *б* — расположение режущих струй; 1 — каналы; V_p — скорость резки

ность реза со стороны первой струи получается грубой с сильно выраженной шероховатостью и большим отставанием линий реза. Со стороны второй струи кромка относительно гладкая, и ее шероховатость не превышает $0,12 + 0,001S$ мм, где S — толщина разрезаемого металла. Вторая струя осуществляет зачистку поверхности реза после первой струи и обеспечивает высокое качество поверхности при высокой скорости резки. На рис. 1.14 показана зависимость скорости резки листового проката обычными и двухструйными мундштуками от толщины разрезаемого металла. Применение двухструйных мундштуков позволяет увеличить скорость резки более чем в 1,7 раза по сравнению с обычной резкой. Описанный способ кислородной резки может с успехом применяться для прямолинейных и криволинейных резов с большим радиусом кривизны.

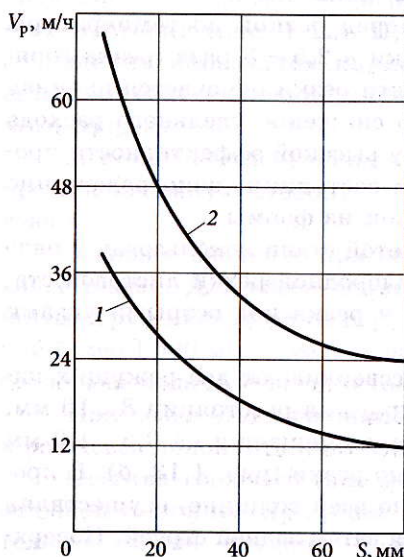
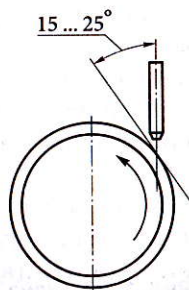


Рис. 1.14. Зависимость скорости резки V_p от толщины S разрезаемого металла:

1 — обычная разделительная кислородная резка; 2 — двухструйная скоростная резка

Рис. 1.15. Схема скоростной резки труб



При направлении струи режущего кислорода под острым углом к поверхности разрезаемого изделия шлак, выходящий из реза, перемещается по нижней кромке листа, чем обеспечивается предварительный нагрев металла. Если при резке труб уменьшить угол атаки струи режущего кислорода до $15 \dots 25^\circ$ (рис. 1.15), то образующийся при резке шлак перемещается по наружной и внутренней стенкам трубы, что обеспечивает прогрев перед резкой участка значительной длины до высоких температур.

В табл. 1.5 рассмотрены режимы скоростной и обычной кислородной резки труб. Приведенные данные показывают значительное увеличение скорости резки (в 3—5 раз) при установке резака под углом атаки к поверхности трубы.

Таблица 1.5

Способ резки	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Угол атаки струи режущего кислорода, °	Расход газа, м ³ /ч		Скорость резки, м/ч
				кислорода	ацетилена	
Обычная	325	6	90	2,7	0,6	46,4
	720	10	90	4,0	0,7	36,0
	820	9	90	4,0	0,7	36,0
Скоростная	325	6	20	12,1	0,6	147,2
	720	10	10	36,4	0,7	192,2
	820	9	10	36,4	0,7	201,6

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 острыми углами атаки струи режущего кислорода применяют, в основном, для прямолинейного раскроя листовой стали толщиной 4...25 мм при невысоких требованиях к качеству поверхности реза.

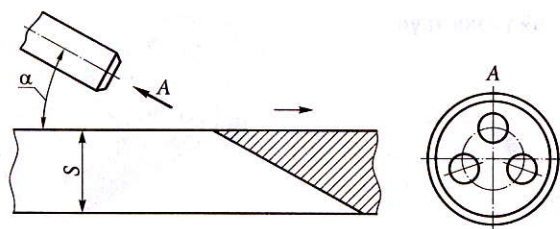


Рис. 1.16. Схема кислородной резки способом смыв-процесс:

S — толщина заготовки; α — угол наклона мундштука резака

Комбинированная поверхностно-разделительная резка. Комбинированная поверхностно-разделительная резка представляет собой способ, объединивший два смежных процесса — поверхностную и разделительную резку. В направлении резки располагаются рядом две режущие струи с до- и сверхзвуковой скоростью потока. Струя с дозвуковой скоростью потока (60 ... 300 м/с) 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. Резку (угол атаки дозвуковой струи 60° и расход кислорода 0,013 м/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. С целью повышения качества поверхности реза был разработан новый способ кислородной резки — смыв-процесс, представляющий собой комбинацию резки струей с острыми углами атаки режущей струи и двухструйной скоростной резки. При этом способе (рис. 1.16) мундштук резака располагается под наклоном к поверхности металла. Основная режущая

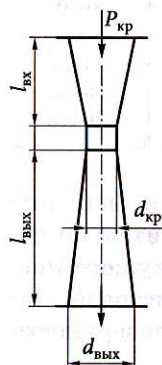


Рис. 1.17. Схема сверхзвукового сопла для резки стали:

$l_{вх}$ — длина входного участка сопла; $l_{вых}$ — длина выходного участка сопла;
 $d_{кр}$ — диаметр критического сечения сопла; $d_{вых}$ — выходной диаметр сопла;
 $P_{кр}$ — критическое давление

струя прорезает металл на всю толщину, 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. 1.17) при подаче в них кислорода высокого давления (свыше 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.

1.9

Разделительная кислородная резка титана и его сплавов

Титан и его сплавы обладают высокой прочностью, высокой температурой плавления, малой плотностью ($4,5 \text{ г/см}^3$), поэтому они находят все возрастающее применение в авиации, судостроении, химическом и нефтяном машиностроении и др. По своей активности при взаимодействии с кислородом титан уступает лишь натрию, магнию и алюминию, но более активен, чем цинк, марганец и железо.

При нормальной температуре титан устойчив к окислению. Интенсивное поглощение кислорода поверхностью начинается при 400°C , водорода — при 200°C , азота — при 600°C . При температуре до 600°C интенсивному окислению титана препятствует поверхностная оксидная пленка. При повышении температуры пленка оксидов начинает растворяться в титане, что приводит к резкому увеличению диффузии кислорода, водорода и азота в металл.

Тепловой эффект окисления титана более высокий, чем у железа, а его теплопроводность ниже, чем у железа. Температура воспламенения составляет 1100°C . Вследствие этого титан и его сплавы обрабатываются обычной кислородной резкой без затруднений. Режимы механизированной фигурной резки титана представлены в табл. 1.6.

Скорость резки титановых сплавов в 2—5 раз выше, чем скорость резки 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

Таблица 1.6

Толщина разрезаемого титана, мм	Давление режущего кислорода, кПа	Расход газа, м ³ /ч			Скорость резки, м/ч
		кислорода		ацетилена	
		режущего	подогревающего		
10	392	3,0	0,25	0,22	105,0
20	392	3,5	0,36	0,29	90,0
40	392	4,0	0,4	0,36	72,0
60	588	4,8	0,4	0,36	51,1
80	588	6,0	0,47	0,4	39,2
100	784	9,6	0,61	0,5	30,2
150	784	13,1	0,65	0,54	20,9

Примечание. Давление ацетилена составляет 9,8... 29,4 кПа; подогревающего кислорода — 98... 196 кПа.

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. Поэтому для изделий, кромки которых подвергаются сварке, с целью получения надлежащего качества сварки должен быть удален строганием или фрезерованием поверхностный слой металла. Величины припусков деталей из титана под механическую обработку приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Толщина разрезаемого металла, мм	Неперпендикулярность поверхности реза, мм	Шероховатость поверхности, мм	Глубина окисленного слоя, мм	Припуск, мм
45	0,1	0,25	0,6	1
60	0,1	0,3	0,6	1
100	0,25	0,85	0,75	1,85
160	0,4	0,9	1,1	2,4

У изделий, кромка которых может работать при знакопеременных нагрузках, обычно удаляют ЗТВ на глубину, равную удвоенному припуску в соответствии с табл. 1.7.

Для кислородной резки титана и его сплавов применяют те же самые машины и аппаратуру, что и для кислородной резки стали. Особое внимание необходимо обращать на оснащение рабочего поста средствами удаления образующихся при резке газообразных продуктов реакции окисления титана. В процессе резки образуется дым белого цвета, который должен быть удален из зоны резки и очищен в специальных устройствах.

1.10 Материалы для кислородной резки

Кислород. Высокотемпературное сварочное пламя, необходимое для газопламенной обработки, образуется при сгорании горючих газов или жидкостей в смеси с техническим газообразным кислородом. При нормальной температуре и давлении кислород представляет собой газ без цвета, запаха и вкуса. Он не горит, но активно поддерживает горение, при котором выделяется значительное количество теплоты. При соединении сжатого кислорода с маслами, жирами и другими горючими веществами может произойти самовоспламенение. Соединение его с горючими газами или парами горючих жидкостей при наличии открытого огня или даже искры способно привести к взрыву.

Технический *газообразный* кислород для газопламенной обработки выпускается трех сортов: I сорт содержит не менее 99,7 % чистого кислорода (по объему); II сорт — не менее 99,5 % и III сорт — не менее 99,2 %. Примесями в кислороде являются азот, аргон, углекислый газ, водяные пары и другие составляющие атмосферного воздуха.

При температуре ниже -183°C и нормальном давлении образуется подвижный и легкоиспаряющийся *жидкий* кислород. Это сопровождается уменьшением объема, занимаемого газом, примерно в 850 раз. При нагревании жидкий кислород снова превращается в газ.

Жидкий кислород выпускается двух сортов: сорт А, содержит не менее 99,2 % чистого кислорода, сорт Б — не менее 98,5 %. В жидком состоянии кислород находится только при получении, хранении и транспортировке. Для газопламенной обработки его снова превращают в газ.

Горючие газы и пары горючих жидкостей. При газопламенной обработке металлов для получения высокотемпературного пламени применяются различные горючие газы и пары горючих жидкостей. По химическому составу в большинстве случаев они представляют собой углеводородные соединения или смеси различных углеводородов. Наибольшее распространение для газовой резки получил ацетилен, создающий при сгорании в кислороде наиболее высокую температуру пламени. Также для резки с успехом применяются газы — заменители ацетилена: водород, природные газы, городской газ, пропан-бутановые смеси, пиролизный, коксовый и сланцевый газы, пары бензина, керосина и др.

Технический **ацетилен** (C_2H_2) при нормальном давлении и температуре представляет собой бесцветный горючий газ с резким запахом, обусловленным содержащимися в нем примесями сернистого водорода, фосфористого водорода, аммиака и др. Длительное вдыхание его вызывает тошноту, головокружение и даже отравление. Температура пламени при сгорании ацетилена в смеси с кислородом достигает $3200^\circ C$. При длительном контакте ацетилена с медью и серебром образуются взрывоопасные соединения. Смесь ацетилена с воздухом или кислородом в определенных соотношениях также взрывоопасна.

Газообразный ацетилен способен растворяться во многих жидкостях. Растворимость ацетилена в ацетоне при повышении температуры уменьшается с 52 частей при $-20^\circ C$ до 16 частей при $30^\circ C$.

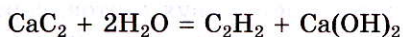
Ацетилен транспортируется и хранится в растворенном виде в баллонах, которые заполнены активированным углем, залитым ацетоном. При открытии вентиля баллона выделяется газообразный ацетилен.

Растворенный ацетилен выпускается со следующим объемным содержанием примесей, %: воздуха и других примесей, малорастворимых в воде, — не более 2, фосфористого водорода — не более 0,02, сероводорода — не более 0,05.

Для получения ацетилена в монтажных условиях используют технический карбид кальция (CaC_2), который представляет собой твердое кристаллическое вещество темно-серого или темно-коричневого цвета плотностью $2,30 \dots 2,53 \text{ г/см}^3$ в зависимости от содержания примесей и имеет характерный резкий чесночный запах.

Карбид кальция получают в электродуговых печах при температуре $1900 \dots 2300^\circ C$ сплавлением негашеной извести с коксом или антрацитом. Карбид кальция выпускается двух сортов с различным содержанием примесей. Его хранят и транспортируют в герметично закрытых железных барабанах с толщиной стенок не менее 0,5 мм и массой $50 \dots 130 \text{ кг}$.

При взаимодействии с водой карбид кальция разлагается с образованием ацетилена и гашеной извести:



Фактический выход ацетилена из технического карбида кальция в зависимости от количества примесей (сорта) и размеров кусков (грануляции) приведен в табл. 1.8. Продолжительность разложения карбида кальция зависит в основном от его грануляции и температуры воды. С уменьшением размеров кусков скорость разложения возрастает. Куски размером менее 2 мм и карбидная пыль разлагаются почти мгновенно. Их применение в обычных ацетиленовых генераторах запрещается. Большинство ацетиленовых генераторов, выпускаемых в настоящее время, рассчитано на применение карбида кальция крупной грануляции — 25/80.

Водород (H_2) — газ без цвета и запаха. Температура его сжигания равна $-253^\circ C$. При сгорании водорода пламя не имеет свечения и его зоны не имеют четких границ. Водород хранят и транспортируют в стальных балло-

Таблица 1.8

Размеры кусков, мм	Условное обозначение размеров кусков	Выход ацетилена, л/кг, не менее	
		I сорт	II сорт
2... 8	2/8	255	235
8... 15	8/15	265	245
15... 25	15/25	275	255
25... 80	25/80	285	265
Смешанные размеры	—	275	265

нах под давлением 15 МПа. При работе с ним особое внимание следует обращать на герметичность аппаратуры и газовых коммуникаций, так как водород способен проникать через мельчайшие неплотности и образовывать с воздухом взрывоопасные смеси.

Природные газы — газы без цвета с легким запахом чеснока, получаемые из газовых месторождений. Они состоят в основном из метана CH_4 (82... 93 % по объему) с различными примесями; к месту потребления доставляются по трубопроводам, реже — в баллонах. Температура сжижения газов около -158°C .

Смесь природных газов с коксовым, генераторным и другими низкокалорийными газами носит название **городских газов**, которые также применяются при газопламенной обработке.

Пропан-бутановые смеси состоят из технического пропана (C_3H_8) с примесью технического бутана (C_4H_{10}) в количестве 5... 30 %. Пропан, бутан и их смеси образуются при переработке нефти и нефтепродуктов, а также как побочные продукты при сжигании природного газа. Они бесцветны, но имеют специфический запах. При небольшом давлении пропан, бутан и их смеси сжижаются. Условия перехода пропана в жидкое состояние рассмотрены в табл. 1.9.

При нормальном давлении пропан-бутановая смесь переходит в жидкое состояние при температуре около -40°C . При испарении 1 кг жидкого пропана получается около $0,535 \text{ м}^3$ паров, а при испарении 1 кг жидкого бутана — $0,406 \text{ м}^3$. Пропан-бутановые смеси значительно тяжелее воздуха, поэтому при утечке они скапливаются в нижних слоях атмосферы, на полу помещения и в углублениях, что может привести к образованию взрывоопасных концентраций. Эти смеси хранят и транспортируют в сварных стальных баллонах вместимостью 40 или 55 дм^3 либо в цистернах, рассчитанных на 50 т сжиженного газа, под давлением 1,6 МПа. Жидкой смесью заполняют только часть объема, так как при нагреве давление повышается, что может привести к взрыву.

Таблица 1.9

Температура, °С	Давление, при котором газ переходит в жидкое состояние, кПа	
	Пропан	Бутан
-20	270	45
-10	370	68
0	480	96
10	640	150
20	850	210
40	1 430	390

Пиролизный газ — смесь газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов или мазута. В его состав входят вредные сернистые соединения, вызывающие коррозию мундштуков газовых горелок и резачков, что требует тщательной очистки этого газа.

К пиролизному газу близок по своим свойствам **нефтяной газ** — один из побочных продуктов нефтепереработки. Оба эти газа не имеют цвета и обладают весьма неприятным запахом. Их составы различны и зависят от состава нефти и режима ее переработки.

Коксовый газ представляет собой смесь газообразных продуктов, образующихся в процессе коксования каменного угля.

Состав **сланцевого газа** зависит от исходных материалов и технологии производства. Он получается путем газификации горючих сланцев при доступе воздуха.

Бензин и керосин — это легкоиспаряющиеся прозрачные жидкости, образующиеся при переработке нефти. В процессе газопламенной обработки они применяются в виде паров. Для этого резачки снабжают специальными испарителями или распылителями.

Для получения сварочного пламени одинаковой тепловой мощности вместо 1 м³ ацетилену нужно израсходовать примерно 1,3 кг керосина. Жидкое горючее подается в резак из специального бачка с насосом, создающим давление в нем 200 ... 300 кПа. Для керосинокислородной резки пользуются осветительным керосином.

Практическое применение находит бензин любого сорта кроме этилированного, который является сильнотоксичным.

Пригодность и экономическая целесообразность использования тех или иных горючих газов и жидкостей для газопламенной обработки обуславливаются оптимальными значениями таких показателей, как температура пламени, коэффициент замены ацетилену, соотношение между объемами кислорода и горючего газовой смеси.

Баллоны для газов. Газообразный кислород хранят и транспортируют в стальных баллонах (рис. 1.18) под давлением 150 кгс/см^2 (15 МПа). Баллоны изготавливают из бесшовных углеродистых или легированных стальных труб с условным давлением до 20 МПа. В полном кислородном баллоне объем кислорода при нормальных условиях равен 6 000 л или 6 м^3 .

Количество ацетилена в баллоне (рис. 1.19) на заводе определяется взвешиванием его до и после наполнения. В полном ацетиленовом баллоне объемом 40 л при давлении ацетилена 19 кгс/см^2 (1,9 МПа) объем газообразного ацетилена, соответствующий нормальным условиям, равен 5 320 л или $5,32 \text{ м}^3$.

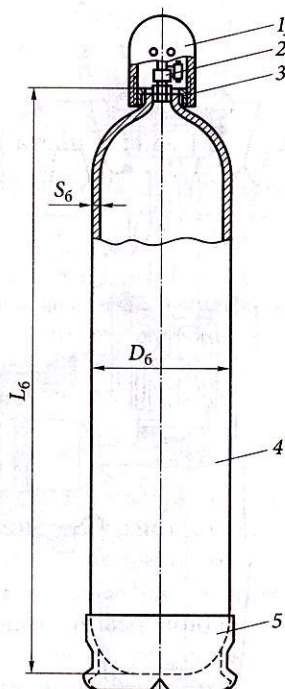


Рис. 1.18. Кислородный баллон:

1 — предохранительный колпак; 2 — запорный вентиль; 3 — кольцо; 4 — корпус; 5 — опорный башмак; L_6 — длина баллона; D_6 — диаметр баллона; S_6 — толщина стенки баллона

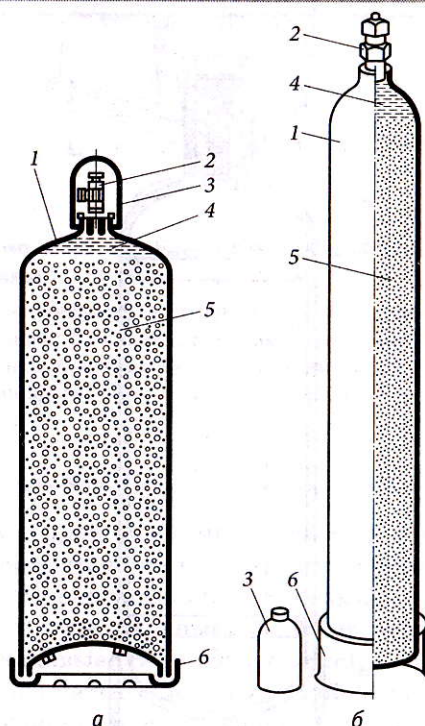


Рис. 1.19. Ацетиленовые баллоны:

а — сварной БАС-1-58; б — бесшовный; 1 — корпус; 2 — запорный вентиль; 3 — предохранительный колпак; 4 — газовая подушка; 5 — пористая масса с ацетоном; 6 — опорный башмак

Для пропана и пропан-бутановых смесей используют сварные баллоны (рис. 1.20). Наиболее широкое применение находят баллоны вместимостью 50 л (на 23 кг газа) наружным диаметром 390 мм. Масса такого баллона составляет 35 кг, рабочее давление в нем — 1,6 МПа.

Запорным устройством баллонов при наполнении, хранении и расходовании газов является вентиль. Кислородный баллонный вентиль (рис. 1.21) изготовлен из латуни, ацетиленовый (рис. 1.22) — из стали. Редуктор присоединяется к вентилю с помощью хомута, снабженного нажимным винтом. Вентили открывают и закрывают специальным торцовым ключом. Вентили для пропан-бутановых смесей изготавливают из латуни. Устройство пропанового баллонного вентиля показано на рис. 1.23.

Газовые редукторы. Редукторы при газопламенной обработке материалов предназначены для понижения давления газа, отбираемого из баллона или газопровода, и поддержания постоянными расхода и давления газа в пределах, требуемых данным технологическим процессом.

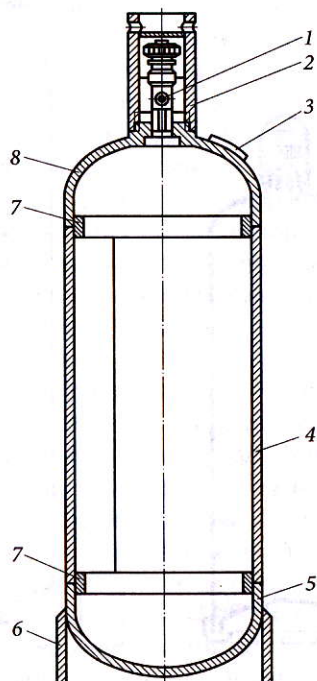


Рис. 1.20. Баллон для пропана и пропан-бутановых смесей:

1 — вентиль; 2 — колпак; 3 — табличка паспорта баллона; 4 — корпус; 5 — днище; 6 — опорный башмак; 7 — подкладные кольца; 8 — верхняя сфера

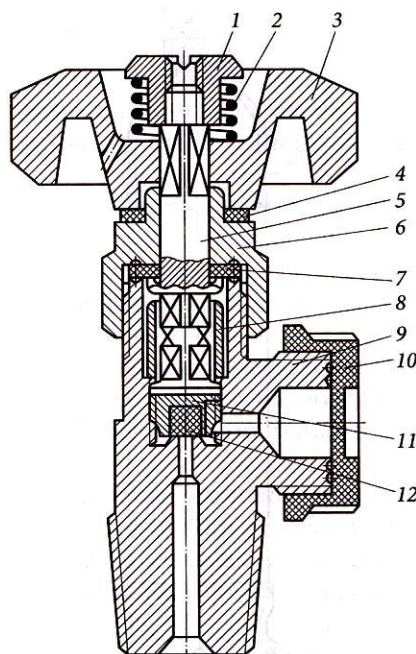


Рис. 1.21. Кислородный баллонный вентиль:

1 — гайка; 2 — пружина; 3 — маховичок; 4, 7 — фибровые прокладки; 5 — шпindel; 6 — накидная гайка; 8 — муфта; 9 — корпус вентиля; 10 — заглушка; 11 — корпус клапана; 12 — уплотнитель

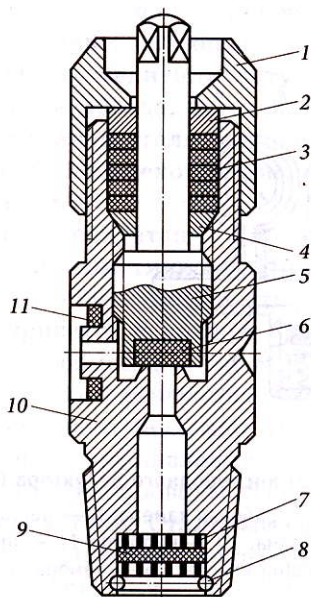


Рис. 1.22. Ацетиленовый баллонный вентиль:

1 — сальниковая гайка; 2 — шайба; 3 — сальниковые прокладки; 4 — сальниковое кольцо; 5 — шпindel; 6 — уплотнитель; 7 — сетка; 8 — проволочное кольцо; 9 — войлочная прокладка; 10 — корпус; 11 — прокладка штуцера

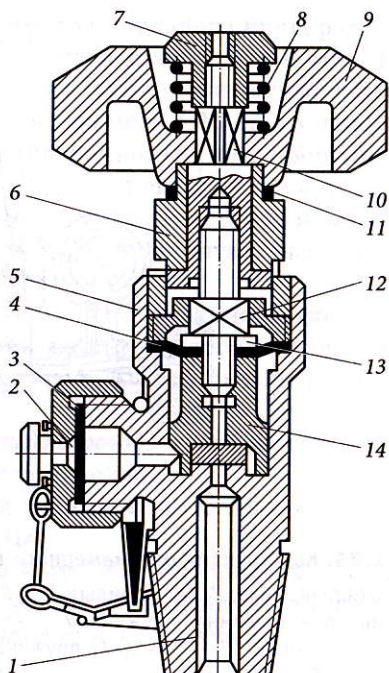


Рис. 1.23. Пропановый баллонный вентиль:

1 — корпус; 2 — заглушка; 3, 4, 11 — прокладки; 5 — букса; 6 — накидная гайка; 7 — гайка; 8 — пружина; 9 — маховичок; 10 — шпindel; 12 — шток; 13 — шайба; 14 — клапан

Типы и основные параметры редукторов регламентированы ГОСТ 13861—89, согласно которому они классифицируются следующим образом:

- по назначению (Б — баллонные, Р — рамповые, С — сетевые);
- роду газа (А — ацетиленовые, К — кислородные, М — метановые (метановая группа газов), П — пропан-бутановые, В — водородные);
- схеме регулирования (О — одноступенчатые с механической установкой давления, Д — двухступенчатые с механической установкой давления, З — одноступенчатые с пневматической установкой давления).

В каждом редукторе имеется предохранительный клапан, срабатывающий, если из-за неисправности давление превышает установленное. Все редукторы должны нормально работать в следующем интервале температур, °С: кислородные — $-30 \dots +50$, ацетиленовые — $-25 \dots +50$, пропан-бутановые — $-15 \dots +45$.

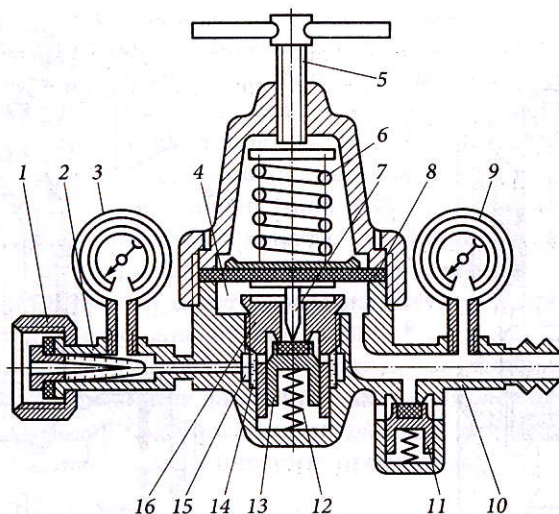


Рис. 1.24. Конструкция однокамерного (одноступенчатого) кислородного редуктора БКО-50:

1 — накидная гайка; 2, 14 — фильтры; 3, 9 — манометры; 4 — рабочая камера; 5 — регулирующий винт; 6 — нажимная пружина; 7 — толкатель; 8 — мембрана; 10 — ниппель; 11 — предохранительный клапан; 12 — запорная пружина; 13 — регулирующий клапан; 15 — камера высокого давления; 16 — седло

Для понижения давления газа в редукторах используют дросселирование сжатого газа, осуществляемое с помощью редуцирующего клапана. Наиболее широкое распространение получили редукторы обратного действия, так как они более компактны, проще по конструкции, имеют меньше деталей и надежнее в работе. В таких редукторах упрощается связь редуцирующего клапана с мембраной, и, кроме того, их основная рабочая характеристика — зависимость давления газа на выходе от расхода (при потреблении из баллона) — является возрастающей. На рис. 1.24 показана конструкция однокамерного (одноступенчатого) кислородного редуктора БКО-50 (ДКП-1-65).

Трубопроводы и шланги для горючих газов и кислорода. Все трубопроводы газообразного кислорода в зависимости от рабочего давления подразделяются на четыре категории: первую категорию составляют трубопроводы, рассчитанные на рабочее давление 6,4... 60,0 МПа, вторую — 2,5... 6,4 МПа, третью — 1,6... 2,5 МПа, четвертую — до 1,6 МПа.

Выбор материала труб для **кислородопроводов** определяется возможностью загорания стали в кислороде. Опытным путем установлено, что стальные трубопроводы для кислорода могут загораться при наличии в потоке газа частиц окалины, сварочного графа, угля или кокса.

Загорание обычно происходит на участке после колена трубы, где возникают удар и трение твердых частиц о ее стенку при давлении 1,8... 3,0 МПа и скорости потока 30... 85 м/с.

Для наземных и подземных трубопроводов газообразного кислорода применяют стальные трубы, когда скорость его потока превышает 8 м/с. Если при рабочем давлении скорость потока кислорода больше допустимой или во всех надземных кислородопроводах давление не ниже 6,4 МПа, то используют трубы из меди или латуни. Трубы, предназначенные для пропускания жидкого кислорода, изготавливают из меди, алюминиевых сплавов и коррозионно-стойкой стали, сохраняющих прочность и вязкость при низких температурах. Межцеховые кислородопроводы можно выполнять подземными и наземными.

При эксплуатации кислородопровода следует систематически контролировать его герметичность. Повышение концентрации кислорода в окружающей среде при наличии открытого пламени, искр или нагретых предметов может привести к пожару и аварии.

В зависимости от рабочего давления *ацетиленопроводы* делят на три группы:

- низкого давления — до 0,01 МПа включительно;
- среднего давления — от 0,01 до 0,15 МПа включительно;
- высокого давления — свыше 0,15 МПа.

Ацетиленопроводы всех групп должны быть изготовлены из стальных бесшовных труб. Стальные сварные трубы можно использовать только для ацетиленопроводов низкого давления, расположенных на участке от генератора до водяного затвора. Не допускается применение труб, арматуры и деталей из меди и сплавов, содержащих более 70 % меди. Возможна подземная прокладка труб в траншеях с засыпкой землей и антикоррозионной защитой.

В цехах-потребителях ацетиленопроводы прокладывают открыто по стенам или колоннам здания, а если это неосуществимо — в непроходных каналах, засыпаемых песком и перекрываемых несгораемыми плитами. Запрещается прокладка ацетиленопровода через дымоходы, вентиляционные воздухопроводы, а также на расстоянии менее 1 м от горячих поверхностей с температурой выше 250 °С. Его высота над полом должна составлять не менее 2,2 м. Газопроводы удаляют от электрокоммуникаций и источников искрообразования или открытого пламени на расстояние 0,5...1,5 м.

Ацетиленопроводы низкого и среднего давления испытывают на прочность гидравлическим давлением в 1,5 раза выше рабочего, ацетиленопроводы высокого давления — удвоенным рабочим гидравлическим давлением. Затем проводят пневмоиспытание воздухом давлением 0,3 МПа на плотность соединений.

Шланги изготавливают из вулканизированной резины с тканевыми прокладками. Резиновые шланги по ГОСТ 9356—75 выпускаются трех типов: первого типа — на давление 0,63 МПа (0,063 кгс/см²) для ацетилена и городского газа, второго типа — на давление 0,63 МПа (0,063 кгс/см²) для бензина и керосина, третьего типа — на давление 2 и 4 МПа (0,2 и 0,4 кгс/см²) для кислорода.

Внутренний диаметр шлангов для резаков нормальной и повышенной мощности — 9, 12 и 16 мм. Запас прочности должен быть не менее трехкрат-

ного по отношению к рабочему давлению. Шланги второго типа изготавливают из бензостойкой резины. Они имеют цветной наружный слой: синий — для кислорода, красный — для ацетилена и желтый — для жидкого топлива. Возможность свободно манипулировать резаком обеспечивает длина шланга 8...20 м. При длине более 20 м значительно возрастают потери давления в шланге.

Ручные резаки. Выпускаются ручные резаки для резки с использованием в качестве горючего ацетилена, газов — его заменителей и керосина. На рис. 1.25 представлена схема ручного универсального резака Р2А-02. На корпусе 9 резака с отверстиями для пропускания 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 давлениями. 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 ацетилена имеет аналогичную конструкцию и отличается от Р2А-02 большими размерами инжектора и выходных шлицов. Резаки обеих марок могут быть оснащены опорной тележкой и циркулем.

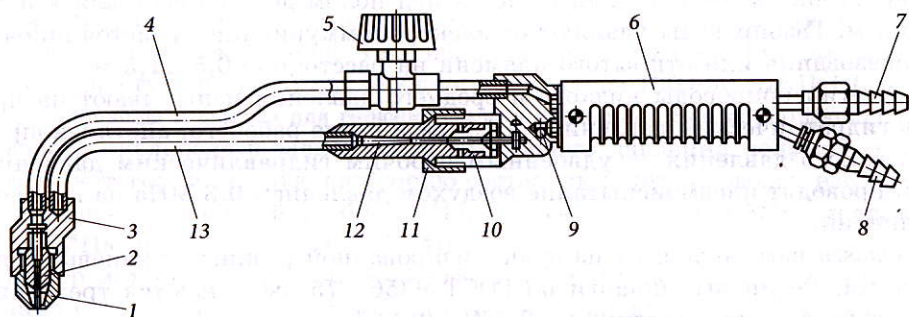


Рис. 1.25. Схема ручного универсального резака Р2А-02:

1 — наружный мундштук; 2 — внутренний мундштук; 3 — головка; 4 — трубка для режущего кислорода; 5 — вентиль; 6 — рукоятка; 7 — штуцер для подвода кислорода; 8 — штуцер для подвода горючего газа; 9 — корпус; 10 — инжектор; 11 — накидная гайка; 12 — смесительная камера; 13 — трубка для горючей смеси

На строительных площадках и в полевых условиях для кислородной резки низкоуглеродистых и низколегированных сталей широко применяют керосинорезы РК-02 (рис. 1.26) — резаки на жидком горючем (керосине). Резак имеет рукоятку 10, на которой смонтированы вентили 8 и 9 регулировки пламени, смесительную камеру с асбестовой набивкой на наружной поверхности, головку с подогревающим соплом 17, внутренний 1 и наружный 2 мундштуки.

Керосин подается в резак от бачка с ручным насосом по специальному шлангу под давлением 20...200 кПа. Кислород через ниппель 11, вентиль 8, трубку 4 и инжектор поступает в камеру 16, где смешивается с парами горючего газа, выходящего из заполненного асбестовой набивкой испарителя 15. Керосин через обратный клапан 12 и трубку 6 подается в испаритель, который в процессе работы керосинореза нагревается пламенем сопла 17. Расход паров горючего газа регулируется маховиком 13, жестко связанным с трубкой инжектора.

При работе с керосинорезом для предотвращения обратного удара в кислородный шланг давление в бачке горючего должно быть всегда меньше рабочего давления кислорода, что исключает перетекание керосина в кислородный рукав.

При перерывах в работе резак нужно располагать головкой вниз для свободного вытекания горючего в случае пропускания его вентилем. Необходимо следить за исправностью обратного клапана, установленного на линии керосина.

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 воспри-

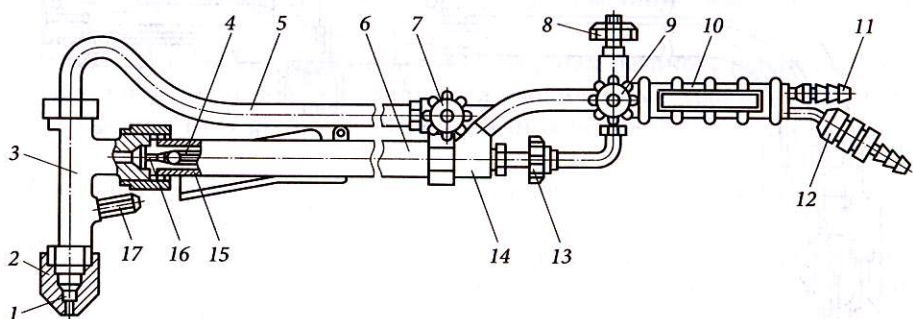


Рис. 1.26. Схема керосинореза РК-02:

1 — внутренний мундштук; 2 — наружный мундштук; 3 — головка; 4 — трубка для подогревающего кислорода; 5 — трубка для режущего кислорода; 6 — трубка для подачи керосина; 7 — вентиль режущего кислорода; 8, 9 — вентили регулировки пламени; 10 — рукоятка; 11 — ниппель для подачи кислорода; 12 — обратный клапан; 13 — маховик; 14 — тройник; 15 — испаритель; 16 — смесительная камера; 17 — подогревающее сопло

нимает 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 у вертикального корпуса, а головка крепится к двум трубкам. По верхней трубке подается режущий кислород, по нижней — смесь горючего газа с кислородом.

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. 1.27) предназначен для резки низкоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной 3...70 мм. Он 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.

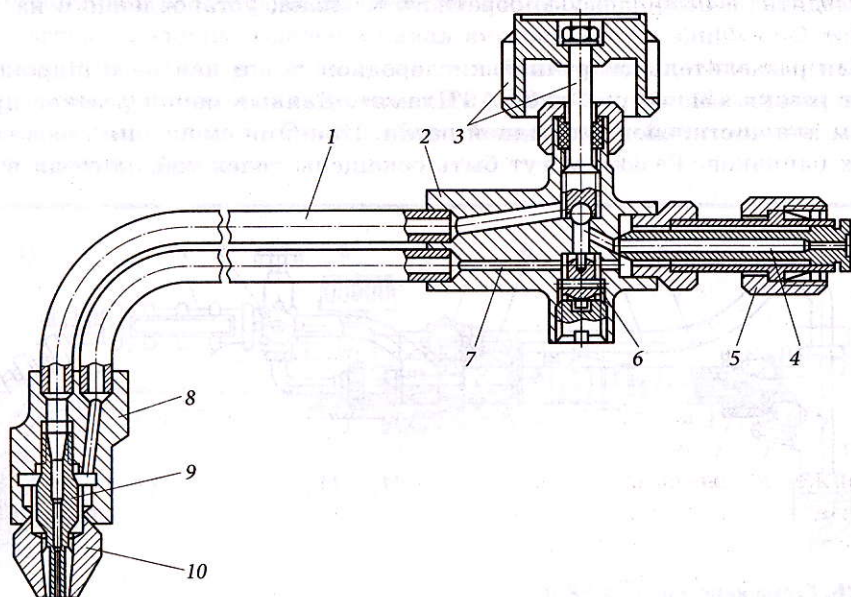


Рис. 1.27. Схема вставного резака РВ1А:

1 — трубка для подачи режущего кислорода; 2 — корпус; 3 — вентиль режущего кислорода; 4 — отверстие для горючего газа; 5 — накидная гайка; 6 — инжектор; 7 — смесительная камера; 8 — головка; 9 — внутренний мундштук; 10 — наружный мундштук

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.

При эксплуатации ручных резаков перед началом работы необходимо проверить герметичность и прочность всех соединений, а также убедиться в наличии инжекции в резаке.

При регулировании пламени резака необходимо установить рабочее давление кислорода на редукторе согласно режиму резки, затем на 1/4 оборота открыть вентиль подогревающего кислорода и поджечь горючую смесь, после чего полностью открыть кислородный вентиль резака и регулировать пламя ацетиленовым вентилем.

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.

Машинные резаки. Для машинной термической резки выпускаются резаки, подразделяемые на следующие типы: РМ-3 — машинные трехвентильные; РМ-2 — машинные двухвентильные; РШМ-3 — трехвентильные для шарнирных машин; РМ-0 — машинные безвентильные с вынесенными узлами регулирования.

По схеме смешения газов эти резаки могут быть инжекторными (И), равного давления (РД) и внутрисоплового смешения газов (ВС).

В инжекторных резаках инжектирующий узел расположен в головке, а между корпусом и головкой имеются три трубки, по которым в головку резака раздельно подается режущий и подогревающий кислород и горючий газ.

Отличительной особенностью инжекторных резаков, работающих на газах — заменителях ацетилена, являются увеличенные проходные каналы для горючей смеси в смесительной камере, в инжекторе и во входной кольцевой щели.

При многорезаковой машинной резке необходима стабильность горения газов подогревающего пламени.

Инжекторные резаки очень чувствительны к изменению давления горючего газа в сети, а также к брызгам расплавленного металла, поэтому для многорезаковых машин используют резаки равного давления.

Резак равного давления не имеет инжектора. Подогревающий кислород подается через центральное отверстие, а горючий газ — через боковое. Смесь газов поступает в головку резака, которая по устройству аналогична головке инжекторного резака.

Для поддержания заданного давления горючего газа перед резаком установлен специальный регулятор давления.

Устройство машинного инжекторного двухвентильного резака типа РМ-2 показано на рис. 1.28, а машинного безынжекторного резака равного давления — на рис. 1.29.

По конструктивному исполнению машины для термической резки делятся на *стационарные* (устанавливаемые в определенном месте заготовительного участка) и *переносные* (перемещаемые оператором в рабочую зону).

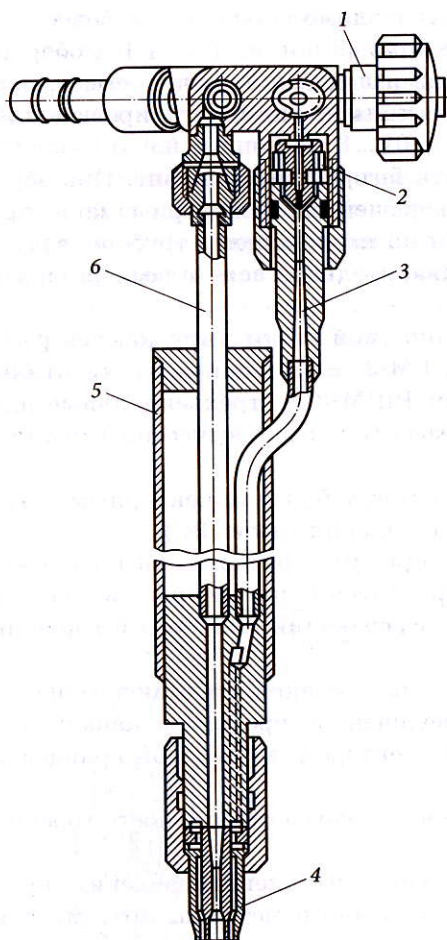


Рис. 1.28. Устройство машинного инжекторного резака типа РМ-2:

1 — регулирующий кислородный вентиль; 2 — инжектор; 3 — смесительная камера; 4 — мундштук; 5 — корпус резака; 6 — трубка режущего кислорода

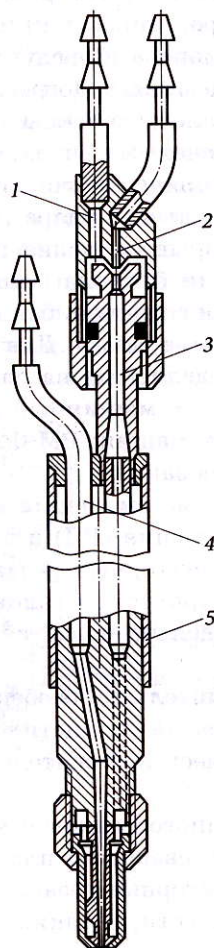


Рис. 1.29. Устройство машинного безынжекторного резака равного давления:

1 — отверстие для горючего газа; 2 — центральное отверстие для подогревающего кислорода; 3 — канал для горючей смеси; 4 — трубка для режущего кислорода; 5 — корпус

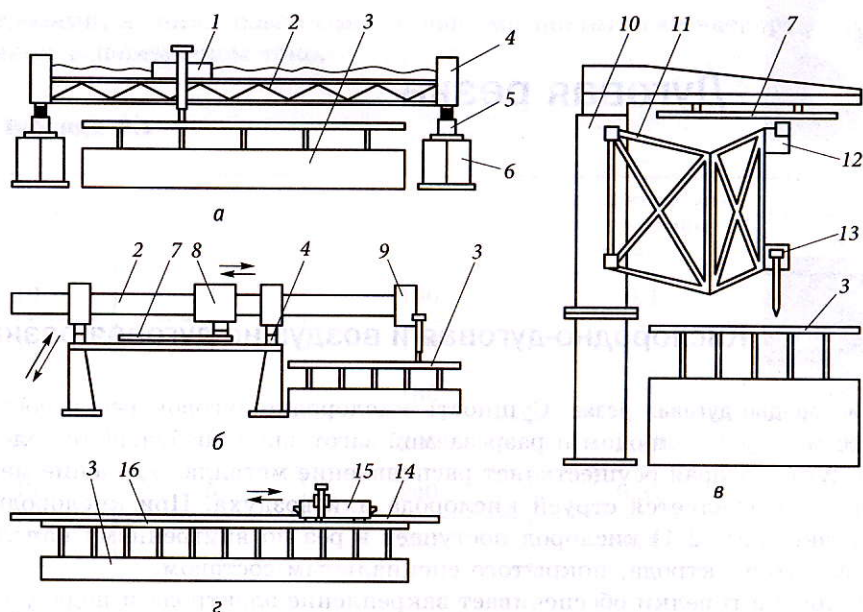


Рис. 1.30. Схемы машин для термической резки листовой стали:

а — порталная; *б* — портално-консольная; *в* — шарнирная; *г* — переносная; 1 — каретка; 2 — портал; 3 — раскройный стол; 4 — привод продольного хода; 5 — рельсовый путь; 6 — опора; 7 — копир; 8 — каретка с фотокопировальной головкой; 9 — каретка с резаком; 10 — колонна с поворотным хоботом; 11 — шарнирная рама; 12 — привод; 13 — суппорт с резаком; 14 — направляющий рельс; 15 — тележка; 16 — разрезаемый лист

В соответствии с видом обработки выделяют машины для резки листового проката, труб, профильного проката, стальных отливок и т.д. В зависимости от применяемой режущей оснастки различают машины для кислородной и плазменной резки. Помимо этого существует разделение стационарных машин на порталные, портално-консольные и шарнирные.

В соответствии со способом управления различают машины с программным, фотоэлектронным, магнитокопировальным и механическим управлением. На машине порталного типа обрабатываемый лист размещается под ее ходовой частью (порталом), на большинстве портално-консольных машин — под консольной частью, а фотокопировальная головка устанавливается на портале. На шарнирных машинах обрабатываемый лист расположен под шарнирной рамой (рис. 1.30).

В зависимости от числа листов, укладываемых под обработку, машины классифицируют как одноместные и многоместные с шириной обрабатываемой области соответственно 2,0 ... 3,5 и не менее 5 м.

2.1

Кислородно-дуговая и воздушно-дуговая резка

Кислородно-дуговая резка. Сущность кислородно-дуговой резки состоит в том, что между электродом и разрезаемой заготовкой возбуждается электрическая дуга, которая осуществляет расплавление металла. Удаление металла из реза осуществляется струей кислорода или воздуха. При кислородно-дуговой резке (рис. 2.1) кислород поступает в рез по внутреннему каналу металлического электрода, покрытого специальным составом.

Рукоятка горелки обеспечивает закрепление электрода и подачу кислорода. Процесс резки начинается с возбуждения дуги между электродом и металлом, затем в рез подается кислород, осуществляющий окисление металла в резе и принудительное удаление продуктов реакции из полости реза. Режущая струя кислорода следует за электродом. Режимы кислородно-дуговой механизированной резки стали представлены в табл. 2.1.

Кислородно-дуговой резкой можно резать углеродистые, легированные, коррозионно-стойкие стали, чугун, цветные металлы. Резку ведут трубчатыми стальными и тугоплавкими неметаллическими (графитовыми, угольными)

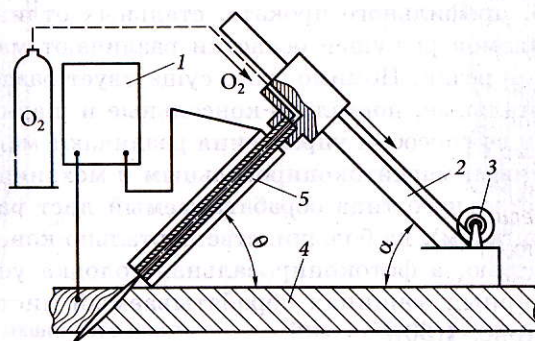


Рис. 2.1. Схема кислородно-дуговой резки:

1 — источник электропитания; 2 — направляющая; 3 — электропривод; 4 — разрезаемый металл; 5 — электрод; α — угол наклона направляющих к поверхности разрезаемого металла; θ — угол установки электрода

электродами, а также обычными стальными покрытыми электродами на постоянном и переменном токе.

Таблица 2.1

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока дуги, А	Расход кислорода на 1 м длины реза, м ³	Скорость резки, м/ч
10	4	100	0,1	30
15	4	170	0,13	28
20	4	180	0,16	26
30	5	220	0,29	22
40	5	240	0,37	17
50	5	260	0,4	12

При подводной кислородно-дуговой резке применяют плавящиеся и неплавящиеся электроды. Плавящиеся электроды изготавливают из стальных трубок наружным диаметром 8 мм с толщиной стенки 2,0...2,5 мм длиной 400 мм. На поверхность трубки наносят водоупорное покрытие, которое позволяет опирать электрод на поверхность металла, чем обеспечиваются постоянство расстояния между электродом и металлом и стабильность горения дуги. Расход электродов при резке высокий (примерно 1 шт. в 1 мин), поэтому при резке металла под водой применяют карборундовое покрытие, увеличивающее время работы одним электродом до 40 мин. При резке на воздухе применяют полые угольные или графитовые электроды, обеспечивающие значительную экономию металла по сравнению с применением металлических электродов.

Воздушно-дуговая резка. Воздушно-дуговую резку металлов выполняют сплошным угольным или графитовым электродом, закрепляемым в электрододержателе. В неподвижной губке электрододержателя просверлены отверстия для подачи воздуха параллельно оси электрода.

Различают два вида воздушно-дуговой резки — разделительную и поверхностную. При *разделительной* резке (рис. 2.2, а) электрод углублен в полость реза под углом к поверхности разрезаемого металла 60...90°. При *поверхностной* воздушно-дуговой резке (рис. 2.2, б) дуга горит между концом электрода и поверхностью обрабатываемого металла. Электрод наклонен к поверхности под углом 30° в сторону, обратную направлению резки. Резку выполняют на постоянном токе обратной полярности. При этом напряжение на дуге составляет 45...50 В, сила тока — 250...500 А (для отдельных резаков — до 1600 А), диаметр электрода — 6...12 мм, давление воздуха — 0,4...0,6 МПа, расход воздуха — 20...40 м³/ч, масса выплавленного металла — до 20 кг/ч.

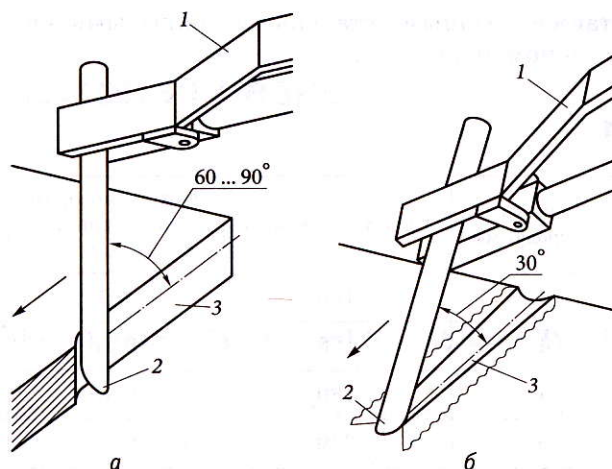


Рис. 2.2. Схемы воздушно-дуговой резки:

а — разделительная резка; *б* — поверхностная резка; 1 — электрододержатель; 2 — электрод; 3 — разрезаемый металл

Кислородно-дуговые и воздушно-дуговые способы разделительной резки не обеспечивают высокого качества поверхности реза, поэтому их применяют лишь в тех случаях, когда не требуется высокое качество поверхности реза или имеются затруднения с горючим газом.

Неравномерность движения электрода может приводить при ограниченном токе к касаниям металла, что вызывает местное науглероживание металла. Содержание углерода повышается на поверхности реза также при малом давлении воздуха (до 392 кПа). При оптимальных параметрах воздушно-дуговой поверхностной резки зона с повышенным содержанием углерода на поверхности реза не превышает 0,06 ... 0,08 мм. Для повышения пластичности металла поверхности реза после воздушно-дуговой поверхностной резки рекомендуется обработка канавки шлифовальным кругом на глубину до 0,5 мм.

Наибольшее распространение получила поверхностная воздушно-дуговая резка при выборке дефектов сварных швов, удалении дефектов на стальных, чугунных и цветных отливках.

Поверхностная воздушно-дуговая резка высоколегированной стали и чугуна конкурирует с поверхностной кислородно-флюсовой резкой высоколегированных сталей и чугуна, так как при ее применении не требуется флюс, горючий газ и кислород.

В качестве источников тока для воздушно-дуговой резки используют сварочные преобразователи, выпрямители повышенной мощности, источники переменного тока с жесткой вольт-амперной характеристикой. Это обеспечивает устойчивое ведение процесса зачистки в электроимпульсном режиме при токе силой до 2 000 А.

Для подачи воздуха применяют компрессоры производительностью до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$. На линии подачи воздуха рекомендуется устанавливать влаго- и маслоотделители. Качество и производительность ручной воздушно-дуговой резки во многом зависят от квалификации резчика. Из-за неравномерности подачи электрода во время резки может изменяться глубина канавки.

2.2 Плазменно-дуговая резка

Общие сведения. Низкотемпературная плазма представляет собой нагретый до $10\,000 \dots 50\,000^\circ$ электропроводящий газ, состоящий из положительно и отрицательно заряженных газовых частиц, содержащихся в равных количествах. Низкотемпературную плазму для резки получают обычно в электрической дуге, создаваемой в специальном инструменте — плазматроне пропусканием через него технических газов.

Разработаны две схемы плазменно-дугового разряда: *плазменная дуга* (рис. 2.3, а), возбуждаемая между катодом плазматрона и обрабатываемым металлом (дуга прямого действия), и *плазменная струя* (рис. 2.3, б), возбуждаемая между независимыми от обрабатываемого материала электродами (независимая дуга). В обеих схемах дуговой разряд возбуждается в узких кана-

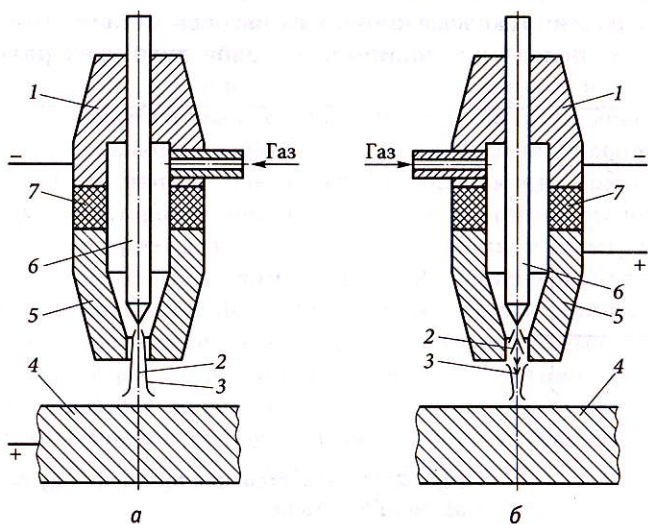


Рис. 2.3. Схемы плазмообразования:

а — плазменная дуга; б — плазменная струя; 1 — катодный узел; 2 — дуга; 3 — струя плазмы; 4 — обрабатываемый металл; 5 — наконечник; 6 — катод; 7 — изолятор

лах плазматронов, которые позволяют при относительно небольших расходах плазмообразующей среды получать значительные скорости потоков плазмы.

Сущность процесса плазменно-дуговой резки состоит в расплавлении высокотемпературным потоком газов металла в ограниченном объеме с последующим удалением расплава из полости реза струей.

От толщины разрезаемого металла зависят мощность дуги и в первую очередь напряжение на дуге. На глубину прорезания влияют характеристика источника тока, размеры каналов режущих сопел, состав и расход газов. Сила тока задается такой, чтобы обеспечить выделение в столбе дуги электрической мощности, при которой интенсивность расплавления металла соответствует заданной скорости резки.

Сравнение энергетических параметров резки плазменной струей и плазменной дугой показало, что эффективная мощность нагрева возрастает с увеличением силы тока, расхода плазмообразующих газов (до определенного предела), причем у плазменной дуги она значительно выше. Удельный тепловой поток в центре пятна нагрева при резке плазменной дугой составляет $10^8 \dots 10^9$ Вт/см², что на порядок выше, чем при резке плазменной струей. Тепловой коэффициент полезного действия (КПД) плазменной дуги при оптимальных режимах резки составляет 70...80 %, что на 10...30 % выше КПД нагрева металла плазменной струей. Таким образом, схема резки плазменной струей применяется лишь при резке неметаллических материалов и в ряде случаев при резке тонкого металла. Наибольшее распространение получила плазменно-дуговая резка.

При плазменно-дуговом способе рез образуется тремя различными участками плазменной дуги: столбом, анодным пятном и факелом (рис. 2.4), которые имеют различную эффективность нагрева металла, причем наименьшая — у факела. Вследствие наличия в столбе дуги трех различных участ-

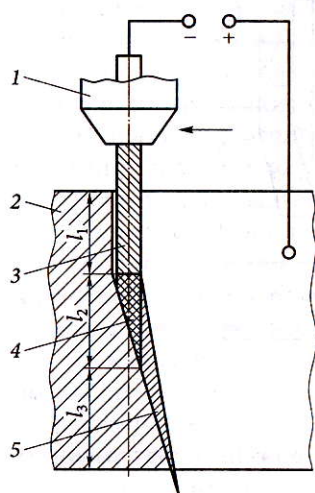


Рис. 2.4. Схема строения плазменно-дугового разряда прямого действия:

1 — плазматрон; 2 — разрезаемый металл; 3 — столб дуги; 4 — анодное пятно; 5 — факел дуги; l_1 — зона теплопередачи столба; l_2 — зона скопления пятен; l_3 — зона теплопередачи факела

ков с разной эффективной тепловой мощностью конусность резов при плазменно-дуговой резке значительно больше, чем при кислородной резке.

Плазмообразующие среды. В качестве плазмообразующих сред при плазменно-дуговой резке используют различные технические газы, которые по своему воздействию на катод подразделяются на неактивные (аргон, азот, водород) и активные (воздух, кислород). Плазмообразующие среды должны обеспечивать надежное зажигание дуги и хорошую стабилизацию дуги, эффективное преобразование электрической энергии в тепловую и наиболее равномерную передачу энергии по толщине разрезаемого металла, отсутствие неблагоприятного воздействия на электрод и поверхность разрезаемого металла.

Начало развития плазменно-дуговой резки связано с применением в качестве плазмообразующей среды аргона. Он обеспечивает хорошую защиту вольфрамового электрода, легко ионизируется под действием дугового разряда и не оказывает вредного воздействия на металл поверхности реза. Однако аргон и другие инертные газы являются дорогостоящими. Кроме того, они не могут диссоциировать в столбе дугового разряда, поэтому не выделяют дополнительное количество теплоты в полость реза.

Активными теплоносителями являются двух- и трехатомные газы, поэтому их применяют в качестве добавки к аргону. Добавление водорода к аргону в количестве 15... 20 % обеспечивает увеличение прорезающей способности дуги и производительности резки. Дальнейшее повышение содержания водорода в смеси приводит к резкому повышению напряжения на дуге. Аргонородные смеси применяют при резке легких металлов, таких, как алюминий, магний и их сплавы. В практике плазменно-дуговой резки цветных металлов широко используют менее дорогостоящие азотородные смеси. Качество резов, выполненных этими смесями, несколько ниже, чем при использовании аргонородных смесей.

Процесс воздушно-дуговой резки с использованием в качестве плазмообразующей среды сжатого воздуха находит широкое применение при резке конструкционных и высоколегированных сталей. Для повышения производительности резки применяют также плазмообразующие среды с более высоким содержанием кислорода, чем в воздухе, или чисто кислородную смесь. Однако в этом случае приходится осуществлять защиту электрода каким-либо неактивным газом (аргоном, азотом). В табл. 2.2 приведены указания по применению ряда плазмообразующих сред для резки различных металлов. Общей закономерностью является использование активных газовых смесей преимущественно для резки черных металлов, а неактивных газов и их смесей — для резки цветных металлов и их сплавов.

Режущие плазматроны. Конструкции режущих плазматронов содержат два основных блока: электродный и сопловой. Они электрически изолированы друг от друга и содержат узлы для подачи плазмообразующих газов, основного и вспомогательного тока, крепления электрода, а также систему охлаждения электрода и сопла (рис. 2.5). Электродный и сопловой узлы образуют дуговую камеру, в которой возбуждается дуговой разряд при подаче плазмообразующих газов.

Таблица 2.2

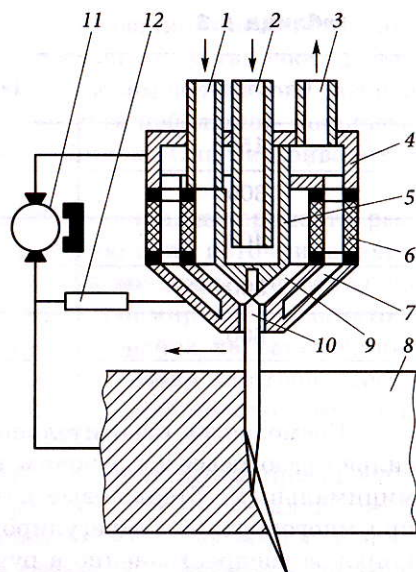
Плазмо-образующая среда	Разрезаемый металл				
	Алюминий и его сплавы	Медь и ее сплавы	Высоколегированные стали	Конструкционные, низкоуглеродистые и низколегированные стали	Титан
Воздух	Для механизированной резки металла толщиной до 100 ... 120 мм	Для механизированной резки металла толщиной до 70 мм	Для машинной резки металла толщиной до 100 мм		Не рекомендуется
Азот	Для ручной резки металлов				Не рекомендуется
Аргон с водородом	Для ручной и механизированной резки	Для резки металлов с высоким качеством поверхности относительно небольшой толщины			Не рекомендуется
Азот с водородом	Для ручной и механизированной резки				Не рекомендуется
Аргон	Не рекомендуется				Для ручной и механизированной резки

В зависимости от способа плазменно-дуговой резки в качестве электродов применяют вольфрамовый лантанированный стержень (при использовании аргона, азота, водорода) или медный водоохлаждаемый электрод с циркониевой или гафниевой вставкой (при использовании в качестве рабочего газа окислительных сред — воздуха, обогащенного воздуха, кислорода). Цирконий и гафний при воздействии высокой температуры дугового разряда образуют на поверхности тугоплавкую оксидную пленку, в дальнейшем предохраняющую электрод от эрозии в процессе резки. Однако стойкость этих электродов ввиду воздействия крайне высоких температур невысока, и время их работы не превышает 2 ... 4 ч.

В зависимости от способа подачи плазмообразующих газов в дуговую камеру различают осевой и вихревой способы стабилизации дуги. В первом случае плазмообразующая среда подается в дуговую камеру потоком, параллельным оси электрода (рис. 2.6, а), в другом — она подается в камеру по тангенциальным каналам, что обеспечивает закручивание потока (рис. 2.6, б). В плазматронах с осевой стабилизацией стержневой катод затачивают под углом 20 ... 30° при вершине, что позволяет создать четкую фиксацию катод-

Рис. 2.5. Схема режущего плазматрона:

1 — штуцер подачи плазмообразующего газа; 2 — штуцер подачи охлаждающей воды; 3 — штуцер слива воды; 4 — катодный блок; 5 — катодная вставка; 6 — изолирующая втулка; 7 — сопло; 8 — разрезаемый металл; 9 — дуговая камера; 10 — плазменная дуга; 11 — источник электропитания; 12 — балластное сопротивление



ного пятна на оси столба дуги соосно с выходным отверстием сопла. В качестве регулируемых катодов используются лантанированные вольфрамовые стержни диаметром 2...6 мм и длиной 100...150 мм. Стойкость стержневого катода зависит главным образом от плотности тока, наименьшие расходы катодов достигаются при выборе их диаметра в соответствии с табл. 2.3.

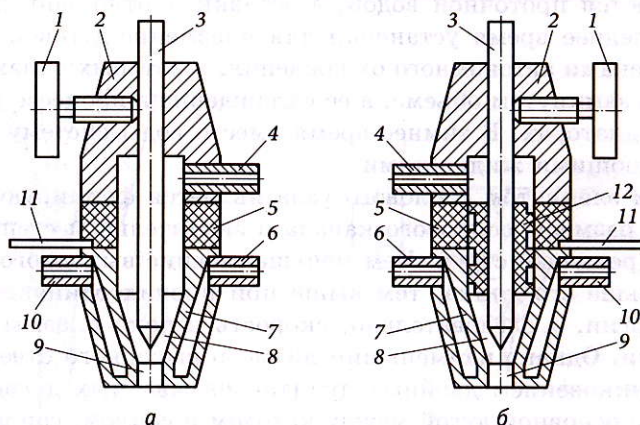


Рис. 2.6. Схемы режущих плазматронов с осевой (а) и вихревой (б) стабилизацией дугового разряда:

1 — крепление катода; 2 — катодный узел; 3 — катод; 4 — штуцер подачи газа; 5 — изолятор; 6, 10 — штуцеры системы охлаждения; 7 — сопловой узел; 8 — дуговая камера; 9 — формирующее сопло; 11 — крепление плазматрона; 12 — завихритель

Таблица 2.3

Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Диаметр формирующего сопла, мм
150	2	1,2 ... 1,6
300	2,5	2 ... 3
400	3,2	3 ... 4
500	4	4 ... 6
600	4,5	5 ... 7

Несмотря на относительно высокую электропроводность вольфрама, он сильно разогревается рабочим током, поэтому вылет электрода должен быть минимальным. Стержневые катоды обеспечивают длительный срок службы при многократной подрегулировке вылета электрода, поэтому они получили широкое распространение в ручных плазматронах.

В плазматронах для механизированной резки используют преимущественно гильзовые медные водоохлаждаемые катоды с циркониевой или гафниевой вставкой. При осевой стабилизации дуги вставка должна быть заострена. При вихревой стабилизации можно применять плоский катод. В этом случае фиксация катодного пятна в центре вставки обеспечивается стабилизацией оси потока вследствие его закручивания.

Гильзовые катоды работают при высоких плотностях тока и поэтому нуждаются в интенсивном охлаждении. Для этого наружные поверхности гильзы омываются проточной водой, а вставки плотно запрессовываются в гильзу. В последнее время установки для плазменно-дуговой резки начали оснащаться блоками автономного охлаждения, в которых охлаждающая вода циркулирует в замкнутом объеме, а ее охлаждение в процессе работы осуществляется в радиаторах. В зимнее время вместо воды систему можно заполнять незамерзающими жидкостями.

Основным элементом соплового узла является формирующий наконечник. Форма и размеры соплового канала в значительной степени определяют параметры режущей струи. Чем меньше сечение выходного отверстия сопла и чем больше его длина, тем выше при прочих одинаковых условиях плотность энергии, а следовательно, скорость потока плазмы и производительность резки. Однако наименьший диаметр выходного отверстия ограничивается возникновением двойных дуг (так называемых дуговых разрядов) одновременно с основной дугой между катодом и соплом, соплом и разрезаемым металлом. Двойная дуга возникает, если сумма анодного падения напряжения на дуге (катод—сопло) и катодного падения напряжения на дуге (сопло—разрезаемый металл) будет меньше падения напряжения в столбе дуги на участке формирующего сопла наконечника. Это может быть связано с неправильной работой источника питания или с недостатком расхода плазмо-

образующего газа. Наиболее часто двойное дугообразование (рис. 2.7) возникает в момент возбуждения режущей дуги. В современных установках режущую дугу возбуждают с помощью высокочастотного вспомогательного разряда (рис. 2.8). Вначале возбуждается вспомогательная дуга небольшой мощности (при токе 15...40 А) между электродом и наконечником. Она не приводит к разрушению наконечника или катода.

При касании потока плазмы, вытекающего из сопла, поверхности разрезаемого металла плазменная дуга замыкает рабочую цепь источника тока, вследствие чего возникает режущая дуга. Если при возбуждении режущей дуги плазменный столб вспомогательной дуги был сформирован недостаточно четким, то анодное пятно режущей дуги может перейти на наконечник, что приведет к расплавлению стенок сопла и выходу резака из строя. После включения режущей плазменной дуги напряжение между электродом и наконечником снижается, вспомогательная дуга гаснет.

Двойное дугообразование может произойти в процессе резки при пробивке начального отверстия в листе из-за брызг расплавленного металла, летящих на резак; случайном касании наконечником поверхности металла; плохой работе системы стабилизации положения резака над металлом; перепадах тока в сети или случайном уменьшении расхода плазмообразующего газа. Источники тока, используемые в настоящее время, имеют устройства (токовые реле) для отключения аппарата от сети в случае двойного дугообразования и возрастания силы тока в цепи.

Наконечники плазматронов обычно изготавливают из меди — металла, обладающего высокой теплопроводностью, что необходимо для хорошего охлаждения наконечника. Однако несмотря на интенсивное охлаждение водой

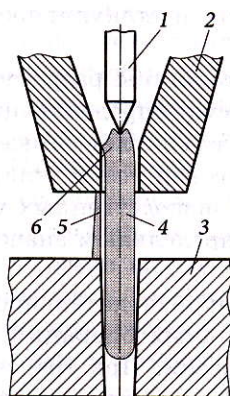


Рис. 2.7. Схема двойной дуги:

1 — катод; 2 — сопло; 3 — металл; 4 — столб режущей дуги; 5, 6 — столб двойной дуги на участках наконечник—металл и катод—наконечник соответственно

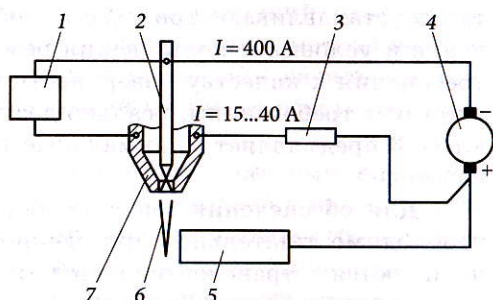


Рис. 2.8. Высокочастотное возбуждение дуги вспомогательным разрядом:

1 — осциллятор; 2 — катод; 3 — балластное сопротивление; 4 — источник тока; 5 — металл; 6 — факел дуги; 7 — наконечник

медных формирующих сопел, износ их из-за высокой температуры газов в столбе дуги велик.

Для обеспечения стабильности горения дуги и уменьшения возможности двойного дугообразования диаметр сопла выходного отверстия должен быть больше (или равен) диаметра катода, длина сопла должна быть меньше его диаметра. Диаметр катода определяется током дуги. Износ сопла существенно уменьшается при вихревой стабилизации сопла. Однако срок его службы не превышает, как правило, 7...8 ч, поэтому для повышения ресурса плазматронов в наконечнике закрепляют специальные сменные сопловые вставки.

Технологические особенности резки. Скорость плазменно-дуговой резки возрастает с увеличением мощности дуги, причем скорость возрастает в большей мере с увеличением напряжения на дуге и в меньшей степени — рабочего тока дуги, повышение которого приводит к увеличению ширины реза. Величина напряжения на дуге характеризует степень проникновения дуги в разрезаемый металл, поэтому с увеличением толщины разрезаемого металла необходимо повышать напряжение на дуге. Наиболее выгодно резать металл жесткими дугами (с высоким напряжением режущей дуги), что обеспечивает большие скорости резки и качество поверхности реза. Более легкие металлы с меньшей теплоемкостью металла и меньшей теплопроводностью разрезаются с большими скоростями. При прямолинейной разделительной плазменно-дуговой резке скорость резки может быть выше на 20...30 %, чем при вырезке фигурных деталей из листовой стали.

При оптимальных режимах плазменно-дуговой резки качество поверхности реза не уступает качеству поверхности при кислородной резке металлов, за исключением неперпендикулярности. В соответствии с ГОСТ 14792—80 качество плазменно-дуговой резки оценивают следующими четырьмя основными показателями: размерным допуском, неперпендикулярностью реза, шероховатостью поверхности, глубиной ЗТВ.

Для каждого показателя в зависимости от толщины разрезаемого металла устанавливают три класса качества и точности, определяющих назначение и условия использования резов. Класс 1 предъявляет самые высокие требования к качеству поверхности плазменно-дуговой резки, класс 2 соответствует требованиям, реально достигаемым в производственных условиях, класс 3 предъявляет минимальные требования к предельным значениям показателей.

Для обеспечения высоких качества реза и производительности резки необходимо тщательное проведение подготовительных операций, которые начинаются с транспортировки металла к месту резки. При транспортировке должны быть приняты меры, исключающие деформацию листового металла и повреждения его поверхности. Это особенно относится к тонкому мягкому листовому металлу, например алюминию и некоторым его сплавам, меди и др. Такой металл целесообразно транспортировать на специальных тележках. При транспортировке его краном следует применять пневматические присосы, равномерно размещаемые по поверхности металла.

Перед резкой для уменьшения дымообразования и повышения качества реза поверхность листового металла необходимо очистить от бумаги и консервационной смазки. При ремонтных или демонтажных работах поверхность металла перед резкой можно не очищать, однако в месте начала реза необходимо удалить краску, ржавчину для обеспечения электрического контакта факела вспомогательной дуги с этим участком.

Обрабатываемый металл должен надежно контактировать с положительным (заземляющим) проводом. Если нельзя гарантировать надежный контакт, целесообразно подводить положительный провод к контактной трубине, укрепляемой на разрезаемом изделии.

Для ручной или полуавтоматической резки детали размечают прочерчиванием и кернением контура с шагом между точками 10...20 мм. Меловая разметка не обеспечивает точного воспроизведения контура и с поверхности некоторых металлов легко стирается (сдувается). При разметке деталей учитывают припуски на резку в зависимости от назначения вырезаемых деталей.

При возбуждении режущей дуги важно установить плазматрон над начальной кромкой разрезаемого металла или подвести его к кромке с горящим факелом вспомогательной дуги таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить возбуждение режущего разряда без образования двойной дуги, а с другой — исключить возможность неполного прорезания начальной кромки. Для этого плазматрон устанавливают над начальной кромкой так, чтобы ось формирующего сопла была от нее на расстоянии 3...5 мм. При значительном увеличении этого расстояния факел вспомогательной дуги может не обеспечить электрического контакта с разрезаемым металлом. Если при этом и произойдет контакт, то столб режущей дуги может отклониться в сторону кромки настолько, что возникнет двойная дуга. При задержке резака на какое-то время у кромки дуга успеет ее проплавить, при этом образуется полукруглая канавка большой ширины, поэтому после возбуждения режущей дуги не следует задерживать резак у начальной кромки более чем на 2...5 с (в зависимости от толщины металла). При использовании движущихся плазматронов необходимо следить за тем, чтобы режущий плазматрон начал двигаться только тогда, когда режущая дуга проплавит металл по всей толщине. Несоблюдение этого требования может привести к начальному непрорезу и затруднениям с отделением вырезанной детали от обреза, а также вызвать образование двойной дуги.

При вырезке внутреннего контура фланца необходимо выполнить начальное отверстие. В случае резки листового металла средней или малой толщины начальное отверстие можно получить прожиганием плазматроном. Для этого зажигают вспомогательную дугу. Плазматрон должен быть поднят над точкой пробивки отверстия на расстояние, исключающее возбуждение режущей дуги (зазор между торцом плазматрона и разрезаемым металлом составляет около 50 мм). Затем плазматрон постепенно опускают до возникновения режущей дуги, вновь приподнимают на 4...6 мм и перемещают в направлении контура реза (или по контуру) или включают рабочий ход режущей машины. При этом поток выплавляемого металла выбрасывается в сторону, про-

тively противоположную направлению резки. После пробивки металла плазматрон опускают до высоты 3...10 мм над поверхностью изделия. Таким образом удастся пробивать отверстия в металле толщиной до 40...50 мм. При этом не исключена возможность повреждения наконечника выбрасываемым металлом. Отверстия в листовом металле можно пробивать по описанному методу, но с применением ручного резака с одним из старых сопел, не используемых для резки по контуру.

При большой толщине листового металла в случаях, когда невозможно пробивать отверстия с помощью плазматрона, начальное отверстие засверливают. Чтобы начальное отверстие не увеличивало ширины реза, диаметр его должен быть меньше ширины намечаемого реза. При возбуждении дуги плазматрон немного смещают от оси отверстия.

В процессе резки необходимо поддерживать постоянное расстояние между торцом наконечника плазматрона и поверхностью разрезаемого металла. Это расстояние должно быть минимальным, так как с его увеличением возрастают неперпендикулярность кромок реза и ширина верхней части реза. Однако при очень малом расстоянии сопло может выйти из строя от случайных замыканий с крупными брызгами металла, приварившимся шлаком и т.п. Обычно указанное расстояние должно составлять 3...10 мм. При машинной резке рекомендуется использовать системы вертикального слежения (плавания) режущего плазматрона.

В процессе резки о правильности назначенного режима можно судить по потоку искр, выбрасываемых из полости реза (рис. 2.9). Если выбрасываемый поток искр перпендикулярен к поверхности листового металла, образующиеся поверхности кромок близки к параллельным; если этот поток отклоняется в сторону, противоположную движению резака, неперпендикулярность образующегося реза не превышает требований для класса 3. Значительное отклонение потока искр от перпендикуляра к поверхности реза и стекание выплавленного металла в виде крупных капель указывает на то, что скорость резки близка к предельно возможной и может возникнуть неполное проре-

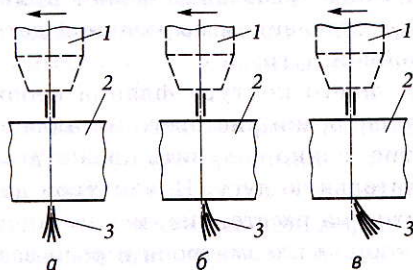


Рис. 2.9. Контроль качества резки по факелу дуги:

а — небольшая скорость; *б* — оптимальная скорость; *в* — большая скорость; 1 — плазматрон; 2 — металл; 3 — факел дуги

зание. В этом случае брызги металла выбрасываются вверх или в сторону реза.

При вырезке контура, в котором прямолинейные участки сопрягаются под углом, в месте сопряжения скорость резки должна быть уменьшена до такой величины, при которой образуется рез с параллельными кромками. Это же относится к резке деталей с криволинейными контурами средней и большой кривизны. При несоблюдении указанного требования размеры вырезанной детали (по нижней и верхней плоскостям) будут значительно отличаться от заданных вследствие большого отставания. Обычно при криволинейной резке скорость уменьшают на 25...30 %. При прямолинейной резке скорость также уменьшают при завершении реза, так как в противном случае возможно неполное прорезание по толщине металла.

При назначении режимов необходимо учитывать особенности резки различных металлов: алюминия и его сплавов, легированных и низкоуглеродистых сталей, меди и ее сплавов, титана, никеля и двухслойных сталей.

Алюминий и его сплавы склонны к образованию тугоплавких оксидов. Необходимо обеспечить удаление окисленного металла из полости реза, его защиту от окисления, а также выбрать условия, способствующие образованию оплавленной пленки минимальной толщины. Алюминий в расплавленном состоянии активно поглощает водород; поэтому очень важно, чтобы литой участок на кромке реза алюминия был минимальных размеров.

Алюминиевые сплавы толщиной 5...20 мм можно резать в азоте или воздухе. Качество резки ухудшается при обработке алюминиевых сплавов толщиной 60 мм и более. Алюминий толщиной 30...160 мм целесообразнее резать в азотоводородных смесях. Для получения поверхностей резов с минимальной шероховатостью алюминий режут в аргоноводородных смесях. Качество поверхности реза зависит от содержания водорода в смеси. При малом содержании водорода поверхность получается шероховатой, у нижней кромки скапливается стекающий металл. Высокое качество поверхности обеспечивается при использовании аргоновой смеси, содержащей 35...50 % водорода. Качество поверхностей по всей толщине реза практически равноценно, натеки на нижних кромках резко уменьшаются. При содержании в смеси более 60 % водорода на поверхностях реза появляются глубокие штрихи. У верхней кромки реза наблюдается оксидная пленка, затекающая с поверхности листового металла, у нижней кромки вновь появляются натеки металла.

В оплавленном слое алюминиево-магниевых сплавов наблюдается равномерное по толщине реза выгорание магния. Внешний признак выгорания — интенсивное выделение белого дыма. При резке этих сплавов необходимо точное соблюдение режимов резки. Резы высокого качества могут быть получены при максимально возможной скорости резки и содержании в аргоновой смеси 50 % водорода. Для резки алюминиево-марганцевых сплавов и сплавов типа дуралюмина используют смеси с меньшим содержанием водорода, а также азот и его смеси и воздух.

Плазменно-дуговую резку рационально использовать для легированных сталей толщиной менее 100 мм. Рабочим газом для плазменно-дуговой рез-

ки коррозионно-стойкой стали толщиной до 50...60 мм являются кислородсодержащие газы — сжатый воздух или смесь азота с кислородом. Наименьшая шероховатость поверхности реза коррозионно-стойкой стали толщиной 16...40 мм достигается при резке в азотоводородных смесях. При резке стали небольшой толщины затрачивается большое количество азота, что предупреждает образование наплывов на нижней кромке. Сталь толщиной более 50...60 мм режут в азотных смесях, содержащих кислород или водород.

Рабочим газом при скоростной безгратовой плазменно-дуговой резке коррозионно-стойких сталей является смесь кислорода, содержащего 20...25 % азота. Резы хромоникелевых сталей, выполненные одним из указанных способов, можно после зачистки металлической щеткой сваривать без дополнительной механической обработки. Если кромки реза будут работать в особо агрессивных средах или при повышенных температурах, интенсифицирующих коррозию, а также если в этих условиях предполагается использование сварных соединений, выполненных по кромкам, подготовленным плазменно-дуговой резкой, предпочтительнее применение аргоноводородных смесей.

В качестве рабочих газов при плазменно-дуговой резке низкоуглеродистых сталей толщиной до 40...50 мм применяют сжатый воздух, кислород или кислородсодержащие смеси. Сталь можно также резать в азоте или в азотоводородных смесях. При использовании водородсодержащих плазмобразующих смесей плазменно-дуговая резка низкоуглеродистых сталей практически не отличается от резки коррозионно-стойких сталей. Однако при этом скорости резки уменьшаются примерно на 20 %. При резке сталей толщиной менее 20 мм в азоте и азотоводородных смесях качество поверхностей резов низкое.

При резке медных листов и полос мощность дуги должна быть больше, чем при резке сталей. В качестве плазмобразующего газа в этом случае применяют сжатый воздух и азотные смеси с высоким содержанием водорода. Качество поверхностей реза при резке в этих средах одинаковое. Замечено, что при воздушно-плазменной резке меди на поверхности реза образуется легкоудаляемый хрупкий стекловидный грат. Для резки меди небольших и средних толщин предпочтительнее воздушно-плазменная резка при силе тока 350...400 А. Кромки реза медных листов зачищают на глубину 0,8...1,5 мм.

При резке латуни используют те же рабочие газы, что и при резке меди, скорость резки может быть увеличена по сравнению со скоростью резки меди на 25...30 %. При резке на оптимальных режимах кромки реза имеют ровные и гладкие поверхности, не требующие в большинстве случаев механической обработки. В особо ответственных случаях, а также после воздушно-плазменной резки кромки зачищают на глубину до 0,5...1,0 мм.

После плазменно-дуговой резки титана, рекомендуемой только в качестве заготовительной, необходима механическая обработка. Наибольшей производительности достигают при применении азотовоздушной смеси и чистого азота. Кромки реза — ровные, чистые, без грата и натеков. В металле, прилегающем к кромкам, на глубине 0,1...0,2 мм наблюдается увеличение содержа-

ния газов по сравнению с содержанием в основном металле: в 1,5 раза — кислорода, в 7—10 раз — азота, в 4—8 раз — водорода. Оплавленный слой необходимо снимать на глубину 0,3...0,8 мм.

Оборудование для плазменно-дуговой резки. В состав оборудования для плазменно-дуговой резки входят режущий плазматрон, пульт газовый с газорегулирующей и измерительной аппаратурой, блок электрооборудования, источник питания, устройство передвижения плазматрона. Для плазменно-дуговой резки применяют те же типы машин, что и для кислородной резки.

Для достижения высокой стабильности горения дуги и устойчивости процесса резки источник питания должен иметь крутопадающую вольт-амперную характеристику и повышенное напряжение холостого хода (рис. 2.10).

В соответствии с ГОСТ 12221—79 в зависимости от назначения (ручная или механизированная резка) и требований к качеству поверхности отечественная промышленность выпускает универсальную аппаратуру для плазменно-дуговой резки.

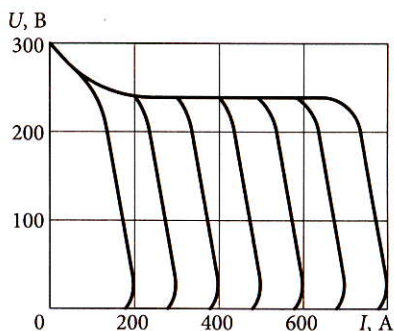
В соответствии с правилами техники безопасности ручная аппаратура для плазменно-дуговой резки выпускается рассчитанной на напряжение холостого хода до 180 В, в оборудовании для механизированной резки применяется более высокое напряжение. Напряжение холостого хода источника определяет диапазон толщин разрезаемого металла. Источники с напряжением холостого хода 180 В позволяют разрезать алюминиевые сплавы толщиной до 80 мм, медь и сталь — до 60 мм.

Для механизированной воздушно-плазменной резки выпускаются установки «Киев-5», «Киев-6», АПР-404. Источники тока установок «Киев-5» и «Киев-6» выполнены на базе крутопадающей вольт-амперной характеристики, которая обеспечивается системой управления. В промышленности работает также большое количество установок предыдущего поколения — АПР-402 и -403 с дросселями насыщения, которые обеспечивают крутопадающую вольт-амперную характеристику.

Для поджигания дежурной дуги в блоке питания имеется источник питания цепи катод — анод высокочастотным разрядом. В комплект поставки установок «Киев-5», «Киев-6» входит резак ВПР-15, установки АПР-404 —

Рис. 2.10. Вольт-амперные характеристики источника тока для плазменно-дуговой резки:

U, I — напряжение и ток дуги



ПВР-402. Установки имеют пульт управления, обеспечивающий контроль и регулировку энергетических и газовых параметров.

Ручную плазменно-дуговую резку применяют в основном при резке металла относительно небольшой толщины. В комплект поставки установок входят плазморез, кабель-шланговый пакет, коллектор и зажигалка. Кнопки включения тока дуги, вентили и рычаги подачи плазмообразующего газа монтируют на рукоятке режущего плазматрона. Режущая дуга возбуждается кратковременным замыканием электропроводящим стержнем промежутка катод—сопло. Аппаратура этого типа работает от источников питания ВКС-500, ВДГ-501, выпускаемых для дуговой сварки или вращающихся сварочных преобразователей ПСО-500 и др.



Оглавление

К читателю	3
Глава 1. Газовая резка	4
1.1. Общие сведения	4
1.2. Классификация способов термической резки	5
1.3. Сущность процесса газовой резки	6
1.4. Подогревающее пламя	8
1.5. Струя режущего кислорода	9
1.6. Влияние процесса резки на металл поверхности реза	11
1.7. Технология разделительной газовой резки стали	13
1.8. Методы повышения производительности и качества резки	25
1.9. Разделительная кислородная резка титана и его сплавов	29
1.10. Материалы для кислородной резки	31
1.11. Оборудование и аппаратура для кислородной резки	35
Глава 2. Дуговая резка	46
2.1. Кислородно-дуговая и воздушно-дуговая резка	46
2.2. Плазменно-дуговая резка	49