

Г.Б.Евсеев, Д.Л. Глизманенко

ОБОРУДОВАНИЕ
И ТЕХНОЛОГИЯ
ГАЗОПЛАМЕННОЙ
ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ
И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ

6П43
Е 25
УДК 621 791 5+621 791 9(075 8)

Евсеев Г. Б., Глизманенко Д. Л.

Е 25 Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1974.

312 с с ил.

В учебнике рассмотрены все процессы газопламенной обработки и сварка, резка, металлизация, нанесение неметаллических покрытий, наплавка, очистка поверхности металла. Описаны конструкции оборудования. Технология газопламенной обработки дана с подробным описанием особенностей обработки различных материалов.

Учебник предназначен для студентов машиностроительных вузов

Е 31206-056 56-74
038(01)-74

6П4.3

Рецензенты:

кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»
Ленинградского политехнического института им. А. И. Калинина, канд. техн. наук Ю. И. Некрасов

© Издательство «Машиностроение», 1974 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 6

Раздел первый

КИСЛОРОД, ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ. ГАЗОВОЕ ПЛАМЯ

Глава I. Кислород 0
Свойства кислорода 9
2. Получение и применение кислорода 10
3. Хранение и транспортировка кислорода 11
4. Жидкий кислород 15
5. Требования к качеству кислорода 19

Глава II. Горючие газы для газопламенной обработки. 20
1. Ацетилен, его свойства и получение 20
2. Горючие газы—заменители ацетилена 27

Глава III. Ацетиленовые генераторы 32
1. Назначение, классификация и конструктивные особенности ацетиленовых генераторов 32
2. Автоматизированные ацетиленовые установки 39
3. Ацетиленовые станции 42
4. Химическая очистка ацетилена 43

Глава IV. Арматура для газовых постов и коммуникаций. 44
1. Редукторы и регуляторы давления 44
2. Трубопроводы для кислорода 52
3. Трубопроводы для ацетилена 53
4. Резиновые шланги 54
5. Перепускные ramпы 56
6. Указатели расхода газов 57

Глава V. Горелки 58
1. Конструкции горелок 58
2. Обратный удар пламени и предохранительные затворы 64

Глава VI. Свойства газового пламени и его взаимодействие с металлом 67
1. Процесс горения и строение пламени 67
2. Химический состав пламени 71
3. Температура пламени 74
4. Тепловое взаимодействие пламени с металлом 75
5. Металлургическое взаимодействие 77

Раздел второй

ГАЗОВАЯ СВАРКА, НАПЛАВКА И ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА

Глава VII. Присадочный материал и флюсы 81
1. Присадочный материал 81
2. Флюсы 84

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3. Структурные превращения в сварном шве и околошовной зоне | 88 |
| 4. Дефекты сварных швов | 90 |
| Глава VIII. Общая технология газовой сварки | 92 |
| 1. Типы сварных соединений | 92 |
| 2. Техника и технология наложения швов | 94 |
| 3. Режимы газовой сварки | 97 |
| Глава IX. Основные технологические рекомендации по газовой сварке различных материалов | 100 |
| 1. Сварка сталей | 100 |
| 2. Сварка чугуна | 106 |
| 3. Сварка меди и ее сплавов | 112 |
| 4. Сварка алюминия и его сплавов | 120 |
| 5. Сварка магниевых сплавов | 123 |
| 6. Сварка никеля и его сплавов | 125 |
| 7. Сварка свинца | 136 |
| 8. Сварка пластмасс | 127 |
| Глава X. Газопрессовая сварка | 129 |
| 1. Сущность процесса и области применения | 129 |
| 2. Оборудование | 131 |
| 3. Технологические рекомендации | 134 |
| Глава XI. Газовая наплавка и пайка | 137 |
| 1. Наплавка цветных металлов | 138 |
| 2. Наплавка твердых сплавов | 141 |
| 3. Пайка металлов | 142 |
| Глава XII. Газопламенная поверхностная закалка | 148 |
| 1. Аппаратура | 152 |
| 2. Технологические рекомендации | 154 |
| Глава XIII. Металлизация и нанесение неметаллических покрытий | 155 |
| 1. Аппаратура для газовой металлизации и напыления | 156 |
| 2. Технология металлизации | 159 |
| 3. Напыление пластмасс и эмалей | 161 |
| 4. Плазменное напыление | 162 |
| Глава XIV. Газопламенная очистка поверхности металла от окислов, краски и других загрязнений | 166 |

Раздел третий

Кислородная резка металлов и неметаллических материалов

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Глава XV. Основы теории газовой разделительной резки | 169 |
| 1. Определение, классификация и области применения способов резки | 169 |
| 2. Сущность процесса | 172 |
| 3. Механизм окисления железа при кислородной резке стали | 173 |
| 4. Отставание в процессе резки | 174 |
| 5. Подогревающее пламя и нагрев металла до воспламенения | 176 |
| 6. Режущие кислородные струи и сопла | 179 |
| 7. Влияние чистоты кислорода на качество и производительность резки | 182 |
| 8. Разрезаемость металлов | 182 |
| 9. Изменение содержания отдельных элементов в кромке реза при газовой резке стали | 186 |
| 10. Влияние примесей стали на процесс резки | 187 |
| 11. Влияние разделительной резки на структуру и механические свойства стали | 189 |
| 12. Материальный и тепловой балансы газовой резки низкоуглеродистой стали | 190 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Глава XVI. Оборудование для газовой разделительной резки | 193 |
| 1. Ручные резаки | 193 |
| 2. Машинные резаки | 199 |
| 3. Машины для разделительной резки | 199 |
| 4. Специализированные газорезущие машины | 217 |
| Глава XVII. Технология газовой разделительной резки | 221 |
| 1. Техника резки | 221 |
| 2. Резка стали малой толщины | 225 |
| 3. Пакетная резка стали | 225 |
| 4. Резка кислородом низкого (пониженного) давления | 227 |
| 5. Особенности резки стали большой толщины | 227 |
| 6. Резка листовых закаливающихся сталей | 229 |
| 7. Деформации при резке | 231 |
| 8. Газовая резка титановых сплавов | 238 |
| 9. Поверхностная кислородная резка | 240 |
| Глава XVIII. Кислородно-флюсовая резка металлов и неметаллических материалов | 242 |
| 1. Сущность процесса | 243 |
| 2. Флюсы для кислородно-флюсовой резки | 243 |
| 3. Особенности резки высоколегированных сталей | 247 |
| 4. Особенности резки чугуна | 252 |
| 5. Особенности резки меди и ее сплавов | 254 |
| 6. Особенности резки бетона и других неметаллических материалов | 254 |
| 7. Поверхностная кислородно-флюсовая резка | 255 |
| 8. Оборудование для кислородно-флюсовой резки | 256 |
| Глава XIX. Копьевая резка металлов и неметаллических материалов | 266 |
| 1. Образование отверстий и разделительная резка кислородным копьем | 266 |
| 2. Прожигание отверстий и разделительная резка порошково-кислородным копьем | 269 |
| Глава XX. Газоэлектрическая резка металлов | 275 |
| 1. Воздушно-дуговая резка угольным электродом | 275 |
| 2. Кислородно-дуговая резка плавящимся электродом | 277 |
| 3. Плазменно-дуговая резка металлов и неметаллических материалов | 278 |

Раздел четвертый

Техническое нормирование и техника безопасности

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Глава XXI. Техническое нормирование газовой сварки и резки металлов | 292 |
| 1. Нормирование газовой сварки | 292 |
| 2. Нормирование газовой резки | 294 |
| 3. Нормы расхода материалов и стоимость кислородно-флюсовой резки высоколегированной стали | 298 |
| 4. Нормы расхода материалов при резке плазменной проникающей дугой | 299 |
| Глава XXII. Техника безопасности при газопламенной обработке | 301 |
| 1. Ацетиленовые генераторы | 303 |
| 2. Баллоны | 303 |
| 3. Аппаратура для сварки и резки | 304 |
| 4. Применение газов-заменителей | 305 |
| 5. Плазменно-дуговая резка и напыление | 307 |
| Приложение | 308 |
| Список литературы | 309 |
| Предметный указатель | 310 |

ных металлов, высоколегированных сталей, керамических изделий и других материалов широко применяют способы газодуговой обработки: воздушно-дуговую, плазменную, воздушно-плазменную. Плазменная резка способствует резкому повышению производительности заготовительно-сборочных работ. В промышленности широко используют также процессы, родственные газовой сварке: газоплазменную наплавку, поверхностную закалку, пайку, газоплазменную правку изделий, напыление пластмасс и эмалей.

Развитие процессов газоплазменной обработки идет по пути повышения степени механизации процессов и в первую очередь резки; расширения использования газов—заменителей ацетилена; широкого внедрения растворенного ацетилена взамен использования переносных ацетиленовых генераторов; расширения использования режущих машин с программным управлением процессом.

Раздел первый
**КИСЛОРОД, ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ И АППАРАТУРА
ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.
ГАЗОВОЕ ПЛАМЯ**

ГЛАВА I
КИСЛОРОД

1. СВОЙСТВА КИСЛОРОДА

Газообразный кислород бесцветен, прозрачен, не имеет запаха и вкуса, обладает высокой химической активностью и способен образовывать химические соединения (окислы) со всеми элементами, кроме инертных газов (аргона, криптона, ксенона, неона и гелия). Скорость реакции окисления резко возрастает при повышении температуры или применении катализаторов.

Реакции окисления органических веществ в кислороде носят экзотермический характер и протекают с выделением большого количества теплоты. Повышение давления и температуры кислорода в зоне реакции значительно ускоряет ее протекание. В сжатом или нагретом кислороде процесс окисления при известных условиях может протекать с быстро нарастающей скоростью за счет теплоты, выделяющейся в зоне реакции, и соответствующего повышения температуры. При соприкосновении сжатого газообразного кислорода с органическими веществами (пленкой масел или жиров, угольной пылью, ворсинками органических веществ, горючими пластмассами и т. п.) может произойти их самовоспламенение. Первоначальным источником воспламенения (импульса) в таких случаях может быть теплота, выделяющаяся при быстром сжатии кислорода, при трении и ударе твердых частиц о металл, а также электростатический искровой разряд в струе кислорода.

Поэтому при использовании кислорода необходимо всегда тщательно следить за тем, чтобы он не находился в контакте с легко воспламеняющимися горючими веществами. К таким веществам относятся также металлические материалы в виде стружки, частиц окалина, железного порошка, тонких пластин и т. д. Воспламенение может наступить за счет теплоты, выделяющейся, например, при трении движущихся частей машин и механизмов.

С целью предохранения от возможных аварий и несчастных случаев всю кислородную аппаратуру, кислородопроводы и баллоны необходимо тщательно обезжировать. В процессе эксплуатации должна быть исключена возможность попадания и накопления масел и жиров на поверхности деталей, работающих в среде кислорода. Цилиндры компрессоров, накачивающих кислород в баллоны, смазывают не маслом, а дистиллированной водой иногда с примесью 10% глицерина. В кислородных компрессорах применяют поршневые кольца из графита и других антифрикционных материалов, работающие без смазки и не загрязняющие кислород органическими примесями.

Отмеченные особенности кислорода следует всегда иметь в виду при его использовании в процессах газопламенной обработки, транспортировки и хранения.

2. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДА

Кислород можно получать химическим способом, электролизом воды и разделением воздуха методом глубокого охлаждения.

Химические способы малопроизводительны и неэкономичны, их иногда используют в лабораторной практике. При электролизе воды постоянным током кислород получают как побочный продукт в процессе производства чистого водорода. При этом на 2 м³ водорода приходится 1 м³ кислорода, содержащего до 0,7% водорода. В промышленности кислород получают из атмосферного воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации воздуха.

В установках для получения кислорода и азота из воздуха последний очищают от вредных примесей, сжимают в компрессоре до соответствующего давления холодильного цикла 0,6—20 МПа (6—200 кгс/см²), охлаждают в теплообменниках до температуры сжижения и в жидком состоянии подвергают разделению (низкотемпературной ректификации¹) на кислород и азот. Разница в температурах сжижения (кипения) кислорода и азота составляет около 13°, что достаточно для их полного разделения в жидкой фазе.

На крупных воздухоразделительных установках попутно с кислородом или азотом из воздуха извлекают также аргон, криптон, ксенон, неон-гелиевую смесь, широко используемые в технике. Получаемые кислород и другие газы собирают в газгольдеры и подают в сжатом виде к местам потребления по трубопроводам. Для хранения и перевозки кислород и инертные газы накачивают в баллоны под давлением до 20 МПа (200 кгс/см²). Газы в жидком состоянии хранят на складах и доставляют потребителям в цистернах. При потреблении жидкий кислород газифицируется, превращаясь в газ под необходимым давлением.

¹ Ректификацией называется процесс многократного испарения и конденсации жидкости на тарелках разделительного аппарата — так называемой ректификационной колонны, при котором в верхней части колонны собираются пары, состоящие из чистого легкокипящего компонента (азота), а в нижней — жидкость, содержащая в основном менее летучий компонент (кислород).

Для первоначального охлаждения аппаратов блока разделения воздуха и компенсации потерь холода применяют холодильные циклы. В этих циклах используют два основных метода получения низких температур реальных газов: 1) дросселирование сжатого воздуха; 2) расширение сжатого воздуха в поршневом детандере или турбодетандере (детандирование).

При дросселировании сжатого газа его охлаждение происходит за счет использования внутренней энергии газа на преодоление внутренних сил сцепления между частицами газа и внешних сопротивлений увеличению его объема при расширении. При детандировании газ охлаждается в значительно большей степени, чем при дросселировании, так как его внутренняя энергия расходуется также на производство внешней работы в результате политропического расширения газа в детандере. В современных установках применяют также сложные комбинированные циклы с целью снижения удельных затрат энергии на получение кислорода или азота. В крупных современных установках разделения воздуха применяется в качестве основного холодильный цикл низкого давления с турбодетандером. Более мелкие установки строят по циклам среднего давления с детандером. Цикл с одним дросселированием используют теперь только в очень небольших установках. Для получения жидкого кислорода или азота используют циклы высокого давления с детандером, а в очень крупных установках — цикл низкого давления с турбодетандером и дополнительным азотным холодильным циклом.

Кислород находит широкое применение во многих ведущих отраслях промышленности. В СССР кислород наиболее широко используют при интенсификации выплавки стали в мартеновских печах и электропечах, кислородно-конверторной выплавке стали, интенсификации процесса выплавки чугуна в доменных печах, получении цветных металлов из руд. В химической промышленности кислород необходим для газификации твердых топлив, конверсии углеводородных газов при производстве синтетического аммиака, метанола, формальдегида и других важнейших продуктов, для производства ацетилена из природного газа, азотной и серной кислот и пр. Технический кислород является основным компонентом при осуществлении процессов газовой сварки, кислородной резки, поверхностной закалки и других процессов газопламенной обработки; в большом количестве жидкий кислород используют в ракетных энергетических установках для интенсификации горения жидкого топлива; широкое применение кислород находит в медицине для лечебных целей.

3. ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА КИСЛОРОДА

Для хранения и транспортировки газообразного кислорода под давлением применяют стальные баллоны по ГОСТ 949—73, имеющие следующую характеристику.

1. Баллоны из углеродистой стали с пределом прочности 650 МН/м^2 (65 кгс/мм^2), пределом текучести 380 МН/м^2 (38 кгс/мм^2), относительным удлинением 15% — типа 100; 150 и 200, рассчитанные соответственно на условные рабочие давления p_y 10; 15 и 20 МПа (100 ; 150 и 200 кгс/см^2).

2. Баллоны из легированной стали с пределом прочности 900 МН/м^2 (90 кгс/мм^2), пределом текучести 700 МН/м^2 (70 кгс/мм^2), относительным удлинением 10% и ударной вязкостью 1 МДж/м^2 ($10 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$) — типа 150Л и 200Л, рассчитанные соответственно на условные рабочие давления p_y 15 и 20 МПа (150 и 200 кгс/см^2).

Для баллонов пробное гидравлическое давление принято равным $1,5 p_y$, а пробное пневматическое — равным p_y .

Баллоны изготавливают из бесшовных цельнотянутых труб путем обжатия днища и горловины у заготовки или из круглых плоских болванок путем прошивки и протяжки на специальных прессах. После этого баллоны подвергают необходимой механической и термической обработке, а затем насаживают кольцо горловины и башмак, проводят гидравлическое и пневматическое испытания, клеймение и окраску баллонов. Для кислорода, водорода, азота, метана, сжатого воздуха и инертных газов применяют баллоны типа 150 и 150Л; для сжатого воздуха и метана — типа 200 и 200Л; для углекислого газа — типа 150, для ацетиленов, аммиака и других газов до 10 МПа (100 кгс/см^2) — типа 100.

Согласно «Правилам» Госгортехнадзора баллоны следует подвергать контрольным проверкам и испытаниям каждые 5 лет. Баллоны для газов, вызывающих коррозию (хлор, сероводород, фосген и др.), испытывают не реже чем через каждые 2 года. На сферической части баллона выбивают его паспортные данные, а также данные о результатах периодических испытаний: товарный знак завода-изготовителя; номер баллона; фактическую массу (кг); дату (месяц и год) изготовления и год следующего освидетельствования; рабочее давление (p , кгс/см^2); пробное гидравлическое давление (n , кгс/см^2); емкость баллона (л); клеймо ОТК завода-изготовителя (круглое); клеймо завода-наполнителя (круглое, диаметром 12 мм), производившего очередное освидетельствование; дату произведенного и следующего освидетельствования (в одной строке с клеймом завода-наполнителя).

Баллоны окрашивают в условные цвета, установленные для соответствующих газов, и снабжают надписями названия газа, а в некоторых случаях и отличительными полосами. Например, баллоны для кислорода окрашены в голубой цвет, надпись «Кислород» черного цвета; для ацетиленов — в белый, надпись «Ацетилен» красного цвета; для водорода — в темно-зеленый, надпись «Водород» красного цвета; для пропана (и других горючих газов, кроме ацетиленов) — в красный, надпись «Пропан» (или другой газ) белого цвета и т. д.

Баллоны наполняют кислородом с помощью кислородных компрессоров (или жидкостных кислородных насосов), используя

устройства, называемые наполнительными рампами. Такая рампа представляет собой два коллектора из медных труб, снабженных запорными вентилями, манометрами и присоединительными медными змеевиками или гибкими шлангами высокого давления. С помощью этих змеевиков (шлангов) баллоны присоединяют к коллектору и наполняют газом. Коллекторы работают попеременно: когда через один из них наполняют баллоны, другой отсоединяют от наполненных баллонов и к нему присоединяют порожние баллоны.

На современных крупных кислородных станциях построены механизированные склады и наполнительные цехи для баллонов, где все транспортные операции осуществляются механизмами: кранами, электропогрузчиками и пр. Баллоны укрепляют в специальных контейнерах по 8—10 штук и в них транспортируют по складу, подают в наполнительную и перевозят к потребителю. Применяют также контейнеры, в которых баллоны сколлектированы в группы с общим запорным вентилем для их наполнения кислородом и опорожнения. Транспортировка баллонов к потребителю и обратно осуществляется на автомобилях, по железной дороге и пр. Потребители организуют расходные склады баллонов и, в случае необходимости, распределительные рампы, из которых кислород через центральный редуктор по трубопроводу подается в цехи к местам сварки и резки.

Под действием влажного кислорода внутренняя поверхность стенок баллонов может подвергаться коррозии. Образующиеся при этом гидраты окислов железа $\text{Fe}(\text{OH})$; $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ представляют собой рыхлую массу, легко проникаемую для кислорода, что способствует распространению коррозии в глубь стенки. Сухой кислород вызывает лишь медленное окисление железа в тонком поверхностном слое. Образующиеся при этом окислы покрывают металл сплошной пленкой, ограничивая дальнейший процесс окисления. При отсутствии влаги в кислороде и примесей поваренной соли в воде, применяемой для смазки кислородных компрессоров, не наблюдается заметной коррозии даже после эксплуатации баллонов в течение 20 лет и более.

Взрывы баллонов могут причинять значительные разрушения вследствие большой потенциальной энергии сжатого газа, освобождающейся при их взрыве. Анализ причин взрывов баллонов, имевших место (хотя и очень редко) в практике их использования, показывает, что эти взрывы происходили вследствие наличия скрытых дефектов в баллонах или нарушения правил эксплуатации баллонов со сжатыми газами.

К дефектам могут относиться трещины, плены раковины, складки, слоистость металла стенок, не замеченные при контроле баллона в процессе изготовления и последующих переосвидетельствованиях. К ним также относятся изменения нормальной структуры металла баллона вследствие неправильной термообработки.

Известны случаи взрывов наполненных баллонов от резкого удара о металлические предметы (рельс, балку, баллон и т. п.) при низкой температуре. Очень опасно попадание в кислородный баллон горючего газа (пропана, метана, ацетилена). В практике отмечены случаи перетекания в баллон с кислородом, находящимся под низким давлением в конце его опорожнения, горючего газа, находящегося в баллоне под более высоким давлением.

Образовавшаяся взрывоопасная смесь может взорваться при обратном ударе пламени. Поэтому при наполнении баллонов кислородом необходимо самым тщательным образом проверять, какой газ в них остался от предыдущего наполнения, и, в случае малейшего подозрения на присутствие в баллоне горючего газа, баллон изымают из наполнительной и направляют в лабораторию для проверки.

Попадание в кислородные баллоны органических масел и жиров также может послужить причиной взрыва баллона.

Корпуса вентилях баллонов изготовляют из латуни ЛС59-1 методом горячей штамповки, что обеспечивает необходимую плотность и вязкость металла при малых размерах вентилях. Клапан делают из латуни с пластмассовым или медным уплотнением, шпindelъ — из коррозионностойкой стали, маховичок — из вторичного алюминийевого сплава; для инертных газов используют мембранные (бессальниковые) вентиля, обеспечивающие полную и надежную герметичность.

При больших расходах кислорода применяется подача его по трубопроводу под давлением 3—3,5 МПа (30—35 кгс/см²) непосредственно с завода-изготовителя газа, где кислород может накапливаться в хранилищах постоянного объема для компенсации неравномерности расхода газа — в так называемых реципиентах.

Для реципиентов применяют баллоны емкостью 400 дм³, соединяя их в батарею для получения требуемого объема хранилища. Баллоны соединяют общими трубопроводами, снабжают запорной и предохранительной арматурой, контрольно-измерительными приборами. Реципиенты обычно располагают вне здания цеха, обеспечивая их соответствующим ограждением и защитой от атмосферных осадков. Из баллонов большой емкости (400 дм³) делают также транспортные реципиенты, используемые для доставки сжатого кислорода или других газов потребителям с помощью автотягачей на прицепах. Наполнение и опорожнение баллонов производится соответственно на, заводах, производящих и потребляющих кислород, при доставке реципиентов автотягачами без снятия баллонов с прицепов. Давление кислорода в транспортном реципиенте 16,5—20 МПа (165—200 кгс/см²). Газовместимость 1500, 750 и 375 м³ кислорода (при 20 °С и 760 мм рт. ст.). Радиус доставки автотранспортом — до 400 км. Такой способ доставки кислорода потребителям прогрессивен и экономичен, так как значительно снижает потребность в баллонах и затраты, связанные с их использованием (на ремонт, погрузку и выгрузку, испытания и др.).

4. ЖИДКИЙ КИСЛОРОД

В процессах газопламенной обработки используют кислород в газообразном виде. Кислород в жидком виде применяют только при его хранении и транспортировке от завода-изготовителя до потребителей.

По внешнему виду жидкий кислород — голубоватая прозрачная подвижная жидкость, затвердевающая при —218,4 °С и образующая кристаллы голубоватого цвета. Теплоемкость жидкого кислорода равна 1,69 кДж/(кг·°С) [0,406 ккал/(кг·°С)].

Перед подачей в сеть потребления для газопламенной обработки жидкий кислород подвергается испарению при заданном давлении в специальных устройствах — газификаторах, безнасосных или насосных. При испарении 1 дм³ жидкого кислорода получается $1 \frac{1,4}{1,100} = 0,86 \text{ м}^3$, или 860 дм³ газообразного кислорода (при 20 °С и 760 мм рт. ст.); здесь 1,14 кг/дм³ и 1,33 кг/м³ соответственно плотности жидкого и газообразного кислорода. При испарении 1 кг жидкого кислорода образуется $1/1,33 = 0,75 \text{ м}^3$ газа (при 20 °С и 760 мм рт. ст.). Основные преимущества хранения и транспортировки кислорода в жидком виде следующие.

1. Сокращается (в среднем в 10 раз) масса тары и уменьшается требуемое количество баллонов и транспортных средств (автомобилей, вагонов), занятых на перевозке кислорода.

2. Отпадают расходы по организации и эксплуатации большого баллонного хозяйства на заводах (приобретение баллонов, постройка складов, учет, испытание и ремонт баллонов, транспортные расходы).

3. Повышается безопасность и упрощается обслуживание газопитания цехов газопламенной обработки, поскольку жидкий кислород хранится и транспортируется под небольшим давлением.

4. Получаемый при газификации жидкого кислорода газообразный кислород не содержит влаги, его можно транспортировать по трубопроводам при низких окружающих температурах без применения специальных мер против замерзания конденсата (прокладка труб ниже глубины промерзания, теплоизоляция, установка конденсатоотводчиков, прокладка паровых обогревателей и пр.).

Недостатком применения жидкого кислорода являются неизбежные потери его на испарение при хранении, перевозке и газификации.

Для хранения и перевозки небольших количеств жидкого кислорода (азота, аргона, воздуха) используют сосуды Дьюара (рис. 2), шаровые (а) или цилиндрические (б). Сжиженный газ заполняет сосуд 2 из алюминийевого сплава, подвешенный на тонкостенной трубке — горловине / из стали X18H10T внутри внешнего сосуда 3, изготовленного также из алюминийевого сплава. Все соединения выполнены аргонодуговой сваркой, стальные детали предварительно алитированы. Пространство между сосудами заполнено

тепловой изоляцией 5 из смеси порошкообразного аэрогеля и бронзовой пудры.

В этом пространстве создан вакуум до остаточного давления $(1 - 2) \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст. Снизу к внутреннему сосуду приварена камера 4, заполненная адсорбентом (силикагелем КСМ). При заполнении сосуда 2 сжиженным газом адсорбент охлаждается и поглощает остаточные газы в межстенном пространстве, создавая в нем вакуум до давления $(1 - 5) \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Сталь X18H10T обладает низким коэффициентом теплопроводности, вследствие чего теплоприток извне по горловине существенно снижен.

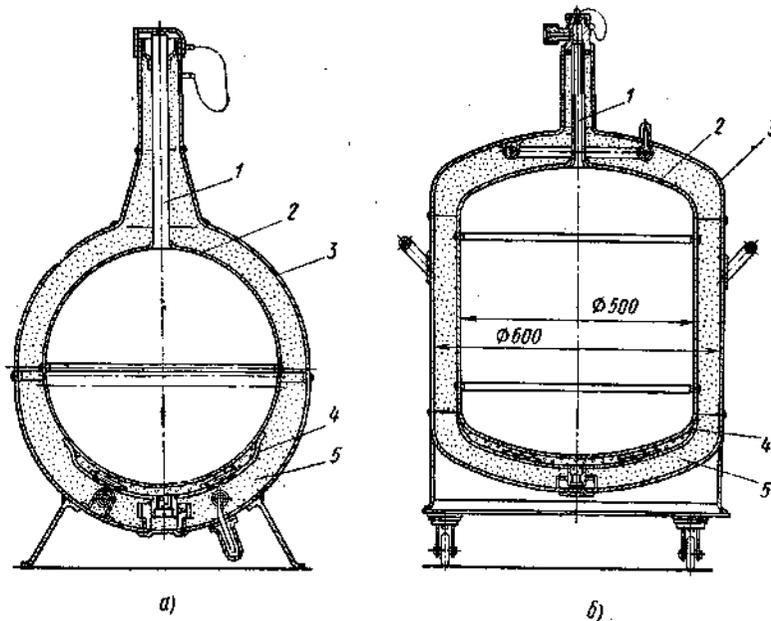


Рис. 2. Сосуды Дьюара:

а — типа АСД; б — типа АСД-100

Транспортные резервуары используют для перевозки больших количеств жидкого кислорода (азота, аргона) автотранспортом и по железной дороге. Автомобильные резервуары имеют емкость 1000—7500 дм³, железнодорожные 30 000—35 000 дм³, а иногда и более. Типовой транспортный автомобильный резервуар ТРЖК-2У показан на рис. 3. Внутренний резервуар, в котором хранится жидкий кислород, изготовлен из стали X18H9T аргонодуговой сваркой наружный (кожух) — из низкоуглеродистой стали 20. Изоляция, заполняющая межстенное пространство, — вакуумно-порошковая — из смеси аэрогеля с перлитовой пудрой; вакуум в межстенном пространстве соответствует остаточному давлению $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

Заполнение резервуара жидким кислородом из стационарной емкости производится через вентиль 3 и штуцер 5 при открытом вентиле 13 для сброса газа в газгольдер или атмосферу. При опорожнении резервуара в нем создается избыточное давление до 0,1—0,15 МПа (1—1,5 кгс/см²) за счет испарения части жидкого кислорода в испарителях 17. Слив жидкости производится также через вентиль 3 и штуцер 5 при закрытом вентиле 13. Для уменьшения притока теплоты через опоры резервуара они изготовлены из слоистого стеклопластика, обладающего низким коэффициентом теплопроводности и достаточной прочностью при низких температурах.

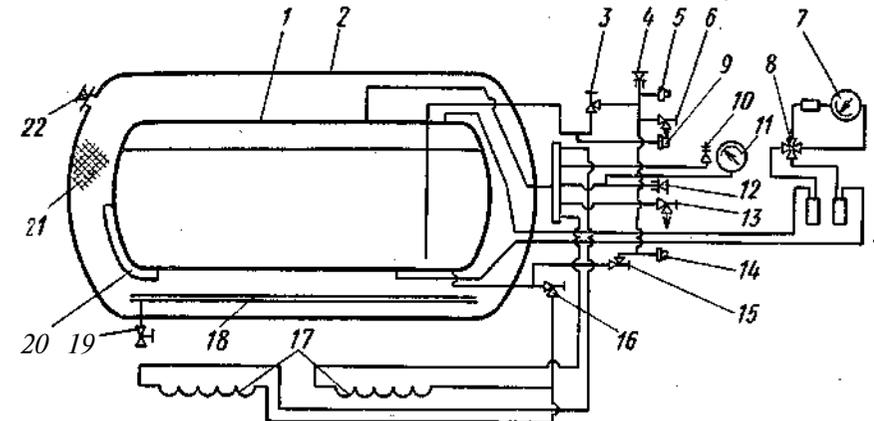


Рис. 3. Схема транспортного автомобильного резервуара ТРЖК-2У:

1 — сосуд; 2 — кожух; 3 — вентиль наполнения-опорожнения; 4 — предохранительная мембрана шланга; 5 — штуцер наполнения-опорожнения; 6 — вентиль сброса давления из шланга; 7 — указатель уровня жидкого кислорода; 8 — трехходовой вентиль; 9 — штуцер для подсоединения к кислородным станциям; 10 — предохранительный клапан; 11 — манометр; 12 — предохранительная мембрана сосуда; 13 — вентиль газосброса; 14 — штуцер для подсоединения к емкости потребителя; 15 — вентиль выдачи; 16 — вентиль испарителя; 17 — испарители; 18 — коллектор вакуумирования изоляционного пространства; 19 — вентиль вакуумирования; 20 — адсорбент; 21 — порошковая изоляция; 22 — предохранительная мембрана кожуха

Для превращения жидкого кислорода в газообразный служат газификационные установки. Их производительность достигает 15—20 м³/ч. Применяют два типа газификационных установок: насосные и безнасосные.

Насосная газификационная установка СГУ-1, показанная на рис. 4, предназначена для газификации непереохлажденного кислорода и наполнения баллонов (реципиентов) газообразным кислородом под давлением до 24 МПа (240 кгс/см²). Кислород от реципиентов подается по трубопроводу к местам потребления через центральный рамповый редуктор под требуемым давлением порядка 1,2—2 МПа (15—20 кгс/см²) для процессов газопламенной обработки. Имеются газификационные станции, насосы которых рассчитаны на давление 20 МПа (200 кгс/см²) и служат для подачи

кислорода в сеть через буферную емкость. В промышленности применяют также автомобильные передвижные газификационные установки.

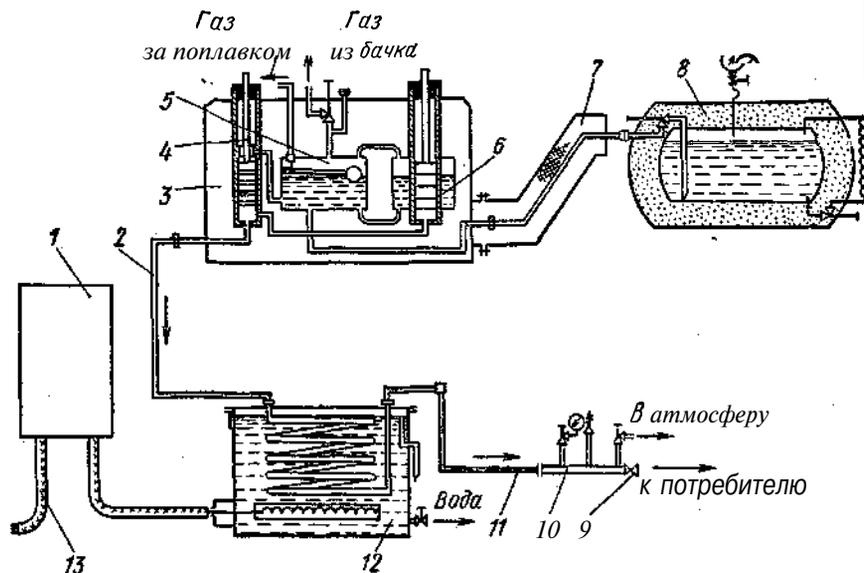


Рис. 4. Схема насосной газификационной установки СГУ-1:

1 — электрощаф; 2 — трубопровод подачи жидкости из насоса в испаритель; 3 — кожух насоса; 4 и 6 — насос; 5 — бачок; 7 — трубопровод подачи жидкости из резервуара в насос; 8 — резервуар с жидким кислородом или азотом; 9 — обратный клапан; 10 — шит арматуры; 11 — трубопровод подачи сжатого газа в рампу (реципент); 12 — испаритель; 13 — электрокабель

Безнасосные газификаторы имеют рабочее давление до 1,6 МПа (16 кгс/см²) при относительно постоянном и равномерном расходе кислорода, подаваемого по трубопроводу к местам потребления (рис. 5). Сосуд газификатора снабжен вакуумно-порошковой изоляцией и рассчитан на максимальное рабочее давление.

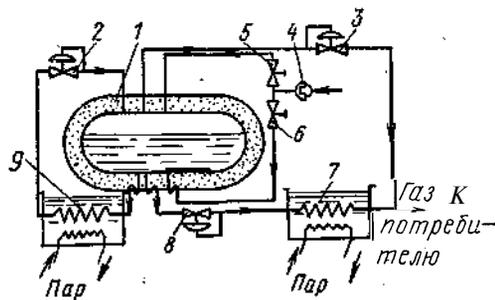


Рис. 5. Схема безнасосного газификатора

и рассчитан на максимальное рабочее давление. Первоначально давление в сосуде создается испарением кислорода в испарителе 9 и автоматически поддерживается постоянным регулятором 2. В зависимости от расхода газа жидкий кислород через регулятор 8 поступает в испаритель 7 и затем в виде газа идет в трубопровод к потребителю. Избыток газа

в газификаторе сбрасывается при заданном давлении также в трубопровод потребителя через регулятор 3. Сосуд 1 наполняется жидким кислородом через штуцер 4 и вентили 5 и 6.

5. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ КИСЛОРОДА

Кислородная резка, на которую расходуется свыше 60% всего кислорода, потребляемого при газопламенной обработке, предъявляет очень высокие требования к концентрации (чистоте) кислорода. Чем выше концентрация кислорода, т. е. чем меньше в нем содержится газовых примесей — аргона, азота и др., тем чище кромки реза, выше скорости резки и меньше расход кислорода на 1 м реза. В ГОСТ 5583—68 на кислород газообразный технический и медицинский предусмотрено повышенное (до 99,7 об. %) содержание кислорода.

Пробу газообразного кислорода для проверки качества отбирают от 5% баллонов, но не менее чем от двух баллонов из партии, состоящей не менее чем из 30 баллонов. Концентрацию (чистоту) кислорода проверяют с помощью газоанализатора ГК-1 методом поглощения кислорода аммиачным раствором хлористой меди.

Содержание водяных паров в кислороде определяют кулонометрическим методом на приборе КИВГ по ГОСТ 5583—68. Этот метод основан на непрерывном количественном извлечении водяных паров из испытуемого газа гигроскопичным веществом и одновременном электролитическом разложении извлекаемой воды на водород и кислород; при этом ток электролиза является мерой концентрации водяного пара в кислороде. Можно также определять содержание водяных паров конденсационным методом по точке росы, отмечая температуру помутнения на отполированной поверхности зеркала из металла при охлаждении последнего жидким кислородом или азотом. Для этого применяют гигрометры типа Г-2, ДДН-1, ДДН-2.

Количество кислорода в баллоне рассчитывают по формуле

$$V_n = KV_1,$$

где V_1 — емкость баллона, дм³; V_n — объем кислорода в баллоне, м³, приведенный к нормальным условиям (20 °С и 760 мм рт. ст.); K — коэффициент для приведения объема газа к нормальным условиям, учитывающий сжимаемость кислорода, м³/дм³.

Значение K определяют по формуле

$$K = \frac{293}{273 + T} (0,968p + 1) \frac{1}{Z} \cdot 10^{-3},$$

где T — температура газа в баллоне, °С; p — избыточное давление газа в баллоне, кгс/см²; Z — коэффициент сжимаемости кислорода; 0,968 — коэффициент для пересчета технических атмосфер в физические (т. е. кгс/см² в 760 мм рт. ст.).

Жидкий кислород технический и медицинский выпускают по ГОСТ 6331-68.

ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

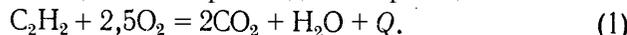
1. АЦЕТИЛЕН, ЕГО СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ

Ацетилен представляет собой углеводород ненасыщенного ряда C_nH_{2n-2} . Его химическая формула C_2H_2 , структурная формула $H-C \equiv C-H$. При атмосферном давлении и нормальной температуре ацетилен — бесцветный газ. Технический ацетилен вследствие присутствия в нем примесей, например фосфористого водорода и сероводорода, имеет резкий специфический запах. При $20^\circ C$ и 760 мм рт. ст. плотность ацетилена $\rho = 1,091$ кг/м³. Физические константы ацетилена следующие:

| | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Удельная теплоемкость при $20^\circ C$ и 760 мм рт. ст.: | |
| при постоянном давлении | $c_p = 1,68$ кДж/Дкг $\cdot^\circ C$ [0,402 ккал/Дкг $\cdot^\circ C$] |
| при постоянном объеме | $c_v = 1,36$ кДж/(кг $\cdot^\circ C$) [0,325 ккал/Дкг $\cdot^\circ C$] |
| Отношение теплоемкостей | $k = \frac{c_p}{c_v} = 1,235$ |
| Характеристическая (газовая) постоянная | $R = 319,2$ кДж/Дкг $\cdot^\circ C$ [32,56 кгм/Дкг $\cdot^\circ C$] |
| Плотность по отношению к воздуху | 0,9056 |
| Критическое абсолютное давление | $p_{кр} = 6,04$ МПа (61,6 кгс/см ²) |
| Критическая температура | $T_{кр} = +35,2^\circ C$ |

При атмосферном давлении ацетилен сжижается при температуре $-82,4 \div -83,6^\circ C$. При температуре $-85^\circ C$ и ниже ацетилен переходит в твердое состояние, образуя кристаллы плотностью $0,76$ кг/м³. Жидкий и твердый ацетилен легко взрывается от трения, механического или гидравлического удара и действия детонатора.

Полное сгорание ацетилена происходит по реакции



Из уравнения реакции (1) следует, что для полного сгорания одного объема ацетилена требуется $2,5$ объема кислорода. Высшая теплотворная способность ацетилена при $0^\circ C$ и 760 мм рт. ст. равна $Q_v = 58\,660$ кДж/м³ ($14\,000$ ккал/м³), низшая теплотворная способность при тех же условиях может быть принята $Q_n = 55\,890$ кДж/м³ ($13\,500$ ккал/м³).

Теплота реакции (1) сгорания ацетилена Q складывается из теплоты реакции экзотермического распада ацетилена и суммы теплот первичных реакций сгорания углерода и водорода. Экзотермический распад ацетилена происходит по реакции



Теплота распада $Q_0 = 225,8$ кДж/моль ($53,9$ ккал/г-мол) или $Q_0 = \frac{225,8 \cdot 100}{26,036} = 8686$ кДж/кг (2070 ккал/кг).

Теплота сгорания C в CO_2 равна $395,7$ кДж/моль ($94,45$ ккал/г-мол), H_2 в H_2O равна $290,4$ кДж/моль ($68,35$ ккал/г-мол). Тогда для теплоты реакции сгорания ацетилена по уравнению (1) получаем

$$(3 = 225,8 + 2 \cdot 395,7 + 290,4 = 1307 \text{ кДж/моль } (311,15 \text{ ккал/г-мол}))$$

или

$$Q = \frac{1307,6 \cdot 1000}{26,036} \approx 50\,000 \text{ кДж } (11\,950 \text{ ккал}),$$

или

$$50\,000 \cdot 1,17 = 58\,500 \text{ кДж/м}^3 (14\,000 \text{ ккал/м}^3);$$

здесь $1,17$ кг/м³ — плотность ацетилена при $0^\circ C$ и 760 мм рт. ст.

Ацетилен широко используют в химической промышленности в качестве основного исходного вещества для получения ряда важнейших продуктов органического синтеза: синтетического каучука, пластмасс, растворителей, уксусной кислоты и т. п.

Ацетилен — универсальное и самое распространенное горючее, используемое в процессах газопламенной обработки. При сгорании с кислородом он дает пламя с наиболее высокой температурой, равной $3150^\circ C$. Достигнуть столь высокой температуры пламени при использовании других горючих не удается.

При использовании ацетилена необходимо учитывать его взрывные свойства, для того чтобы обеспечить полную безопасность работ. Следует всегда иметь в виду, что ацетилен (как и водород) относится к наиболее взрывоопасным газам.

Температура самовоспламенения ацетилена находится в пределах $240-630^\circ C$ и зависит от давления и присутствия в нем различных веществ:

| | | | | |
|-----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Абсолютное давление: | | | | |
| МПа | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 2,2 |
| кгс/см ² | 2 | 3 | 4 | 22 |
| Температура самовоспламенения, $^\circ C$ | 630 | 530 | 475 | 350 |

Повышение давления существенно снижает температуру самовоспламенения ацетилена. Присутствие в ацетилене частиц других веществ увеличивает поверхность контакта и тем понижает температуру самовоспламенения.

Практически в зависимости от давления допустимо нагревание ацетилена до следующих температур: при абсолютном давлении $0,1$ МПа (1 кгс/см²) — до $300^\circ C$, при абсолютном давлении $0,25$ МПа ($2,5$ кгс/см²) — до $150-180^\circ C$, при более высоких давлениях — до $100^\circ C$.

Один из важных показателей взрывоопасности горючих газов и паров — величина энергии зажигания. Чем ниже эта величина, тем взрывоопаснее данное вещество. Значения энергии зажигания для газовых смесей стехиометрического состава при атмосферном давлении и $20^\circ C$ приведены в табл. 1.

Как видно из этих данных, энергия зажигания кислородно-газовых смесей примерно в 100 раз меньше, чем воздушно-газовых. Ацетилен имеет наименьшую энергию

Таблица 1

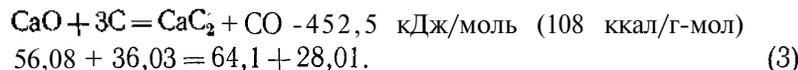
Энергия зажигания газовых смесей, МДж

| Газ | Смесь с воздухом | Смесь с кислородом |
|--------------------|------------------|--------------------|
| Метан | 0,3 | 0,0038 |
| Этан | 0,25 | 0,0019 |
| Пропан | 0,24 | 0,002 |
| Водород | 0,02 | 0,0003 |
| Ацетилен | 0,019 | 0,0003 |

зажигания и в отношении взрывоопасности подобен водороду.

Основной способ получения ацетилена основан на реакции взаимодействия карбида кальция с водой. Карбид кальция CaC_2 — твердое вещество кристаллического строения, имеющее в изломе темносерый или коричневый цвет. Плотность химически чистого CaC_2 при температуре 18 °С равна 2,22 г/см³. Реакция образования карбида

кальция из окиси кальция и углерода является эндотермической и протекает при температуре 1900—2300 °С по уравнению

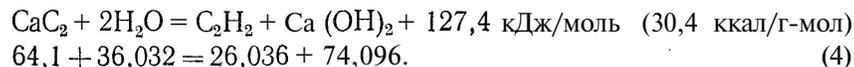


Согласно уравнению для образования 1 кг CaC_2 расходуется $\frac{56,08}{64,1} = 0,875$ кг CaO и $\frac{36,03}{64,1} = 0,562$ кг C .

Для получения 1 кг CaC_2 требуется теоретически затратить теплоты $\frac{452,5 \cdot 1000}{64,1} = 7060$ кДж/кг (1685 ккал/кг).

Технический карбид кальция содержит 70—75% химически чистого CaC_2 , 17—24% CaO и различные примеси: окислы магния, алюминия, железа, соединения серы, фосфора, ферросилиций, углерод и др.

Карбид кальция чрезвычайно активно вступает во взаимодействие с водой, разлагаясь при этом с образованием газообразного ацетилена и гидрата окиси кальция (гашеной извести). Разложение карбида кальция водой протекает экзотермически:

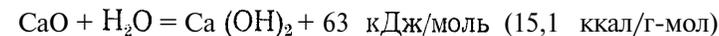


Следовательно, для разложения 1 кг химически чистого CaC_2 требуется затратить $\frac{36,032}{64,1} = 0,562$ кг воды. При этом получается $\frac{26,036}{64,1} = 0,406$ кг C_2H_2 и $\frac{74,096}{64,1} = 1,156$ кг $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Плотность ацетилена при 20 °С и 760 мм рт. ст. равна 1,09 кг/м³; следовательно, количество ацетилена (выход ацетилена), получаемое при разложении 1 кг CaC_2 , равно $a_m = \frac{0,406 \cdot 10^3}{1,09} = 372,5$ дм³/кг.

С учетом паров, насыщающих ацетилен при 20 °С и 760 мм рт. ст., выход ацетилена $a_m = 380,88$ дм³/кг. Количество теплоты, выде-

ляющейся при разложении 1 кг CaC_2 , $\frac{127,4 \cdot 10^3}{64,1} = 1980$ кДж/кг (475 ккал/кг).

Содержащаяся в качестве примеси в техническом карбиде негашеная известь CaO при взаимодействии с водой также разлагается по реакции



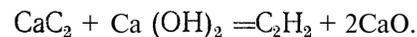
или

$$\frac{63 \cdot 10^3}{56,08} = 1130 \text{ кДж/кг CaO (270 ккал/кг CaO)}. \quad (5)$$

Принимая содержание чистого CaC_2 в техническом CaC_2 равным 70% и содержание в нем CaO равным 24%, получим тепловой эффект реакции разложения технического карбида кальция:

$$1980 \cdot 0,7 + 1130 \cdot 0,24 = 1651 \text{ кДж/кг } (\approx 400 \text{ ккал/кг}).$$

Экзотермичность реакции разложения карбида кальция создает опасность перегрева в зоне реакции. В связи с этим необходимо осуществлять ее при избытке воды и обеспечивать отвод теплоты реакции. Особенно опасны местные перегревы карбида кальция, так как при этом температура в месте его разложения может достигать 700—800 °С. При такой температуре возможна полимеризация, разложение и взрыв ацетилена, особенно при попадании воздуха в зону реакции. Поэтому необходимо в месте разложения карбида кальция поддерживать температуру не выше 150 °С, при которой еще не могут возникать процессы полимеризации ацетилена. При температуре 200 °С и выше может происходить разложение карбида кальция за счет отнятия влаги от гашеной извести по реакции



Эта реакция протекает при недостатке влаги, поэтому может произойти сильный перегрев карбида кальция, куски которого будут покрыты плотной коркой гашеной извести. Непрерывное удаление с кусков карбида кальция слоя образующейся гашеной извести имеет важное значение для полноты разложения карбида кальция и безопасности этого процесса.

Количество ацетилена в литрах (при 20 °С и 760 мм рт. ст.), выделяемое при разложении 1 кг карбида кальция, называется **выходом ацетилена из карбида кальция**. В ГОСТ 1460—56 установлены следующие нормы выхода ацетилена в зависимости от размеров кусков (грануляции) карбида кальция (табл. 2).

Таблица 2

Выход ацетилена из карбида кальция, л/кг

| Размеры кусков, мм | Выход ацетилена из карбида кальция | |
|--------------------|------------------------------------|------------|
| | 1-го сорта | 2-го сорта |
| 25/80 | 285 | 265 |
| 15/25 | 275 | 255 |
| 8/15 | 265 | 245 |
| 2/8 | 255 | 235 |
| Менее 2 | Не регламентируется | |
| Смешанных размеров | 275 | 265 |

С уменьшением размеров частиц карбида кальция выход ацетилена понижается, что объясняется большим содержанием в мелком карбиде посторонних примесей (СаО и др.).

Скорость разложения карбида кальция — важный показатель для его использования в ацетиленовых генераторах — измеряется количеством ацетилена, выделившимся за время разложения 1 кг карбида кальция в течение 1 мин. Скорость разложения (л/кг·мин) зависит от сорта и грануляции карбида кальция, а также от температуры воды. Как видно на рис. 6, наибольшая скорость разложения достигается в первые 2—4 мин после смачивания карбида кальция.

Поскольку карбид кальция жадно поглощает атмосферную влагу и при этом разлагается с выделением ацетилена, его хранят и транспортируют в герметически закрытой таре: барабанах из кровельной стали или контейнерах, герметически закрывающихся крышкой,

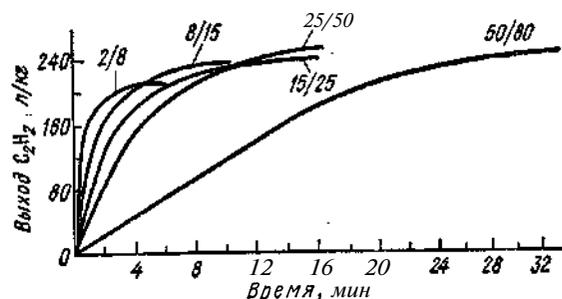


Рис. 6. Выход ацетилена из карбида кальция в зависимости от грануляции и времени разложения (при температуре воды + 2° С и отношении количества воды к карбиду кальция 10 : 1)

из листовой низкоуглеродистой стали. Барабаны с карбидом кальция необходимо хранить в сухих, хорошо проветриваемых складах, защищенных от затопления грунтовыми водами.

Способ получения ацетилена из карбида кальция довольно громоздкий, дорогой и требующий затрат большого количества электроэнергии. За последние годы разработаны и быстро внедряются в промышленность более экономичные и высокопроизводительные способы получения ацетилена: из природного газа термоокислительным пиролизом метана в смеси с кислородом (так называемый пиролизный ацетилен) и разложением жидких горючих (нефти, керосина) действием электродугового разряда (так называемый электропиролиз). Получение ацетилена из природного газа на 30—40% дешевле, чем из карбида кальция. Этот ацетилен по своим свойствам не отличается от ацетилена, получаемого из карбида кальция. Пиролизный ацетилен, используемый для сварки и резки, накачивают в баллоны с пористой массой, пропитанной ацетоном.

Хранение и транспортировка ацетилена осуществляются под давлением в баллонах, заполненных специальной пористой массой, пропитанной ацетоном — хорошим растворителем ацетилена, что

позволяет существенно увеличить количество ацетилена, накачиваемого в баллон. Кроме того, ацетон снижает взрывоопасность ацетилена. Ацетон удерживается в порах массы и распределяется по всему объему баллона, это увеличивает поверхность его контакта с ацетиленом при растворении и выделении из раствора.

Ацетилен, отпускаемый потребителям в баллонах, называется растворенным ацетиленом (ГОСТ 5457—60). Максимальное давление ацетилена при заполнении баллона составляет 2,5 МПа (25 кгс/см²), при отстое и охлаждении баллона до 20° С оно снижается до 1,9 МПа (19 кгс/см²). При этом давлении в 40-литровый баллон вмещается 5—5,8 кг ацетилена по массе (4,6—5,3 м³ газа при 20° С и 760 мм рт. ст.).

Количество ацетилена в баллоне определяют следующим способом: наполненный баллон взвешивают с точностью до 0,1 кг и выдерживают при температуре не ниже 15° С в течение 8 ч, после чего отбирают ацетилен со скоростью не более 0,8 м³/ч. Остаточное давление в баллоне после отбора должно быть не менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²). После окончания отбора газа баллон вновь взвешивают. Разность между массой наполненного баллона и массой баллона после отбора из него газа представляет собой массу содержащегося в нем ацетилена.

Давление ацетилена в полностью наполненном баллоне изменяется при изменении температуры следующим образом:

| | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Температура, °С | —5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| Давление: | | | | | | | | |
| МПа | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,4 | 3,0 |
| кгс/см ² | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 17,0 | 18,0 | 19,0 | 24,0 | 30,0 |

Ацетон (СН₃СОСН₃) — растворитель, имеющий температуру кипения при атмосферном давлении 56,2° С, температуру замерзания 178,7° К (—94,3° С). При абсолютном давлении 0,1 МПа (1 кгс/см²) и 20° С в 1 кг ацетона растворяется 27,9 кг ацетилена или в 1 л ацетона растворяется 20 л ацетилена. Растворимость ацетилена возрастает в ацетоне примерно прямо пропорционально давлению. С понижением температуры растворимость ацетилена в ацетоне растёт.

Для более полного использования емкости баллона порожние ацетиленовые баллоны следует хранить в горизонтальном положении, что способствует равномерному распределению ацетона по всему объему баллона. Наполнять баллоны ацетиленом необходимо медленно (с учетом скорости растворения его в ацетоне) в два приема: сначала в течение 6—9 ч до давления 2,2—2,3 МПа (22—23 кгс/см²), затем после отстаивания вторично до давления 2,3—2,5 МПа (23—25 кгс/см²), так, чтобы после охлаждения до температуры 20° С давление в них составило 1,9 МПа (19 кгс/см²) согласно ГОСТ 5457—60. Для ускорения накачки баллонов иногда их сна-

ружи охлаждают водой, что повышает коэффициент растворимости ацетилена в ацетоне.

При расходе газа из баллона ацетилен уносит часть ацетона в виде паров. Для уменьшения потерь ацетона отбор ацетилена из баллона следует производить со скоростью не более 1700 дм³/ч, соединяя в случае необходимости несколько баллонов в батарею. По этой же причине нельзя отбирать газ из баллона, в котором давление менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) при температуре ниже 0° С, менее 0,1 МПа (1 кгс/см²) при температуре 0—15° С, менее 0,2 МПа (2 кгс/см²) при температуре 15—25° С, менее 0,3 МПа (3 кгс/см²) при температуре 25—35° С. Периодически в баллон добавляют ацетон (ацетонируют баллоны) для возмещения потерь растворителя.

При производстве газопламенных работ и децентрализованном потреблении ацетилена растворенный ацетилен имеет ряд существенных преимуществ перед ацетиленом, получаемым из карбида кальция в переносных генераторах непосредственно на месте работ. При использовании ацетиленовых баллонов взамен переносных генераторов производительность труда сварщика повышается на 20%, на 15—25% снижаются потери ацетилена, повышается оперативность и маневренность сварочного поста, удобство работы, безопасность, облегчается использование генераторов в зимнее время. Кроме того, растворенный ацетилен — высококачественное горючее, содержащее минимальные количества посторонних примесей, поэтому его можно применять при выполнении особо ответственных сварочных работ.

Применение растворенного ацетилена в технике газопламенной обработки неуклонно расширяется из года в год, вытесняя использование передвижных ацетиленовых генераторов.

Пористые массы для ацетиленовых баллонов должны удовлетворять следующим требованиям: надежно локализовать взрывной распад ацетилена в баллоне при давлении до 3 МПа (30 кгс/см²); не взаимодействовать с ацетиленом, ацетоном и металлом баллона; обладать достаточной механической прочностью и не разрушаться при толчках и ударах, неизбежных в процессе эксплуатации баллона, не оседать и не образовывать пустот в баллоне; масса должна быть легкой и пористой, чтобы не уменьшать полезного объема и не увеличивать веса тары баллона; не должна выгорать и осмоляться при обратном ударе пламени; должна обеспечивать равномерное распределение ацетона по всему объему баллона и предотвращать стекание раствора на дно баллона; обеспечивать быстрое выделение ацетилена из раствора для возможности отбора газа без сильного охлаждения баллона.

В качестве пористых масс применяют такие высокопористые вещества, как: инфузорию, кизельгур, диатомит, пемзу, асбест, древесный и активированный уголь, силикат кальция, углекислый магний и др. Наибольшее применение имеют зернистые трамбованные массы и монолитные.

2. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ-ЗАМЕНИТЕЛИ АЦЕТИЛЕНА

Газы—заменители ацетилена могут быть использованы в тех процессах газопламенной обработки, для которых не требуется слишком высокая температура подогревающего пламени. К таким процессам относятся: сварка легкоплавких металлов (алюминия, магния и их сплавов, свинца), высоко- и низкотемпературная пайка, поверхностная закалка, сварка тонколистовой стали, кислородная разделительная и поверхностная резка. Широкое применение газы-заменители находят при кислородной разделительной резке, где температура подогревающего пламени не влияет на характер протекания процесса, а лишь сказывается на длительности начального подогрева металла перед резкой. Поэтому для резки могут использоваться все газы-заменители, у которых температура пламени при сгорании в смеси с кислородом не ниже 1800—2000° С, а теплотворная способность не менее 10 000 кДж/м³ (≈ 2400 ккал/м³).

Газы-заменители, как правило, дешевле ацетилена, недефицитны и доступны для использования в районах их производства. Использование местных дешевых горючих газов вместо ацетилена значительно снижает стоимость газопламенной обработки и упрощает организацию работ.

Эффективность и условия использования газов-заменителей при обработке материалов газокислородным пламенем в основном определяются следующими их свойствами: низшей теплотворной способностью; плотностью; температурой воспламенения и скоростью горения в смеси с кислородом; соотношением между кислородом и горючим в смеси; эффективной тепловой мощностью пламени; температурой пламени при сгорании в смеси с кислородом; удобствами и безопасностью при получении, транспортировке и использовании.

Рассмотрим некоторые, наиболее важные свойства газов-заменителей.

Низшая теплотворная способность Q_n представляет собой количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании единицы объема или массы горючего; имеет размерность соответственно ккал/м³ или ккал/кг. Для чистых углеводородов и водорода теплотворная способность является физической константой. Для ее определения пользуются газовым калориметрированием.

Для сложных газовых смесей известного состава теплотворная способность в ккал/м³ (при 20° С и 760 мм рт. ст.) может быть подсчитана по формуле

$$Q_n = 24H_2 + 80CH_4 + 206C_3H_8 + 140C_mH_n + 28CO + 275C_4H_{10} \quad (6)$$

Содержание составных частей в формуле (6) приведено в объемных процентах. Символом C_mH_n обозначена сумма прочих высокомолекулярных углеводородов, содержащихся в газе. Коэффициенты перед обозначениями составных частей газа получены как значения $0,01 Q_n$ для каждого горючего, входящего в состав газа-заменителя.

Плотность (кг/м³) для сложных газовых смесей определяют по формуле

$$\rho_{см} = f_0 \rho_i + r_2 \rho_2 + \dots + r_n \rho_n) 0,01, \quad (7)$$

где r_1, r_2, \dots, r_n — содержание элементарных частей смеси, об. %; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ — плотность элементарных частей смеси, кг/м³.

Пример. Коксовый газ имеет состав: 58,6% H₂; 25,2% CH₄; 2,4% C₃H₈; 7,1% CO; 2,4% CO₂; 0,6% O₂; 3,7% N₂.

Плотности составляющих частей смеси (при 20 °С и 760 мм рт. ст.): $\rho_{H_2} = 0,084$ кг/м³; $\rho_{CH_4} = 0,67$ кг/м³; $\rho_{C_3H_8} = 1,86$ кг/м³; $\rho_{CO} = 1,16$ кг/м³; $\rho_{CO_2} = 1,84$ кг/м³; $\rho_{O_2} = 1,33$ кг/м³; $\rho_{N_2} = 1,16$ кг/м³.

Плотность коксового газа равна

$$\rho_{см} = (58,6 \cdot 0,084 + 25,2 \cdot 0,67 + 2,4 \cdot 1,86 + 7,1 \cdot 1,16 + 2,4 \cdot 1,84 + 0,6 \cdot 1,33 + 3,7 \cdot 1,16) 0,01 = 0,44 \text{ кг/м}^3.$$

Теоретическое соотношение между количествами кислорода и горючего для полного сгорания определяется элементарным составом горючего газа. Для газовых смесей оно может быть определено по формуле

$$\beta_m = 0,01 [0,5H_2 + 2CH_4 + 5C_3H_8 + 0,5CO - 1 \cdot O_2]. \quad (8)$$

Пример. Сланцевый газ имеет состав: 40% H₂; 14% CH₄; 4% C₃H₈; 20% CO; 15% CO₂; 0,5% O₂ и 6,5% N₂. Количество кислорода, необходимого для полного сгорания в 1 м³ газа, составляет

$$\beta_m = 0,1 [0,5 \cdot 40 + 2 \cdot 14 + 5 \cdot 4 + 0,5 \cdot 20 - 0,5] = 0,775 \text{ м}^3.$$

Эффективная мощность пламени — это количество теплоты, вводимой в нагреваемый металл в единицу времени (кал/с). В наибольшей степени эффективная мощность пламени для данного горючего газа зависит от двух величин: соотношения кислорода и горючего газа в смеси (рис. 7) и расхода горючего газа (рис. 8). Соотношение кислорода V_K и горючего газа V_G в смеси для различных горючих принимают следующим:

| | $\beta_0 = \frac{K}{V_G}$ |
|---------------------------------|---------------------------|
| Ацетилен | 0,9—1,5 |
| Водород | 0,3—0,4 |
| Природный газ (метан) | 1,0—1,5 |
| Пропан технический | 3,0—3,5 |
| Коксовый газ | 0,75—0,8 |
| Нефтяной газ | 1,5—2,2 |
| Сланцевый газ | 0,7 |

Коэффициент замены ацетилена — отношение расхода газа-заменителя V_3 к расходу ацетилена V_a при равном тепловом воздействии на нагреваемый металл — обозначается $\psi = \frac{V_3}{V_a}$. Для

определения значения коэффициента замены пользуются графиками

на рис. 7 и 8, по которым находят расход газа-заменителя для условий, когда он при сгорании в смеси с кислородом (при рабочем соотношении газов в смеси) обеспечивает эффективную мощность пламени, равную таковой для ацетилено-кислородного пламени

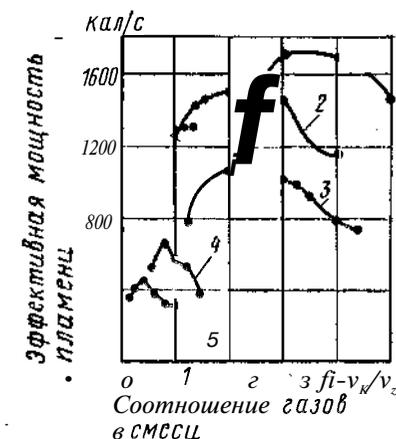


Рис. 7. Зависимость эффективной мощности пламени от соотношения кислорода и горючего газа. Расход горючего газа $V_G = 0,8$ м³/ч:
1 — пропано-бутановая смесь; 2 — ацетилен; 3 — метан; 4 — коксовый газ; 5 — водород



Рис. 8. Зависимость эффективной мощности пламени от расхода горючего газа:

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

состава: кислород/ацетилен = 1,15. Принимаемые на практике значения коэффициентов замены ацетилена другими горючими приведены в табл. 3.

Рассмотрим **основные свойства** и области применения газов-заменителей.

Водород. В нормальных условиях водород представляет собой газ без цвета и запаха, плотностью 0,084 кг/м³. Это взрывоопасный газ, способный проникать через малейшие неплотности в окружающую среду, образуя взрывоопасные смеси с воздухом.

Поэтому при работе с водородом необходимо обращать особое внимание на герметичность аппаратуры и газовых коммуникаций.

Температура водородно-кислородного пламени 2000—2100 °С. Его можно применять для получения высокочистых металлов в газовом пламени и для безокислительной пайки сталей.

Таблица 3

| Газ | Коэффициент ψ при резке | |
|------------------------------|------------------------------|---------------|
| | разделительной | поверхностной |
| Водород | 5,2 | — |
| Природный | 1,6—1,8 | 4,0 |
| Коксовый | 3,2—4,0 | 5,0 |
| Пропан технический | 0,6 | 1,0—1,2 |
| Нефтяной | 1,2 | 2,8—2,4 |
| Сланцевый | 4,0 | 6,0—8,0 |

Природный газ (метан). Состав природного газа определяется характером газового месторождения, и в среднем он примерно следующий (об.%): CH_4 — 97,8; C_2H_6 и C_3H_8 — 0,9; N_2 и CO_2 — 1,3. Плотность природного газа может быть принята равной 0,7—0,9 кг/м³, низшая теплотворная способность 31 000—33 000 кДж/м³ (7500—7900 ккал/м³). Температура пламени при сгорании газа в смеси с кислородом равна 2100—2200° С.

Природный газ применяется при разделительной и поверхностной кислородной резке стали, сварке стали толщиной до 4—5 мм, сварке легкоплавких металлов и сплавов, пайке и других процессах газопламенной обработки, допускающих использование пламени с более низкой температурой, чем кислородно-ацетиленовое.

Пропан технический и пропано-бутановая смесь. Эти газы — побочные продукты при переработке нефти. По ГОСТ 10196—62 пропан технический состоит главным образом из пропана (C_3H_8) или из пропана и пропилена (C_3H_6), количество которых в сумме должно быть не менее 93 об.%. Кроме того, в нем содержится в сумме не более 4% этана (C_2H_6) и этилена (C_2H_4) и не более 3% бутана (C_4H_{10}) и бутилена (C_4H_8).

Плотность пропана 1,88 кг/м³, бутана 2,52 кг/м³. Плотность относительно воздуха для пропана 1,57, для бутана 2,1. Низшая теплотворная способность пропана равна 87 000 кДж/м³ (20 800 ккал/м³), бутана 116 000 кДж/м³ (27 800 ккал/м³).

Температура пламени пропана и пропано-бутановой смеси при сгорании в смеси с кислородом равна 2400—2500° С и при дополнительном подогреве смеси в мундштуке может достигать 2700° С. При повышении давления или при понижении температуры пропан, бутан и их смеси переходят в жидкое состояние, их называют тогда сжиженными газами. При температуре 20° С и давлении 760 мм рт. ст. они находятся в газообразном состоянии.

Сжиженные газы широко применяются в качестве заменителей ацетилена. Пропан, бутан и их смеси можно использовать при сварке стали толщиной до 6 мм (в отдельных случаях до 12 мм), сварке и пайке чугуна, цветных металлов и сплавов, кислородной и кислородно-флюсовой резке (разделительной и поверхностной) сталей, наплавке, поверхностной закалке, металлизации, напылении пластмасс, нагреве при гибке, правке, формовке и других подобных процессах.

При использовании технического пропана отбор его из газовой фазы баллона можно производить при температурах окружающей среды до минус 25° С. При пропано-бутановой смеси это можно делать при окружающей температуре не ниже +8° С. При более низких температурах применяют общий подогрев баллонов до 10—20° С в камерах, обогреваемых воздухом, поступающим из электрокалорифера.

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

газа. При поверхностной кислородной резке, сварке черных металлов, металлизации и других процессах 1 т карбида кальция заменяется 0,5 т сжиженного газа.

Коксовый и сланцевый газы. Коксовый газ получают в процессе коксования каменного угля. Средний состав коксового газа следующий: 50—59% H_2 ; 25—30% CH_4 ; 1,8—3% C_2H_4 и других непредельных углеводородов; 5—7% CO ; 6—13% N_2 и CO_2 ; 0,5—0,8% O_2 .

Сланцевый газ получают при газификации горючих сланцев. Его состав приблизительно следующий: 25—40% H_2 ; 14—17% CH_4 ; 10—20% CO ; 10—20% CO_2 ; 4—5% C_2H_6 и других углеводородов; 22—25% N_2 ; до 1% O_2 .

Характеристика этих газов следующая:

| | Коксовый газ | Сланцевый газ |
|---------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Плотность при 20° С и 760 мм рт. ст., кг/м ³ | 0,40—0,55 | 0,74—0,93 |
| Низшая теплотворная способность: | | |
| кДж/м ³ | 14 700—17 600 | 12 600—14 300 |
| ккал/м ³ | 3 500—4 200 | 3 000—3 400 |
| Температура газокислородного пламени, °С | 2000 | 2000 |

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

Городской газ. Состав газа не регламентирован ГОСТ 5542—50. Плотность городского газа 0,84—1,05 кг/м³, низшая теплотворная способность 18 800—21 000 кДж/м³ (4500—5000 ккал/м³), температура газокислородного пламени 2000° С. Области применения те же, что и для коксового газа.

Керосин и бензин. Характеристики этих заменителей следующие:

| | Керосин | Бензин |
|---------------------------------------------------|-------------|---------------|
| Плотность, кг/дм ³ | 0,8—0,84 | 0,695—0,760 |
| Низшая теплотворная способность: | | |
| кДж/кг | 44 300 | 42 700—44 300 |
| ккал/кг | 10 600 | 10 200—10 600 |
| Температура газокислородного пламени, °С | 2 400—2 450 | 2 500—2 600 |
| Количество кислорода в смеси, м ³ /кг: | | |
| при полном сгорании | 2,55 | 2,6 |
| в горелке | 1,7—2,4 | 1,1—1,4 |

Керосин более безопасен в работе. Применяется только осветительный керосин по ГОСТ 4753—68. Перед заливкой в бачок керосин рекомендуется профильтровать через слой войлока и кускового едкого натра NaOH для очистки от механических частиц, остатков смолистых веществ и обезвоживания. Керосин используют при резке стали, бензин — при резке под водой. Применение этилированного бензина запрещается.

Пиролизный и нефтяной газы. Это смеси газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов и мазута при температуре 720—740° С в ретортах. Выход газа составляет 0,35—

0,4 м³ на 1 кнефти. Состав газа зависит от состава нефти и режима ее переработки. При наполнении в баллоны газ находится частично в сжиженном состоянии. При отборе газа состав его изменяется вследствие испарения в первую очередь более летучих компонентов. Для выравнивания состава газа и предупреждения частичной конденсации в трубопроводах и шлангах перед горелкой иногда приходится устанавливать промежуточный ресивер емкостью 40 дм³, в котором газ находится под избыточным давлением 0,3—0,4 МПа (3—4 кгс/см²); из ресивера газ через регулятор давления поступает в горелку или резак. Характеристика этих газов следующая:

| | Пиролизный газ | Нефтяной газ |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|
| Плотность при 20 °С и 760 мм рт. ст., кг/м ³ | 0,65—0,85 | 0,63—1,43 |
| Низшая теплотворная способность: | | |
| кДж/м ³ | 31 400—33 500 | 41 000—56 600 |
| ккал/м ³ | 7 500—8 000 | 9 800—13 500 |
| Коэффициент замены ацетилена | 1,6 | 1,2 |
| Температура газокислородного пламени, °С | 2300 | 2300 |
| Количество кислорода в смеси, м ³ /м ³ горючего газа: | | |
| в горелке | 1,2—1,5 | 1,5—1,6 |
| в резке | До 2,2 | До 2,2 |

К газовым постам нефтяной газ подается в баллонах под давлением до 15—16,5 МПа (150—165 кгс/см²), пиролизный газ — по трубопроводу под давлением, имеющимся в установке для разложения нефти. Области применения этих газов те же, что и при использовании пропана и пропано-бутановых смесей. Ввиду более низкой температуры пламени пиролизный и нефтяной газы можно использовать для сварки стали толщиной не более 3 мм.

ГЛАВА III

АЦЕТИЛЕНОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

1. НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЦЕТИЛЕНОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

В ацетиленовых генераторах получают ацетилен из карбида кальция и воды для питания ацетиленом аппаратуры при газопламенной обработке. Крупные ацетиленовые генераторы используют для производства ацетиленана химических заводах, где он является сырьем для получения многих химических продуктов.

ГОСТ 5190—67 «Генераторы ацетиленовые низкого и среднего давления» предусматривает следующие типы и системы генераторов. По давлению вырабатываемого ацетилена — два типа генераторов: низкого давления до 0,01 МПа (0,1 кгс/см²); среднего давления 0,01—0,07 и 0,07—0,15 МПа (0,1—0,7 и 0,7—1,5 кгс/см²); по способу применения — передвижные и стационарные; по способу взаи-

модействия карбида кальция с водой — системы генераторов: КВ — «карбид в воду», ВК — «вода на карбид», с вариантами «мокрого» и «сухого» процессов, ВВ — «вытеснением воды». Допускается в одном генераторе сочетание систем, например «воды на карбид» и «вытеснения воды»; такие генераторы называют комбинированными. Величина давления генератора обычно связана с его системой и производительностью.

Изготавливать ацетиленовые генераторы следует только на специализированных предприятиях по чертежам и технической документации, согласованной с ВНИИАВТОГЕНМАШем. Стационарные ацетиленовые генераторы должны быть пригодны для работы при температуре окружающей среды от 5 до 35° С, передвижные — при температуре от —25 до +40° С. В конструкции генератора должны быть предусмотрены следующие основные узлы: газообразователь, газосборник, ограничитель максимального давления, предохранительный затвор против обратного удара пламени, устройства для автоматической регулировки количества вырабатываемого ацетилена в зависимости от его потребления. Запрещены в эксплуатации передвижные генераторы с газосборником в виде плавающего колокола и генераторы, работающие по принципу погружения карбида кальция в воду. Стационарные генераторы низкого и среднего давления, а также передвижные генераторы среднего давления должны иметь манометры для измерения давления ацетилена.

Генераторы системы «карбид в воду» (КВ). Схема конструкции такого генератора показана на рис. 9. Генераторы данной системы обеспечивают наилучшие условия для разложения карбида кальция, которое происходит в избытке воды, при интенсивном отводе теплоты реакции, хорошем охлаждении и промывке ацетилена. Недостаток генераторов системы КВ состоит в значительном удельном расходе воды на реакцию и охлаждение газа, что увеличивает размеры реактора и количество отходов — жидкого раствора гидрата окиси кальция (гашеной извести). Данная система находит применение для более крупных генераторов низкого и среднего давления производительностью ацетилена свыше 10 м³/ч. Коэффициентом полезного использования (к. п. и.) карбида кальция называется отношение фактически полученного из генератора объема ацетилена V_{ϕ} к тому объему $V_{\text{п}}$, который можно получить из всего загруженного количества карбида кальция при отсутствии потерь газа.

Генераторы системы «вода на карбид» (ВК). Генераторы данной системы применяют преимущественно для передвижных аппаратов с производительностью ацетилена до 5 м³/ч. Широко используют комбинацию систем ВК и ВВ. Для стационарных генераторов системы ВК обычно используют «сухой» метод разложения карбида кальция. На рис. 10 приведена схема генератора комбинированной системы ВК—ВВ. Карбид кальция помещают в зарядную корзину 8 реторты 7. Вода из нижнего резервуара подается через кран 6 (в генераторах среднего давления — через мембранный регулятор)

в реторту. Подача воды прекращается при повышении давления газа в реторте и вытеснении части его в газосборник, отчего уро-

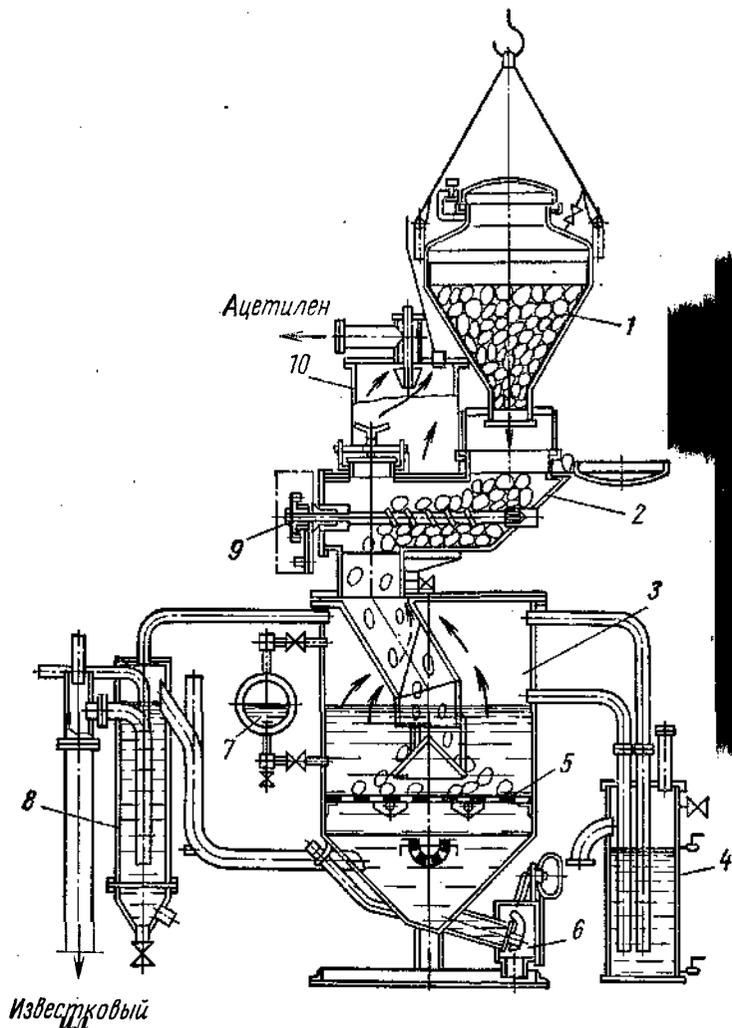


Рис. 9. Ацетиленовый генератор системы КВ типа ГНД-40:
1 — загрузочный бункер с карбидом кальция; 2 — шнековый питатель;
3 — газообразователь; 4 — гидрозатвор; 5 — поворотная решетка; 6 — затвор для удаления кусков ферросилиция; 7 — указатель уровня воды в газообразователе; 8 — гидрозатвор для слива жидкого ила; 9 — привод питателя;
10 — влагоотделитель-промыватель

вень воды опускается ниже уровня крана 6. Интенсивность газообразования в реторте также снижается вследствие вытеснения части воды из нее в конусообразный сосуд 3.

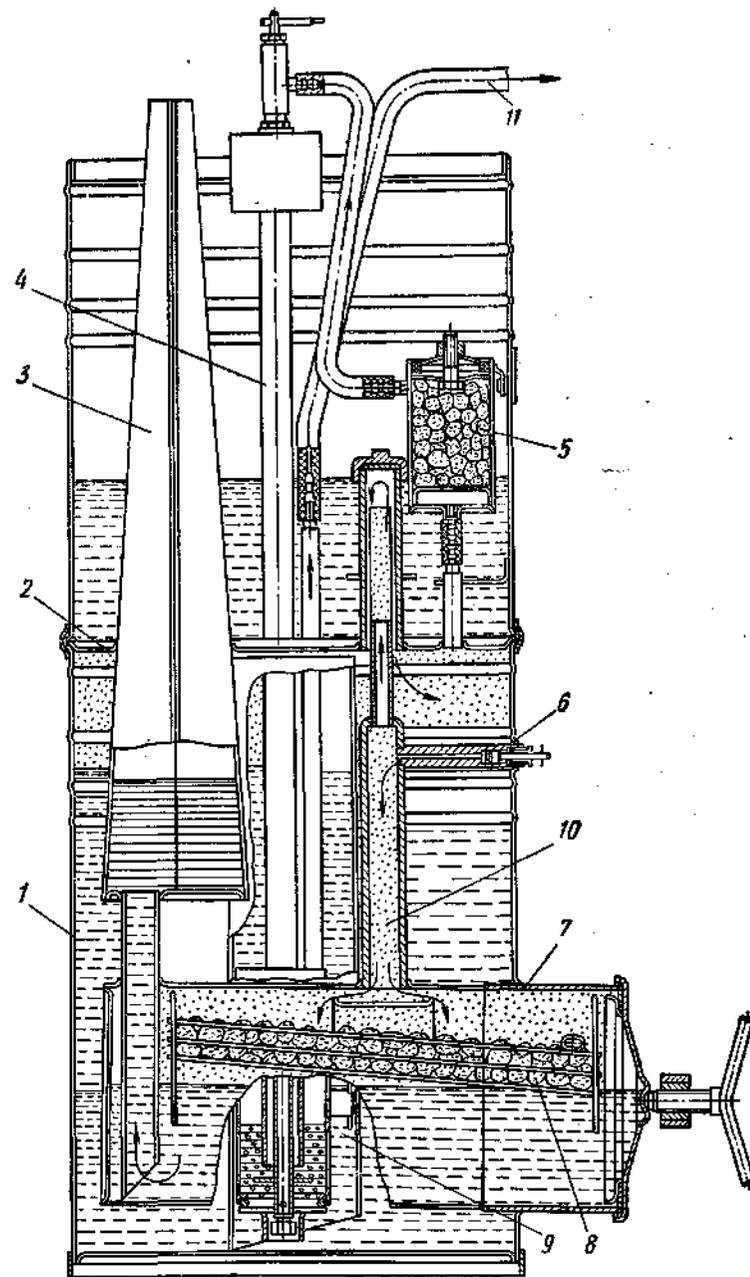


Рис. 10. Схема ацетиленового генератора комбинированной системы ВК—ВВ типа АНВ-1-66:

1 — корпус; 2 — перегородка горизонтальная; 3 — конусообразный сосуд;
4 — водяной предохранительный затвор; 5 — осушитель газа; 6 — водоподающий кран; 7 — реторта; 8 — корзина с карбидом; 9 — водоциркуляционная труба; 10 — газоотводящая трубка; 11 — ацетиленовый шланг

По мере расходования газа давление в газосборнике и реторте понижается, вода из сосуда 3 вновь контактирует с карбидом кальция. В реторту начинает поступать свежая вода из нижнего резервуара корпуса генератора; вследствие этого усиливается процесс разложения карбида кальция и давление в газосборнике вновь поднимается. Таким образом, автоматически регулируется скорость разложения карбида кальция в реторте в зависимости от отбора ацетилена из газосборника генератора.

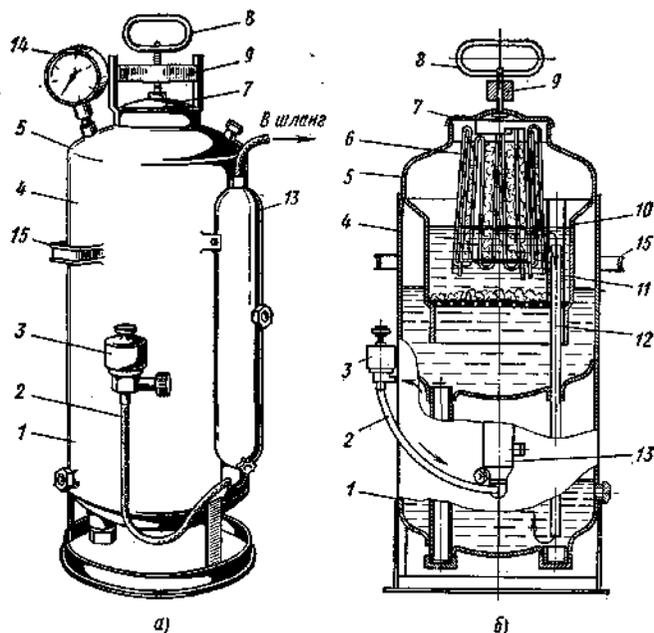


Рис. 11. Передвижной ацетиленовый генератор системы «вытеснения», типа АСМ-1,25-3:
а — внешний вид; б — разрез

Генератор АНВ-1-66 имеет производительность 1,25 м³/ч, рабочее давление 250—300 мм вод. ст., максимальное давление 1040 мм вод. ст. (0,104 кгс/см²). Он может работать при окружающей температуре до -25° С, так как водяной затвор и водоподающая система размещены в корпусе газообразователя и не замерзают. Осушитель загружают: летом — кусками кокса грануляции 10/25 мм, зимой — нижнюю половину коксом, верхнюю — карбидом кальция. Генератор работает на карбиде грануляции 25/80 мм. Можно использовать карбид кальция грануляции 15/25 мм при укладке в корзину более мелкой сетки и уменьшения одновременной загрузки карбида кальция в реторту с 2,5 до 2,0 кг.

Генераторы системы ВК и комбинированные имеют худшие условия для охлаждения реакционной зоны по сравнению с систе-

мой КВ. Поэтому температуру воды в них допускают до 90° С. Так как карбид кальция при разложении не перемешивается, то к. п. и. карбида в них также ниже и не превышает 0,8—0,9. Генераторы не позволяют значительно форсировать их работу ввиду опасности перегрева карбида кальция и ацетилена в реторте. Преимущество этих генераторов — несложность конструкции, незначительное количество отходов (известкового ила) и простота обслуживания.

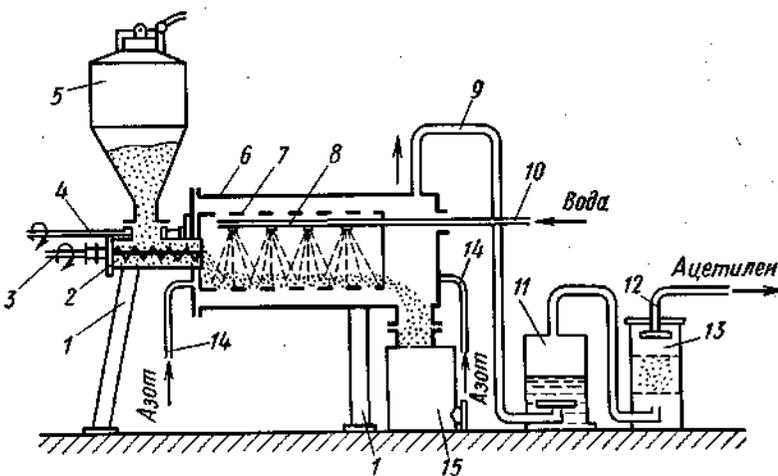


Рис. 12. Генератор для сухого процесса разложения карбида кальция:
1 — опоры генератора; 2 — шнековый питатель; 3 — вал вращения шнекового питателя; 4 — вал вращения ситчатого барабана; 5 — бункер с карбидом кальция; 6 — корпус генератора; 7 — ситчатый барабан; 8 — коллектор с соплами для разбрызгивания воды; 9 — газоотводящая труба; 10 — труба для подвода воды; 11 — промыватель; 12 — труба для отвода ацетилена в сеть потребления; 13 — осушитель с хлористым кальцием; 14 — трубы для подвода азота; 15 — бункер для сбора сухого Ca(OH)₂

Генераторы системы «вытеснения воды» (ВВ). Эта система нашла применение преимущественно в передвижных аппаратах низкого и среднего давления производительностью не свыше 5 м³/ч.

Корпус генератора системы ВВ типа АСМ-1,25-3 (рис. 11) состоит из двух состыкованных частей: промывателя 1 и газообразователя 4. Верхнее днище 5 имеет горловину, через которую вставлена корзина 6 с карбидом кальция, закрепленная на крышке 7 винтом 8 и рычагом 9. Пространство между корпусом газообразователя и шахтой 10 образует газовую подушку, обеспечивающую колебания уровня воды в газообразователе при изменении в нем давления ацетилена. Стакан 11, надетый на трубку 12 для отвода ацетилена из газообразователя, служит для предотвращения попадания в промыватель пены и известкового ила. Нижний конец трубки 12 опущен в промыватель 1. Воду в промыватель и газообразователь заливают через горловину шахты,

При опускании корзины 6 с карбидом кальция в воду, заполняющую шахту, и последующем закрывании крышки 7 образующийся ацетилен проходит по трубке 12 в промыватель, пробуривается через слой воды в нем, охлаждается при этом и через клапан 3 по шлангу 2 идет в водяной затвор 13, а затем — в горелку или резак. Генератор имеет манометр 14 и рукоятки 15. При работе зимой на генератор надевают утепляющий чехол, предохраняющий воду от замерзания.

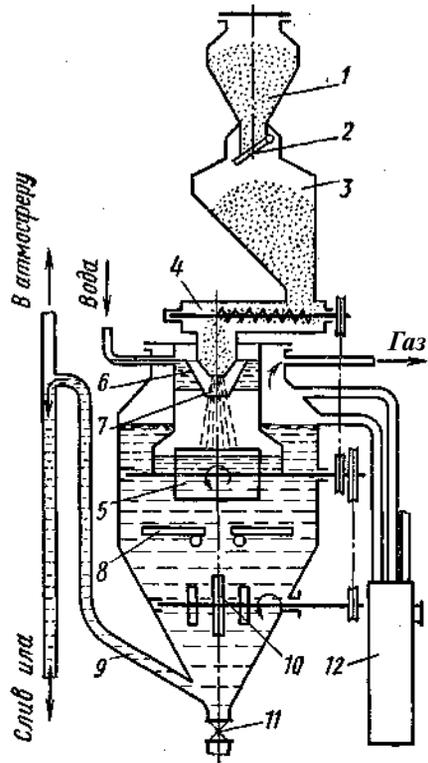


Рис. 13. Генератор для использования карбидной пыли и мелочи:

1 — верхний загрузочный бункер; 2 — шлюзовой затвор; 3 — нижний загрузочный бункер; 4 — шнековый питатель; 5 — лопастная мешалка; 6 — резервуар орошающей воды; 7 — воронка; 8 — поворотные решетки; 9 — гидрозатвор для слива жидкого ила; 10 — мешалка; 11 — кран для удаления густого ила и ферросилиция; 12 — гидрозатвор для слива избытка воды и предохранения генератора от резкого повышения давления в нем

Генераторы для сухого процесса разложения карбида кальция. В этих генераторах карбид кальция разлагается в строго дозируемом количестве воды, которая в распыленном виде подается через сопла в реакционное пространство. Это количество воды примерно вдвое больше теоретически необходимого для разложения карбида кальция. В процессе разложения карбид кальция интенсивно перемешивается. Для поглощения теплоты реак-

ции избыточная (над реакционной) вода доводится до состояния пара.

В генераторе сухого типа (рис. 12) карбид кальция из бункера 5 непрерывно подается шнековым питателем 2 во вращающийся ситчатый барабан 7, в котором подвергается разложению водой, подаваемой струями через сопла коллектора 8. Сухой гидрат окиси кальция ссыпается в бункер 15. Получаемый ацетилен проходит промыватель 11 и осушитель 13, а затем по трубе 12 подается в сеть потребления.

Генераторы для использования карбидной пыли и мелочи. Карбидная пыль и мелочь разлагаются с очень большой скоростью, почти мгновенно. Это связано с опасностью спекания образующегося известкового ила, перегревом и, как следствие, со взрывчатым распадом ацетилена. Для разложения карбидной пыли и мелочи применяют специальные генераторы «вода на карбид», в которых подача пыли и мелочи производится мелкими порциями с помощью шнекового питателя. В момент падения пыли в реакционное пространство она обильно орошается водой, а в самом газообразователе интенсивно перемешивается мешалками. Избыток жидкого ила непрерывно удаляется путем слива через гидрозатвор. Для предохранения от проникновения воздуха в реактор при загрузке его карбидом устанавливают двойной бункер со шлюзовым затвором между верхней и нижней частями бункера (рис. 13).

2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ АЦЕТИЛЕНОВЫЕ УСТАНОВКИ

Для механизации и автоматизации тяжелых и трудоемких работ (вскрытие барабанов с карбидом кальция и их транспортировка, загрузка генератора карбидом кальция, удаление известкового ила и т. п.) на современных ацетиленовых станциях применяют автоматизированные ацетиленовые установки.

На рис. 14 показана автоматизированная установка, оборудованная стационарным генератором «Автогенд-М» производительностью 40—60 м³/ч на избыточное рабочее давление 0,035 МПа (0,35 кгс/см²) [максимальное 0,07 МПа (0,7 кгс/см²)]. Генератор предназначен для работы на карбиде кальция любой грануляции без отсева пыли. Мелкий карбид кальция грануляции 2/8 мм можно перерабатывать в нем только вместе с карбидом кальция более крупной грануляции. Температура воды в газообразователе при нормальной работе не выше 80° С, температура газа после промывателя не выше 35° С.

Генератор состоит из газообразователя 15 системы «карбид в воду», регулятора 16 сброса избытка воды, дистанционного пульта управления 18 и закрытого ленточного транспортера 10. Приемный бункер 6 транспортера вместе с пневмопогрузчиком 1 расположены в загрузочном отделении ацетиленовой станции, а газообразователь и связанные с ним аппараты — в другом отделении. В целях обеспечения взрывобезопасности в данной

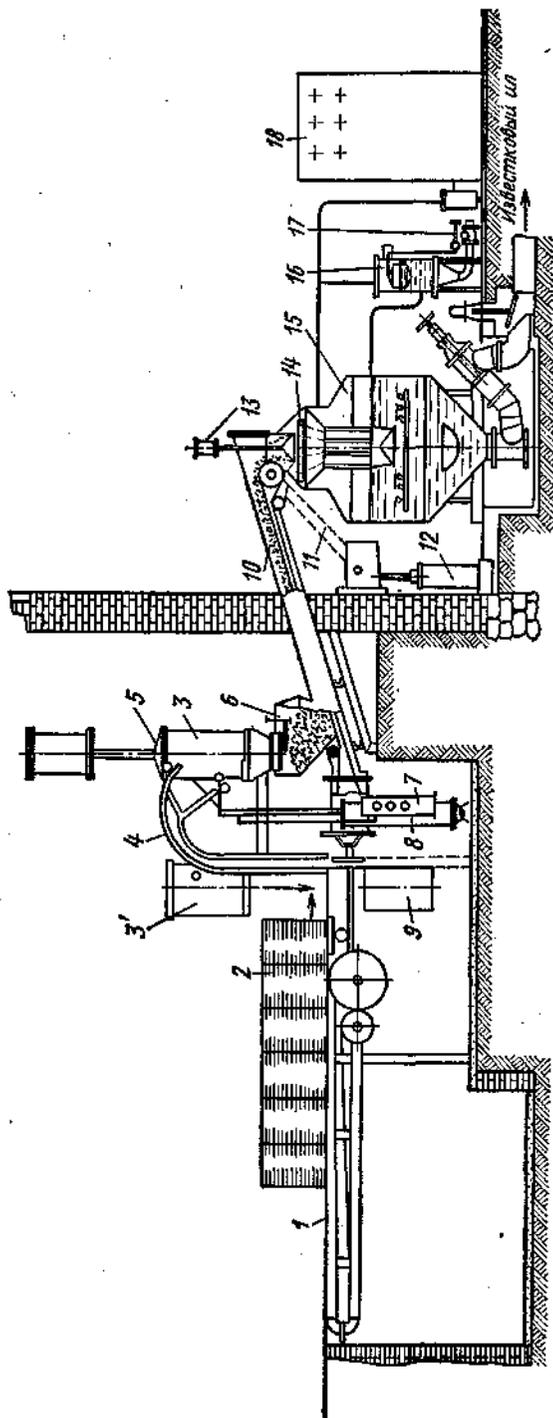


Рис. 14. Автоматизир оный генератор «Автогенд-М»

установке использована пневмоавтоматика, действующая от заводской магистрали сжатого воздуха с избыточным давлением 0,4 МПа (4 кгс/см²).

Барабаны с карбидом кальция вскрывают специальным станком, имеющим головку с резцами, расположенными по окружности. Днище барабана прорезается при опускании головки под действием усилия, развиваемого гидроцилиндром головки. Вскрытые барабаны подают (вручную или шаговым транспортером) на транспортер пневмопогрузчика 1. С пульта управления производят поднятие герметизирующего прижима 5, который, идя вверх, нажимает пневмокнопку для пуска сжатого воздуха в цилиндр 8.

Поршень цилиндра перемещается и движет по направляющим 4 поворотный кожух 3, ставя его в положение 3' открытым концом вниз. При этом из кожуха выпадает пустой барабан 9, а от транспортера отделяется тележка с очередным вскрытым барабаном 2 с карбидом кальция. Барабан захватывается кожухом, который, перемещаясь обратно по направляющим 4, устанавливается на горловину бункера 6; одновременно автоматически включаются опускание герметизирующего прижима 5 и продувка кожуха азотом. Эти операции выполняются автоматически, путем переключения пневматических кранов, расположенных на панели 7. Одновременно с помощью троса на щит пульта управления 18 поступает сообщение о положении кожуха 3 в каждый данный момент.

Подача карбида кальция в газообразователь осуществляется с помощью закрытого транспортера 10, приводимого в движение через цепной привод 11 периодически рейкой пневмоцилиндра 12, толкающей храповое колесо приводного барабана транспортера. Работой пневмоцилиндра 12 управляет пневморегулирующий клапан, установленный на пульте 18. Регулятор 16 служит для автоматического сброса избытка воды из газообразователя с помощью имеющегося в регуляторе поплавка, открывающего клапан 17.

При остановке транспортера 10 горловина газообразователя автоматически закрывается уплотняющим конусом с помощью пневмоцилиндра 13. В момент загрузки карбида кальция автоматически включается подача воды через сопла кольцевой трубы 14 для быстрого гашения карбидной пыли и мелочи, содержащейся в карбиде кальция; при перерывах в работе газообразователя находящийся в карбидоподающем устройстве карбид кальция может сохраняться длительное время, поскольку система подачи карбида кальция герметически закрыта.

Автоматизация ацетиленовых установок обеспечивает также безопасность работы генераторов. Автоматизации подлежат:

1. Включение и выключение двигателя привода шнека, подающего карбид кальция в газообразователь.
2. Включение и выключение насоса, подающего воду в напорный бак.

3. Отключение подачи карбида кальция в газообразователь при отсутствии воды в напорном баке, а также подача предупредительного сигнала.

4. Отключение подачи карбида кальция в генератор и насосов для осветленной воды при появлении ацетилена в воздухе производственных помещений, при отсутствии напряжения в цепях автоматики, при аварийной продувке трубопроводов азотом, при снижении давления воздуха, подаваемого на нужды пневмоавтоматики, и при снижении давления азота, подаваемого на ацетиленовую станцию для продувки.

5. Отключение ацетиленовых компрессоров при падении давления ацетилена во всасывающей линии ниже 40 мм вод. ст.

6. Регулирование режима работы блоков адсорбционной осушки ацетилена и отключение электроподогревателей регенерирующих адсорбент азота.

Кроме того, на ацетиленовых станциях предусматривается также система принудительной вентиляции, автоматически включаемая в нужный момент.

3. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ СТАНЦИИ

Ацетиленовая станция является частью производственного предприятия (завода) и состоит из одного или нескольких помещений, в которых расположены оборудование для получения ацетилена (газообразного или растворенного), склады для хранения ацетиленовых баллонов, распределительные пульты для централизованного снабжения газообразным ацетиленом сварочных постов и установок газопламенной обработки. Около станции располагают ямы для сбора и хранения известкового ила с отстойниками для получения осветленной воды, используемой вторично для разложения карбида кальция в генераторах.

Ацетиленовую распределительную рампу с баллонами и редукторами располагают в отдельном здании или в отдельном помещении основного производственного здания.

Ацетиленовые станции, склады карбида кальция, склады ацетиленовых баллонов, иловые ямы и ацетиленовые распределительные установки относятся к категории А по классификации противопожарных требований.

Помещения ацетиленовой станции должны соответствовать требованиям, предъявляемым к зданиям и сооружениям не ниже II степени огнестойкости. Здания ацетиленовых станций и распределительных установок должны быть одноэтажными, без чердаков и подвальных помещений, а конструкции покрытий взрывоопасных помещений — легкобросываемыми.

Все взрывоопасные здания и сооружения станции должны быть удалены: от цехов разделения воздуха (мест забора воздуха) не менее чем на 300 м; цехов с открытым огнем (доменные и мартеновские печи, кузнечные, литейные и термические цехи и т. п.) не ме-

нее чем на 50 м; от внутризаводских путей не менее чем на 20 м для железнодорожных и не менее чем на 10 м для автомобильных.

Склады ацетиленовых баллонов и дополнительные отделения, расположенные в отдельно стоящих зданиях, могут быть емкостью не более 3000 баллонов и должны быть разделены несгораемыми стенами на отсеки по 500 баллонов. Каждый отсек должен иметь самостоятельный выход наружу и предназначаться для хранения только наполненных или только порожних баллонов. При количестве наполненных и порожних баллонов не более 80 шт. их можно размещать в общем помещении.

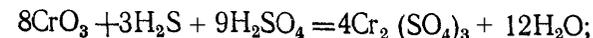
Расстояние между складами наполненных или порожних баллонов и другими производственными зданиями должно быть не менее: 20 м для складов емкостью до 500 баллонов, 25 м — до 1500 баллонов, 30 м — свыше 1500 баллонов. До жилых и общественных зданий расстояние должно быть не менее 100 м.

Отопление помещений ацетиленовых станций допускается только центральное. Во взрывоопасных помещениях электропроводка должна быть наружной, а освещение — через герметичные окна с помощью прожекторов. Допускается использование электроаппаратуры, взрывобезопасной в ацетилено-воздушной среде и имеющей на это соответствующий паспорт. Станцию следует располагать в зоне действия молниезащиты. Вентиляция необходима естественная, вытяжная, осуществляемая с помощью вытяжных труб и зонтов. Для крупных станций используют приточную механическую вентиляцию с нагнетательными вентиляторами. Полы покрывают асфальтом. В наполнительном и ремонтном отделениях допускаются деревянные полы. Металлические площадки покрывают резиновыми ковриками, что исключает возможность случайного искробразования при ударе.

4. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА АЦЕТИЛЕНА

Ацетилен, получаемый из карбида кальция, содержит примеси: аммиак, сероводород, фосфористый водород, известковую и угольную пыль. Аммиак, пыль и частично сероводород удаляются при промывке ацетилена водой. Фосфористый водород PH_3 и остатки сероводорода H_2S удаляют с помощью очистки химическими веществами, содержащими хром или хлор в качестве активных элементов. Наиболее вредная примесь — ядовитый фосфористый водород. Ацетилен подвергают очистке от H_2S и PH_3 в специальных химических очистителях. В качестве очистительной массы применяют так называемый гератоль, представляющий собой инфузорию землю, пропитанную хромовым ангидридом (11—13%) и серной кислотой (16—18%); содержание влаги 18—20%. Реакции при очистке следующие:

при поглощении сероводорода



при поглощении фосфористого водорода

$$8CrO_3 + 3PH_3 + 9H_2SO_4 = 3Cr_2(SO_4)_3 + 2CrPO_4 + H_3PO_4 + 12H_2O.$$

Для очистки гератолом используют полочные очистители, на полках которых очистительную массу располагают слоем 50—60 мм. Скорость прохождения ацетилена в слое гератоля принимается равной $5,65 \text{ дм}^3/(\text{ч} \cdot \text{см}^2)$. Удельный расход гератоля составляет $0,23—0,3 \text{ кг/м}^3$ газа. Гератоль регенерации не подвергается и его необходимо заменять новым. Свежий гератоль имеет желтый цвет, отработанный — зеленоватый.

ГЛАВА IV

АРМАТУРА ДЛЯ ГАЗОВЫХ ПОСТОВ И КОММУНИКАЦИЙ

1. РЕДУКТОРЫ И РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ

Назначение и классификация редукторов. Редукторы при газопламенной обработке материалов предназначены для понижения давления газа, отбираемого из баллона или газопровода, и для поддержания постоянства расхода и давления газа в пределах, требуемых данным технологическим процессом.

В зависимости от конструкции и назначения редукторы можно классифицировать по следующим признакам:

- 1) по пропускной способности и рабочему давлению — баллонные, постовые (сетевые) и центральные (рамповые);
- 2) по принципу действия — прямого и обратного действия;
- 3) по числу камер (ступеней) редуцирования — однокамерные (одноступенчатые) и двухкамерные (двухступенчатые);
- 4) по конструкции — безрычажные и рычажные, пружинные и беспружинные;
- 5) по виду редуцируемого газа — кислородные, ацетиленовые, воздушные, пропановые, водородные и др.;
- 6) по давлению газа перед редуктором — высокого давления [$16,5—40 \text{ МПа}$ ($165—400 \text{ кгс/см}^2$)] и среднего давления [$1,5—4 \text{ МПа}$ ($15—40 \text{ кгс/см}^2$)].

В технике применяют также редукторы специализированного назначения, отвечающие заданным условиям работы той машины или прибора, в комплект которого они входят.

ГОСТ 6268—68 «Редукторы для газопламенной обработки» предусматривает выпуск 18 типоразмеров редукторов на различные давления и пропускную способность для газопламенной обработки материалов.

Принцип действия редуктора. На рис. 15 показаны принципиальные схемы редукторов прямого и обратного действия. Для понижения давления газа используется процесс дросселирования сжатого газа с помощью редуцирующего клапана.

Для поддержания давления газа после клапана постоянным служит гибкая мембрана, которая с одной стороны находится под давлением газа после редуцирующего клапана (рабочим давлением), а с другой — под действием усилия главной регулирующей пружины или установочного давления (в редукторах с беспружинной регулировкой рабочего давления).

При изменении давления газа в рабочей камере редуктора мембрана деформируется в соответствующую сторону, увеличивая или уменьшая площадь проходного сечения редуцирующего клапана,

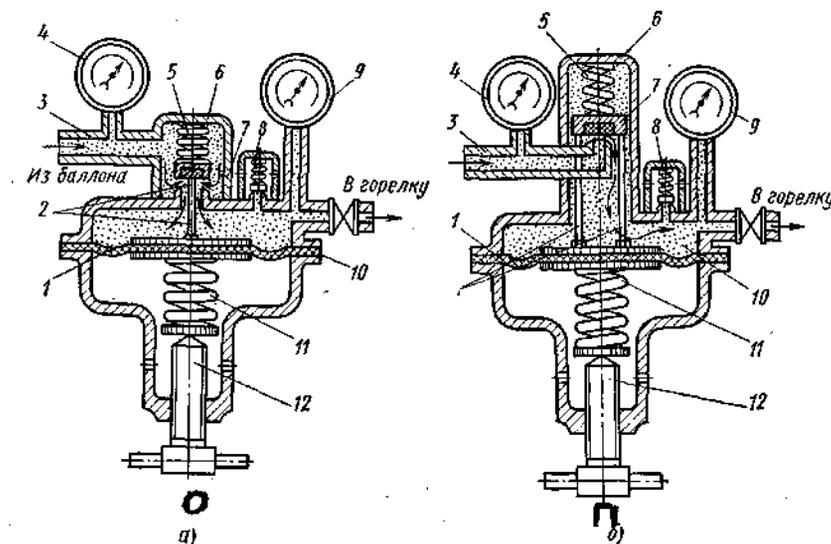


Рис. 15. Устройство и схема работы однокамерного редуктора:

1 — мембрана; 2 — передаточный диск со штифтами; 3 — штуцер впуска газа; 4 — манометр высокого давления; 5 — вспомогательная пружина; 6 — камера высокого давления; 7 — редуцирующий клапан; 8 — предохранительный клапан; 9 — манометр низкого (рабочего) давления; 10 — камера низкого давления; 11 — главная нажимная пружина; 12 — регулирующий винт

что, в свою очередь, приводит к уменьшению или увеличению степени дросселирования давления газа. При уменьшении проходного сечения клапана расход газа уменьшается, а степень дросселирования возрастает, при увеличении сечения — наоборот.

В редукторе прямого действия давление газа до редуцирования действует под клапан, стремясь его открыть (рис. 15, б), а в редукторе обратного действия — на клапан, стремясь его закрыть (рис. 15, а). Наибольшее применение получили редукторы обратного действия, так как они более компактны, проще по конструкции, имеют меньшее количество деталей и надежнее в работе. Это объясняется тем, что в редукторах обратного действия упрощается связь редуцирующего клапана с мембраной,

Рабочие характеристики редуктора. Рабочее давление и пропускную способность выбирают в соответствии с требованиями технологического процесса. Пропускная способность определяется не только площадью открытия сечения редуцирующего клапана, но и площадью сечения сопла для выхода газа из редуктора. При одном и том же рабочем давлении пропускная способность возрастает с увеличением диаметра расходного сопла (рис. 16).

Чувствительность регулировки характеризуется изменением величины рабочего давления при повороте регулирующего винта главной пружины на $\frac{1}{4}$ оборота и зависит от отношения рабочей площади

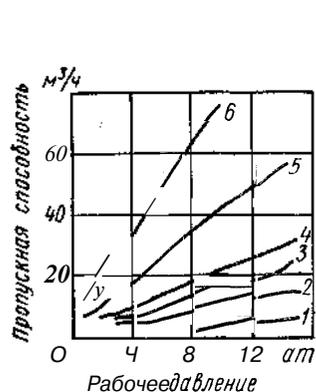


Рис. 16. Зависимость расхода газа от величины рабочего давления и диаметра расходного сопла. Диаметры сопла:

1 — 1 мм; 2 — 1,4 мм; 3 — 1,8 мм; 4 — 2 мм; 5 — 2,8 мм; 6 — 4 мм



Рис. 17. Изменение рабочего давления для редуктора прямого (1) и обратного (2) действия в зависимости от изменения давления перед редуктором (5)

мембраны к площади сечения редуцирующего клапана, от шага резьбы регулирующего винта и от жесткости главной пружины.

Для постовых редукторов чувствительность регулировки обычно равна 0,05—0,15 МПа (0,5—1,5 кгс/см²) на $\frac{1}{4}$ оборота винта.

Предел редуцирования — это величина (рис. 17) минимального давления $p_{1\min}$ перед редуктором, при которой рабочее давление начинает быстро падать:

$$p_{1\min} = (2 \div 2,5) p_2,$$

где p_2 — рабочее давление редуктора при нормальном расходе газа, МПа или кгс/см².

Предел редуцирования соответствует наступлению критического отношения давлений $p_2/p_{1\min} = 0,528$.

Рис. 18. Конструкция однокамерного кислородного редуктора ДКП-1-65:

1 — штуцер входа газа; 2 — мембрана; 3 — главная пружина; 4 — толкатель; 5 — ниппель выхода газа; 6 — редуцирующий клапан

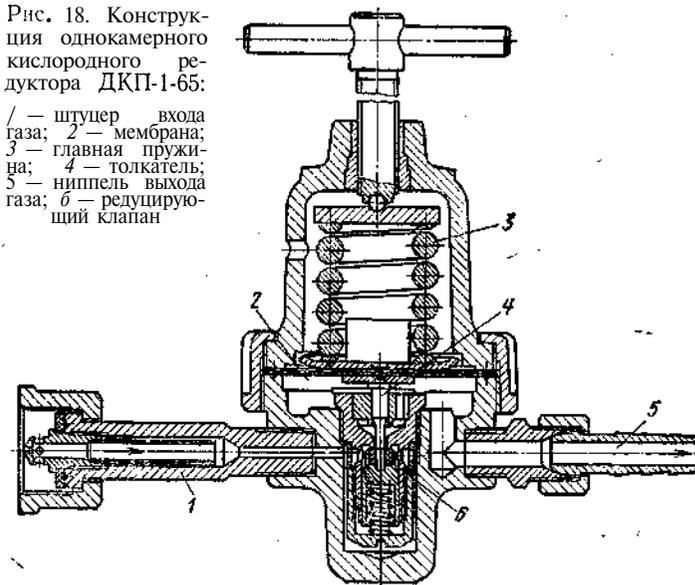
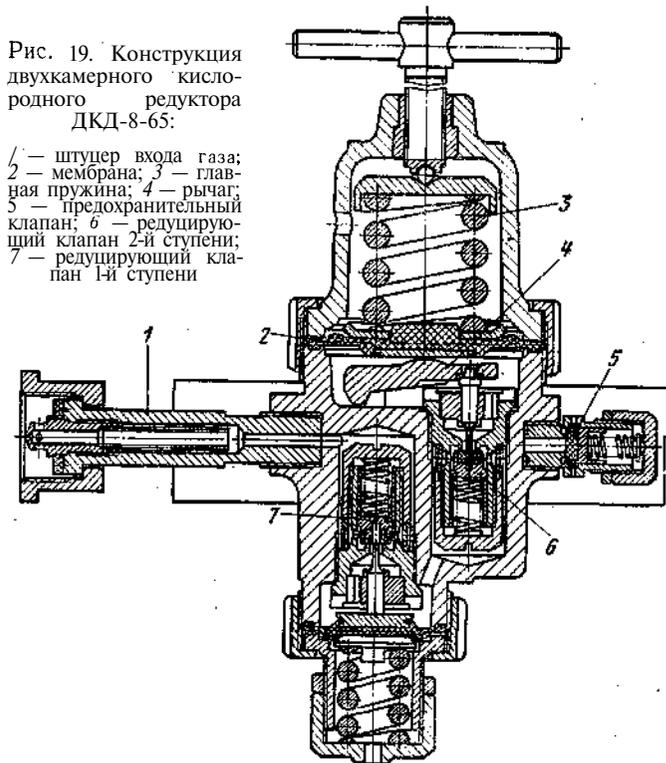


Рис. 19. Конструкция двухкамерного кислородного редуктора ДКД-8-65:

1 — штуцер входа газа; 2 — мембрана; 3 — главная пружина; 4 — рычаг; 5 — предохранительный клапан; 6 — редуцирующий клапан 2-й ступени; 7 — редуцирующий клапан 1-й ступени



Перепад давления Δp_2 показывает относительную величину повышения рабочего давления p_2 редуктора при прекращении расхода газа через него:

$$\Delta p_2 = \frac{p'_2 - p_2}{p_2} 100\%.$$

Величина перепада характеризует качество конструкции и изготовления редуктора.

На рис. 18 показана конструкция однокамерного кислородного редуктора ДКП-1-65, а на рис. 19 конструкция двухкамерного кислородного редуктора ДКД-8-65. В двухкамерных редукторах

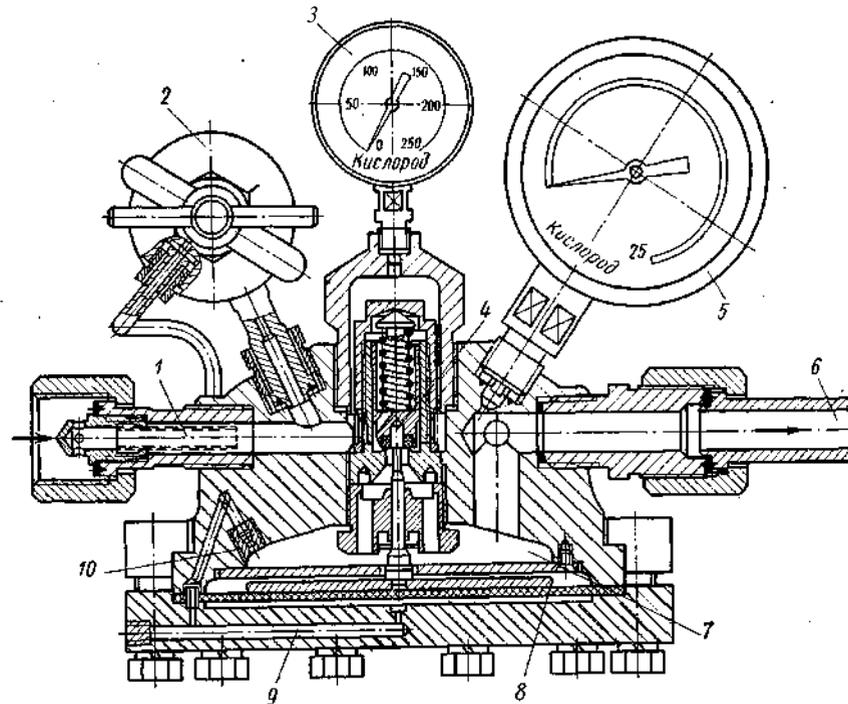


Рис. 20. Рамповый редуктор ДКР-250/500 с пневматическим заданием величины рабочего давления:

1 — штуцер входа газа; 2 — вспомогательный (установочный) редуктор; 3 — манометр высокого давления; 4 — редуцирующий клапан; 5 — манометр низкого (рабочего) давления; 6 — штуцер выхода газа; 7 — рабочая камера; 8 — мембрана; 9 — канал; 10 — дюза

газ последовательно редуцируется в двух камерах — в первой с начального до промежуточного давления 4—5 МПа (40—50 кгс/см²), во второй — с промежуточного до рабочего давления. Во второй ступени двухкамерного редуктора на колебания рабочего давления влияет только величина изменения давления после первой камеры редуцирования. Поэтому в этих редукторах обеспечивается высокое постоянство рабочего давления после редуктора.

Конструкция рампового редуктора с установочным давлением для регулирования величины рабочего давления показана на рис. 20. Степень открытия клапана 4 определяется перемещением мембраны 8, на которую снизу действует давление кислорода, поступающего в пространство под мембраной 9 от вспомогательного (установочного) редуктора 2. Избыточный газ из-под мембраны сбрасывается в рабочую камеру 7 через дюзу 10.

Основы безопасной эксплуатации редукторов. Чтобы исключить возможность применения редуктора из-под кислорода для работы с горючим газом и наоборот, присоединительные элементы редукторов изготавливают различными. Так, кислородные, воздушные и аргоновые редукторы имеют на присоединительном штуцере накидную гайку с резьбой правой, трубной, диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма; водородные и пропановые редукторы снабжены накидной гайкой с левой трубной резьбой диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма. На ацетиленовые редукторы вместо накидной гайки установлен специальный присоединитель-

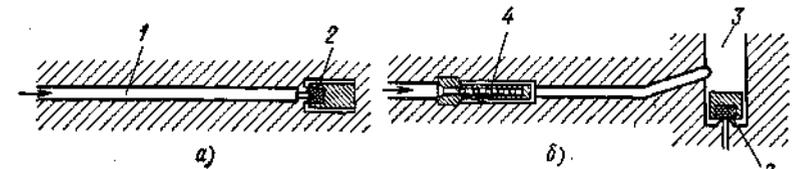


Рис. 21. Схема расположения каналов для подвода кислорода к клапану редуктора:

а — прямой канал; б — канал с теплопоглотителем и вводом кислорода в камеру над клапаном; 1 — канал; 2 — клапан; 3 — камера над клапаном; 4 — теплопоглотитель

ный хомут для крепления редуктора к вентилю ацетиленового баллона. Редукторы окрашивают в условные цвета: кислородные — в голубой, водородные и пропановые — в красный, ацетиленовые — в белый.

Выгорание клапана кислородных редукторов. На рис. 21 показаны два случая выполнения каналов для подвода сжатого кислорода к клапану редуктора. При резком открытии вентиля баллона кислород, находящийся в канале 1, подвергается ударному адиабатическому сжатию и его температура мгновенно повышается до 980—1000° С в месте контакта с уплотнением клапана 2. Если уплотнитель недостаточно теплоустоек или имеет поверхностные дефекты (волокна, вмятины, посторонние включения и пр.), то возможно его воспламенение в среде сжатого кислорода. Это приводит к выгоранию клапана, а также может вызвать выгорание пружины, мембраны и других частей редуктора, что представляет опасность для окружающего персонала.

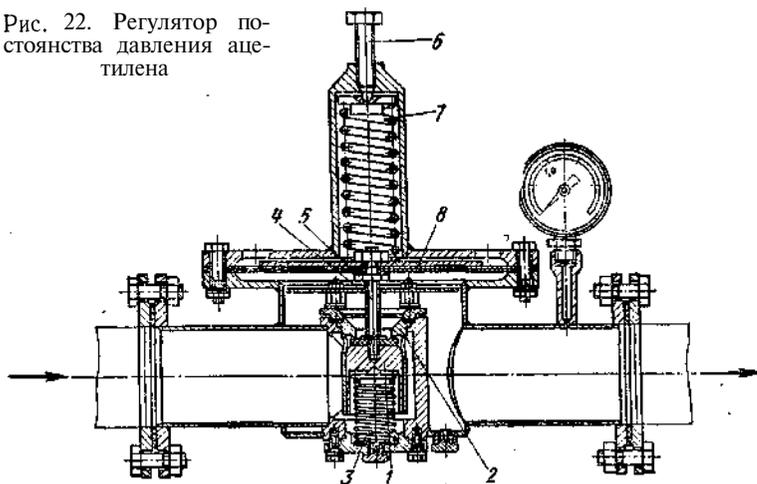
Учитывая это, в современных редукторах применяют схему подвода газа к клапану по рис. 21, б. При этом клапан расположен так, что струя кислорода попадает сначала в камеру над клапаном,

где может расширяться; до клапана установлен теплопоглотитель в виде сетки или дюзы с отверстиями.

Замерзание редукторов. При дросселировании газа в редукторе происходит его охлаждение вследствие проявления эффекта Джоуля—Томсона. Если в газе содержатся пары воды, то они могут конденсироваться и замерзать в каналах клапана, забивая его кристаллами льда. Опасность замерзания редуктора тем больше, чем выше влажность и начальное давление газа, больше расход газа через редуктор и чем ниже температура окружающей среды.

Для уменьшения возможности замерзания редуктора применяют двухступенчатое дросселирование или предварительную осушку, или подогрев газа перед редуктором. Отогревать замерзший редуктор допускается только горячей водой или паром. Применение для этого открытого пламени запрещается.

Рис. 22. Регулятор постоянного давления ацетилена



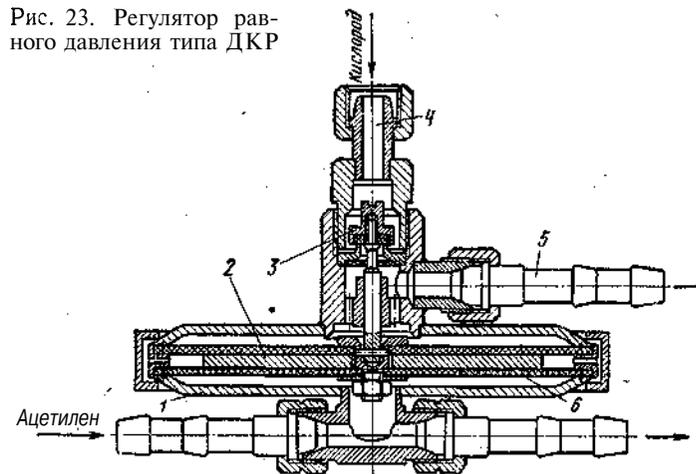
Негерметичность клапана редуктора. В этом случае редуктор пропускает газ при полностью освобожденной нажимной пружине. Причиной негерметичности может являться повреждение седла или уплотнения клапана, попадание под клапан посторонних частиц и пр. Негерметичность может вызвать недопустимое повышение давления в рабочей камере редуктора и разрыв мембраны. При обнаружении негерметичности редуктора он должен быть сдан в ремонт.

Регуляторы давления. Для поддержания давления на заданном уровне применяют регуляторы, работающие на малых перепадах давлений. По принципу действия они аналогичны редукторам. Их используют в ацетиленовых установках среднего давления для поддержания постоянного давления ацетилена, поступающего в сеть, при переменном его давлении в генераторе. Регуляторы применяют также в системах равного давления для обеспечения равенства

давлений кислорода и ацетилена перед поступлением их в горелку.

На рис. 22 представлена конструкция регулятора давления ацетилена с обратной пружиной. Клапан 1 прижимается к седлу 2 обратной пружиной 3 с постоянным усилием, не зависящим от давления в рабочей камере. Стержень 4 ввернут в тело клапана и представляет собой отдельную деталь, не скрепленную с нажимным болтом 5, отходящим от стержня клапана при подъеме мембраны. Величину открытия клапана устанавливают болтом 6, сжимающим главную пружину 7. При изменении давления газа после клапана мембрана 8 перемещается в ту или другую сторону, соответственно прикрывая или открывая клапан для поддержания постоянным давления газа после клапана.

Рис. 23. Регулятор равного давления типа ДКР



На рис. 23 показана конструкция регулятора равного давления ДКР, применяемого в системах равного давления для безынжекторных горелок ГАР конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа. Регулятор беспружинный, в качестве регулирующего газа используется ацетилен, поступающий в горелку по ниппелям 1 и 6. Воздействуя на двойную мембрану 2, ацетилен поддерживает постоянной площадь проходного сечения регулирующего клапана 3, к которому по штуцеру 4 поступает кислород, выходящий далее в горелку через ниппель 5. Если давление ацетилена уменьшится, то в соответствующей степени сократится подача кислорода и снизится его давление после клапана 3, который в этом случае прикрывается, сохраняя заданное постоянное отношение давлений обоих газов, поступающих в горелку. При возрастании давления ацетилена, наоборот, клапан 3 открывается, и давление кислорода после клапана несколько повышается. Регулятор обеспечивает постоянство состава горючей смеси в горелке,

2. ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ КИСЛОРОДА

Трубопроводы для газообразного кислорода следует проектировать в соответствии с «Правилами техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов». Согласно строительным нормам и правилам все трубопроводы газообразного кислорода в зависимости от рабочего давления делятся на четыре категории:

| Категория | I | II | III | IV |
|--------------------------------|--------|---------|---------|--------|
| Рабочее (избыточное) давление: | | | | |
| МПа | 6,4-22 | 2,5-6,4 | 1,6-2,5 | До 1,6 |
| кгс/см ² | 64-220 | 25-64 | 16-25 | До 16 |

Для трубопроводов жидкого кислорода установлены следующие пять категорий:

| Категория | I | II | III | IV | V |
|--------------------------------|--------|---------|---------|----------|---------|
| Рабочее (избыточное) давление: | | | | | |
| МПа | 6,4-22 | 1,6-6,4 | 0,6-1,6 | 0,25-0,6 | До 0,25 |
| кгс/см ² | 64-220 | 16-64 | 6-16 | 2,5-6 | До 2,5 |

Выбор материала труб для кислородопроводов определяется возможностью загорания стали в кислороде. Опытами установлено, что стальные трубопроводы для кислорода могут загораться при наличии в потоке газа частиц окалины, сварочного грата, угля, кокса. Загорание обычно происходит на участке после колена трубы, где возникает удар и трение твердых частиц о стенку трубы, при давлении 1,8—3 МПа (18—30 кгс/см²) и при скорости потока 30—85 м/с. Наличие в кислороде негорючих частиц (песка, ржавчины, шлака и т. п.) не вызывает загорания стальной трубы. В зависимости от давления кислорода и при скорости его в трубе до 8 м/с для наземных и подземных трубопроводов газообразного кислорода применяют следующие стальные трубы:

| Давление, кгс/см ² | Применяемые трубы |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| До 16 | Электросварные, ГОСТ 10704—63, 10705—63; 10706—63 |
| 16-64 | Бесшовные (при диаметре до 400 мм), ГОСТ 8734—58, 8732—70 |
| 16—64 | Электросварные (при диаметре более 400 мм), ГОСТ 10704—63, 10706—63 |
| 64—200 | Бесшовные, при подземной прокладке, ГОСТ 8734—58, 8732—70 |

Если при рабочем давлении скорость потока кислорода превышает допустимые пределы, применяют трубы из меди или латуни. Все надземные кислородопроводы давления 6,4 МПа (64 кгс/см²) и выше должны быть изготовлены только из труб медных или латунных по ГОСТ 617—72 и 494—69. Для труб под жидкий кислород применяют медь, алюминиевые сплавы и коррозионностойкую сталь, сохраняющие прочность и вязкость при температурах жидкого кислорода.

Межцеховые кислородопроводы можно выполнять подземными и надземными.

В цехах кислородопроводы, как правило, прокладывают открыто по стенам или колоннам здания. Если по местным условиям это невозможно, допускается прокладка в каналах, засыпаемых песком и перекрываемых плитами (съёмными, несгораемыми). Допустима совместная прокладка кислородопровода и ацетиленопровода в одном канале при наличии разделительной стенки и засыпки обоих отделений канала песком. В кислородных цехах и газификационных станциях допускается прокладка кислородопровода совместно с другими трубопроводами в крытых каналах.

При прокладке газопроводов для кислорода, ацетилена и других горючих газов на стапелях, доках и набережных должны соблюдаться дополнительные требования, учитывающие особенности выполнения работ в этих условиях.

В условиях эксплуатации кислородопровод следует систематически контролировать на герметичность. Повышение концентрации кислорода в окружающей среде при наличии открытого пламени, искры или нагретых предметов может привести к пожару и аварии.

3. ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ АЦЕТИЛЕНА

Ацетиленопроводы в зависимости от рабочего давления делят на три группы: низкого давления — до 0,01 МПа (0,1 кгс/см²) включительно; среднего давления — свыше 0,01 до 0,15 МПа (0,1 до 1,5 кгс/см²) включительно; высокого давления — свыше 0,15 МПа (1,5 кгс/см²).

Ацетиленопроводы всех групп должны быть изготовлены из стальных бесшовных труб по ГОСТ 8732—70 и 8734—58. Стальные сварные трубы можно применять только для ацетиленопроводов низкого давления, расположенных на участке от генератора до водяного затвора.

Трубы соединяют сваркой. Фланцевые и резьбовые соединения допускаются в местах присоединения к оборудованию, арматуре, контрольно-измерительным приборам и для монтажных соединений в неудобных для сварки местах. Не допускается применение труб, арматуры и деталей из меди и ее сплавов, содержащих более 70% меди. Возможна подземная прокладка труб в траншеях с засыпкой землей и антикоррозионной защитой.

В цехах-потребителях ацетиленопроводы, как правило, прокладывают открыто по стенам или колоннам здания, или, если это неосуществимо, в непроходных каналах, засыпаемых песком и перекрываемых несгораемыми плитами. Запрещается прокладка через дымоходы, вентиляционные воздухопроводы, а также на расстоянии менее 1 м от горячих поверхностей с температурой свыше 150° С. Высота прокладки над полом должна быть не менее 2,2 м. Газопроводы должны быть удалены 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: $p_{исп} = 13 (p_{раб} + 1) - 1$. ацетиленопроводы высокого давления — удвоенным рабочим давлением. После испытания на прочность производят испытание на плотность азотом или воздухом давлением 0,3 МПа (3 кгс/см²). После всех испытаний ацетиленопроводы продувают азотом чистотой не менее 97,5% в количестве не менее 3—4-кратного объема продуваемого трубопровода. Перед пуском в эксплуатацию ацетиленопровод продувают ацетиленом. Ацетиленопроводы окрашивают в белый цвет. Все обнаруженные неплотности в ацетиленопроводе в процессе эксплуатации должны немедленно устраняться.

4. РЕЗИНОВЫЕ ШЛАНГИ

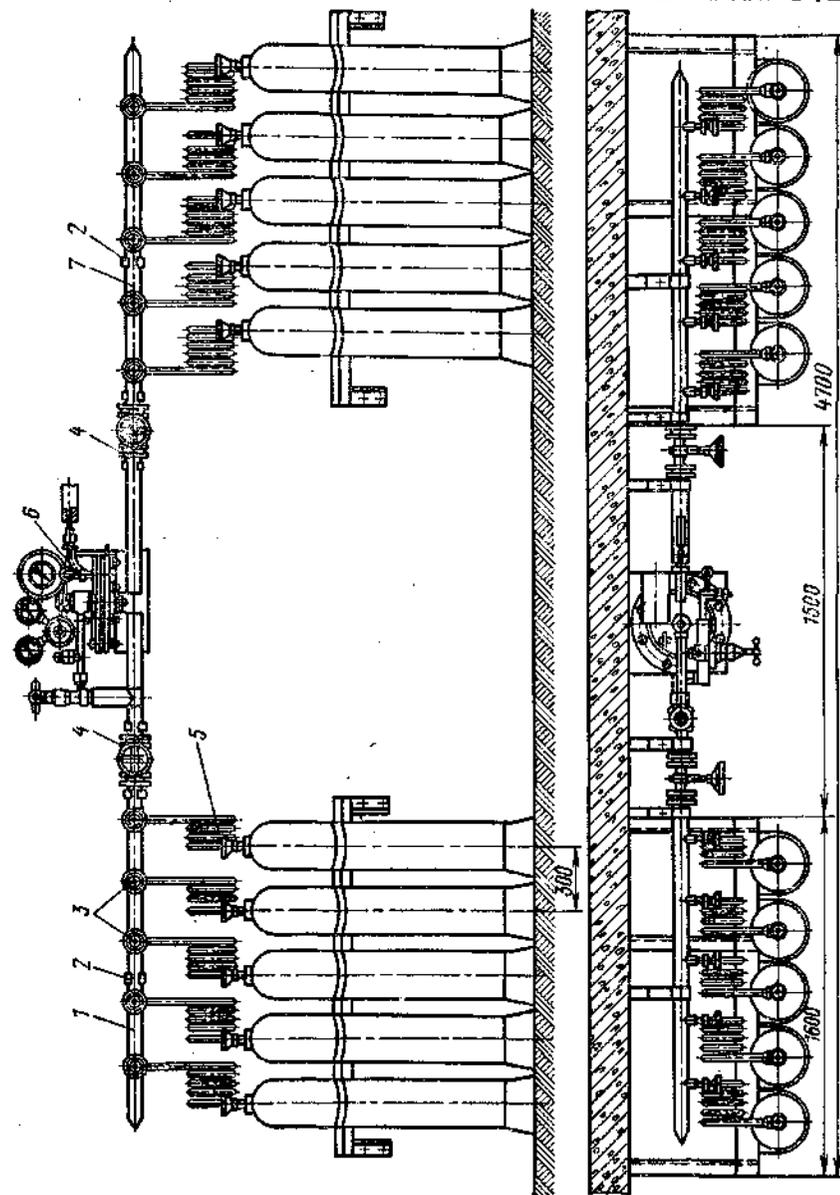
Шланги изготовляют из вулканизированной резины с тканевыми прокладками. По ГОСТ 9356—60 выпускают следующие шланги:

| Тип | I | II | III |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------|
| Давление избыточное, МПа (кгс/см ²): | | | |
| рабочее, не более | 0,6 (6) | 0,6 (6) | 1,5 (15) |
| испытательное | 0,75 (7,5) | 0,75 (7,5) | 1,875 (18,75) |
| Назначение | Для ацетилена и городского газа | Для бензина и керосина | Для кислорода |

Внутренний диаметр шлангов для горелок малой мощности 6 мм, для горелок и резаков нормальной и повышенной мощности 9; 12 и 16 мм. Запас прочности должен быть не менее: для типов I и II — четырехкратного, типа III — трехкратного по отношению к рабочему давлению. Шланги типа II изготовляют из бензостойкой резины. Они должны иметь цветной наружный слой: для кислорода — синий, для ацетилена — красный, для жидкого топлива — желтый. Для работы при температурах окружающей среды ниже —35° С целесообразно применять шланги из морозостойкой резины неокрашенные.

Для свободного манипулирования горелкой или резаком длина шлангов должна составлять 8—20 м. При длине более 20 м сильно возрастают потери давления в шлангах. При недостаточной длине шланги соединяют с помощью латунных (для кислорода) и стальных (для ацетилена) ниппелей с наружными канавками и сверху обжимают винтовыми хомутиками. Необходимо тщательно следить за герметичностью шлангов, особенно в местах установки ниппелей. Не рекомендуется шланги, соединенные ниппелями, использовать в помещениях, где производится сварка и резка. Запрещается применять ниппели для соединения отрезков шлангов, по которым поступает бензин или керосин.

Рис. 24. Конструкция перекидной рамы для кислородных баллонов:
1, 7 — левая и правая ветви коллектора; 2 — крепления для кронштейнов для ленточных перекидных рамп; 3 — центральные вентиляционные запорные вентили; 4 — гибкие соединительные трубки для присоединения баллонов к коллектору; 5 — рамповый редуктор



5. ПЕРЕПУСКНЫЕ РАМПЫ

При наличии в цехе нескольких постов для газопламенной обработки металлов централизованное питание их кислородом и горючим газом производят от батареи баллонов, соединенных в общую емкость с помощью перепускной ramпы. Перепускные ramпы устанавливают в отдельном несгораемом помещении, расположенном вне цеха или внутри его. Разрешается размещать перепускные ramпы с количеством одновременно подключаемых ацетиленовых баллонов не более 20 шт., кислородных баллонов — для 16 ч работы

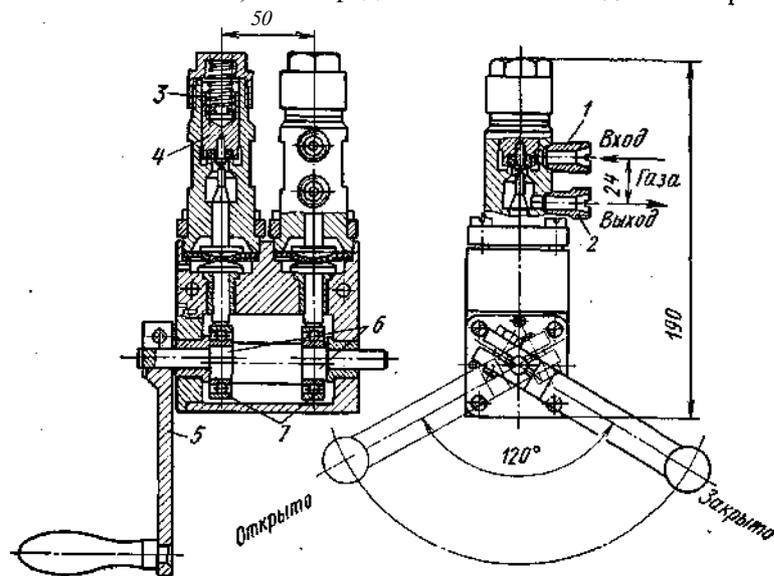


Рис. 25. Сдвоенный газовый рубильник:

1 — штуцер входа газа; 2 — штуцер выхода газа; 3 — пружины; 4 — клапаны;
5 — ручка; 6 — эксцентриковый валик; 7 — шарикоподшипники

цеха, но не более 80 шт. Допускается размещать кислородные распределительные ramпы снаружи у стен цехов-потребителей в металлических шкафах или под навесами.

Распределительная ramпа состоит из двух переключаемых труб (коллекторов), запорной арматуры, гибких присоединительных трубопроводов для баллонов и ramпового редуктора. Промышленностью выпускаются кислородные перепускные ramпы 2 x 10 и 2 x 5 баллонов (рис. 24). Аналогичную конструкцию имеет ramпа для ацетиленовых баллонов. Отличие состоит в том, что для присоединения баллонов к коллекторам ramпы используют гибкие резиновые шланги; запорные ventили на коллекторах допускают присоединение к каждому ventилу по три баллона. Ацетиленовые ramпы выпускаются промышленностью на 2 x 6; 2 x 9; 2 x 12 и 2 x 15 баллонов.

Для коммуникаций газов применяют также различные специальные арматурные устройства: двойные газовые рубильники, постовые ventили с увеличенным сечением прохода, дистанционно управляемые пневматические и электрические газовые рубильники и пр. На рис. 25 показана конструкция сдвоенного газового рубильника! При повороте ручки 5 вращается эксцентриковый валик 6, открывающий сначала клапан для кислорода, а затем для ацетилена. При установке ручки 5 в первоначальное положение клапаны закрываются пружинами 3.

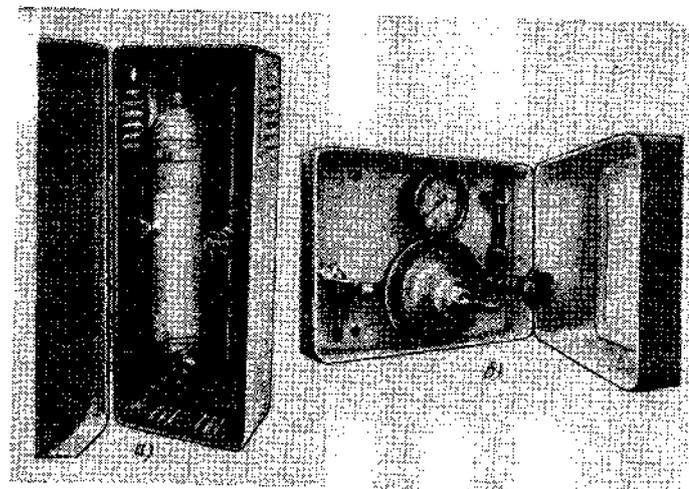


Рис. 26. Газоразборные посты:

а — ацетиленовый; б — кислородный

Газоразборные посты устанавливают в местах отбора газов из трубопроводов в горелки и резаки. Газоразборный пост состоит из металлического шкафчика с дверцей, закрываемой на замок (рис. 26). Боковые стенки шкафчика имеют вентиляционные отверстия. Внутри шкафчика установлен постовой предохранительный затвор (для ацетилена) или сетевой редуктор (для кислорода).

6. УКАЗАТЕЛИ РАСХОДА ГАЗОВ

Ротаметры. В качестве указателей расхода газов используют ротаметры. Ротаметр состоит из градуированной стеклянной трубки, внутренняя поверхность которой имеет форму конуса. В рабочем состоянии трубка располагается вертикально, более узким концом вниз. Внутри трубки находится поплавков из алюминия, пластмассы или коррозионностойкой стали. Верхние кромки поплавка сделаны острыми и на их боковой поверхности нанесены винтообразные

прорези. При прохождении потока газа (или жидкости) через трубку поплавок вращается потоком вещества, что обеспечивает равный кольцевой зазор между его кромками и стенкой трубки. Трубка градуирована так, что каждое деление соответствует определенному расходу вещества в данный момент времени. Положение поплавка в трубке показывает расход газа через ротаметр. Расход газа подсчитывают по формуле

$$V_r = V_p \sqrt{\frac{\rho_p \cdot T_p \cdot p_r}{\rho_r \cdot T_r \cdot p_p}} \quad (9)$$

где V_r — расход измеряемого газа (при 20° С и 760 мм рт. ст.), м³/ч; V_p — расход газа по градуировочной кривой ротаметра, соответствующий показанию шкалы ротаметра и условиям градуировки (ρ_p , T_p и p_p), м³/ч; ρ_r и ρ_p — плотность измеряемого газа (ρ_r) и газа, на который градуирован ротаметр (ρ_p), кг/м³; p_r и p_p — абсолютные давления измеряемого (p_r) и градуировочного (p_p) газов перед ротаметром, кгс/см² или МПа; T_r и T_p — абсолютные температуры измеряемого (T_r) и градуировочного (T_p) газов перед ротаметром, К.

Ротаметры обычно градуируют по воздуху. При измерении расхода других газов показания шкалы ротаметра пересчитывают с помощью формулы (9) и градуировочной кривой, прилагаемой к ротаметру заводом-изготовителем.

Измерительные диафрагмы. Измерительная диафрагма представляет собой тонкий диск (или дюзу) с отверстием в центре. Края отверстия острые. Диафрагму устанавливают в трубопроводе, где измеряют расход газа, зажав ее между двумя фланцами. При прохождении через диафрагму поток газа сужается, вследствие чего давление перед диафрагмой становится больше, чем за ней. Чем больше расход газа, тем выше перепад давления, создаваемый диафрагмой. Этот перепад давления измеряют дифманометром. Расход газа подсчитывают по формуле

$$Q = cF \sqrt{\frac{2g \cdot h}{\rho}}$$

где c — скорость газа, м/с, равная $c = \alpha \sqrt{2g \frac{h}{\rho}}$; F — площадь отверстия диафрагмы, м²; α — коэффициент расхода; $g = 9,81$ м/с²; h — разность давлений до и после диафрагмы, мм вод. ст.; ρ — плотность газа при условиях измерения, кг/м³.

ГЛАВА V

ГОРЕЛКИ

1. КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛОК

Горелка — это устройство, предназначенное для получения пламени необходимой тепловой мощности, размеров и формы. Все существующие конструкции газопламенных горелок можно классифицировать следующим образом:

- 1) по способу подачи горючего газа в смесительную камеру — инжекторные и безинжекторные;
- 2) по мощности пламени — микромощности (10—60 дм³/ч ацетилена); малой мощности (25—400 дм³/ч ацетилена); средней мощности (50—2800 дм³/ч ацетилена) и большой мощности (2800—7000 дм³/ч ацетилена);
- 3) по назначению — универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка, подогрев); специализированные (только сварка или только подогрев, закалочные и пр.);
- 4) по числу рабочих пламен — однопламенные и многопламенные;
- 5) по способу применения — для ручных способов газопламенной обработки; для механизированных процессов.

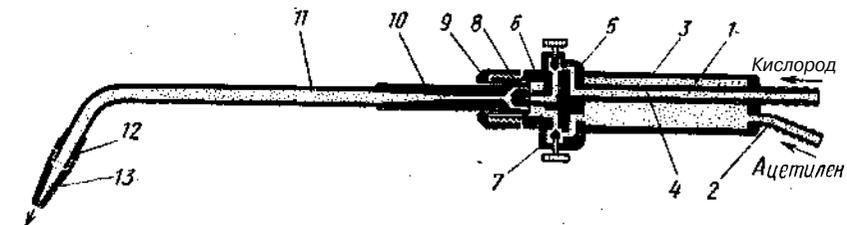


Рис. 27. Инжекторная горелка:

1 — кислородный ниппель; 2 — ацетиленовый ниппель; 3 — рукоятка; 4 — кислородная трубка; 5 — вентиль для кислорода; 6 — корпус; 7 — вентиль для ацетилена; 8 — инжектор; 9 — накидная гайка; 10 — смесительная камера; 11 — наконечник; 12 — соединительный ниппель; 13 — мундштук

Инжекторные горелки. Кислород через ниппель / инжекторной горелки проходит под избыточным давлением 0,1—0,4 МПа (1—4 кгс/см²) и с большой скоростью выходит из центрального канала инжектора 8 (рис. 27). При этом струя кислорода создает разрежение в ацетиленовых каналах рукоятки 3, за счет которого ацетилен подсасывается (инжектируется) в смесительную камеру 10, откуда образовавшаяся горючая смесь направляется в мундштук 13 и на выходе сгорает. Инжекторные горелки нормально работают при избыточном давлении поступающего ацетилена 0,001 МПа (0,01 кгс/см²) и выше.

Повышение давления горючего газа перед горелкой облегчает работу инжектора и улучшает регулировку пламени, хотя при этих условиях приходится прикрывать вентиль горючего газа на горелке, что может привести к возникновению хлопков и обратных ударов пламени. Поэтому при использовании инжекторных горелок рекомендуется поддерживать перед ними давление ацетилена (при работе от баллона) в пределах 0,02—0,05 МПа (0,2—0,5 кгс/см²).

Инжекторные горелки рассчитывают таким образом, чтобы они обеспечивали некоторый запас ацетилена, т. е. при полном открытии ацетиленового вентиля горелки расход ацетилена увеличивался бы по сравнению с паспортным для инжекторных горелок — не

менее чем на 15%; для инжекторных резаков — не менее чем на 10% максимального паспортного расхода ацетилена.

На рис. 28 показаны в качестве примера конструкции инжекторных горелок средней мощности ГС-3 и малой мощности ГС-2 для

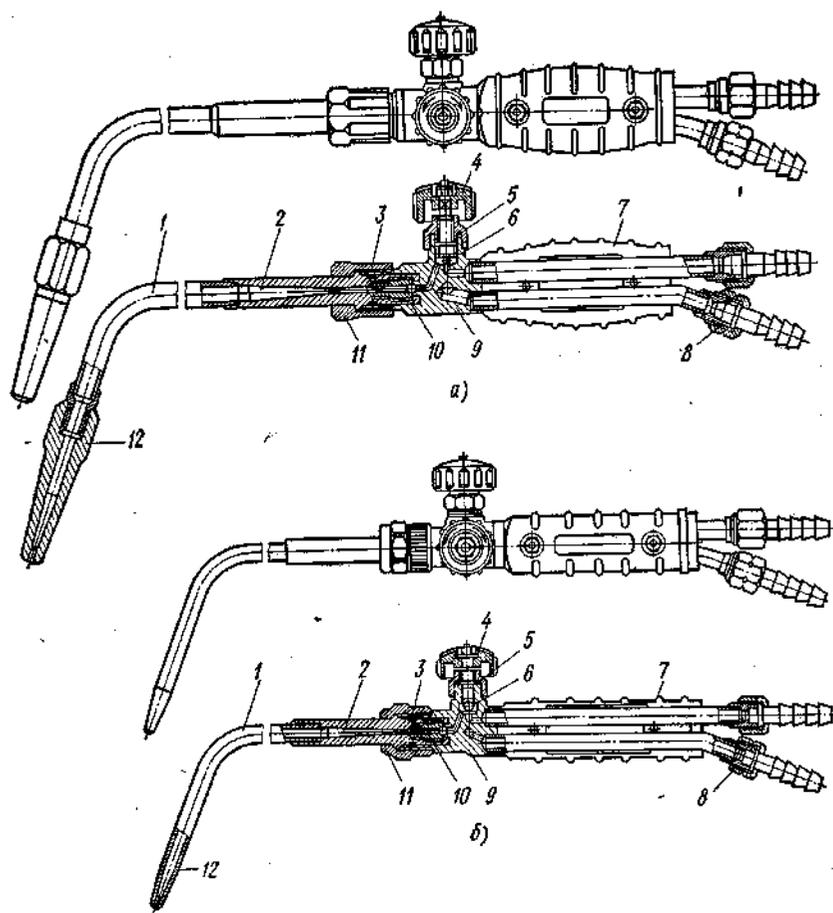


Рис. 28. Внешний вид и разрез горелок:

а — типа ГС-3; *б* — типа ГС-2;
 1 — трубка наконечника; 2 — смесительная камера; 3 и 5 — уплотнительные кольца из маслостермостойкой резины; 4 — маховичок; 6 — шариковый клапан; 7 — пластмассовая рукоятка; 8 — ацетиленовый ниппель; 9 — корпус; 10 — инжектор; 11 — накидная гайка; 12 — мундштук

сварки металлов. Горелки снабжают набором сменных наконечников, различающихся расходом газа и предназначенных для сварки металлов разной толщины. Номер требуемого наконечника выбирают в соответствии с требуемой тепловой мощностью пламени, выраженной в $\text{дм}^3/\text{ч}$ ацетилена. К рукоятке горелки ГС-3 можно присое-

динять и другие наконечники, например многопламенные для подогрева, для пайки, вставные резаки для резки металла.

Для сварки и наплавки металлов большой толщины, нагрева и других работ, требующих пламени большой мощности, используют инжекторные горелки ГС-4 с наконечниками № 8 и 9:

| № наконечника | 8 | 9 |
|----------------------------------------|-----------|-----------|
| Расход газов, $\text{дм}^3/\text{ч}$: | | |
| ацетилена | 2800—4500 | 4500—7000 |
| кислорода | 3100—5000 | 5000—8000 |
| Толщина свариваемой стали, мм. | 30—50 | 50—100 |

В наконечниках ГС-4 инжектор и смесительная камера установлены непосредственно перед мундштуком. Горючий газ подается в инжектор по трубке, расположенной внутри трубки подачи кислорода. Этим предупреждается нагревание горючего газа и смеси

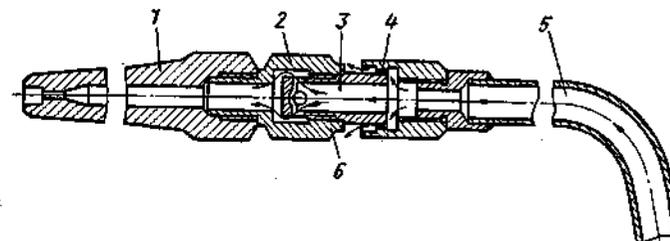


Рис. 29. Наконечник с подогревателем для сварки на пропан-бутане:

1 — мундштук; 2 — подогревающая камера; 3 — подогреватель; 4 — сопла подогревателя; 5 — трубка горячей смеси; 6 — подогревающие пламена

отраженной теплотой пламени, что снижает вероятность обратных ударов пламени и хлопков при использовании пламени большой мощности. Горелка ГС-4 может работать на пропан-бутане, для чего снабжена двумя наконечниками с сетчатыми мундштуками, рассчитанными на расходы: № 8 — пропан-бутана 1,7—2,7, кислорода 6—9,5 $\text{м}^3/\text{ч}$; № 9 — пропан-бутана 2,7—4,2, кислорода 9,5—14,7 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Мундштуки горелок малой мощности или имеющих водяное охлаждение изготавливают из латуни ЛС59-1. В горелках средней мощности мундштуки для лучшего отвода теплоты изготавливают из меди МЗ или хромистой бронзы Бр. Х0,5, к которой не так пристают брызги расплавленного металла. Для получения пламени правильной формы и устойчивого его горения выходной канал не должен иметь заусенцев, вмятин и других дефектов, а внутренняя поверхность канала должна быть чисто обработана. Снаружи мундштук рекомендуется полировать.

Горелки для газов-заменителей отличаются от ацетиленовых тем, что снабжены устройством для дополнительного подогрева и

перемешивания газовой смеси до выхода ее из канала мундштука. Серийно выпускаемые горелки ГЗУ-2-62 и ГЗМ-2-62М для этого имеют подогреватель и подогревательную камеру, расположенные на наконечниках между трубкой подвода горючей смеси и мундштуком (рис. 29). Часть потока смеси (5—10%) выходит через дополнительные сопла подогревателя и сгорает, образуя факелы, подогревающие камеру из коррозионностойкой стали. Температура смеси на выходе из мундштука повышается на 300—350° С и соответственно возрастает скорость сгорания и температура основного сварочного пламени. Горелки могут работать на пропан-бутан-кислородной и метан-кислородной смеси; ими можно сваривать стали толщиной до 5 мм (в отдельных случаях до 12 мм) с удовлетворительными показателями по производительности и качеству сварки. Наконечники этих горелок рассчитаны на следующие расходы газов:

| № наконечника | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Расход, дм ³ /ч: | | | | |
| пропан-бутана | 15—40 | 30—70 | 70—140 | 140—240 |
| кислорода | 50—140 | 105—260 | 260—540 | 520—840 |
| № наконечника | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Расход, дм ³ /ч: | | | | |
| пропан-бутана | 240—400 | 400—650 | 650—1050 | 1050—1700 |
| кислорода | 840—1400 | 1350—2200 | 2200—3600 | 3500—5800 |

При переводе на пропан-бутан горелок, рассчитанных для работы на ацетилене, следует брать наконечник, на два номера больший, и ввертывать в него мундштук, на один номер больший, а инжектор — на один номер меньший, чем при сварке металла той же толщины на ацетилено-кислородной смеси.

Специальные наконечники. Для сварки в тяжелых условиях нагрева, например крупных чугунных отливок с подогревом, применяют специальные теплоустойчивые наконечники НАТ-5-6 и НАТ-5-7. В этих наконечниках мундштук и трубка снабжены теплоизоляционной прослойкой из асбеста, разведенного на воде или жидком стекле, и покрыты сверху кожухом из стали Х25Т. Они могут длительно работать без хлопков и обратных ударов. Для этих работ используют также обычные наконечники, снабженные дополнительной трубкой для подвода охлаждающего воздуха.

Безынекторные горелки. В отличие от инжекторных в данных горелках сохраняется постоянный состав смеси в течение всего времени работы горелки, независимо от ее нагрева отраженной теплотой пламени. В инжекторных же горелках нагрев мундштука и смесительной камеры ухудшает инжектирующее действие струи кислорода, вследствие чего поступление ацетилена уменьшается и смесь обогащается кислородом. Это приводит к хлопкам и обратным ударам пламени, — приходится прерывать сварку и охлаждать наконечник.

Безынекторные горелки, в которых ацетилен и кислород поступают в смесительное устройство под равными давлениями, при

нагревании не меняют состава смеси, поскольку при нагревании мундштука если и уменьшается поступление газов в горелку, то оно одинаково как для кислорода, так и для ацетилена. Следовательно, относительное содержание их в смеси, т. е. состав смеси, остается постоянным. На рис. 30, а показана схема безынекторной горелки, на рис. 30, б — схема устройства для питания безынекторной горелки ГАР (равного давления) кислородом и ацетиленом через постовой беспружинный регулятор ДКР (см. рис. 23). Горелка ГАР комплектуется семью наконечниками на расходы ацетилена 50—2800 дм³/ч. Каждый наконечник имеет смесительную камеру с двумя калиброванными отверстиями: центральным для кислорода и боковым для ацетилена.

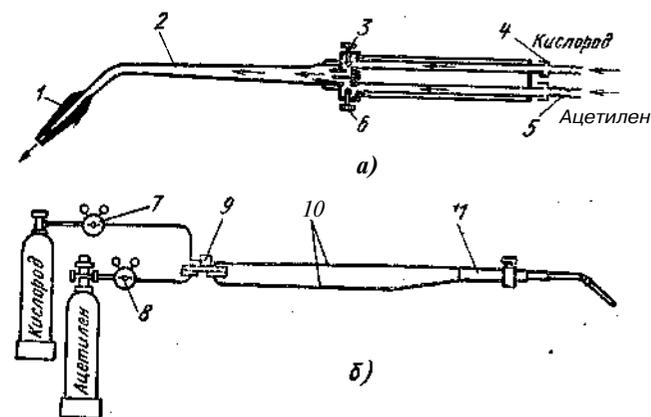


Рис. 30. Безынекторная горелка:

1 — мундштук; 2 — трубка наконечника; 3 — вентиль кислорода; 4 — ниппель кислорода; 5 — ниппель ацетилена; 6 — вентиль ацетилена; 7 — редуктор кислородный; 8 — редуктор ацетилено-водный; 9 — регулятор ДКР; 10 — шланги; 11 — горелка ГАР

Камерно-вихревые горелки. Для некоторых процессов газопламенной обработки — нагрева, пайки, сварки пластмасс и т. п. не требуется высокой температуры ацетилено-кислородного пламени. Для этих процессов можно использовать камерно-вихревые горелки, работающие на пропано-воздушной смеси. В этих горелках вместо мундштука имеется камера сгорания, в которую поступают пропан и воздух под давлением 0,05—0,2 МПа (0,5—2 кгс/см²). Пропан подается в камеру через центральный канал, а воздух, вызывающий также вихреобразование, поступает по многозаходной спирали, обеспечивающей «закрутку» газовой смеси в камере сгорания. Продукты сгорания выходят через концевое сопло камеры сгорания с большой скоростью, образуя пламя достаточно высокой температуры (1500—1600° С). Горелки позволяют получать пламя с температурой 350—1700° С.

Горелки специальные. К таким горелкам относятся, например, многопламенные для очистки металла от ржавчины и краски;

газовоздушные для пайки и нагрева, работающие на ацетилене и газах-заменителях; керосино-кислородные для распыленного жидкого горючего; многопламенные кольцевые для газопрессовой сварки; для поверхностной закалки; для пламенной наплавки; для сварки термопластов и многие другие.

Принципы устройства и конструкции их во многом аналогичны используемым для сварочных горелок. Отличие состоит в основном в тепловой мощности и размерах пламени или суммы пламен (при многопламенных горелках), а также размерах и форме мундштука.

2. ОБРАТНЫЙ УДАР ПЛАМЕНИ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ

Обратный удар пламени. Обратным ударом называется проникновение фронта горения пламени внутрь каналов сопла горелки или резака и распространение его навстречу потоку горючей смеси.

Возможность обратного удара пламени в основном определяется соотношением между скоростью истечения смеси w и так называемой нормальной скоростью u воспламенения смеси.

Нормальной скоростью воспламенения или скоростью горения называется скорость распространения пламени, направленная перпендикулярно поверхности фронта пламени в данной точке. На рис. 31 дана принципиальная схема поверхности воспламенения пламени (ядра), рассеченная по оси струи газокислородной смеси, вытекающей из сопла мундштука. Поверхность ядра имеет форму, представляющую собой приблизительно гиперболоид вращения. При выходе из мундштука смесь воспламеняется в нижней части, прилегающей к кромке выходного отверстия сопла. Этот участок выполняет роль

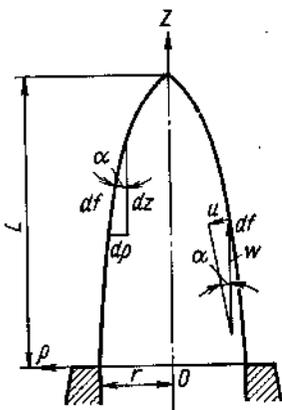


Рис. 31. Схема сечения поверхности воспламенения (фронта пламени) по оси струи газовой смеси

непрерывного кольцевого источника поджигания свежей смеси. Непосредственно у выходной кромки находится тонкий слой смеси, где горения не происходит («мертвая зона»).

В дальнейшем горение осуществляется на поверхности фронта пламени. Выделив на этой поверхности элементарную площадку df и обозначив через α угол между направлением скорости потока газа и касательной к поверхности фронта пламени, получим необходимое условие устойчивого горения смеси:

$$u = w \sin \alpha. \quad (10)$$

По рис. 31 в системе координат z, r находим следующую зависимость:

$$\sqrt{(dz)^2 + (dr)^2} \sin \alpha = -dr,$$

откуда

$$dz = \pm \sqrt{\sin^2 \alpha - 1} dr.$$

Подставляя вместо $\sin \alpha$ его значение из формулы (10), получим

$$dz = \pm \sqrt{\left(\frac{w}{u}\right)^2 - 1} dr. \quad (11)$$

Длина ядра пламени L возрастает с увеличением отношения w/u . При какой-то величине w/u наступает отрыв пламени от сопла.

При уменьшении отношения w/u длина ядра L уменьшается и при $w/u = 1$ имеем $L = 0$. В этом случае фронт пламени превращается в плоскость, и горение может пройти внутрь канала сопла, что соответствует начальному моменту обратного удара пламени. Как показывает практика, при температуре смеси 250°C скорость воспламенения

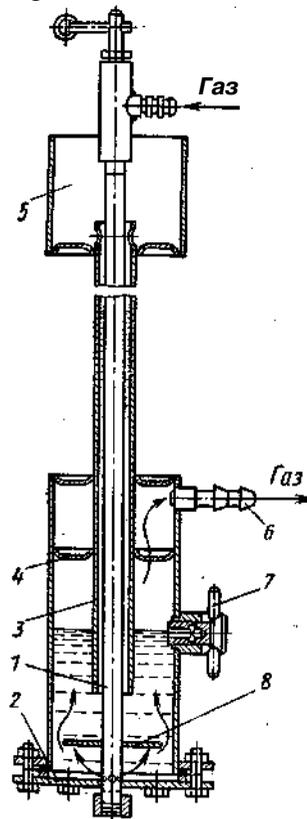


Рис. 32. Водяной затвор низкого давления (открытого типа):

1 — газоподводящая трубка; 2 — съемное днище; 3 — наружная трубка; 4 — каплеотбойник; 5 — воронка; 6 — ниппель; 7 — контрольный вентиль; 8 — рассекатель

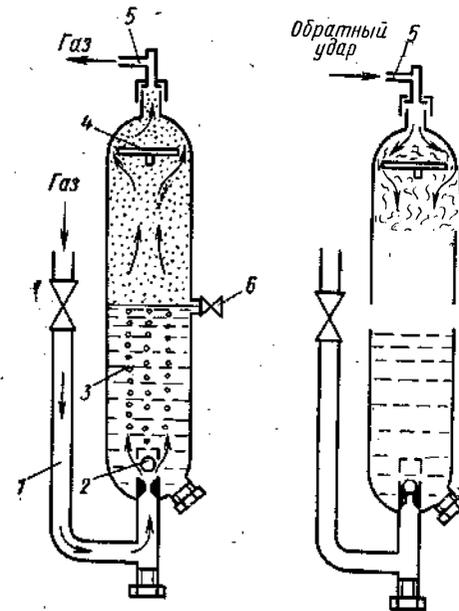


Рис. 33. Водяной затвор среднего давления ЗСП-7-67 (закрытого типа):

а — нормальная работа; б — обратный удар

резко возрастает, и обратный удар пламени может наступить при более высоких скоростях истечения смеси из сопла. Увеличение содержания кислорода в горючей смеси также повышает нижний

предел средней скорости истечения смеси, при котором возможны обратный удар пламени или хлопки.

Предохранительные затворы. Средством защиты ацетиленового генератора или трубопровода горючего газа от проникновения в них обратного удара пламени служат предохранительные затворы,

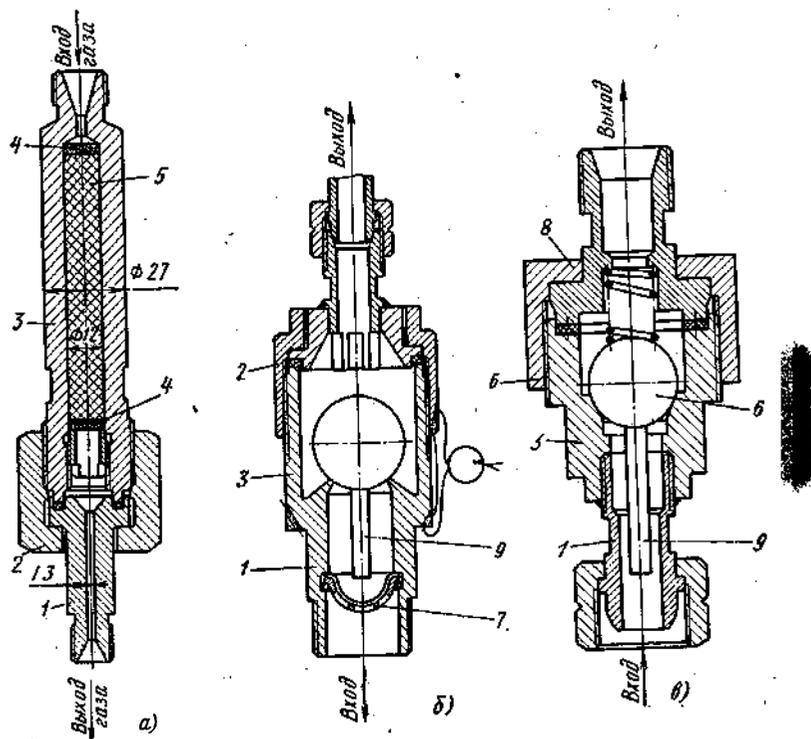


Рис. 34. Сухие предохранители против обратного удара пламени (огнепреградители):

а — типа ЗВВ-1-66Н для ацетиленового баллона и ацетилена высокого давления (до 25 кгс/см²) на пропускную способность до 10 м³/ч; б — сетевой обратный клапан ЛЗС-1-67 для пропан-бутана и природного газа, среднего давления (до 3 кгс/см²), на пропускную способность до 10 м³/ч; в — баллонный газовый обратный клапан типа ЛЗБ-2-67 для пропан-бутана, среднего давления (до 3 кгс/см²), на пропускную способность до 5 м³/ч; 1 — штуцер; 2 — накидная гайка; 3 — корпус; 4 — решетка; 5 — насадка из зернистого абразивного материала; 6 — шариковый обратный клапан из резины; 7 — сетка; 8 — пружина; 9 — хвостик клапана

включаемые между горелкой или резаком и источником поступления горючего газа (генератором, трубопроводом).

Применяют различные предохранительные затворы: гидравлические (водяные) и сухие (огнепреградители); постовые и центральные; низкого и среднего давления.

На рис. 32 показана конструкция водяного затвора низкого давления постового типа. Ацетилен поступает в затвор по трубке 1,

вытесняя своим давлением воду в наружную трубку 3, и выходит через ниппель 6 в горелку. Давление определяется высотой столба жидкости в затворе, находящейся на уровне контрольного вентиля 7, и верхним ее уровнем в кольцевом пространстве между трубками 1 и 3. При обратном ударе пламени вода из корпуса затвора вытесняется в трубку 1 и частично в воронку 5, заполняя собой всю трубку 1; этим создается гидравлический столб, препятствующий прохождению пламени через предохранительный затвор. По окончании обратного удара вода стекает в корпус затвора и он снова готов к работе. Максимальное давление для такого затвора определяется высотой трубок 1 и 3 и обычно не превышает 0,01 МПа (1000 мм вод. ст.).

Для генераторов и сварочных постов среднего давления до 0,15 МПа (1,5 кгс/см²) используют гидравлические затворы закрытого типа. При нормальной работе затвора ЗСП-7-67 (рис. 33) ацетилен проходит по трубке 1 через клапан 2 в корпус 3, заполненный водой до уровня контрольного крана 6, и через ниппель 5 идет в горелку. При обратном ударе пламени давление в затворе резко повышается, вода давит на клапан 2 и закрывает его, отключая трубопровод подвода газа. Одновременно волна взрыва гасится при прохождении ее через узкую щель между стенкой корпуса затвора и краем диска 4.

Сухие затворы (огнепреградители) устанавливают на баллонах и газопитающих сетях (рис. 34). Они состоят из корпуса, обратного клапана и пламягасящей пористой вставки. Для газов-заместителей используют затворы, в которых пламягасящая вставка отсутствует и функции защиты газопровода выполняет шариковый обратный клапан.

ГЛАВА VI

СВОЙСТВА ГАЗОВОГО ПЛАМЕНИ И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С МЕТАЛЛОМ

1. ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ И СТРОЕНИЕ ПЛАМЕНИ

Реакция горения протекает обычно при соединении твердых, жидких или газообразных веществ с кислородом. Однако некоторые металлы могут гореть не только в кислороде. Так, например, железо горит в хлоре и фторе, окись натрия или бария — в углекислом газе, медь и железо — в парах серы.

Для процессов газопламенной обработки наибольшее значение имеет процесс горения различных горючих газов и паров жидких горючих веществ в кислороде или воздухе. Горение любой газовой смеси начинается с воспламенения ее при какой-то определенной температуре, зависящей от условий процесса горения. После того как горение началось, дальнейший нагрев газа внешним источником

теплоты становится излишним, так как теплота сгорания газа оказывается достаточной для поддержания горения новых порций горючей смеси.

Однако устойчивый процесс горения возможен лишь в том случае, если выделяющейся при сгорании горючей смеси теплоты достаточно и для нагрева новых порций газа, и для компенсации потерь теплоты в окружающую среду. Так, например, в трубках малых диаметров и особенно в капиллярах, где теплоотвод стенками трубки велик (из-за большой величины отношения площади поверхности канала к его объему), горение газа невозможно.

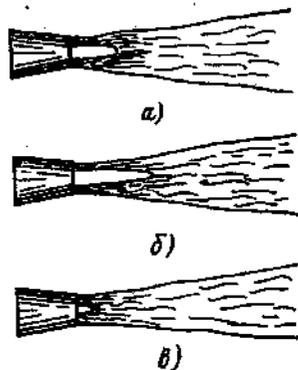


Рис. 35. Строение сварочного ацетилено-кислородного пламени:

а — нормальное пламя; б — науглероживающее; в — окислительное

Необходимое условие горения газа в кислороде или в воздухе — содержание горючего газа в смеси в определенных пределах, называемых пределами воспламенения. В зависимости от скорости воспламенения горючей смеси (скорость распространения пламени) различают следующие три вида горения:

- 1) спокойное — со скоростью распространения пламени, не превышающей 10–15 м/с;
- 2) взрывчатое — со скоростью распространения пламени, достигающей нескольких сот метров в секунду;
- 3) детонационное — со скоростью распространения пламени свыше 1000 м/с.

Скорость воспламенения (скорость распространения пламени) зависит от состава газовой смеси, давления, под

которым газовая смесь находится, характера и объема пространства, в котором происходит горение, термомеханических условий на его границе (так, например, при горении смеси в трубках, основным параметром, определяющим эти условия, является диаметр трубки), от чистоты горючего газа и кислорода. С увеличением содержания в них примесей скорость воспламенения уменьшается.

Применяемые в процессах газопламенной обработки горючие газы или пары жидких горючих веществ представляют собой преимущественно смеси углеводородов с другими газами, например с окисью или двуокисью углерода. Из всех горючих в чистом виде применяется только водород. Все горючие газы, содержащие углеводороды, образуют пламя со светящимся ядром, аналогичным по строению ацетилено-кислородному пламени (рис. 35). Чем больше углерода в составе горючего газа, тем резче очерчено светящееся ядро пламени. В отличие от углеводородных газов, водородно-кислородное пламя светящегося ядра не образует, что затрудняет регулировку пламени по внешнему виду.

Кроме ацетилена, к горючим газам, образующим пламя со светящимся ядром, относятся метан, пропан, бутан, пропано-бутановые смеси, природные газы, нефтяной газ, пиролизный газ и др.

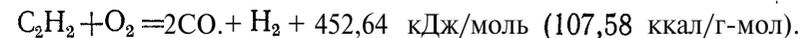
Наибольшее распространение в процессах газопламенной обработки, в особенности в процессах газовой сварки, получил ацетилен. Сварочное ацетилено-кислородное пламя принято делить на нормальное, окислительное и науглероживающее.

В сварочном пламени рассматривают три зоны: ядро, среднюю восстановительную зону и факел — окислительную зону.

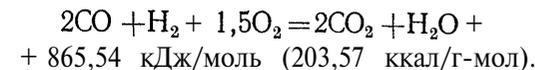
Полное сгорание ацетилена в кислороде протекает по реакции $C_2H_2 + 2,5O_2 = 2CO_2 + H_2O + 1300,6$ кДж/моль (311,15 ккал/г-мол).

Реакции горения сварочного пламени, характеризующие начальные и конечные стадии процесса горения ацетилена в кислороде, в первом приближении можно представить протекающими в две фазы.

Очень условно и схематично первая фаза сгорания ацетилена в кислороде происходит при их поступлении из горелки в соотношении 1 : 1:



Во второй фазе сгорания горючего также условно и схематично окончательное окисление (догорание) его происходит за счет подсыхания в пламя кислорода воздуха:

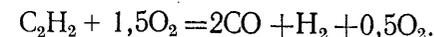


Пламя, образуемое при сгорании ацетилена в кислороде при подаче их в горелку в пропорции 1 : 1, принято называть нормальным.

Однако, практически, некоторая относительно небольшая часть водорода сгорает в водяной пар за счет кислорода, поступающего из горелки; кроме того, кислород имеет примеси, поэтому нормальное пламя образуется при несколько большем количестве поступающего из горелки кислорода, а именно при соотношении смеси

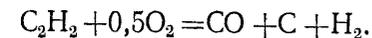
$$\beta_0 = 1,05 \div 1,2.$$

Для окислительного пламени, например, с соотношением смеси $\beta_0 = 1,5$, начальная стадия горения, соответствующая средней зоне пламени, может быть выражена реакцией



В этом случае средняя (рабочая) зона пламени утрачивает свои восстановительные свойства и приобретает окислительный характер.

Для науглероживающего пламени, в частности при соотношении смеси $\beta_0 = 0,5$, реакцией, характеризующей сгорание горючего в средней зоне пламени, будет



В этом случае в средней зоне пламени появляется значительное количество свободного углерода, вследствие чего она становится науглероживающей.

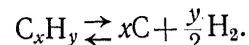
При большом избытке ацетилена свободный углерод присутствует также в факеле пламени, что внешне характеризуется красноватым оттенком пламени с ярко светящимися твердыми частицами углерода.

Современная теория горения ацетилено-кислородного пламени и пламени других углеводородных газов с кислородом, разработанная школой академика Н. Н. Семенова, рассматривает следующие основные стадии (периоды) горения.

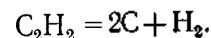
Стадия подготовки горючего к сгоранию (период индукции) характеризуется пирогенным разложением ацетилена в присутствии кислорода. Процесс пирогенного разложения ацетилена протекает в ядре сварочного пламени.

Простое пирогенное разложение (без участия кислорода) заключается в распаде горючего при температуре $800-1250^\circ\text{C}$ на составные элементы — углерод С и водород Н, с возможным существованием в качестве промежуточного продукта метана CH_4 .

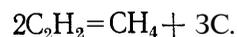
Для углеводородов типа C_xH_y при отсутствии кислорода процесс разложения протекает по схеме



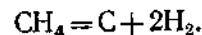
При элементарном разложении ацетилен распадается на углерод и водород по реакции



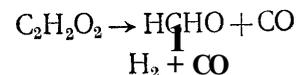
При температуре выше 800°C процесс разложения ацетилена может протекать с образованием метана, более теплоустойчивого, чем ацетилен:



Однако при температуре свыше 1000°C метан также распадается:



В присутствии кислорода температура начала разложения ацетилена понижается, а скорость процесса возрастает в связи с окислением продуктов распада ацетилена, приобретающих в окисленном состоянии меньшую теплоустойчивость. Конечными продуктами пирогенного разложения ацетилена в присутствии кислорода являются СО и H_2 . По одной из существующих гипотез процесс разложения ацетилена в присутствии кислорода можно представить следующим образом:



В результате цепи реакций последовательного окисления и разложения образуются новые наиболее устойчивые продукты СО и H_2 . Однако в действительности в процессе разложения некоторая часть ацетилена в определенный промежуток времени распадается полностью на элементы, в результате чего появляется свободный углерод в виде мельчайших раскаленных частиц сажи, окружающих тонким слоем внутреннее ядро пламени.

Таким образом, можно считать, что яркость свечения ядра пламени любого углеводородного газа обусловлена сосредоточением на периферии ядра раскаленных частиц углерода.

При избытке ацетилена количество свободного углерода возрастает, внутреннее ядро пламени увеличивается, зона яркого свечения, насыщенная раскаленными частицами сажи, расширяется. При дальнейшем повышении содержания ацетилена в смеси, средняя зона пламени (область воспламенения), содержащая конечные продукты пирогенного разложения (СО и H_2), исчезает полностью и пламя становится сильно коптящим.

Стадия восстановления — средняя зона пламени характеризуется ускорением окислительных процессов и началом активного окисления СО и H_2 в углекислый газ CO_2 и водяной пар H_2O .

Стадия догорания — факел пламени характеризуется протеканием интенсивного окисления (догорания) продуктов пирогенного разложения ацетилена с образованием конечных продуктов горения CO_2 и H_2O .

Изменение температурного состояния смеси в процессе горения может быть качественно представлено графиком на рис. 36. В первой стадии горения (внутреннее ядро пламени) происходит повышение температуры смеси от T_0 до температуры воспламенения $T_{\text{в}}$. В стадии воспламенения (средняя зона пламени) температура резко возрастает от температуры воспламенения $T_{\text{в}}$ до максимальной температуры пламени $T_{\text{п}}$. В стадии догорания (факел пламени) температура понижается.

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛАМЕНИ

Состав пламени в различных его частях весьма неоднороден, так как зависит от состава газовой смеси и условий подсоса воздуха, т. е. от скорости истечения смеси и давления окружающей атмосферы.

Для процесса сварки наибольшее значение имеет состав средней рабочей зоны пламени,

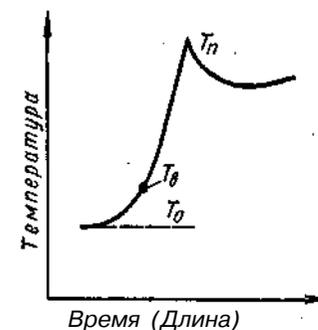


Рис. 36. Изменение температуры горючей смеси в процессе горения

Химический состав пламени может быть определен экспериментально — непосредственно химическим анализом отобранных проб, или спектральным методом. Имеются также приближенные расчетные методы.

Непосредственный химический анализ состава пламени не может претендовать на большую точность результатов, так как при отборе проб из различных зон пламени возможно изменение состава газа при охлаждении.

Химический анализ продуктов горения ацетилено-кислородного пламени проводят обычно в зонах, отстоящих на некотором расстоянии от внутреннего ядра пламени. Что же касается состава неустойчивых промежуточных продуктов пирогенного разложения ацетилена во внутреннем ядре пламени, то последние наиболее точно определяются спектральным анализом. Так, например, спектральным анализом внутреннего ядра пламени обнаружен спектр углеводорода с полосами, испускаемыми молекулой углерода. Спектральный анализ наружной зоны пламени также обнаруживает присутствие радикала OH и пр.

Основы регулирования состава сварочного ацетилено-кислородного пламени разработаны А. Н. Шашковым, установившим общие принципы определения оптимальных составов смеси горючего газа с кислородом при сварке сталей.

Ранее принятое деление пламени на нейтральное, восстановительное и окислительное, как показали исследования А. Н. Шашкова, необосновано, так как истинно нейтральное пламя при данном составе, температуре и давлении не окисляет и не раскисляет металл, находясь одновременно в равновесии и с самим металлом и с его низшим окислом. Сварочное же нейтральное пламя, имеющее соотношение смеси газов $\beta_0 = 1,1 \div 1,2$, интенсивно противодействует окислению, а в некоторых случаях, например при сварке железа, меди и никеля, восстанавливает металл сварочной ванны благодаря присутствию в средней зоне пламени необходимой концентрации окиси углерода и водорода — атомарного и молекулярного.

Также необоснованным и неверным является термин «восстановительное пламя», когда речь идет о пламени с избытком ацетилена, поскольку такое пламя не восстанавливает металл сварочной ванны, а науглероживает его.

Из диаграммы равновесия H_2 и CO с закисью железа и железом (рис. 37 и 38) видно, что нейтральными являются только те составы смеси, которые лежат на линиях равновесия (линия диаграмм) и, таким образом, при грубой регулировке сварочного пламени вероятность получения нейтрального пламени ничтожно мала. Нижний предел содержания в газовой смеси кислорода определяется из условия окисления всего углерода в CO.

Из реакции сгорания ацетилена в кислороде объемное отношение кислорода к ацетилену должно составлять $\beta_0 = 1$, однако, с учетом того, что небольшая часть водорода сгорает в водяной пар за счет кислорода горючей смеси, а также из-за загрязненности кис-

лорода, минимальное содержание кислорода в смеси должно быть больше и соответствовать $\beta_0 = 1,05 \div 1,1$.

При недостатке кислорода пламя имеет избыток свободного углерода, который сгорает в кислороде воздуха и образует дополнительную зону в виде конуса беловатого оттенка, обрамляющего ядро пламени, способного науглероживать металл при сварке.

Применительно к сварке низкоуглеродистой стали верхний предел содержания кислорода в нормальном пламени устанавливают из условия гетерогенного равновесия CO и H_2 с закисью железа FeO. Количественно этот верхний предел зависит от многих параметров и в первую очередь от температуры сварочной ванны и состава горючего газа.

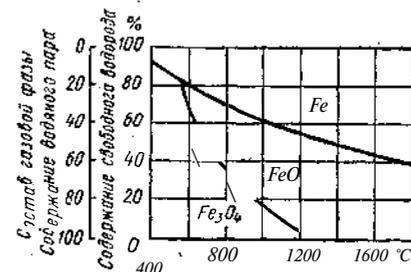


Рис. 37. Диаграмма равновесия H_2 с окислами железа и железом

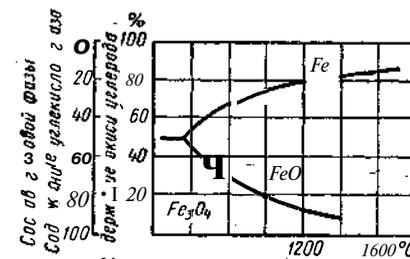
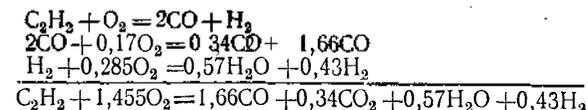


Рис. 38. Диаграмма равновесия CO с окислами железа и железом

С достаточной для практики сварки точностью верхний предел содержания кислорода в нормальном пламени при сварке низкоуглеродистой стали может быть также определен непосредственно по приведенным на рис. 37 и 38 диаграммам равновесия H_2 и CO с закисью железа. В этом случае, принимая среднюю температуру сварочной ванны $1600^\circ C$, по диаграммам на рис. 37 и 38 определяют допустимую окисленность пламени по водороду и окиси углерода: $H_2 = 43\%$; $H_2O = 57\%$; $CO = 83\%$; $CO_2 = 17\%$.

Исходя из установленной допустимой окисленности пламени определяем необходимое количество кислорода:



Таким образом, без учета подсоса воздуха при сгорании ацетилена в средней зоне пламени объемное отношение кислорода к ацетилену $\beta_0 = \frac{1,455}{1} = 1,455$. С учетом подсоса воздуха, в результате которого в средней зоне пламени появляется дополнительный кислород в количестве 7—10% объема кислорода, поступающего из горелки, максимально допустимое отношение кислорода к ацетилену

в нормальном пламени при сварке низкоуглеродистой стали $\beta_0 = 1,3 \div 1,35$. При более высоком содержании кислорода в пламени на поверхности сварочной ванны появляются белые, ярко светящиеся окисные частицы, свидетельствующие о переходе от нормального пламени к окислительному.

3. ТЕМПЕРАТУРА ПЛАМЕНИ

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

Неоднородность состава пламени вдоль его оси и в поперечном сечении вызывает различие в температуре отдельных его зон. У большинства углеводородных газов наивысшая температура пламени сосредоточена в непосредственной близости от внутреннего



Рис. 39. Изменение температуры вдоль оси окислительного (а), нормального (б) и науглероживающего (в) ацетилено-кислородного пламени

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

Существенное влияние на температуру пламени оказывает соотношение смеси горючего газа с кислородом. С увеличением β_0 максимум температуры возрастает и смещается влево, в сторону мундштука горелки, что объясняется увеличением скорости процесса горения смеси при избыточном содержании в ней кислорода (рис. 39).

Температуру пламени можно определить расчетным методом и непосредственным измерением. Наиболее достоверные данные о температуре пламени дает экспериментальное измерение ее спектральными методами.

Температура ацетилено-кислородного пламени сварочной горелки с удельным расходом ацетилена 250—400 л/ч при соотношении смеси газов $\beta_0 = 1,1 \div 1,2$, на различных расстояниях от внутреннего ядра пламени составляет:

| | | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Расстояние, мм | 3 | 4 | И | 25 |
| Температура, °С | 3050-3150 | 2850-3050 | 2650-2850 | 2450-2650 |

Температура пламени существенно меняется с изменением соотношения смеси, достигая максимальных значений при повышенных содержаниях кислорода.

4. ТЕПЛОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАМЕНИ С МЕТАЛЛОМ

Нагрев металла пламенем обусловлен вынужденным конвективным и лучистым теплообменом между потоком горючей смеси пламени и соприкасающимся с ним участком поверхности металла. Значение лучистого теплообмена невелико и составляет 5—10% величины общего теплообмена пламени и металла. Таким образом, газовое и, в частности, сварочное пламя, являющееся местным поверхностным теплообменным источником, можно в первом приближении рассматривать как конвективный теплообменный источник.

Интенсивность вынужденного конвективного теплообмена в основном зависит от разности температур пламени и нагреваемой поверхности металла и от скорости перемещения потока пламени относительно этой поверхности.

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

$$q_2 = \alpha (T_n - T),$$

где α — коэффициент теплообмена между пламенем и металлом, равный сумме коэффициентов вынужденного конвективного и лучистого теплообмена $\text{кДж}/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$ [$\text{ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$]; T_n — температура потока газов пламени, °С; T — температура поверхности металла, на которую направлен поток пламени, °С.

Коэффициент α в процессе нагрева металла и увеличения его температуры уменьшается, в связи с чем выбирать значения этого коэффициента следует только по данным, основанным на сопоставлении опытных результатов с теоретическими расчетами распространения теплоты распределенных источников, разработанными Н. Н. Рыкиным.

Направленный на поверхность металла газовый поток пламени деформируется и, растекаясь, нагревает значительный по размерам участок поверхности металла. Этот участок поверхности называют пятном нагрева.

Характер распределения удельного теплового потока пламени по пятну нагрева зависит от угла наклона пламени, расстояния от сопла до нагреваемого металла и средней скорости истечения горючей смеси из сопла горелки.

Эффективная тепловая мощность и эффективный к. п. д. пламени. Эффективная тепловая мощность пламени q есть количество теплоты, вводимой пламенем в металл за единицу времени, и зависит в основном от расхода горючего газа, с увеличением которого она возрастает (рис. 40).

Эффективность нагрева металла газовым пламенем оценивается эффективным к. п. д. $\eta_{\text{н}}$, представляющим собой отношение эффективной мощности пламени q , определяемой калориметрированием, к полной тепловой мощности пламени ($q_{\text{н}}$), подсчитываемой по низшей теплотворности горючего:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{q}{q_{\text{н}}}$$

Для ацетилено-кислородного пламени при низшей теплотворности ацетилена $52\,468 \text{ кДж/м}^3$ ($12\,600 \text{ ккал/м}^3$) или $52\,468 \text{ Дж/дм}^3$ ($12\,600 \text{ кал/л}$) при 20°C и 760 мм рт. ст. эффективный к. п. д. пламени

$$\eta_{\text{н}} = \frac{q}{\frac{52\,468}{3\,600} V_{\text{а}}} = \frac{q}{14,6 V_{\text{а}}} \left(\eta_{\text{н}} = \frac{q}{\frac{12\,600}{3\,600} V_{\text{а}}} = \frac{q}{3,5 V_{\text{а}}} \right),$$

где $V_{\text{а}}$ — расход ацетилена, $\text{дм}^3/\text{с}$ (л/ч).

Из этого выражения, а также из графика на рис. 41, построенного для различных расходов ацетилена (обеспечиваемых семью

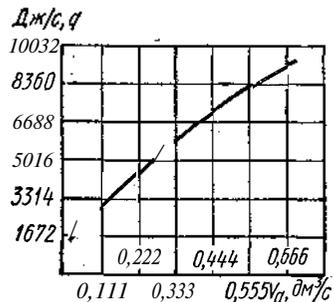


Рис. 40. Эффективная мощность пламени в процессе нагрева металла в зависимости от расхода ацетилена. Условия опытов: $\varphi = 90^\circ$; $h = \frac{5}{4} L$; $fr > 1,0$; $\omega = 500 \text{ мм/мин}$; образцы из низкоуглеродистой стали размером $110 \times 50 \times 6 \text{ мм}$

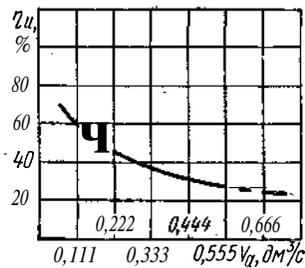


Рис. 41. Эффективный к. п. д. пламени в процессе нагрева в зависимости от расхода ацетилена. Условия опытов те же, что и на рис. 60

номерами наконечников простой сварочной горелки), видно, что с увеличением расхода ацетилена вследствие изменения условий теплообмена пламени с поверхностью металла, эффективный к. п. д. пламени $\eta_{\text{н}}$, а следовательно, и эффективность нагрева падают.

Тепловая эффективность процесса проплавления металла сварочным пламенем. Эффективность использования в металл теплоты движущимся сварочным пламенем характеризуется термическим к. п. д. проплавления $\eta_{\text{п}}$, представляющим собой отношение теплоты, затрачиваемой на проплавление металла объемом $\omega F_{\text{пр}}$, к полной тепловой мощности пламени $q_{\text{н}}$:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{10^3 \omega F_{\text{пр}} \rho S_{\text{пл}}}{q_{\text{н}}}$$

где $F_{\text{пр}}$ — площадь поперечного сечения металла шва, см^2 ; ω — скорость перемещения горелки, см/с ; ρ — плотность металла, кг/м^3 ; $S_{\text{пл}}$ — теплосодержание единицы массы металла при температуре $T_{\text{пл}}$, кДж/кг (ккал/кг).

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

5. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Кратковременность процесса сварки и малый объем расплавленного металла значительно осложняют изучение протекающих при сварке реакций и позволяют лишь приблизительно (по анализам начального и конечного состояний системы и, отчасти, по аналогии с процессами большой металлургии) судить о явлениях, происходящих в сварочной ванне.

При газовой сварке на расплавленный металл ванны активно воздействует газовый поток средней зоны пламени, содержащей в основном CO и H_2 и частично пары воды, а также CO_2 , H , O_2 и N_2 . В средней зоне пламени возможно также наличие в незначительном количестве свободного углерода, не успевшего полностью окислиться в CO на границе ядра пламени. Характер протекающих в сварочной ванне реакций определяется составом средней зоны пламени, зависящим от соотношения газов в горючей смеси. Основные реакции сварочной ванны — реакции окисления и восстановления. Для примера рассмотрим восстановление газами средней зоны нормальной пламени окислов железа при сварке низкоуглеродистой стали — металла, наиболее широко применяемого в производстве.

При сварке стали реакции окисления и восстановления протекают в двух фазах, из которых одна газовая, а другая жидкий металлический раствор (рис. 42). В этом случае условия равновесия определяются двумя степенями свободы, упругость диссоциации будет функцией температуры и концентрации окисла в растворе:

$$p_{\text{O}_2} = f(T_1 [\text{FeO}]).$$

Для реакции $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 [\text{FeO}]$

жидкое газ растворенная в Fe константу равновесия можно выразить в виде

$$K_p = \frac{[\text{Fe}]^2 p_{\text{O}_2}}{[\text{FeO}]^2},$$

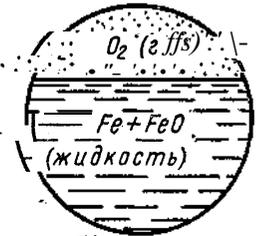


Рис. 42. Схема взаимодействия газовой и жидкой фаз

где p_{O_2} — фактическое парциальное давление кислорода над сварочной ванной.

Для низкоуглеродистой стали, содержащей небольшие количества Mn и Si, концентрацию чистого железа можно принять за единицу ($a_{Fe} \approx 1$) и выразить концентрацию FeO в растворе через процентное содержание FeO в данном и в насыщенном растворах:

$$a = \frac{[\%FeO]}{[\%FeO]_{нас}}$$

Константа равновесия в этом случае

$$K_p = \frac{p'_{O_2}}{a_{Fe}^2}$$

Когда концентрация FeO в растворе равна концентрации насыщенного раствора, $a_{Fe} \approx 1$; концентрация FeO в насыщенном растворе может быть выражена эмпирическим уравнением Н. Н. Доброхотова:

$$\lg [\%FeO]_{нас} = \frac{6000}{T} + 3,36.$$

Парциальное давление равно

$$p'_{O_2} = K_p = p_{O_2},$$

где p_{O_2} — упругость диссоциации для трехфазной системы газ — жидкость — твердый металл.

Практически, насыщение металлического раствора закисью железа FeO означает образование шлаковой фазы, отделяющейся от металла (линия диаграммы состояния системы Fe—O на рис. 43).

Процесс восстановления закиси железа газовой смесью CO и CO₂ при наличии раствора протекает сложнее. Равновесие восстановления может наступить только в случае равенства давлений:

$$p'_{O_2} = p_{O_2}.$$

Тогда над раствором FeO в системе CO—CO₂

$$p'_{O_2} = p_{O_2} a^2 FeO.$$

Для системы CO—CO₂ парциальное давление кислорода определится из реакции

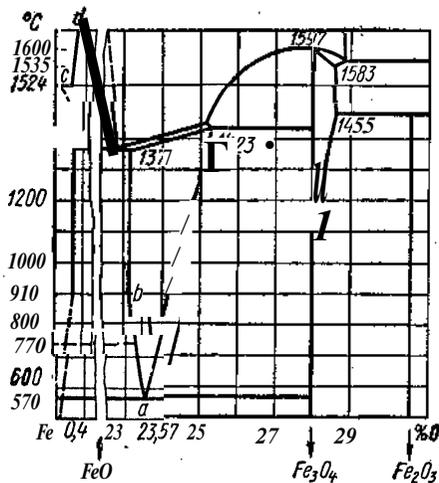
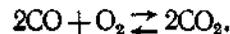


Рис. 43. Диаграмма состояний системы Fe—O

В этом случае

$$K_p = \frac{p_{CO}^2 p_{O_2}}{p_{CO_2}^2};$$

$$p_{O_2} = K_p \left(\frac{p_{CO}}{p_{CO_2}} \right)^2, \text{ или } p_{O_2} = K_p \left(\frac{\%CO_2}{\%CO} \right)^2,$$

так как количества газов (в объемных процентах) в газовой смеси практически относятся так же, как парциальные давления.

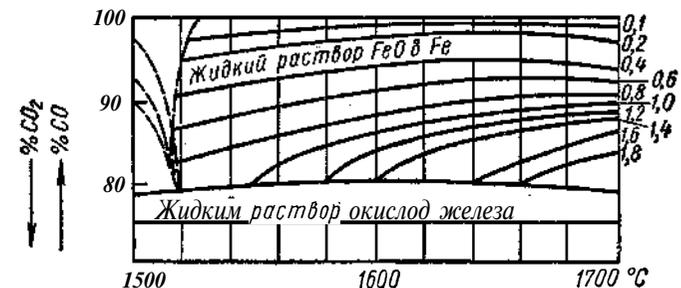


Рис. 44. Равновесие газовых смесей CO—CO₂ с растворами в жидком железе

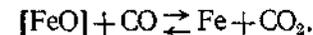
Условием равновесия будет

$$p_{O_2} a_{FeO}^2 = K_p \left(\frac{\%CO_2}{\%CO} \right)^2.$$

Заменяв отношение постоянных при данной температуре величин K_p и p_{O_2} через K_1^2 , получим

$$a_{FeO} \frac{\%CO}{\%CO_2} = K_1,$$

что соответствует константе равновесия реакции восстановления закиси железа в растворе окисью углерода:



Таким образом, концентрация CO в газовой смеси, необходимая для восстановления FeO, есть функция концентрации FeO в растворе (рис. 44).

Однако полное восстановление FeO в растворе изменением состава газовой смеси достигнуто быть не может, так как если $a \rightarrow 0$, то $\%CO \rightarrow 100$. Высказанное положение хорошо со-

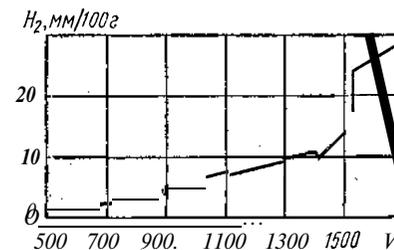


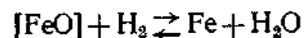
Рис. 45. Растворимость водорода в железе в зависимости от температуры

гласуется с практикой газовой сварки, при которой полного раскисления металла не достигается. Этот вывод справедлив и для водорода.

Восстановление закиси железа водородом протекает аналогично разобранному выше случаю восстановления закиси железа окисью углерода. При восстановлении водородом равновесие наступает при условии, что

$$\underset{\text{над раствором}}{p_{\text{O}_2}}^{\text{FeO}} = \underset{\text{в системе}}{p_{\text{O}_2}}^{\text{H}_2 - \text{H}_2\text{O}}$$

Константа равновесия реакции восстановления закиси железа водородом



может быть выражена

$$a_{\text{FeO}} = \frac{\% \text{H}_2}{\% \text{H}_2\text{O}} = K_1.$$

Избыток водорода в средней зоне пламени не желателен, так как с повышением температуры растворимость водорода в железе растет. Растворимость водорода в твердом железе невелика, но при переходе металла из твердого состояния в жидкое она резко возрастает (рис. 45).

По мере остывания сварочной ванны происходит выделение водорода из металла, причем чем больше скорость охлаждения металла, тем больше водорода остается в металле шва в виде мелких газовых пузырей. Однако для процесса газовой сварки характерно относительно медленное охлаждение металла, благодаря чему водород и другие газы, как правило, успевают выделиться из сварочной ванны и металл шва получается достаточно плотным.

Раздел второй ГАЗОВАЯ СВАРКА, НАПЛАВКА И ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА

ГЛАВА VII

ПРИСАДОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ И ФЛЮСЫ

1. ПРИСАДОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Процесс газовой сварки можно проводить как с введением в сварочную ванну присадочной проволоки или стержня, так и без них — при сварке в торец или встык с отбортовкой кромок.

При сварке с присадочной проволокой механические свойства шва определяются в основном ее химическим составом при условии хорошей защиты сварочной ванны средней зоной пламени.

Присадочный материал для сварки сталей. При газовой сварке конструкций и изделий из низкоуглеродистой стали широко применяется низколегированная присадочная проволока, обеспечивающая достаточно высокие механические свойства наплавленного металла.

Достаточно хорошие результаты при газовой сварке низкоуглеродистой стали дает хромистая присадочная проволока, содержащая до 0,96% Cr при 0,24% C, обеспечивающая после нормализации горелкой достаточно высокие механические свойства наплавленного металла $\sigma_b = 43 \div 44 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 12 \div 18\%$ и $a_{ц} = 12 \div 17 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$.

Влияние примесей в стали на ее свариваемость. Влияние примесей в стали на процесс сварки весьма не одинаково. Одни примеси улучшают свариваемость и способствуют повышению механических свойств металла шва, другие — вызывают повышенное газообразование в сварочной ванне, образование вязких и тугоплавких шлаков, что приводит к пористости металла шва и загрязнению его неметаллическими включениями.

Углерод ухудшает свариваемость стали при содержании его свыше 0,2—0,3%. Повышенное содержание углерода вызывает значительное газообразование в ванне и кипение ее в процессе сварки, способствует росту зерна при нагреве, образованию видманштеттовой структуры и закалочным явлениям,

Марганец весьма мало влияет на свариваемость стали, но повышает производительность сварки при содержании его в низкоуглеродистой проволоке до 1%. Марганец — хороший раскислитель. Содержание марганца в сварочной проволоке для сварки низкоуглеродистой стали как при дуговой, так и при газовой сварке может составлять до 0,8—1,1%.

Кремний — нежелательная примесь присадочной проволоки для сварки стали, так как при его повышенном содержании наблюдается образование силикатных соединений типа $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ и др., образующих на поверхности ванны тугоплавкую и вязкую шлаковую пленку, препятствующую выходу газов из сварочной ванны при ее застывании. Металл шва при этом содержит значительное количество газовых пор и неметаллических включений. Поэтому, несмотря на то, что кремний является хорошим раскислителем, содержание его в низкоуглеродистой проволоке должно составлять не выше 0,03%.

Сера в стали образует сернистое железо (FeS), нерастворимое в твердом железе и часто остающееся в металле шва в виде шлаковых включений. В присутствии кислорода сера образует в стали легкоплавкую эвтектику, располагающуюся по границам зерен и нарушающую связь между ними при высоких температурах. Это явление в стали носит название красноломкости. Содержание серы в присадочной проволоке ограничивается 0,03—0,04%.

Фосфор вызывает хладноломкость стали. Он сильно понижает ее пластические свойства и способствует ликвации. Содержание фосфора в присадочной проволоке для сварки стали ограничивается 0,03—0,04%.

Никель повышает прочность и прокаливаемость стали и несколько увеличивает ее пластичность. В большинстве марок присадочной проволоки для сварки простых углеродистых сталей никель содержится как случайная примесь в количестве 0,2—0,3%. В присадочной проволоке для сварки хромоникелевых нержавеющей и жароупорных сталей содержание никеля достигает 8—10% и более. В этих сталях никель способствует образованию устойчивой аустенитной структуры.

Хром резко повышает прокаливаемость стали. В большинстве марок сварочной проволоки для сварки простых углеродистых сталей он, так же как и никель, является случайной примесью. Содержание его в этих проволоках ограничивается 0,1—0,2%. В проволоке для сварки стали «хромансиль» и низколегированной хромомолибденовой стали содержание хрома составляет 0,8—1,1%. В проволоке для сварки специальной хромомолибденовой стали (например марки X5M) содержание его достигает 5—7%. Особенно высоко содержание хрома (12—27%) в проволоке для сварки высокохромистых и хромоникелевых нержавеющей и жароупорных сталей.

Молибден повышает прокаливаемость стали и ее сопротивляемость перегреву. Он устраняет явление хрупкости при отпуске, повышает пластичность стали при ударных нагрузках, улучшает

обрабатываемость стали в холодном и горячем состоянии. В сварочную проволоку для сварки хромомолибденовых сталей молибден вводят в количестве 0,15—0,6%.

Присадочный материал для сварки чугуна. Марки присадочных стержней для сварки чугуновых отливок выбирают с учетом необходимости наиболее полной графитизации чугуна (сварного шва и околошовной зоны), зависящей от скорости охлаждения чугуна после сварки. Чем больше скорость охлаждения, тем больше углерода останется в связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C). Однако, поскольку газовую сварку чугунного изделия всегда проводят с его предварительным подогревом, скорость охлаждения при сварке массивных отливок невелика и, следовательно, графитизация протекает наиболее полно. При сварке массивных чугунных отливок могут быть применены стержни, содержащие меньший процент кремния, обладающего сильным графитизирующим действием.

При сварке же тонкостенных чугунных деталей, скорость охлаждения которых после сварки, несмотря на предварительный подогрев, за счет интенсивной теплоотдачи может быть достаточно высокой, следует применять стержни, содержащие большее количество кремния.

Присадочные проволоки для сварки меди и латуни. В связи с повышенной окисляемостью меди при высоких температурах и большой ее жидкотекучестью, препятствующей выполнению сварки в вертикальной плоскости, качественное выполнение сварки этого металла во многих случаях требует применения специальной присадочной медной проволоки, содержащей раскислители (преимущественно фосфор) и элементы, понижающие жидкотекучесть сварочной ванны, в частности кремний, который создает на поверхности ванны вязкую пленку шлака, препятствующую растеканию жидкой меди.

Сварка латуни представляет еще большие трудности в связи с обильной испаряемостью из сварочной ванны цинка — одного из основных компонентов сплава и, как следствие, возникновением в шве значительной пористости. Поэтому для качественного выполнения сварки латуни, помимо флюсов и соответствующих технологических приемов сварки, необходимы специальные присадочные проволоки с добавками кремния и олова. Кремний в этом случае вводят для образования вязкой пленки на поверхности сварочной ванны, препятствующей испарению цинка, а олово — для разжижения сварочной ванны и лучшего проплавления свариваемых кромок латуни.

Введение бора в присадочный материал придает последнему новое свойство — самофлюсование, заключающееся в том, что в процессе сварки необходимое флюсование — связывание образующимся борным ангидридом (B_2O_3) окислов меди (CuO) и цинка (ZnO) в борнокислые соли $\text{CuO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ и $\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$, переходящих в шлак и всплывающих на поверхность ванны, достигается без применения флюса, за счет бора присадочной проволоки,

Разработка самофлюсующей присадочной проволоки значительно упрощает процесс сварки латуней и представляет значительный шаг вперед в отработке технологии газовой сварки латуней.

2 ФЛЮСЫ

Из теории металлургических процессов известно, что чем больше химическое сродство данного металла с кислородом и чем меньше упругость диссоциации его окисла, тем большей устойчивостью обладает этот окисел и тем труднее восстановить данный металл.

Применяемые для восстановления металла из окисла вещества (газ, жидкость или твердое тело) должны обладать большим химическим сродством к кислороду, нежели восстанавливаемый металл, а окислы этих восстанавливающих веществ должны обладать меньшей упругостью диссоциации, чем окисел восстанавливаемого металла (табл. 4). Из табл. 4 видно, что наибольшей упругостью диссоциации обладает окись меди Cu_2O и наименьшей — окись кальция CaO .

Таблица 4

Ряд окислов важнейших элементов, расположенный по возрастающим степеням их упругости диссоциации

| Окисел | Элемент | Окисел | Элемент |
|-------------------------------------|---------|---------------------------|---------|
| CaO | Ca | P_2O_5 | P |
| MgO | Mg | FeO, WO_2 | Fe, W |
| $\text{Al}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$ | Al, Zr | MoO_2 | Mo |
| TiO_2 | Ti | CoO | Co |
| SiO_2 | Si | NiO | Ni |
| $\text{MnO}, \text{Cr}_2\text{O}_3$ | Mn, Cr | As_2O_3 | As |
| ZnO | Zn | Cu_2O | Cu |

Окислы некоторых металлов не могут быть восстановлены газами средней зоны сварочного пламени (рис. 46). При сварке железа и никеля газы средней зоны нормального ацетилено-кислородного пламени в известной мере предупреждают образование окислов этих металлов, так как они сравнительно хорошо восстанавливаются окисью углерода (CO) и водородом (H и H_2). Однако магний, алюминий, цинк и другие металлы не восстанавливаются газами пламени, и для их восстановления или связывания их окислов прибегают обычно к флюсам — веществам, вводимым в сварочную ванну для раскисления расплавленного металла и извлечения из него образующихся окислов и неметаллических включений. Кроме того, флюсы образуют на поверхности ванны пленку шлака и тем предохраняют металл от дальнейшего окисления и азотирования.

Необходимость применения флюсов при сварке высоколегированных сталей, чугуна, а также цветных металлов и сплавов возникает в связи с тем, что при нагревании последних до высокой температуры на их поверхности образуется пленка окисла, которая при расплавлении переходит в сварочную ванну и препятствует надежному сплавлению основного и присадочного металла. При сварке низкоуглеродистой стали эта пленка легко удаляется при перемешивании ванны и восстанавливается газами пламени.

К сварочным флюсам предъявляются следующие требования.

1. Флюс должен быть легкоплавким и иметь температуру плавления более низкую, чем температура плавления основного и присадочного металла.

2. Флюс должен обладать достаточно высокой реакционной способностью, с тем чтобы процесс растворения окислов металлов заканчивался до затвердения сварочной ванны.

3. Флюс не должен оказывать вредного влияния на металл.

4. Плотность флюса должна быть меньше плотности металла, с тем чтобы образующийся флюсом шлак легко всплывал на поверхность сварочной ванны.

5. Свойства флюса не должны меняться под влиянием высокой температуры пламени.

6. Расплавленный флюс должен хорошо растекаться по нагретой поверхности металла.

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

Удалять окислы и неметаллические включения из жидкой ванны можно химическим путем и физическим растворением. В обоих случаях механизм действия флюса основан на законе распределения, согласно которому при соприкосновении двух несмешивающихся жидких фаз компонент, растворимый в обеих фазах, распределяется в них в постоянном при данной температуре отношении. В зависимости от того, какого характера окисел образуется в сварочной ванне, следует применять флюсы основные или кислые. При этом реакции протекают по следующей схеме: кислотный окисел + основной окисел = соль.

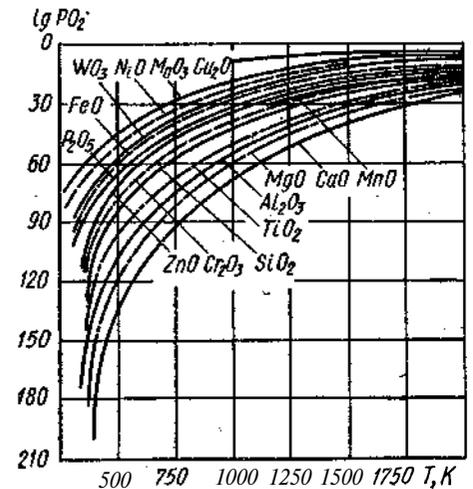


Рис. 46. Зависимость упругости диссоциации окислов от температуры

Если при сварке металлов образуются преимущественно основные окислы (исключение составляет титан), то флюс должен быть кислым, и, наоборот, если образующиеся в сварочной ванне окислы имеют кислый характер, то флюс должен быть основным. Кислые флюсы применяют преимущественно при сварке цветных металлов, в частности при сварке сплавов меди и сплавов алюминия, а основные, вернее сочетание основных с кислыми, — при сварке чугуна, содержащего высокий процент кремния и образующего в сварочной ванне, помимо окислов железа, кислотный окисел кремния (SiO_2).

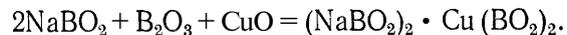
Флюсы для сварки меди и ее сплавов. Применяемые при сварке медных сплавов кислые флюсы обычно представляют собой соединения бора — буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и борную кислоту H_3BO_3 или их смеси.

Перед употреблением буру необходимо прокалить, так как в противном случае при нагревании она вспучивается, выделяет кристаллизационную воду и увеличивает количество водяных паров в зоне сварки.

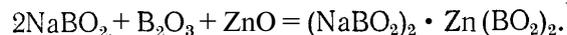
Взаимодействие буры с окисью меди по одной из наиболее вероятных реакций может быть представлено следующим образом. При нагревании бура распадается на соль метаборной кислоты NaBO_2 и борный ангидрид B_2O_3 :



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

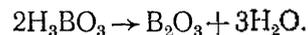


Аналогично этому протекает реакция взаимодействия буры с окисью цинка



Помимо чисто химического действия буры, возможно также и непосредственное связывание борным ангидридом окислов меди и цинка, с образованием борнокислых солей $\text{Cu} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ и $\text{Zn} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$.

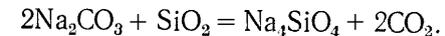
Применяя в качестве флюса борную кислоту, следует иметь в виду что она при нагревании до температуры $550\text{--}600^\circ\text{C}$ полностью освобождается от воды и превращается в борный ангидрид, обладающий сильнокислыми свойствами:



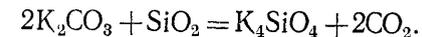
Соединяясь с образующимся при сварке окислом меди или цинка, борный ангидрид, как и в случае применения в качестве флюса буры, образует борнокислые соли $\text{CuO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ или $\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$.

Флюсы для сварки чугуна. При сварке чугуна, в сварочной ванне которого образуется тугоплавкий окисел кремния SiO_2 ($T_{\text{пл}} = 1710^\circ\text{C}$), для растворения его в состав флюса вводят компоненты, обладающие основными свойствами. Такими компонентами обычно служат углекислый натрий Na_2CO_3 или углекислый калий K_2CO_3 .

Взаимодействие углекислого натрия с окислом кремния протекает по реакции

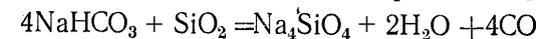


Аналогично протекает и реакция взаимодействия углекислого калия с этим окислом:

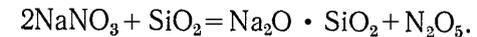


В обоих случаях связанный окисел кремния в виде шлака всплывает на поверхность сварочной ванны.

Для растворения SiO_2 возможно также применение двууглекислого натрия NaHCO_3 и азотнокислого натрия NaNO_3 :

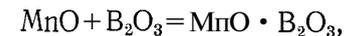
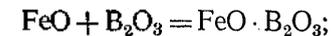


или



Однако следует иметь в виду, что во многих случаях сварки серого чугуна в состав флюса, помимо приведенных выше компонентов, вводимых в количестве 25—50%, входит также бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, обладающая сильно выраженными кислыми свойствами. В некоторых же случаях флюс вообще представляет собой только буру, без каких-либо добавок. Объясняется это тем, что чугун, помимо высокого содержания в нем кремния, содержит также высокий процент углерода, требующего защиты сварочной ванны от кислорода воздуха. Бура же при расплавлении ее пламенем горелки хорошо растекается по поверхности металла, образует шлаковую пленку, достаточно надежно защищающую ванну от воздействия воздуха.

В то же время образующийся в результате разложения буры борный ангидрид связывает окислы железа и марганца в борнокислые соли

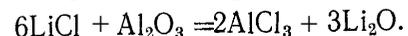


всплывающие в виде шлака на поверхность сварочной ванны.

При использовании газообразного флюса (азеотропной смеси метанола с метилборатом) на поверхности расплавленного металла образуется плотная, вязкая пленка боросиликатов, надежно защищающая сварочную ванну от попадания в нее газов из пламени и из воздуха.

Флюсы для сварки алюминия и его сплавов. В связи с тем, что тугоплавкая окись алюминия Al_2O_3 ($T_{\text{пл}} = 2030^\circ\text{C}$) представляет собой чрезвычайно прочное химическое соединение, плохо поддающееся действию флюсующих веществ из-за своего химически нейтрального характера, флюсы для сварки алюминия должны обладать достаточно большой активностью. Наиболее сильно действующие растворители окиси алюминия — галоидные соединения щелочного

металла лития. В связи с этим большинство флюсов для сварки алюминия содержит в своем составе хлористый или фтористый литий. Помимо соли лития, флюсы для сварки алюминия содержат также ряд других фтористых или хлористых солей калия, натрия и кальция. Наиболее активные компоненты флюса — соли лития и главным образом хлористый литий. Взаимодействие хлористого лития с окисью алюминия протекает по реакции



Образуемый в результате приведенной реакции хлористый алюминий улетучивается, так как его температура кипения всего 183° С, окисел же лития всплывает на поверхность ванны в виде шлака.

Флюсы для алюминия, содержащие хлористый литий, отличаются исключительно большой гигроскопичностью, в связи с чем хранить их следует в герметически закрываемых банках.

Флюсы, содержащие в своем составе хлористый литий, при наличии остатков флюса после окончания сварки на поверхности металла шва и околошовной зоны могут вызвать своеобразную коррозию металла, продолжая взаимодействовать с окисью алюминия, всегда присутствующей на поверхности металла. В связи с этим при использовании флюса с хлористым литием необходимо тщательно очистить поверхность сварного соединения от остатков флюса проволочной щеткой и промыть шов и околошовную зону 2%-ным раствором азотной кислоты (HNO_3), а затем водой и просушить.

Помимо флюсов, содержащих химически активные элементы, при сварке алюминия находят также применение флюсы, сочетающие в известной мере физическое растворение окислов с химическим взаимодействием элементов. Процесс физического растворения имеет место тогда, когда в жидкой ванне, помимо основных и кислотных окислов, присутствуют некоторые соли, обладающие значительной способностью растворять окислы в расплавленном состоянии. Такой солью является, в частности, криолит $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$, растворяющийся в расплавленном состоянии Al_2O_3 .

3. СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СВАРНОМ ШВЕ И ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЕ

При газовой сварке стали вследствие медленного охлаждения металл шва имеет крупнокристаллическую структуру с равновесными неправильной формы зернами, типичную для литого металла. Характерная для дуговой сварки столбчатая структура наплавленного металла при газовой сварке может образоваться только в соединениях таких высокотеплопроводных металлов, как медь и алюминий, когда происходит интенсивный отвод теплоты от шва в основной металл.

При газовой сварке стали, содержащей 0,15—0,3% С, металл шва может иметь так называемую видманштеттову структуру, отличающуюся расположением прослоек феррита по кристаллогра-

фическим осям аустенитных зерен под углом 60, 90 и 120°. Однако видманштеттова структура при газовой сварке образуется не всегда, а только в тех случаях, когда сталь имеет крупное аустенитное зерно и когда скорость охлаждения металла в промежутке температур Ar_3 — Ar_2 достаточно велика.

Размер и форма кристаллитов металла шва при газовой сварке в большей мере зависят от ряда факторов не поддающихся точному учету: степени перегрева и скорости охлаждения металла; количества содержащихся в жидкой ванне мельчайших частиц неметаллических включений, могущих служить центрами кристаллизации; перемешивания жидкого металла газовым потоком пламени концом присадочной проволоки и выделяющимися из жидкой ванны газами и т. п. Чем меньше перегрев металла при сварке и чем больше скорость охлаждения металла, тем мельче зерно стали и тем более высокими механическими свойствами обладает металл шва. С этой точки зрения газовой сварку целесообразно вести с максимальной возможной скоростью.

В непосредственной близости от шва, выполненного газовой сваркой, в основном металле возникает зона термического влияния, состоящая из тех же характерных участков, что и при других способах сварки плавлением. Однако ширина этих участков при газовой сварке значительно больше вследствие длительного теплового воздействия пламени на металл, которое к тому же характеризуется тепловым потоком, более распределенным по поверхности свариваемого металла, нежели тепловой поток дуги.

Ширина зоны термического влияния зависит от толщины свариваемого металла, а также от способа и режима газовой сварки. Например, при правом способе сварки стали относительно большой толщины ширина зоны термического влияния меньше, чем при левом способе. При правом способе сварки стали малой толщины, порядка 1—3 мм, ширина зоны термического влияния больше. Режим сварки определяется в основном мощностью горелки и скоростью перемещения пламени. При нормальной мощности горелки и максимально возможной скорости сварки зона термического влияния имеет меньшую ширину, чем при заниженной мощности и малой скорости сварки. В зависимости от приведенных параметров зона термического влияния при газовой сварке низкоуглеродистой стали может составлять 5—30 мм.

Чугун, сваренный с последующим медленным охлаждением соединения под слоем нагретого песка или асбеста, имеет структуру шва и переходной зоны, типичную для серого чугуна с большим содержанием графитовых включений.

Структура металла переходной зоны (рис. 47, б) сварного соединения меди, выполненного газовой сваркой, мало отличается от структуры основного металла (рис. 47, а) — мелкозернистой полидрического строения с двойниковыми образованиями. Для переходной зоны характерно подплавление основного металла и перемешивание его с металлом шва. На границе сплавления отмечаются

общие зерна металла шва и основного металла. Структура наплавленного металла имеет крупнозернистое дендритообразное строение (рис. 47, в).

Однако следует иметь в виду, что приведенные структуры характерны только для перегретой, термически не обработанной меди. Фактически же после выполнения газовой сварки меди всегда

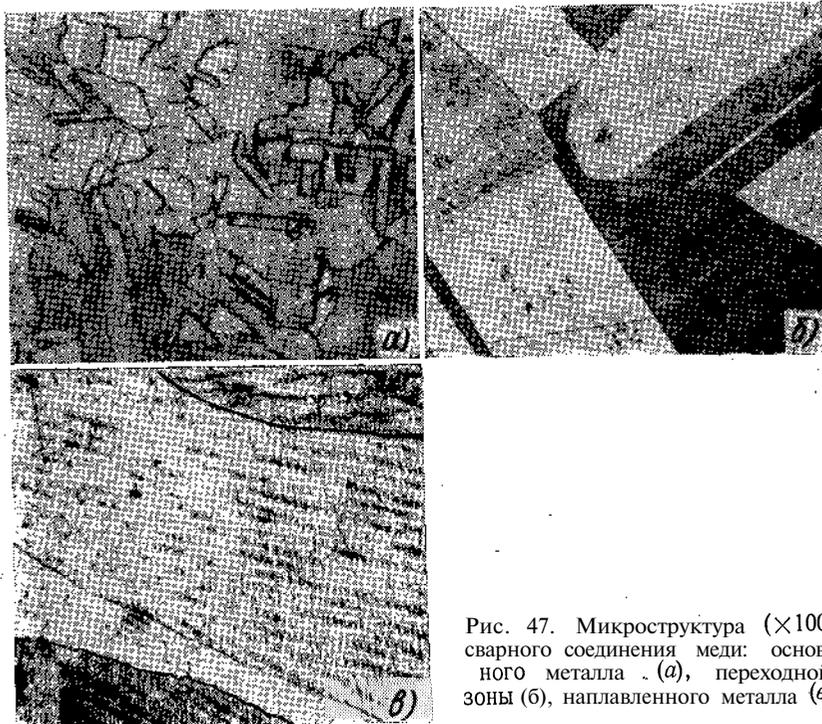


Рис. 47. Микроструктура ($\times 100$) сварного соединения меди: основного металла (а), переходной зоны (б), наплавленного металла (в)

проводят термообработку сварного соединения, заключающуюся в нагреве газовым пламенем сварной пластины или детали до температуры, при которой металл приобретает вишнево-красный цвет ($800-850^{\circ}\text{C}$). Последующее охлаждение проводят в воде. Такая термообработка способствует получению мелкозернистой структуры и возвращает металлу утраченные им в процессе нагрева и сварки механические свойства.

4. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

Непровар — недостаточное сплавление или полное отсутствие сплавления кромок основного металла с присадочным. Причины несплавления — загрязненность поверхности кромок основного металла, малый зазор между свариваемыми листами, нерациональная

разделка кромок, недостаточная мощность пламени или слишком большая скорость сварки. Непровар в вершине угла разделки кромок стыкового соединения — результат малого угла скоса, слишком большого притупления угла разделки или недостаточной величины зазора между свариваемыми листами.

Подрезы обнаруживаются по наличию канавок по краям шва (рис. 48). Причины подрезов — чрезмерно большие мощности пламени и скорость истечения горючей смеси; неравномерное расплавление присадочного металла; недостаточная задержка конца присадочного стержня по краям шва при поперечных колебаниях и т. п. Подрезы ослабляют сечение шва и являются опасным дефектом сварки.

Пережог возникает в результате длительного воздействия пламени на ванну расплавленного металла при наличии в ванне или в присадочной проволоке повышенного содержания окислов, при избытке кислорода в пламени или при нагреве металла

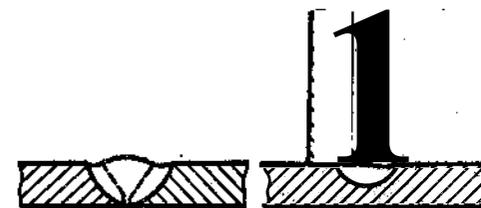


Рис. 48. Виды подрезов в соединениях: а — в стыковом; б — в тавровом
а — * в стыковом; б — в тавровом

окислительной зоной пламени (при слишком большом удалении ядра пламени от поверхности ванны).

Пережог металла (в особенности стали) легко обнаруживается по внешнему виду шва. В процессе сварки при пережоге наблюдается интенсивное кипение металла в сварочной ванне и вспучивание его при застывании, в результате чего бороздки на поверхности сварного шва отличаются неровностью и приобретают весьма характерный вид губчатой массы.

Перегрев металла также связан с длительным нагревом металла пламенем выше $A_{с3}$, но от окисления металла не зависит. Обычно перегрев вызывается замедленной скоростью сварки, имеющей место при больших толщинах металла. Перегрев обнаруживается как в самом сварном шве, так и в зоне теплового влияния сварки. Зона перегретого металла при газовой сварке больших толщин стали достигает особенно большой ширины. В этом случае металл шва характеризуется крупнозернистым строением.

Пористость шва образуется в результате выделения газов при химических реакциях, протекающих в сварочной ванне, а также вследствие растворимости в жидком металле некоторых содержащихся в пламени газов, в частности водорода. Однако при газовой сварке благодаря медленному застыванию металла сварочной ванны образующиеся газы в значительной мере успевают выйти на поверхность ванны. Поэтому для процесса газовой сварки пористость металла шва не является характерным дефектом.

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

Трещины — наиболее опасный дефект сварного соединения. Они могут образоваться в самом шве, основном металле, зоне термического влияния. Причины возникновения трещин — собственные напряжения, возникающие в металле в результате неравномерного нагрева и структурных изменений в зоне термического влияния, а также повышенная хрупкость металла при температурах, близких к линии солидуса (горячие трещины). Для предотвращения образования трещин необходимы равномерный нагрев свариваемого узла или детали и их медленное охлаждение, а также выполнение сварки в свободном состоянии, без жестких закреплений свариваемых элементов.

ГЛАВА VIII

ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

1. ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Металл малой толщины (до 2 мм) соединяют встык без разделки кромок и без зазора или с отбортовкой кромок без применения присадочного металла (рис. 49, а). Металл толщиной 2—5 мм можно соединить встык без разделки кромок, оставляя зазор между свариваемыми элементами (рис. 49, б). При сварке металла толщиной свыше 5 мм наиболее желательно стыковое соединение, выполняемое в зависимости от толщины металла с односторонней или двусторонней разделкой кромок (рис. 49, в, г).

При сварке металла толщиной свыше 3 мм нежелательно соединение внахлестку, при котором собственные напряжения вследствие большого и неравномерного местного разогрева достигают особенно больших значений и приводят либо к значительной деформации свариваемого изделия, либо к образованию трещин в случае сварки жестких конструкций.

Тавровое соединение допустимо при сварке металла толщиной до 3 мм. Этот тип соединения применяют при приварке ребер жесткости. При больших толщинах тавровое соединение, точно так же как и соединение внахлестку, нежелательно вследствие значительного местного подогрева.

Большое распространение при сварке металла малой толщины имеют торцовое (рис. 49, ж) и угловое соединения (рис. 49, и). Торцовое соединение, так же как и соединение с отбортовкой кромок, выполняют обычно без присадочного металла. Формирование шва

в этом случае происходит за счет расплавления кромок основного металла.

По расположению шва в пространстве различают нижний шов, выполняемый в любом направлении в горизонтальной плоскости,

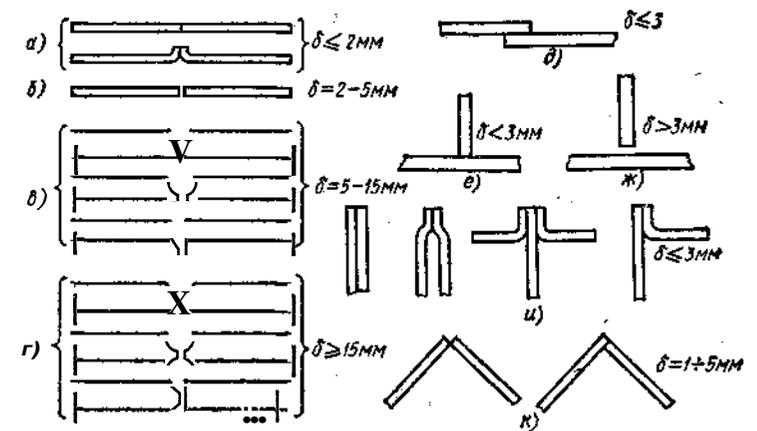


Рис. 49. Типы сварных соединений:

а — стыковые без разделки кромок и без зазора; б — стыковые без разделки кромок, но с зазором; в — стыковые с односторонним скосом кромок; г — стыковые с двусторонним скосом кромок; д — нахлесточное; е — тавровое без зазора; ж — тавровое с зазором; и — торцовые; к — угловые

когда пламя находится над швом (рис. 50, а); вертикальный шов, выполняемый в вертикальной плоскости в вертикальном направлении (снизу вверх или сверху вниз) (рис. 50, б); наклонный шов, выполняемый в наклонной плоскости снизу вверх или сверху вниз

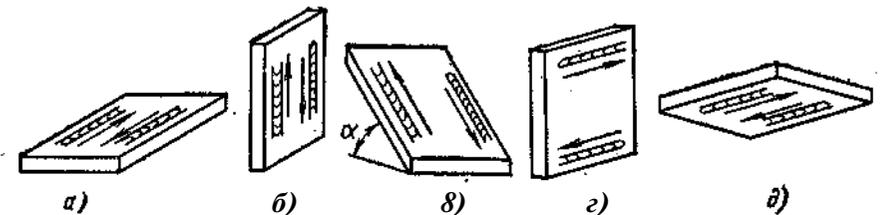


Рис. 50. Положение швов в пространстве

(рис. 50, в); горизонтальный шов, выполняемый в вертикальной плоскости в горизонтальном направлении (слева направо или справа налево) (рис. 50, г), и потолочный шов, выполняемый в горизонтальной плоскости в любом направлении, когда пламя находится под швом (рис. 50, д).

По отношению к направлению действующих усилий различают швы фланговые, параллельные направлению действующего усилия; лобовые, перпендикулярные направлению действующего усилия, и косые, располагаемые под углом к направлению действующего усилия.

2. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАЛОЖЕНИЯ ШВОВ

Правый и левый способы. Направление движения горелки и наклон ее наконечника по отношению к сварному шву оказывают исключительно большое влияние на эффективность нагрева металла, производительность сварки и качество сварного соединения. В соответствии с этим рассматривают два способа газовой сварки — правый и левый.

При правом способе сварки пламя сварочной горелки направлено на шов, и процесс сварки ведется слева направо. Горелка перемещается впереди присадочного стержня, и формирование сварного шва происходит согласно схеме рис. 51, а.

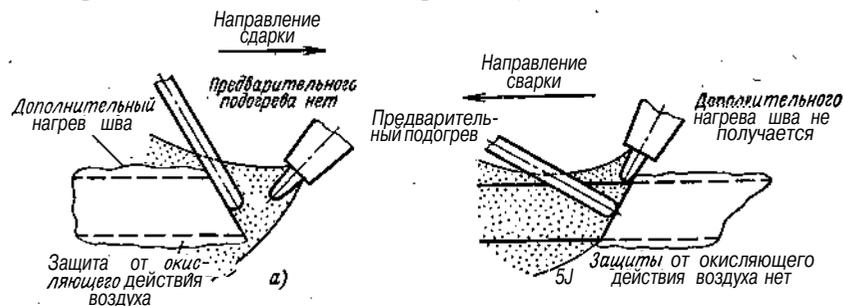


Рис. 51. Правый (а) и левый (б) способы газовой сварки

При левом способе сварки пламя сварочной горелки направлено от шва, и процесс сварки ведется справа налево. Горелка перемещается за присадочным стержнем, и формирование сварного шва происходит согласно схеме рис. 51, б.

При правом способе сварки обеспечивается лучшая защита сварочной ванны от окружающего воздуха и достигается замедленное охлаждение металла.

Внешний вид шва при левом способе (в особенности при сварке металла малой толщины) лучше, так как при этом способе сварки сварщик хорошо видит верхнюю кромку застывающей ванны и обеспечивает равномерную высоту и ширину валика.

Практика газовой сварки показывает, что при толщине стали до 3 мм более производительным является левый способ сварки, а при большей толщине металла, в особенности при сварке со скосом кромок, — правый способ.

Исследование газовой сварки металла относительно большой толщины (5—12 мм) левым и правым способами было выполнено Н. Н. Клебановым, который установил следующие условия выпол-

нения сварки стали правым способом: 1) мощность пламени при правом способе сварки следует устанавливать из расчета 150 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла, т. е. больше, чем для левого способа сварки, при котором оптимальная мощность составляет 100—120 л/ч; 2) угол скоса кромок при правом способе сварки может быть примерно на 10—15° меньше, чем при левом способе; 3) при сварке с уменьшенным углом скоса кромок горелку необходимо перемещать поступательно вдоль шва без поперечных колебаний; присадочной же проволоке следует сообщать колебательные движения, способствующие лучшему перемешиванию ванны и формированию шва требуемой ширины; 4) угол наклона мундштука горелки должен быть на 10—20° больше, чем при сварке левым способом.

При соблюдении приведенных выше условий производительность правого способа сварки на 20—25% больше, а расход газов на 15—25% меньше, чем при левом способе.

Экономия времени сварки и газов достигается при правом способе благодаря применению меньшего угла скоса кромок, обеспечивающего меньший объем наплавленного металла, и лучшему использованию теплоты сварочного пламени.

Зона термического влияния при правом способе сварки стали указанной толщины меньше, чем при левом способе. Благодаря лучшей защите металла шва от воздуха и более медленному охлаждению металла, сварной шов, выполненный правым способом, отличается более плотным металлом и более высокими механическими свойствами.

Сварка швов в различных пространственных положениях. Процесс формирования шва при газовой сварке в значительной мере зависит от давления газового потока пламени, движения конца присадочной проволоки, силы тяжести капли и силы поверхностного натяжения металла. Однако следует иметь в виду, что при сварке швов в нижнем положении влияние двух последних факторов незначительно.

По данным А. Н. Шашкова, величина давления газового потока пламени на сварочную ванну при скоростях истечения смеси 120—150 м/с может составлять около 1—1,2 МПа (100—120 гс/см²). Это давление оказывается достаточным для интенсивного перемешивания металла ванны и оттеснения его в направлении формирующегося шва. Не меньшее значение для формирования сварного шва имеет перемешивание ванны концом присадочной проволоки.

При сварке швов в вертикальной и потолочной плоскостях давление газового потока пламени и движение концов присадочной проволоки способствуют удержанию жидкого металла в ванне. В этом случае на формирование шва весьма большое влияние оказывают и два других фактора: сила тяжести капли, способствующая отрыву капли от сварочной ванны, и сила поверхностного натяжения, направленная в противоположную сторону и стремящаяся удержать каплю.

Выбор правого и левого способов всегда следует увязывать с положением шва в пространстве. При сварке швов в нижнем положении процесс можно вести как одним, так и другим способом, в этом случае выбор способа определяется производительностью, которая зависит в основном от толщины металла. При сварке вертикальных швов снизу вверх процесс сварки удобнее вести левым способом, когда сварщик располагает горелку и присадочный металл, как показано на рис. 52.

Иногда сварку этих швов снизу вверх ведут и правым способом. Это относится к способу сварки «двойным валиком», который применяют для сварки вертикального стыкового шва снизу вверх при толщине стали до 6—8 мм без разделки кромок. Вначале сварщик

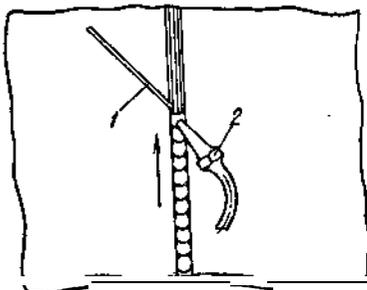


Рис. 52. Положение горелки и присадочной проволоки при выполнении вертикального шва снизу

вверх:
/ — присадочная проволока;
2 — горелка

пламенем горелки проплавляет в металле сквозное отверстие и затем, заполняя его снизу наплавкой на нижнюю кромку отверстия присадочного металла, расширяет отверстие кверху, постепенно перемещая пламя вдоль свариваемого шва вверх. При этом сварной шов формируется с обеих сторон соединения и получается более плотным, чем шов, выполненный в нижнем положении. Сварку в этом случае выполняют правым способом.

Горизонтальные швы на вертикальной плоскости выполняют правым способом, при котором Газовый поток пламени направляют

непосредственно на шов и тем самым препятствуют стеканию металла из сварочной ванны. В отличие от обычного правого способа в этом случае процесс ведут справа налево, причем сварочной ванне придается некоторый наклон, облегчающий формирование шва.

Потолочные швы также лучше формируются при правом способе, так как в этом случае и конец присадочного стержня и давление газового потока пламени предохраняют металл от стекания.

Подготовка изделия к сварке. Перед выполнением газовой сварки кромки свариваемого изделия и прилегающая к ним зона (на ширину 5—15 мм, в зависимости от толщины металла) должны быть тщательно зачищены до металлического блеска от окалины, ржавчины, краски, масла и других загрязнений. Очищать свариваемые кромки от окалины, краски и масла можно непосредственно пламенем сварочной горелки. Очистка поверхности стали от окалины пламенем основана на различных коэффициентах теплового расширения стали и покрывающей ее окалины.

После незначительного нагрева пламенем поверхность изделия зачищают проволочной щеткой. В некоторых случаях, главным об-

разом при выполнении сварки ответственных изделий небольших размеров, их поверхность подвергают травлению или обработке дробеструйным аппаратом.

Перед сваркой детали соединяют друг с другом сваркой в отдельных точках, с тем чтобы в течение всего процесса сварки положение этих деталей и зазор между ними оставались постоянными. Эти соединения, называемые прихватками, выполняют отдельными

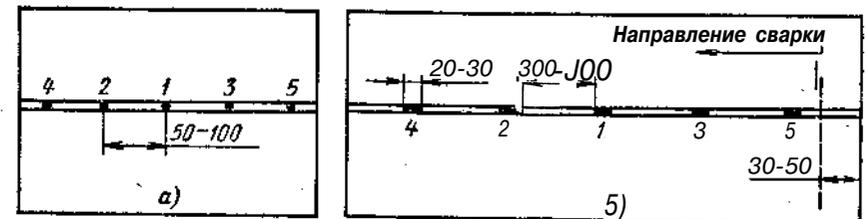


Рис. 53. Последовательность прихватки коротких швов при малой (а) и большой (б) толщине металла

короткими швами. Длина отдельных прихваток и расстояние между ними зависят от толщины свариваемого металла и длины шва. При сварке небольших узлов из стали толщиной до 4 мм длина прихваток может составлять не более 5 мм, а расстояние между ними — 50—100 мм (рис. 53, а). При сварке более толстой стали и при значительной протяженности шва длина отдельных прихваток может составлять 20—30 мм при расстоянии между ними 300—500 мм (рис. 53, б).

Прихватку свариваемых деталей необходимо выполнять на тех же режимах, что и сварку.

3. РЕЖИМЫ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Угол наклона мундштука горелки к поверхности металла зависит в основном от толщины свариваемых листов и от теплофизических свойств металла. Чем больше толщина металла, тем больше угол наклона мундштука горелки. С изменением толщины стали от 1 до 15 мм угол наклона мундштука меняется в пределах 10—80° (рис. 54). Угол наклона мундштука горелки зависит также от температуры плавления и теплопроводности металла. Чем выше температура плавления металла и чем больше его теплопроводность, тем больше угол наклона мундштука. Так, например, при сварке меди угол наклона мундштука может составлять 60—80°, а при сварке свинца или легко воспламеняющегося магниевого сплава ~ 10°.

Наклон мундштука горелки может меняться в процессе сварки. В начальный момент сварки и для лучшего прогрева металла и быстрого образования сварочной ванны угол наклона устанавливают наибольшим (80—90°); в процессе сварки величина угла соответствует толщине и роду свариваемого металла.

Мощность пламени зависит от толщины металла и его теплофизических свойств. Чем больше толщина металла и чем выше его температура плавления и теплопроводность, тем большую мощность пламени необходимо выбирать для его сварки. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей расход ацетилена устанавливается по формулам:

при левом способе сварки

$$V_a = \frac{(100 \div 120)}{3600} \delta \text{ дм}^3/\text{с} [V_a = (100 \div 120) \delta \text{ л/ч}];$$

при правом способе сварки

$$V_a = \frac{(120 \div 150)}{3600} \delta \text{ дм}^3/\text{с} [V_a = (120 \div 150) \delta \text{ л/ч}],$$

где δ — толщина свариваемой стали, мм.

При сварке чугуна, латуни, бронзы и алюминиевых сплавов мощность пламени устанавливается примерно такая же, как и для сварки стали.

При сварке же меди, обладающей весьма высокой теплопроводностью и достаточно высокой температурой плавления, мощность пламени, если процесс сварки ведут одной горелкой, подбирают по формуле

$$V_a = \frac{(150 \div 200)}{3600} \delta \text{ дм}^3/\text{с} [V_a = (150 \div 200) \delta \text{ л/ч}].$$

В процессе газовой сварки происходит нагрев мундштука горелки и, как следствие, увеличивается содержание кислорода в газовой смеси, что приводит часто к окислению металла сварочной ванны. Поэтому в начальный момент работы необходимое соотношение газов в смеси устанавливают при $\beta_0 = 1,05 \div 1,1$. По мере нагревания мундштука горелки количество кислорода постепенно

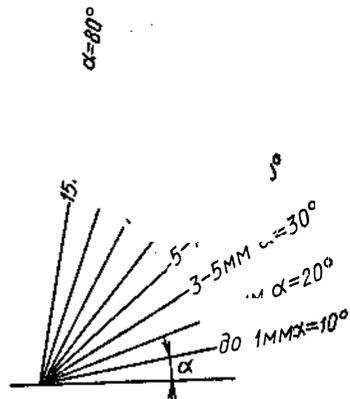


Рис. 54. Угол наклона мундштука горелки в зависимости от толщины стали

увеличивается до $\beta_0 = 1,2 \div 1,3$, после чего сварщик охлаждает горелку и вновь регулирует пламя.

Диаметр присадочной проволоки зависит от способа газовой сварки. Для левого способа он составляет большую величину, чем для правого. Диаметр присадочной проволоки d для сварки стали толщиной 6 до 15 мм может быть определен по следующим формулам:

для левого способа

$$d = \frac{\delta}{2} + 1 \text{ мм};$$

для правого способа

$$d = \frac{\delta}{2} \text{ мм}.$$

При сварке стали толщиной более 15 мм диаметр проволоки выбирают равным 6—8 мм.

Движения горелкой и присадочной проволокой оказывают значительное влияние на процесс формирования сварного шва.

При сварке в нижнем положении правым способом без разделки кромок при толщине стали более 3 мм или при сварке стали относительно большой толщины левым способом (с разделкой кромок или без нее) наиболее распространенные движения горелкой и концом присадочной проволоки показаны на рис. 55. В этом случае концом присадочной проволоки совершают движения, обратные движениям сварочной горелки. При выполнении угловых или валиковых швов для получения нормальной формы валика горелке и присадочной проволоке придают движения, показанные на рис. 56. В этом случае сварщик быстро перемещает пламя и конец проволоки по середине шва и задерживает их по краям.



Рис. 55. Движения горелки и проволоки при сварке стали толщиной более 3 мм в нижнем положении:

1 — движение проволоки; 2 — движение горелки

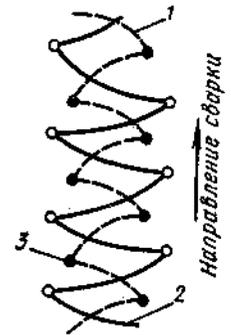


Рис. 56. Движения горелки и проволоки при сварке угловых валиковых швов:

1 — движение проволоки; 2 — движение горелки; 3 — места задержек движений

При сварке правым способом металла толщиной 5 мм пламя горелки углубляется в разделку шва (рис. 57) и перемещается вдоль шва без колебательных движений.

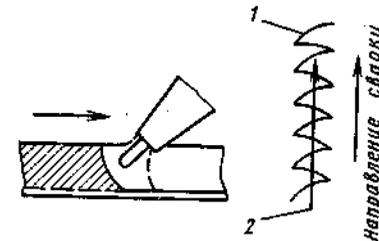


Рис. 57. Движения горелки и проволоки при правой сварке с разделкой кромок:

1 — движение проволоки; 2 — Движения горелки

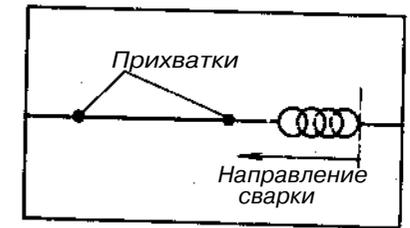


Рис. 58. Сварка методом последовательного образования ванночек

При сварке стали малой толщины без отбортовки кромок, когда процесс сварки ведется с присадочной проволокой, получил распространение способ последовательного образования сварочных ванночек (рис. 58). При этом каждая последующая ванночка перекрывает предыдущую на $1/3$ ее диаметра.

В этом случае процесс сварки ведут левым способом. Для получения гладкой и ровной поверхности шва требуется соблюдение двух основных условий: конец присадочной проволоки во избежание окисления не следует выводить за пределы средней зоны пламени; ядро пламени при приближении его к сварочной ванне для предотвращения науглероживания металла шва не должно касаться ее поверхности. Способ последовательного образования сварочных ванночек, или, как его иногда называют, «сварка каплями», позволяет получать весьма высокое качество сварного шва.

ГЛАВА IX

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГАЗОВОЙ СВАРКЕ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Газовая сварка характеризуется высокими значениями вводимой в изделие удельной энергии $\epsilon_{\text{в}}$, достигающими величин порядка 200—400 Дж/мм², большей зоной теплового влияния, меньшей производительностью, чем дуговая сварка.

Газовую сварку применяют при изготовлении и ремонте изделий из тонколистовой стали; при ремонтной сварке литых изделий из чугуна, бронзы, алюминиевых сплавов; при монтажной сварке стыков трубопроводов малых и средних диаметров (до 100 мм) с толщиной стенки до 5 мм и фасонных частей к ним; при сварке узлов конструкций из тонкостенных труб; при сварке изделий из алюминия и его сплавов, меди, латуни и свинца; при наплавке латуни и бронзы на детали из стали и чугуна; при наплавке твердых и износостойчивых сплавов, а также при сварке ковкого и высокопрочного чугуна с применением прутков из латуни и бронзы.

Газовой сваркой можно сваривать почти все металлы, используемые в технике. Чугун, медь, латунь, свинец легче поддаются газовой сварке, чем дуговой. Простота оборудования, независимость от источника энергоснабжения, возможность широкого регулирования скорости нагрева и охлаждения металла при сварке позволяют применять этот процесс при ремонтных и монтажных работах. Сталь толщиной свыше 6 мм газовой сваркой соединяют редко,

1. СВАРКА СТАЛЕЙ

Низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,25% С, хорошо свариваются газовой сваркой. Для сварки необходимо нормальное пламя. Мощность пламени должна составлять при левом способе сварки 100—130 дм³/ч, при правом 120—150 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла. В качестве присадочного материала используют сварочную проволоку по ГОСТ 2246—70 марок Св-08,

Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2. Применения флюса не требуется.

При сварке возможно выгорание углерода, марганца и кремния, что приводит к понижению предела прочности наплавленного металла. Для уплотнения и повышения пластичности наплавленного металла целесообразна проковка шва в горячем состоянии. При сварке металла большой толщины проводят последующую термообработку сварных соединений или изделий (нормализацию, низкотемпературный отжиг).

В случае применения при сварке окислительного пламени (например, пропан-бутан-кислородного, $\beta_0 = 3,5$) используют проволоки Св-12ГС, Св-08 и Св-08Г2С, а также Св-15ГЮ (0,5—0,8% Al и 1—1,4% Mn), содержащие повышенные количества раскислителей.

С повышением содержания углерода в сталях от 0,25 до 0,6% свариваемость их ухудшается. Возможно образование трещин при температурах, близких к солидусу (горячие трещины), и при охлаждении после сварки (холодные трещины).

Повышение содержания углерода в стали способствует образованию в сплаве хрупких прослоек между зернами. При увеличении содержания углерода в стали возрастает ее склонность к мартенситным превращениям и увеличивается возможность образования холодных трещин при быстром охлаждении до температуры мартенситных превращений (200—400°С). Трещины могут возникать как в околошовной зоне, так и в сварном шве.

Для сварки среднеуглеродистых сталей применяют только нормальное пламя несколько пониженной мощности: примерно 75—100 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла.

При толщине металла свыше 3 мм рекомендуется общий предварительный подогрев изделия до температуры 250—350°С или местный подогрев горелками околошовной зоны до температуры 650—700°С. Структуру металла шва и околошовной зоны можно улучшить отпуском при температуре 600—650°С.

Повысить механические свойства наплавленного металла при сварке среднеуглеродистых сталей можно использованием проволоки, легированной хромом (0,5—1%) и никелем (2—4%) при обычном содержании марганца в проволоке (0,5—0,8%). К таким проволокам относятся, например, Св-06НЗ или Св-18ХГС по ГОСТ 2246—70.

Высокоуглеродистые стали, содержащие 0,6—2,0 % С, свариваются хуже, чем среднеуглеродистые. Приемы сварки этих сталей те же, что и сварки среднеуглеродистых сталей. Мощность пламени 75 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Рекомендуются: способ сварки левый-, пламя нормальное или слегка науглероживающее, присадочная проволока с низким содержанием углерода. При сварке сталей, содержащих более 0,7 % С, желательнее пользоваться флюсом (бурой).

Качественную сварку высокоуглеродистых сталей можно получить при их толщине не свыше 5—6 мм. Сварку ведут с предварительным подогревом до температуры 250—350°С в сочетании с мест-

ным подогревом до температуры 650—700° С. После сварки применяют проковку с последующей нормализацией и отпуском по режиму, установленному для данной марки стали.

Низколегированные конструкционные стали перлитного класса содержат легирующие компоненты в сумме менее 2,5% (кроме углерода). Типичные для этого класса низколегированные хромокремненикелемедистые стали 10ХСНД и 15ХСНД характеризуются повышенной прочностью, хорошей свариваемостью и высоким сопротивлением атмосферной коррозии.

При сварке применяют нормальное пламя. Мощность пламени: при левом способе 75—100, при правом 100—130 дм³/ч ацетилен на 1 мм толщины металла. Используют проволоку Св-08, Св-08А и Св-10Г2 по ГОСТ 2246-70. Флюс не применяют. Для повышения механических свойств наплавленного металла необходима проковка при светло-красном калении (800—850° С) с последующей нормализацией металла шва нагревом горелкой и охлаждением на воздухе.

Молибденовые, хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые теплоустойчивые стали необходимо сваривать, сохраняя близкими структуру и химический состав основного и наплавленного металлов.

Молибденовые низколегированные стали 15М, 25М-Л содержат 0,4—0,6% Мо и предназначены для работы при температурах до 450—500° С. Для температур 540° С применяют хромомолибденовые стали 15ХМ, 20ХМЛ, содержащие 0,4—0,6 Мо и 0,8—1% Сг. Хромомолибденованадиевые стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф содержат до 0,2% V и предназначены для температур 585° С.

При сварке используют (только нормальное) пламя мощностью 100 дм³/ч ацетилен на 1 мм толщины металла, сварочные проволоки Св-08ХНМ, Св-10НМА, Св-18ХМА, Св-08ХМ, Св-08ХМ, по ГОСТ 2246—70, при которых в сварном шве обеспечивается состав металла, удовлетворяющий требованиям работы соединения в условиях повышенной температуры.

Молибден в данном случае служит карбидообразующим элементом, повышает прочность металла без снижения его пластичности. Присутствие молибдена в стали уменьшает ее склонность к «ползучести» при повышенных температурах, придает сплаву мелкозернистое строение, увеличивает прокаливаемость, предотвращает возникновение отпускной хрупкости в хромистых сталях. Хром повышает предел ползучести и жаростойкость молибденовой стали, образуя на поверхности тонкий слой плотных, тугоплавких окислов.

Сварку ведут небольшими участками длиной 15—25 мм, поддерживая на всем свариваемом участке температуру светло-красного каления. При толщине металла свыше 16 мм все изделие подвергают предварительному равномерному подогреву до температуры 250—360° С, поддерживая ее постоянной в процессе сварки.

Перед сваркой кромки должны быть зачищены до металлического блеска. При толщине металла до 5 мм сварку ведут в один слой, при большей толщине применяют многослойную сварку,

Сварку следует вести с минимальным количеством перерывов. При возобновлении сварки после перерыва необходимо равномерно подогреть шов в данном месте (при сварке труб — весь стык) до температуры 250—300° С для предупреждения появления трещин. Усиление шва должно быть симметричным к оси шва и необходим плавный переход от наплавленного металла к основному.

Хромомолибденовые стали свариваются несколько хуже, чем молибденовые. Это обусловлено наличием в них хрома, образующего тугоплавкие окислы.

Хромокремнемарганцевые стали (хромансиль) обладают большой прочностью, упругостью и хорошо выдерживают вибрационные и ударные нагрузки. Содержание углерода в сталях: 20ХГСА 0,15—0,25%, 25ХГСА 0,22—0,30%, 30ХГСА 0,25—0,35%. Эти стали также содержат 0,8—1,1% Мп, 0,9—1,2% Si и 0,8—1,1% Сг. В термообработанном состоянии они имеют предел прочности 800 МН/м² (80 кгс/мм²), относительное удлинение 10%, ударную вязкость 0,6 МДж/м² (6 кгс·м/см²).

При газовой сварке этих сталей хром и кремний частично выгорают, что может привести к появлению в шве включений окислов и непровара. Для предупреждения этого сварку ведут пламенем мощностью 75—100 дм³/ч ацетилен на 1 мм толщины металла. В качестве присадочной проволоки используют низкоуглеродистую проволоку Св-08 и Св-08А или легированную Св-18ХГСА и Св-18ХМА.

Перед сваркой листы прихватывают через 20—30 мм при толщине металла 0,5—1,5 мм и через 40—60 мм при толщине 2 мм и более. Прихватки должны располагаться на расстоянии 10—15 мм от края листа или угла сварного соединения. Необходима тщательная зачистка и подгонка кромок, а также точное соблюдение зазора между ними, который должен быть одинаковым по всей длине шва, что проверяют шаблоном. Сварку ведут в один слой.

При резком охлаждении возможно образование трещин в шве и околошовной зоне, поэтому при окончании сварки пламя следует отводить от шва медленно, подогревая факелом конечный участок на площади радиусом 20—40 мм. Процесс сварки следует вести возможно быстрее, без перерывов, не задерживая пламя горелки на одном месте и не перегревая металл сварочной ванны.

Возможны соединения встык, втавр, угловые, реже — внахлестку. Отношение толщин свариваемых металлов соединяемых элементов не должно превышать при стыковых соединениях 1:2, при соединениях втавр и внахлестку 1:6.

Средне- и высоколегированные стали по своей структуре в зависимости от содержания углерода и легирующих элементов могут быть мартенситного, полуферритного, ферритного и аустенитного классов. При их сварке необходимо стремиться сохранить первоначальный состав и структуру стали в сварном соединении.

Свариваемость этих сталей в значительной мере определяется их химическим составом и особенно содержанием в них углерода.

Успешно свариваются газовой сваркой только некоторые из этих сталей. В сварных изделиях наиболее широко используют хромистые и хромоникелевые коррозионностойкие и кислотоупорные стали, например при изготовлении химической аппаратуры.

Хромистые стали, кислото- и жаростойкие могут содержать 4—30% Cr. Стали, содержащие 4—14% Cr, называют среднелегированными, они относятся к мартенситному классу; содержащие 13—18% Cr — высоколегированными полужерритными; содержащие 23—30% Cr — ферритными. Структура стали зависит также и от количества углерода, повышение которого способствует образованию мартенситной структуры.

При содержании в стали около 13—14% Cr и температуре в пределах 800—1400°С она сохраняет аустенитную структуру. При больших количествах хрома и тех же температурах структура стали становится ферритной и сохраняется в пределах температур 550—1400°С (для 30% O).

Газовая сварка, дающая большую зону нагрева, — наименее благоприятный способ сварки легированных коррозионностойких, окислительных и кислотостойких сталей, содержащих хром.

Среднелегированные хромистые стали, содержащие до 0,15% C, применяют в конструкциях, где не требуется высокой прочности, но необходима стойкость против коррозии. Высоколегированные хромистые стали могут содержать до 0,35% C; они обладают повышенной прочностью, хорошо сопротивляются коррозии и действию кислот. При длительном нагреве высокохромистые стали склонны к росту зерна, что снижает их прочность. Поэтому газовую сварку для этих сталей применять не рекомендуется.

Хромистые стали для предупреждения излишнего перегрева и уменьшения деформаций сваривают нормальным пламенем пониженной мощности, равной 70 дм³/ч ацетилен на 1 мм толщины металла. При сварке необходим предварительный подогрев. Присадочная проволока из стали той же марки, что и свариваемая, или близкой к ней. Можно применять проволоку Св-04Х19Н9, Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246—70.

Сварку следует вести возможно быстрее, без перерывов и повторного нагрева одного и того же места шва пламенем горелки. Тонкие листы сваривают левым способом, более толстый металл — только правым.

После сварки рекомендуется термообработка изделия по режиму, предусмотренному для данной марки стали. Например, мартенситно-ферритную хромистую сталь 1Х13, содержащую до 0,15% C и 12—14% Cr, подвергают закалке нагревом до температуры 1050°С с охлаждением на воздухе и последующему отпуску. Отпуск при 500°С обеспечивает предел прочности для этой стали 1000 МН/м² (100 кгс/мм²), при 730°С — 600 МН/м² (60 кгс/мм²). Отжиг при 780°С снижает предел прочности до 500 МН/м² (50 кгс/мм²). Охлаждение до температуры 600°С — в печи, далее — на воздухе. Ударная вязкость данной стали после термообработки равна 1,5 МДж/м²

(15 кгс·м/см²); с увеличением скорости охлаждения ударная вязкость понижается.

Хромоникелевые аустенитные стали типа 18-8 содержат до 0,12% C, 17—19% Cr, 9—11% Ni, до 0,7% Ti и обладают коррозионной стойкостью, жаростойкостью (окалиностойкостью) и жаропрочностью.

При сварке аустенитных сталей горячие трещины не возникают, если в наплавленном металле содержится 2,5—8,5% ферритной фазы. Титан и ниобий способствуют получению двухфазной аустенитно-ферритной структуры наплавленного металла с небольшим содержанием феррита.

Хромоникелевые стали имеют низкую теплопроводность {коэффициент теплопроводности 16,7 Вт/(м·°С) [0,04 кал/(см·с·°С)]} и высокий коэффициент линейного расширения ($\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$), что вызывает повышенные деформации и коробление изделий при газовой сварке.

Вследствие частичного выгорания хрома и других легирующих элементов швы, выполненные газовой сваркой, обладают обычно меньшей стойкостью против коррозии, чем основной металл в исходном состоянии. Для улучшения свариваемости аустенитных хромоникелевых сталей их дополнительно легируют бором; при этом образуется боридная эвтектика, имеющая сравнительно высокую температуру плавления и не подверженная структурным превращениям, вызывающим охрупчивание при повышенных температурах. Боридная эвтектика также уменьшает склонность стали к коррозионному растрескиванию в растворах, содержащих хлориды.

Хромоникелевые стали сваривают нормальным пламенем с удельной мощностью 70—75 дм³/ч ацетилен на 1 мм толщины металла. Окислительное пламя применять не следует ввиду вызываемого им сильного выгорания хрома с образованием тугоплавких окислов. Присадочная проволока должна содержать малое количество углерода, титан или ниобий (Св-02Х19Н9, Св-0619Н9Т или Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246—70). Сварку ведут с максимально возможной скоростью, держа конец прутка погруженным в сварочную ванну. Можно применять правый и левый способы. Для лучшего отвода теплоты рекомендуются медные подкладки с обратной стороны свариваемого шва. Мунштук держат под углом 45° к поверхности металла. При сварке длинных швов применяют обратноступенчатый способ сварки.

Для улучшения внешнего вида шва, уменьшения выгорания хрома и удаления его окислов применяют флюс, содержащий 80% плавикового шпата и 20% ферротитана (пригоден также флюс состава: 50% буры и 50% борной кислоты или 80% буры и 20% двуокиси кремния). Флюс разводят на воде, в виде пасты его наносят на кромки за 15—20 мин до сварки, а также и с обратной стороны шва для предупреждения образования окислов хрома в корне шва. Остатки флюса после сварки удаляют тщательной промывкой швов горячей водой.

Если позволяет конструкция, рекомендуется термообработка нагревом до температуры 1050—1100° С с последующим охлаждением в воде. Тонкий металл толщиной 1—2 мм можно охлаждать на воздухе. Диаметр присадочной проволоки выбирают равным толщине свариваемого металла. Проволоку диаметром более 5 мм не применяют.

Газовая сварка целесообразна для хромоникелевых сталей толщиной не свыше 1,5—2 мм, при этом достигается удовлетворительное качество соединения и достаточная производительность процесса. Более толстый металл рекомендуется сваривать дуговой сваркой.

Хромоникелевые аустенитные стали с повышенным содержанием углерода (например, 4X14H14B2M), достигающим 0,4—0,5%, свариваются значительно хуже низкоуглеродистых, так как склонны к выделению карбидов и образованию горячих трещин. Сварку этих сталей приходится вести с предварительным подогревом до температуры 280—300° С присадочной проволокой Св-06X19H9Т по ГОСТ 2246—70. После сварки изделие подвергают термообработке по режиму, предусмотренному для стали данной марки.

Марганцовистые аустенитные стали соединять газовой сваркой следует лишь в исключительных случаях (для целей ремонта и восстановления изношенных деталей).

При сварке следует применять одностороннюю V-образную подготовку кромок, так как при X-образной подготовке, связанной со вторичным нагревом изделия при сварке, механические свойства металла шва резко снижаются. Пламя мощностью 130—150 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла должно иметь небольшой (5—10%) избыток ацетилена во избежание сильного выгорания марганца при сварке. В качестве присадочного металла применяют проволоку из той же стали, что и основной металл. Можно применять проволоку из хромоникелевой стали 0X18H9, X20H10Г6 и X20H10Г6А или проволоку из марганцевоникелевой стали, содержащей 0,25—0,3% С, 3—5% Ni и 14—16% Mn.

Сварку ведут в один слой в нижнем положении уширенными валиками и короткими участками для облегчения выхода газов из металла шва, которые образуются в значительном количестве при сварке этой стали. Для уплотнения шва применяют легкую проковку в горячем состоянии. С целью повышения механических свойств металла шва после сварки применяют закалку с температуры 1050—1100° С с охлаждением в воде.

2. СВАРКА ЧУГУНА

Сварке подвергают детали и изделия из серого (передельного) чугуна следующего состава: 3—3,6% С, 1,6—2,5% Si, 0,5—1% Mn, до 0,12% S и до 0,8% P. В сером чугуне углерод находится в форме пластинчатого графита; только часть углерода присутствует в химически связанном состоянии в виде цементита Fe₃C. Кремний и угле-

род являются графитизаторами и способствуют выделению углерода в виде графита.

Быстрое охлаждение после сварки и присутствие в чугуне таких элементов, как марганец, хром, ванадий, молибден способствуют отбеливанию. Сера является вредной примесью в чугуне, так как повышает его вязкость и увеличивает усадку, задерживает графитизацию чугуна. Фосфор уменьшает вредное влияние серы, повышает жидкотекучесть чугуна, улучшает свариваемость, но одновременно повышает хрупкость и твердость. Содержание серы и фосфора в чугуне ограничивают.

Кроме серого литейного чугуна, в технике широко используют специальные виды высокопрочных чугунов, получаемых путем термообработки деталей, отлитых из белого чугуна, или добавкой в литейный чугун специальных присадок-модификаторов (магния, силикокальция, ферросилиция и др.), способствующих выделению графита в виде включений шарообразной формы, при которых повышается пластичность чугуна и снижается его хрупкость.

Сварку применяют для ремонта и восстановления изношенных чугунных деталей, а также при устранении литейного брака изделий. Серый чугун успешно и качественно сваривается газовой сваркой. Основные затруднения, возникающие при сварке чугуна, следующие.

1. Возможность образования закалочных структур (мартенсита, троостита) при быстром охлаждении с температур выше 750° С. При расплавлении чугуна возможны местные превращения графита в цементит (отбеливание). В местах закалки и отбеливания металл имеет высокую твердость и не поддается механической обработке резцом.

2. Возникновение трещин при неравномерном нагреве как в процессе сварки, так и при остывании после нее. Чугун обладает очень малой пластичностью и при появлении растягивающих термических напряжений, превышающих его временное сопротивление, может разрушаться. Опасность появления трещин снижается при применении общего равномерного подогрева изделия при сварке до температуры 300° С.

3. Высокая жидкотекучесть, возможность перехода из жидкого состояния непосредственно в твердое и обратно, минуя пластичную фазу.

4. Возможность присутствия в изделии частей и участков с разной структурой, определяемой условиями охлаждения, которые, в свою очередь, зависят от толщины стенки и поверхности охлаждения. Участки с медленным охлаждением имеют более крупную структуру, чем охлаждающиеся с большой скоростью.

5. Низкая температура плавления чугуна (1100—1250° С) и быстрый переход его из жидкого в твердое состояние, появление газовой пористости в швах, поскольку при сварке образуется большое количество газообразной окиси углерода,

6. Образование тугоплавких окислов кремния, затрудняющих сварку и требующих применения флюса (буры) для их удаления из шлаки.

Характер распределения графита в чугунах влияет на его свариваемость. Лучше сваривается чугун, в котором графит имеет вид мелких пластинок (перлитный чугун) или шаровидную форму. При мелких и средних включениях графита, окруженных твердым раствором углерода в железе, свариваемость удовлетворительная. Чугун с крупными включениями графита в виде сплошной сетки, затрудняющего сплавление основного и присадочного металла, плохо поддается сварке.

Основная задача при сварке чугуна — получение соединения, равнопрочного основному металлу, с одинаковой твердостью наплавленного металла, переходной зоны и основного металла, допускающей последующую обработку сварного соединения режущим инструментом. При заварке литейных дефектов прочность сварного соединения может допускаться ниже прочности основного металла. Структура и химический состав основного и наплавленного металла должны быть по возможности одинаковыми.

Газовая сварка чугуна — один из наиболее надежных способов получения наплавленного металла, близкого по своим свойствам к основному. При газовой сварке нагрев более длителен и равномерен, охлаждение изделия происходит медленнее, что создает благоприятные условия для графитизации наплавки, и уменьшается опасность появления зон отбеленного чугуна в участках, прилегающих к шву. Наряду с этим уменьшается величина внутренних напряжений при сварке, в результате чего снижается опасность образования трещин.

Газовую сварку чугунных изделий следует применять с общим или местным предварительным подогревом до температуры 300—400° С. После сварки деталь должна медленно остывать для получения однородной равномерной структуры серого чугуна и предупреждения возникновения трещин. При массовом производстве чугунных изделий для нагрева применяют непрерывно действующие конвейерные печи, а для замедленного охлаждения используют камеры, снабженные тепловой изоляцией.

Местный подогрев осуществляют горелками, индукторами, нагревателями с древесным углем или коксом и пр. Кокс и уголь засыпают в короба из листовой стали, снабженные отверстиями для доступа воздуха, и разжигают. При местном подогреве важно обеспечивать одновременный и постепенный нагрев и охлаждение нагреваемых элементов конструкции.

Для сварки чугуна применяют чугунные прутки по ГОСТ 2671 — 70. В зависимости от назначения прутки выпускают следующих марок: А — для горячей газовой сварки; Б — для газовой сварки с местным нагревом и для электродных стержней; НЧ-1 — для низкотемпературной газовой сварки тонкостенных отливок; НЧ-2 — для низкотемпературной газовой сварки толстостенных отливок; БЧ и

ХЧ — для износостойкой наплавки (табл. 5). Диаметр прутков — 4; 6; 8—10 и 12—16 мм, длина 250—450 мм.

Твердость поверхности наплавленного металла должна составлять: для прутков марок А и Б не более *HB* 230; НЧ-1 и НЧ-2 — не более *HB* 240; БЧ *HRC* 44—66; ХЧ *HRC* 48—52.

Таблица 5

Химический состав прутков

| Марка | C | Si | Mn | S | P | Ti | Cr | Ni |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| А | 3—3,5 | 3—3,4 | 0,5—0,8 | До 0,08 | 0,2—0,4 | — | — | — |
| Б | 3—3,5 | 3,5—4,0 | 0,5—0,8 | » 0,08 | 0,3—0,5 | — | — | — |
| НЧ-1 | 3—3,5 | 3—3,1 | 0,5—0,8 | » 0,05 | 0,2—0,4 | 0,02—0,06 | — | 0,1—0,5 |
| НЧ-2 | 3—3,5 | 3,5—4,0 | 0,5—0,8 | » 0,05 | 0,2—0,4 | 0,3—0,06 | — | 0,4—0,5 |
| БЧ | 2,5—3,0 | 1,0—1,5 | 0,2—0,6 | » 0,05 | До 0,1 | — | — | — |
| ХЧ | 2,5—3,0 | 1,2—1,5 | 0,5—0,8 | » 0,05 | » 0,1 | — | 1,2—2,0 | — |

Скос кромок односторонний V-образный, с углом раскрытия шва 90°. При толщине до 4 мм скоса кромок не делают. Перед сваркой кромки должны быть тщательно очищены от масла, ржавчины и прочих загрязнений металлической щеткой или пескоструйным аппаратом и прогреты пламенем горелки. Пламя нормальное мощностью 100—120 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Окислительное пламя вызывает местное выгорание кремния и образование включений твердого белого чугуна. Пруток при сварке можно погружать в ванну только после того, как его конец будет нагрет до светло-красного каления, так как касание ванны холодным прутком может вызвать отбеливание чугуна в данной точке. Металл ванны непрерывно перемешивают прутком для облегчения выхода газов и удаления окислов.

Сварку следует вести с возможно большей скоростью, не отводя пламя в сторону и защищая ванну восстановительной зоной пламени от воздействия окружающего воздуха. Для уменьшения нагрева металла ванны ядро пламени удаляют вверх, не нарушая защиты плавящегося металла пламенем горелки. Местная задержка пламени может вызывать выгорание кремния и углерода в данной точке ванны и привести к отбеливанию чугуна.

Для удаления в шлаки окислов кремния, марганца при сварке чугуна приходится применять специальные порошкообразные флюсы. Кроме того, для сварки чугуна пригоден также газообразный флюс БМ-1, разработанный для сварки латуни.

После сварки изделие должно медленно полностью охладиться вместе с горном или печью (или в термоизолированной камере) для предупреждения появления трещин и коробления, возможных при быстром и неравномерном охлаждении, а также во избежание возникновения структуры отбеленного чугуна в месте сварки.

Пайкосварка чугуна латуной. Серый литейный, ковкий и высокопрочный чугуны с успехом могут свариваться проволокой из латуни Л62. Температура плавления латуни ниже температуры плавления чугуна. Свариваемая чугунная деталь при этом способе сварки не подвергается нагреву до температур плавления. Сварку ведут без подогрева или только с местным подогревом детали. Вместо латуни при заварке трещин можно использовать присадочную проволоку из электролитической меди.

Для сварки применяют пламя мощностью 60—75 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла. Кромки скашивают под углом 30—40°. Применяют флюс состава: 70% прокаленной буры, 20% поваренной соли и 10% борной кислоты. Можно применять только прокаленную буру или смесь из буры и борной кислоты, взятых в равных количествах.

При сварке кромки чугунной детали не расплавляют, а лишь нагревают до светло-красного каления, затем посыпают флюсом и наплавляют латунию тонким слоем; при этом латунь с поверхности диффундирует в толщу чугуна, обеспечивая прочное сцепление основного и наплавленного металла. Затем латунию постепенно заполняют весь шов, добавляя в расплавленный металл флюс и перемешивая его концом прутка для удаления растворимых газов и окислов.

Низкотемпературная заварка литейных дефектов в чугуне. Данный способ разработан во ВНИИАВТОГЕНМАШе и основан на применении специальных чугунных прутков и флюсов. Процесс заварки происходит без расплавления основного металла и подобен пайке. Роль припоя играет чугунный пруток, имеющий более низкую температуру плавления, чем чугун основного металла. Для заварки изделий с тонкими стенками используют прутки НЧ-1, для толсто-стенных — прутки НЧ-2 по ГОСТ 2671—70 (табл. 5). Для этого процесса используют флюсы, приведенные в табл. 6.

Состав флюсов для сварки чугуна, %

Таблица 6

| Состав | Флюс ФСЧ-1 | Флюс ФГЧ-2 | Состав | Флюс ФСЧ-1 | Флюс ФСЧ-2 |
|--------------------------------|------------|------------|----------------------------------------------------------------|------------|------------|
| | ТУ 21—62 | ТУ 22—62 | | ТУ 21—62 | ТУ 22-62 |
| Бура плавляная | 23 | 18 | Литий углекислый, обезвоженный Вода (% к массе сухой части) | — | 0,5 |
| Сода кальцинированная | 27 | 25 | | | |
| Селитра натриевая обезвоженная | 50 | 56,5 | | | |
| | | | | 1 | 1 |

Флюс ФСЧ-1 применяют с прутками НЧ-1, флюс ФСЧ-2 - с прутками НЧ-2. Место сварки предварительно зачищают до металлического блеска. При толщине стенки до 10 мм делают V-образную

подготовку с углом скоса 35—40°, при толщине более 10 мм — X-образную.

Литейные дефекты (поры, шлаковые включения) вырубают и кромки скашивают под углом 30°. Перед сваркой изделие подогревают горелкой до температуры 300—400° С; изделия более сложной формы подвергают нагреву в печи до той же температуры. На нагретую поверхность наносят слой флюса-пасты и место сварки подогревают горелкой до температуры 820—860° С. Пламя — нормальное восстановительное. Флюс-паста при этой температуре начинает плавиться, покрывая место сварки тонкой пленкой. Присадочный стержень покрывают снаружи флюсом-пастой. Присадочный металл, постепенно расплавляясь, стекает на завариваемую поверхность. Сварку ведут справа налево, перемещая пламя горелки впереди шва. После окончания заварки дефекта деталь медленно охлаждают в песке или под слоем асбеста. Поскольку основной металл при данном способе не доводится до состояния расплавления, то в наплавке отсутствуют зоны отбеленного чугуна; металл шва получается плотным, мягким и хорошо обрабатывается резцом.

Данный способ заварки чугунных деталей можно осуществлять также с применением в качестве горючего газа пропан-бутана или городского и природного газов. Мощность пламени 60—70 дм³/ч пропан-бутана на 1 мм толщины металла. Заварке подвергают изделия с толщиной стенки до 6 мм в один проход и до 9—12 мм в два прохода. При твердости основного металла *НВ* 140—160 твердость металла шва и переходной зоны равна *НВ* 220—245.

При нагреве до температуры 900° С со скоростью 15° С/мин с последующим охлаждением на воздухе в интервале аустенитного превращения (выше 800° С) происходят наибольшие необратимые изменения (рост) объема чугуна. Это может вызвать образование трещин и изменение размеров уже обработанного изделия.

В связи с этим для возможности ремонта пайкосваркой уже обработанных чугунных изделий, дефекты которых были вскрыты в результате механической обработки, ВНИИАВТОГЕНМАШ разработал низкотемпературный процесс пайкосварки чугуна, протекающий при температурах 700—750° С. В этих условиях в чугуне не происходит структурных превращений, и размеры деталей остаются без изменения.

В качестве припоя используют кремнистую латунь ЛОК-59-1-03, в составе которой содержится до 0,4% Si. Предел прочности металла шва при растяжении равен 230 МН/м² (23 кгс/мм²), твердость *НВ* 100. Для пайкосварки изделий, к механическим свойствам и товарному виду которых предъявляются повышенные требования, применяют припой ЛОМНА-54-1-10-4-02, содержащий медь, олово, марганец, никель и до 0,6% алюминия. Металл паяносварного соединения при использовании этого припоя имеет цвет чугуна, твердость *НВ* 180—200, предел прочности 280—340 МН/м² (28—34 кгс/мм²).

Для данного процесса используют поверхностно-активный флюс ФПСН-2, состоящий из 50% борной кислоты (H₃BO₃), 25% угле-

кислого лития (LiCO_3), 25% углекислого натрия (Na_2CO_3) и галоидо-содержащей добавки (LiCl) для удаления вязкой окиси алюминия, которая образуется в процессе пайкосварки. Данный флюс плавится при температуре 650°C и служит индикатором начала процесса. В качестве горючего применяют ацетилен или газы-заменители. Пламя должно иметь нормальный характер. Кромки готовят механической обработкой. Не допускается наличия загрязнений на кромках детали. Следы жиров удаляют протиркой растворителем (ацетоном, бензином и др.). Флюс наносят на основной металл после предварительного подогрева его до температуры $300\text{--}400^\circ\text{C}$.

Пайкосварку начинают в момент плавления флюса. Расплавленный флюс прутом припою равномерно распределяют по поверхности завариваемого места. Затем пламя направляют на конец прутка, расплавляют последний и заполняют припоем разделку кромок, идя по спирали снизу вверх. После затвердевания наплавленного металла его сразу же проковывают медным молотком.

Особенности сварки специальных чугунов. Детали из легированных чугунов, содержащих никель, хром, медь и другие легирующие элементы, сваривают так же, как детали из серого литейного чугуна. В качестве присадочного металла применяют пруток из чугуна той же марки, что и свариваемый. Можно использовать пруток для сварки серого чугуна (см. табл. 5), но в этом случае металл сварного шва по своему составу и свойствам будет отличаться от основного металла, например не будет антикоррозионным или кислотостойким и пр.

Модифицированный чугун сваривают прутками, содержащими до 0,1% Mg. Возможность появления трещин предупреждают предварительным подогревом до температуры 500°C .

Ковкий чугун сваривают чугунными присадочными прутками, дающими в шве структуру белого чугуна. Сваренную деталь подвергают термообработке по режиму, установленному для получения структуры ковкого чугуна. В практике ремонта чугунных изделий иногда приходится восстанавливать детали, подвергавшиеся длительное время действию высоких температур и имеющие участки окислившегося (горелого) чугуна.

В этом случае сварку ведут отдельными участками, предварительно расчищая завариваемое место от окисленных слоев металла до здорового основного металла. Для этого место сварки нагревают горелкой, обильно посыпая флюсом и с помощью присадочного прутка удаляют пленки окислов; затем на очищенную поверхность наплавливают металл. Так же очищают и наплавливают соседние участки, после чего заваривают шов по всему сечению детали.

3. СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

При сварке меди и ее сплавов возникает ряд затруднений, обусловленных физико-химическими свойствами: склонностью к окислению и образованию тугоплавких окислов; поглощением газов

расплавленным металлом, вызывающим появление пористости шва; высокой теплоемкостью и теплопроводностью, требующей применения пламени повышенной мощности; значительной величиной коэффициента линейного расширения при нагревании, что приводит к значительным деформациям изделий при сварке.

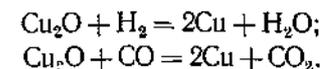
Склонность к окислению и выгоранию составных элементов сплавов вызывает необходимость применения при сварке соответствующих флюсов, защищающих расплавленный металл от окисления и растворяющих образующиеся окислы, удаляя их в шлаки.

Газовая сварка — универсальный, широко применяемый способ для соединения цветных металлов, несмотря на то, что ее производительность, особенно для металлов большой толщины, ниже производительности дуговой сварки специальными электродами и в атмосфере защитных инертных газов. Для получения качественных соединений при газовой сварке цветных металлов первостепенное значение имеет точное соблюдение установленного режима сварки и применение соответствующих флюсов и присадочного материала.

Сварка меди. Свариваемость меди существенно зависит от ее чистоты и наличия в ней примесей — висмута, свинца, серы и особенно кислорода. Висмут и свинец образуют легкоплавкие эвтектики, располагающиеся по границам зерен и придающие меди хрупкость и краснотомкость, т. е. способность к разрушению при высоких температурах. Сера и кислород также образуют эвтектики с более низкими температурами плавления, чем у меди, повышающие хрупкость меди. Если содержание серы более 0,1% (сера содержится в меди в виде Cu_2S), то медь становится краснотомкой. Кислород содержится в меди в виде закиси меди Cu_2O . Эвтектика $\text{Cu}_2\text{O}\text{—Cu}$ образуется при содержании в меди 0,38% кислорода.

Скорость сварки влияет на выпадение эвтектики закиси меди — с увеличением скорости ширина выпадения зоны эвтектики уменьшается. Наличие раскислителей в проволоке и флюсе также уменьшает зону выпадения эвтектики. Трещины в металле шва и прилегающей зоне возникают по границам зерен в интервале температур $620\text{--}780^\circ\text{C}$. Выпускаемая по ГОСТ 859—66 медь может содержать до 0,15% кислорода, что ухудшает ее свариваемость. Поэтому для изготовления конструкций из меди с применением сварки по ГОСТ 859—66 выпускают медь марок М1р; М2р и М3р, в которых содержание кислорода не превышает 0,01 %.

Расплавленная медь, содержащая закись меди, способна поглощать водород и окись углерода, взаимодействуя с ними по реакциям



Пары воды и двуокись углерода образуют поры в металле шва и, не имея возможности выделиться из него, при кристаллизации шва могут привести к появлению микротрещин (так называемая «водородная» болезнь меди). Для мягкой (отоженной) меди предель

прочности равен 220—230 МН/м² (22—23 кгс/мм²), для твердой нагартованной 370—420 МН/м² (37—42 кгс/мм²). Плотность меди 8,9 г/см³, коэффициент линейного расширения а при 20° С равен 17,7·10⁻⁶, коэффициент теплопроводности 387,7 Вт/(м·°С) (0,95 кал/см·с·°С); линейная усадка при затвердевании 2,1%. Коэффициент теплопроводности меди в 6—7 раз выше, чем стали. Вследствие этого при сварке меди приходится применять более мощное пламя или вести сварку двумя горелками одновременно.

Медь толщиной до 10 мм сваривают одной горелкой. Удельная мощность пламени 150 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. При сварке меди толщиной более 10 мм использовать слишком мощное пламя одной горелки не следует, так как это приводит к перегреву металла, росту зерна и снижению прочности соединения. В этом случае сварку следует вести двумя горелками: одной — подогревающей с пламенем удельной мощностью 150—200, а второй — сваривающей с пламенем мощностью 100 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Сварку проводят левым способом. При сварке двумя горелками процесс сварки ведут одновременно с двух сторон шва, располагая ось шва вертикально.

При сварке ядро пламени должно находиться на расстоянии 3—6 мм от поверхности ванны, не касаясь расплавленного металла. Для лучшей передачи теплоты от пламени к металлу мундштук держат почти под прямым углом к поверхности ванны. При сварке в вертикальном положении пламя держат под углом 30° вниз от горизонтальной оси, сварку ведут снизу вверх.

Сварку необходимо вести с максимальной скоростью без перерывов. Прихватку швов применять не следует, так как при повторном нагреве во время сварки в местах прихваток могут возникнуть трещины. Для закрепления деталей во время сварки следует использовать приспособления.

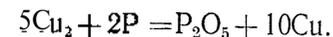
При сварке следует обеспечивать одновременное расплавление кромок и присадочной проволоки, не оставляя расплавленные кромки без заполнения их присадочным металлом даже на короткое время во избежание окисления. Для лучшего заполнения разделки кромок металлом и увеличения высоты шва свариваемые листы располагают под углом 10° к горизонтальной плоскости с зазором, увеличивающимся снизу вверх. Сварку ведут, начиная с нижней части листов, постепенно идя вверх по уклону шва. Для предупреждения протекания жидкого металла в зазор между кромками снизу прокладывают графитовую пластинку с канавкой, способствующей формированию обратной стороны шва. При сварке длинных швов начало сварки должно находиться на расстоянии 1/3 длины шва от его края; сварив 2/3 длины шва, заканчивают сварку оставшейся 1/3 части шва, идя в обратном направлении от начальной точки. Длинные швы сваривают обратноступенчатым способом. Сваривать следует в один слой, так как при наложении второго слоя возможно появление трещин в интервале температур 250—500° С.

Для меди следует применять в основном стыковые соединения. Допустимы угловые соединения с внешним швом. Соединения встык металла толщиной до 2 мм получают без присадочного материала с отбортовкой кромок на графитовой или асбестовой подкладке. При толщине 3 мм и выше применяют односторонний скос кромок под углом 45° с притуплением 1/3 толщины листа, но не менее 1,5—2 мм. При толщине свыше 10 мм используют Х-образную подготовку кромок. При сварке труб из меди в месте приварки к ним патрубков производят или вытяжку кромок основной трубы, или развальцовку патрубка, чтобы получить стыковое соединение деталей.

Рекомендуется применять присадочные прутки, в состав которых введены элементы-раскислители (кремний, марганец, фосфор), а также прутки, легированные оловом и серебром, снижающими температуру плавления присадочного металла. Такие прутки для сварки меди, содержащие до 0,8—1,2% Ag, выпускают под марками М1 и МСр1 по ГОСТ 16130—70. Диаметр присадочной проволоки выбирают в зависимости от толщины металла:

| | | | | | | |
|-----------------------------|--------|---------|-------|-----|------|----------|
| Толщина металла, мм . . . | До 1,5 | 1,5—2,5 | 2,5—4 | 4—8 | 8—15 | Более 15 |
| Диаметр проволоки, мм . . . | 1,5 | 2 | 3 | 4—5 | 6 | 8 |

Содержание фосфора в прутке должно составлять 0,2%, кремния 0,15—0,30%. Фосфор повышает жидкотекучесть меди и восстанавливает закись меди по реакции



Проволока должна плавиться спокойно, без разбрызгивания. При отекании капли жидкого металла конец прутка должен иметь закругленную форму и блестящую поверхность.

Желательно, чтобы температура плавления проволоки была на 100° С ниже температуры плавления основного металла. Излишек элементов-раскислителей в проволоке вреден, так как приводит к пористости шва и снижению прочности сварного соединения.

Флюсы № 5 и № 6, содержащие соли фосфорной кислоты, рекомендуются применять при сварке проволокой, не содержащей в своем составе элементов-раскислителей — фосфора и кремния (табл. 7). Можно сваривать медь с применением газообразного флюса БМ-1; при этом наконечник выбирают на один номер больше, для того чтобы не снижать скорость нагрева и сварки. Порошкообразным флюсом посыпают ванну и покрывают конец прутка, кромки свариваемого металла на ширину 40—50 мм по обе стороны от оси шва, а также обратную сторону свариваемых листов. Флюс можно применять в виде пасты, замешанной на воде; его наносят на конец прутка и кромки свариваемого металла.

Для измельчения зерен наплавленного металла и повышения плотности шов после сварки проковывают. При толщине металла до 5 мм проковку ведут в холодном состоянии, при большей толщине — при температуре 200—300° С. После проковки литого металла шва его подвергают отжигу при температуре 550—600° С

с последующим быстрым охлаждением в воде. Проковка и отжиг способствуют равномерному распределению эвтектики закиси меди — медь, что повышает прочность и вязкость металла шва и снижает краснеломкость. Утолщение шва перед проковкой следует срубать, так как иначе трудно проковать околошовную зону без образования трещин.

Таблица 7

Составы флюсов для сварки меди, %

| Состав | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | № 5 | № 6 | № 7 | № 8 | № 9 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Бура прокаленная | 100 | — | 20 | 75 | 50 | 50 | 70 | 56 | 78 |
| Борная кислота | — | 100 | Я) | 25 | 35 | — | 10 | — | 4 |
| Поваренная соль | — | — | — | — | — | — | 20 | 22 | 13 |
| Кислый фосфорно-кислый натрий | — | — | — | — | 15 | 15 | — | — | — |
| Кварцевый песок | — | — | — | — | — | 15 | — | — | — |
| Древесный уголь | — | — | — | — | — | 20 | — | — | — |
| Углекислый калий (поташ) | — | — | — | — | — | — | — | 22 | — |
| Бикарбонат натрия (сода) | — | — | — | — | — | — | — | — | 5 |

Сварка латуни. Медно-цинковые сплавы, содержащие 20—55% Zn, называют латунями. Сплавы с содержанием менее 20% Zn называют томпаками. Благодаря своей пластичности, достаточно высокой прочности, легкой обрабатываемости давлением, удовлетворительной свариваемости, антикоррозионности, хладостойкости и другим положительным свойствам латуни получили широкое применение в машиностроении, особенно при изготовлении различной аппаратуры, емкостей, арматуры и других конструкций для химической промышленности.

Основные затруднения при сварке латуней: поглощение газов расплавленным металлом сварочной ванны, выгорание цинка и повышенная склонность металла шва и околошовной зоны к образованию трещин и пор. Для устранения указанных трудностей и получения высококачественных сварных соединений необходимо применять специальную технологию сварки, соответствующие присадочные материалы и флюсы.

Температура кипения цинка при сварке латуни зависит от его содержания в сплаве. Так, например, при 20% Zn температура его кипения равна 1300°C, при 40% Zn — около 1000°C. Температура кипения чистого цинка 900°C. При испарении цинка его пары окисляются кислородом воздуха, образуя окись цинка, вредную для здоровья сварщика в концентрациях более 0,005 мг/дм³, вызывающую заболевание — литейную лихорадку. При газовой сварке потери цинка могут достигать 15—20% его первоначального содержания в латуни.

Пористость наплавленного металла при сварке латуни появляется при испарении цинка и поглощении расплавленным метал-

лом водорода сварочного пламени, который не успевает выделяться из ванны вследствие незначительного интервала между солидусом и ликвидусом у латуни. При застывании металла водород образует в шве газовые пузырьки и поры, которые увеличиваются в размерах в результате проникновения и расширения в них паров цинка.

Для уменьшения испарения цинка латунь сваривают пламенем с избытком кислорода до 30—40% (отношение O₂:C₂H₂ = 1,3 ÷ 1,4). При этом на поверхности сварочной ванны образуется пленка из окиси цинка, которая препятствует его дальнейшему испарению. Кроме того, избыток кислорода окисляет основную часть свободного водорода пламени, что резко уменьшает поглощение водорода металлом.

При сварке латуни образуются кристаллизационные (горячие) трещины, а также трещины, возникающие в температурных пределах 300—600°C. В первом случае трещины возникают из-за низкого качества нераскисленного наплавленного металла, во втором — вследствие появления у латуни горячеломкости в указанных пределах температур.

Для связывания окиси цинка в шлаки обычно применяют порошкообразные флюсы на базе окислов бора, а также газообразные флюсы, разработанные ВНИИАВТОГЕНМАШем и представляющие собой пары летучей борорганической жидкости, например флюс БМ-1: 25% метилового спирта (СН₃ОН) и 75% метилбората В (СН₃О)₃. Расход флюса БМ-1 составляет около 70 г на 1 м³ ацетилена. При сварке под флюсом БМ-1 латуни Л62 присадочной проволокой Л62 без проковки получают металл шва с пределом прочности 320 МН/м² (32 кгс/мм²), углом изгиба 180°, ударной вязкостью 0,65 МДж/м² (6,5 кгс·м/см²).

При сварке латуни проводят следующую подготовку кромок: при толщине металла до 1 мм — отбортовку кромок, при 1—5 мм — без скоса кромок, при 6—15 мм — односторонний скос кромок под углом 35—45° с затуплением 1,5—3 мм и зазором 2—4 мм; при 15—25 мм X-образную подготовку кромок с углом скоса 35—45°, затуплением 2—4 мм, зазором 2—4 мм.

Несмотря на более высокую теплопроводность латуни, чем стали, мощность пламени составляет 100—120 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла во избежание перегрева латуни и повышенного испарения цинка. Для снижения испарения цинка и уменьшения поглощения водорода расплавленным металлом конец ядра должен находиться на расстоянии от сварочной ванны в 2—3 раза большем (равном 10—15 мм), чем при сварке стали. Пламя направляют преимущественно на присадочную проволоку, которую держат под углом 90° к оси мундштука. Конец проволоки периодически погружают во флюс, который также подсыпают в ванну расплавленного металла и на кромки шва. Сварку следует вести с возможно максимальной скоростью.

Диаметр проволоки выбирают равным толщине свариваемого металла, но не более 9 мм. Сварку следует вести левым способом

в один слой, осуществляя провар кромок сразу на всю толщину шва. Для обеспечения провара при толщине металла более 3 мм с обратной стороны шва накладывают подварочный шов, а при толщине металла более 5 мм применяют технологические подкладки — остающиеся из меди, съемные из коррозионностойкой стали.

Для увеличения высоты заполнения разделки шва сваривать рекомендуется, располагая шов под углом 10° к горизонтали. При многослойной сварке применяют присадочную проволоку ЛК62-05, а в качестве флюса — прокаленную буру. Перед нанесением последующего шва предыдущий слой наплавленного металла следует тщательно очистить от шлака.

Ввиду жидкотекучести латуни в расплавленном состоянии сварка ее в потолочном и вертикальном положениях затруднена. Сварку в потолочном положении применяют в исключительных случаях, например при ремонте. Если использовать присадочную проволоку, легированную кремнием, то возможна сварка латуни во всех пространственных положениях, так как кремний создает на поверхности ванны вязкую пленку шлаков. При сварке в вертикальном положении уменьшают мощность пламени до $35\text{—}40 \text{ дм}^3/\text{ч}$ ацетилена на 1 мм толщины металла и диаметр проволоки на 1 мм по сравнению со сваркой в нижнем положении. Механические свойства металла шва, сваренного в вертикальном и потолочном положениях, на $15\text{—}20\%$ ниже, чем при сварке в нижнем положении, вследствие появления в металле шва мелких внутренних пор.

Для уплотнения металла шва и повышения его временного сопротивления применяют проковку шва после сварки. При содержании в латуни менее 60% Си проковку можно проводить при температуре 650°C ; при содержании свыше 60% Си латунь проковывают в холодном состоянии. После проковки применяют отжиг при температуре $600\text{—}650^\circ \text{C}$ с последующим медленным охлаждением для получения мелкозернистой структуры и снятия наклепа. Проводить отжиг при температуре свыше 650°C не следует, так как возможно частичное испарение цинка.

Сварка бронзы. Газовую сварку бронзы используют при исправлении дефектов литья, ремонте бронзовых литых изделий, наплавке и других подобных случаях. В промышленности получили применение бронзы оловянные (ГОСТ 5017—49) и безоловянные (ГОСТ 493—54). В зависимости от состава бронзы могут быть литейными и деформируемыми, т. е. обрабатываемыми давлением.

Оловянные бронзы в качестве основной легирующей добавки содержат олово в количестве $3\text{—}14\%$ (иногда до 20%) и могут содержать фосфор, цинк, никель и другие легирующие элементы. Олово в бронзе значительно понижает температуру плавления сплава и увеличивает интервал между температурами начала и окончания его кристаллизации, что увеличивает ликвацию при затвердевании расплавленного металла.

При сварке оловянной бронзы возникает обратная ликвация, при которой обогащенная оловом легкоплавкая часть сплава под

действием объемных изменений и выделяющихся в шве газов перемещается из середины к поверхности сечения шва. Это приводит к появлению на поверхности шва выступов из мелких и крупных застывших капель, в которых содержание может достигать $15\text{—}18\%$; это снижает механические свойства бронзы в нагретом состоянии настолько, что деталь может разрушаться под действием собственного веса еще в процессе сварки. Для предупреждения обратной ликвации применяют замедленное охлаждение детали в песке или асбесте.

Оловянные бронзы сваривают только нормальным пламенем, так как окислительное пламя приводит к выгоранию олова, а избыток ацетилена увеличивает пористость, вызываемую растворением водорода в металле шва. Мощность пламени принимают $70\text{—}120 \text{ дм}^3/\text{ч}$ ацетилена на 1 мм толщины металла. Металл расплавляют концом восстановительной зоны пламени. Ядро пламени следует располагать на расстоянии $8\text{—}10 \text{ мм}$ от поверхности ванны, для того чтобы уменьшить выгорание олова. При сварке литых деталей из бронзы применяют местный или общий подогрев до температуры $500\text{—}600^\circ \text{C}$ для уменьшения сварочных напряжений и деформаций. Подогрев осуществляют в печах, горнах или пламенем горелки (местный подогрев). Пламя должно быть «мягким», т. е. должно быть снижено давление кислорода для предупреждения раздувания жидкого металла ванны.

Кромки завариваемых дефектов тщательно зачищают и скашивают под углом $30\text{—}45^\circ$ с притуплением $3\text{—}4 \text{ мм}$. Для предупреждения протекания металла с обратной стороны устанавливают подкладку из асбеста или графита; в случае необходимости обратную сторону шва формируют смесью из огнеупорной глины, песка и жидкого стекла. Сварку ведут только в нижнем положении, так как поворачивать деталь, нагретую свыше 350°C , не следует ввиду опасности ее разрушения.

Присадочные прутки диаметром $5\text{—}12 \text{ мм}$ применяют из бронзы, близкой по составу к свариваемому металлу. Желательно использовать присадочную проволоку, содержащую в качестве раскислителя до $0,4\%$ Si. Если допустимо различие по цвету металла шва и основного металла, то можно применять в качестве присадочного металла прутки или проволоку из латуни. Хорошие результаты получаются при сварке оловянных бронз прутками из оловянной бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4.

При сварке бронз используют флюсы, пригодные для сварки латуни. Для улучшения механических свойств и структуры металла сварного соединения деталь после сварки подвергают отжигу при температуре 750°C и последующему охлаждению в воде с температуры $600\text{—}650^\circ \text{C}$ (закалке). Выдержка при температуре отжига в зависимости от размеров детали составляет $3\text{—}5 \text{ ч}$, скорость нагрева — не свыше 100° в час. При сварке оловянных бронз сварное соединение равнопрочно основному металлу.

Безоловянные бронзы можно сваривать как электродуговым, так и газовым способом. Эти бронзы в качестве основных легиру-

ющих элементов содержат марганец и никель, реже — цинк, железо, олово, алюминий. Они коррозионно устойчивы, имеют высокие механические свойства, износостойки и хорошо свариваются. Наличие в них кремния и марганца улучшает свариваемость, так как кремний образует защитную пленку шлака, улучшает (как и марганец) жидкотекучесть металла шва и смачиваемость им кромок при сварке.

Сварку проводят нормальным пламенем мощностью 100—150 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Состав присадочного прутка выбирают таким же, как и состав основного металла. Флюсы используют те же, что и при сварке меди и латуни. Для деталей сложной формы необходим предварительный подогрев до температуры 300—350° С. После сварки целесообразно использовать отжиг и закалку. Прочность соединения составляет 80—100% прочности основного металла.

Сварка безоловянных бронз, содержащих в качестве одного из компонентов алюминий, затруднена образованием тугоплавкой окиси алюминия Al₂O₃, для удаления которой приходится применять флюсы, пригодные для сварки алюминиевых сплавов.

Бронзы подобного состава широко распространены в машиностроении, они содержат железо, марганец, никель и до 10% алюминия. Обладают высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью, антифрикционными свойствами, устойчивы к действию низких температур, немагнитны, хорошо штампуются. Легирование железом, марганцем и никелем повышает механические, технологические и антикоррозионные свойства бронз; никель повышает их жаростойкость.

При подогреве до температуры 350—400° С процесс сварки ускоряется. Присадочный металл используют с меньшим содержанием алюминия (до 5%). Из флюсов рекомендуется флюс АФ-4А, используемый для сварки алюминиевых сплавов. Пламя должно быть мягким, нормальным, мощностью при сварке с подогревом 100 дм³/ч и при сварке без подогрева 175 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Скорость сварки должна быть максимальной. Концом прутка удаляют пленку окиси алюминия. При газовой сварке предел прочности сварного соединения составляет 320—400 МН/м² (32—40 кгс/мм²).

4. СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Газовую сварку алюминиевых сплавов используют как ремонтный процесс. При газовой сварке алюминия на его поверхности образуется тугоплавкая пленка окисла Al₂O₃, имеющая температуру плавления 2060° С и плотность 3,85 г/см³, т. е. выше плотности алюминия. Пленка окисла остается на поверхности сварочной ванны, защищая ее от дальнейшего окисления, но может находиться и в жидком металле в виде включений между кристаллитами, резко снижая прочность и пластичность сварного шва.

Полное удаление Al₂O₃ из наплавленного металла — основная задача при получении качественного сварного соединения алюминия и его сплавов. Для этой цели при газовой сварке применяют специальные флюсы. Наилучшие результаты из всех способов сварки плавлением алюминия и его сплавов дает аргоно-дуговая сварка в непрерывном, а для тонкого металла — в импульсном режиме, при которой сварной шов получается полностью очищенным от включений Al₂O₃, обладает высокой пластичностью и коррозионной стойкостью, имеет хороший внешний вид. Удовлетворительно свариваются алюминий и его сплавы контактной точечной и роликовой сваркой.

При сварке алюминия и его сплавов приходится учитывать следующие особенности: относительно низкую температуру плавления и высокую теплопроводность, что требует точной дозировки вводимой в ванну теплоты; высокое химическое сродство алюминия к кислороду и образование тугоплавкой окиси алюминия, затрудняющей сварку; большой коэффициент линейного расширения при нагреве, вызывающий значительные деформации и остаточные напряжения; пониженную прочность при высоких температурах сварки; повышенную вязкость расплавленного металла, затрудняющую формирование сварного шва.

В качестве присадочного металла при сварке алюминия и его сплавов используют алюминиевую сварочную проволоку, выпускаемую промышленностью по ГОСТ 7871—63.

Для сварки сплавов АМц применяют проволоку из сплава того же состава, что и основной металл, или из сплава АК5. Сплавы АМг сваривают проволокой с повышенным содержанием магния с целью снижения температуры плавления присадочного металла и повышения прочности наплавленного металла. Применение при сварке сплавов АМг проволоки того же состава, что и основной металл, снижает механические свойства наплавленного металла на 5—10% по сравнению со свойствами основного металла.

Для сварки термически не упрочняемых сплавов АМг (например, АМг5) нельзя применять проволоку из сплавов типа АК, так как это приводит к образованию в шве силицида магния (Mg₂Si), снижающего прочность металла шва вследствие расположения его включений по границам зерен; при этом стойкость против коррозии повышается. Сплавы системы алюминий — магний — кремний, склонные к образованию кристаллизационных трещин, рекомендуется сваривать проволокой: тавровые и угловые соединения — АК5, стыковые разделки кромок — АКЮ. Для сварки литейных алюминиевых сплавов (заварке трещин, пороков литья и пр.) используют проволоку из того же сплава, что и основной.

В процессе сварки алюминия и его сплавов окислы удаляются флюсами на базе галоидных солей щелочных и щелочно-земельных металлов (см. гл. VII). Флюсы применяют или в порошкообразном состоянии, или в виде паст, приготовленных на воде или спирте.

Флюс на проволоку и кромки наносят чистой кистью, можно погружать конец проволоки в разведенный флюс. Наносят флюс после тщательной подготовки (механическим или химическим путем) кромок и их прихватки. Остатки флюса удаляют после сварки промывкой в горячей и холодной воде или травлением. Применять соединения внахлестку не рекомендуется вследствие трудности последующего удаления остатков флюса, попавшего в зазор.

При газовой сварке металл толщиной до 2 мм (иногда до 2,5 мм) сваривают встык с отбортовкой кромок и зазором до 1 мм. Часто отбортовку делают только у одной кромки. При толщине металла до 1 мм зазора не оставляют. Высота отбортовки равна двум-трем толщинам металла. При данном виде соединения повышается жесткость и уменьшается коробление изделия при сварке. Отбортовка должна полностью расплавляться при сварке шва.

При толщине металла до 4 мм применяют сварку встык без скоса кромок, а при большей толщине (5—20 мм) — с односторонним скосом под углом 30—35°. Сварку производят с одной стороны, а с обратной стороны накладывают подварочный шов. Зазор в зависимости от толщины металла равен 1,5—5 мм, притупление 1,5—2 мм. При толщине металла более 20 мм применяют двусторонний скос кромок при тех же углах скоса, зазорах и притуплении.

Сварку следует вести в приспособлениях, уменьшающих коробление изделия. При тонком металле и замкнутых контурах для компенсации деформаций применяют дополнительные жесткости, зиговку листов вдоль кромок и т. д. Для удаления окисных пленок на основном и присадочном металлах перед сваркой не более чем за 8 ч кромки шва и сварочную проволоку подвергают химической обработке, которая включает обезжиривание (водный раствор 1% NaOH, 5% Na₂PO₄ и 3% жидкого стекла), промывку горячей водой, кратковременное травление (10% HNO₃) и окончательную промывку водой.

В зависимости от толщины металла принимают следующий расход ацетилена:

| | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|---------|
| Толщина металла, мм | До 1,5 | 1,6—3 | 3,1—5 | 5,1—10 |
| Расход ацетилена, дм ³ /ч | 50—100 | 100—200 | 200—400 | 400—700 |
| Толщина металла, мм | 10,1—15 | 15,1—25 | 25,1—50 | |
| Расход ацетилена, дм ³ /ч | 700—1200 | 900—1200 | 900—1200 | |

Используют нормальное пламя или с небольшим избытком ацетилена. Большой избыток ацетилена приводит к пористости шва. Конец ядра должен находиться на расстоянии 3—5 мм от поверхности ванны. Нельзя касаться жидкого металла ядром пламени. Угол наклона пламени к поверхности металла в начале сварки должен быть равен 90°, а затем уменьшаться до 20—45°. При сварке литья из алюминиевых сплавов этот угол по мере прогрева изделия доводят до 45—60°. Присадочную проволоку держат под углом 40—60° к поверхности металла. Для толщин металла менее 5 мм применяют левый способ сварки, для больших — правый. Сварку следует

вести в нижнем положении, в исключительных случаях — в горизонтальном на вертикальной плоскости и вертикальном положении. Не допускается сварка в потолочном положении швов. Сварку следует вести быстро и по возможности непрерывно. Многослойных швов необходимо избегать, так как это вызывает пористость металла шва.

Литые детали из алюминиевых сплавов сваривают с общим или местным подогревом до температуры 250—260°, силумин — до температуры 350—400° С.

Трещины разделяют до получения необходимого угла раскрытия и заваривают от середины трещины к ее концам. По концам трещины должны быть засверлены. Длинные трещины заваривают участками по 60—70 мм поочередно в разные стороны. Охлаждение отливки после сварки должно быть по возможности медленным, для чего ее закрывают асбестом или засыпают песком. Для придания шву мелкозернистой структуры и устранения внутренних напряжений литые изделия после сварки подвергают отжигу при температуре 300—350° С и выдержке в печи 2—5 ч с последующим медленным охлаждением.

При газовой сварке листов из сплава АМц толщиной 10—16 мм предел прочности металла шва составляет 85—115 МН/м² (8,5—11,5 кгс/мм²), угол изгиба 115—180°, ударная вязкость 0,2—0,3 МН/м² (2—3 кгс-м/см²). Для сравнения можно указать, что ударная вязкость основного металла для сплава АМц равна 0,55—0,75 МДж/м² (5,5—7,5 кгс-м/см²).

5. СВАРКА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магниевые сплавы имеют малую плотность (1,76—1,8 г/см³) и обладают достаточно высокими прочностными свойствами (210—340 МН/м²). Температура плавления магниевого сплава 460—650° С, температура плавления чистого магния 650° С. Коэффициент теплопроводности этих сплавов $\lambda = 0,18 \div 0,35$ кал/см·с·°С, коэффициент линейного расширения $\alpha = 26 \cdot 10^{-6}$.

При сварке магниевого сплава приходится учитывать следующие его особенности и свойства: более низкую теплопроводность, чем у алюминиевых сплавов; близость температуры воспламенения к температуре плавления; повышенные деформации и напряжения при сварке вследствие высокого коэффициента линейного расширения, высокую газопоглощаемость при расплавлении сплава, возможность образования кристаллизационных трещин вследствие наличия легкоплавких эвтектик и большого интервала температур кристаллизации; низкую коррозионную стойкость, требующую соответствующего выбора состава флюса и последующей химической обработки шва после сварки.

Для предупреждения возгорания магния ванна во время сварки должна быть защищена слоем флюса, растворяющего пленку окиси магния,

Литейные сплавы магния с кремнием (МЛ1) имеют невысокую прочность и низкую коррозионную стойкость, но хорошо свариваются газовой сваркой. Сплавы системы магний — марганец (МЛ2, МА1) не дают кристаллизационных трещин при сварке, но имеют низкую прочность и малую пластичность сварных соединений вследствие образования крупнокристаллической структуры в околошовной зоне.

Сплавы системы магний — марганец — церий (МА8) имеют мелкозернистую структуру и достаточно высокие механические свойства, но склонны к образованию кристаллизационных трещин. Для устранения трещинообразования при их сварке применяют присадочную проволоку с повышенным содержанием алюминия (3% Al и 0,4% Ce). Сплавы магния, содержащие в своем составе цинк, ограниченно поддаются сварке. Магниевого сплавы следует сваривать на максимальной скорости, обеспечивающей достаточную скорость охлаждения, предупреждающую появление трещин. Лучшие результаты получаются при однопроходной сварке.

В качестве присадочного металла используют проволоку или прутки из сплава того же состава, что и свариваемый. Перед сваркой присадочный металл обезжиривают и травят в 20%-ном растворе азотной кислоты. Непосредственно перед сваркой прутки необходимо зачистить металлической щеткой. Применять для зачистки наждачную бумагу не следует.

Для сварки используют флюсы, содержащие хлористые и фтористые соединения. Хлоридные флюсы вызывают коррозию металла

Таблица 8

| Режимы отжига магниевых сплавов | | |
|-----------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Сплавы | Нагрев до температуры, | Продолжительность выдержки, мин |
| МА1 и МА3, отожженные | 260 | 15 |
| МА1 и МА3, нагартованные | 205 | 60 |
| МА3, нагартованный | 190 | 60 |
| МА5, закаленный | 315 | 15 |
| МА5, подвергнутый термическому старению | 205 | 60 |

после сварки, и их остатки должны тщательно удаляться. Фторидные флюсы не вызывают коррозии, но они менее технологичны, так как имеют большую плотность и могут оставаться в шве. Перед использованием флюс разводят до состояния пасты и наносят на кромки по обе стороны от шва тонким слоем с помощью кисти, а также на конец прутка. Избыток флюса нежелателен, так как затрудняет сварку.

Сварку производят, как правило, встык; тавровые, угловые и нахлесточные соединения не рекомендуются. При толщине металла до 1,2 мм применяют

сваркой поверхность кромок должна быть тщательно обезжирена и очищена от пленки окислов. Защитную пленку необходимо удалять механическим или химическим путем.

Диаметр проволоки такой же, как и при сварке алюминиевых сплавов. Мощность пламени при толщине металла 1—2 мм составляет 150 дм³/ч ацетилена, при толщине 5—6 мм — 300 дм³/ч ацетилена. Пламя должно иметь небольшой избыток ацетилена. Его направляют к поверхности металла под небольшим углом (~10°). Применяют только левый способ сварки без поперечных колебаний горелкой. Конец ядра должен отстоять от поверхности ванны на 1,5—3 мм. Пруток не следует погружать в сварочную ванну во избежание загрязнения ее пленками окислов.

Отливки после заварки дефектов подвергают отжигу по одному из следующих режимов (табл. 8).

6. СВАРКА НИКЕЛЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Технический никель в зависимости от его марки содержит 99,8—97,6% чистого никеля. В холоднотянутом состоянии его предел прочности равен 800—900 МН/м² (80—90 кгс/мм²), в отожженном состоянии 450—520 МН/мм² (45—52 кгс/мм²), относительное удлинение 35—40%. Температура плавления никеля 1452 °С, температура горячей обработки 1100—1200 °С, температура отжига 780—850 °С. Литейная усадка 1%. Ввиду высокой прочности, пластичности, ковкости, химической стойкости никелевые сплавы находят широкое применение в химическом и других видах машиностроения.

Наиболее вредная примесь в никеле — сера, содержание которой в никеле марки НО ограничивается пределом 0,005%, марки Н1 — 0,01%. Свинец нерастворим в никеле и поэтому даже тысячные доли процента свинца в никеле придают последнему краснотомкость.

Основные затруднения при газовой сварке никеля и его сплавов состоят в повышении пористости в наплавленном металле вследствие поглощения газов жидким металлом и резкого уменьшения их растворимости в момент кристаллизации и образовании тугоплавкой окиси никеля с температурой плавления 1650—1660° С. Для удаления окиси никеля применяют флюсы составов: 1) 100% прокаленной буры; 2) 25% прокаленной буры, 75% борной кислоты; 3) насыщенного раствора борной кислоты в спирте; 4) 50% борной кислоты, 30% прокаленной буры, 10% поваренной соли, 10% углекислого бария.

Никель удовлетворительно сваривается газовой сваркой. Листы толщиной до 1,5 мм сваривают с отбортовкой кромок без присадочного металла. Листы толщиной до 4 мм сваривают встык без скоса кромок. Для листов большей толщины делают односторонний скос кромок под углом 35—45°. Применения сварки внахлестку следует избегать ввиду значительных деформаций никеля при нагревании.

Перед сваркой листы скрепляют прихватками через 100—200 мм. Сварку ведут участками обратноступенчатым способом.

Пламя должно иметь нейтральный характер или небольшой избыток ацетилена. Применять пламя с избытком кислорода нельзя, так как это приводит к появлению пор и повышает хрупкость наплавленного металла. Мощность пламени 140—200 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. При сварке монель-металла (25%Cu, 68%Ni, 1,5% Mn, 2,5% Fe), обладающего высокой стойкостью против окисления при температуре до 750° С, мощность пламени составляет 100 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины.

Диаметр присадочной проволоки должен быть равным половине толщины листов. Рекомендуется проволока того же состава, что и свариваемый металл, или из никеля с примесью до 2% Mn и до 0,2% Si.

Сплав нихром (75—80% Ni, 15—18% Cr, 1,2—1,4% Mn) имеет низкую теплопроводность и температуру плавления 1390° С. При его сварке на поверхности ванны образуется тугоплавкая пленка окиси хрома, удаляемая механическим путем. Сварку нихрома ведут с максимальной скоростью без перерывов, так как повторная или многослойная сварка способствует образованию трещин, появлению крупнокристаллической структуры и склонности соединений к межкристаллитной коррозии. Пламя должно иметь небольшой избыток ацетилена ($\beta_0 = 0,95$), мощность пламени 50—70 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Применяют флюс — пасту: 40% буры, 50% борной кислоты, 10% хлористого натрия (или фтористого калия). В качестве присадки используют проволоку из нихрома марки ЭХН-80 или полоски, нарезанные из свариваемого металла шириной 3—4 мм и скругленными кромками.

7. СВАРКА СВИНЦА

Свинец — химически устойчивый материал, широко используемый в химической промышленности для облицовки ванн, сосудов, аппаратов и трубопроводов. Температура плавления свинца низкая (327° С), при нагревании свинец легко окисляется, покрывается пленкой окиси свинца PbO, имеющей температуру плавления 850° С.

Для сварки свинца применяют водородно-кислородное, ацетилено-воздушное, ацетилено-кислородное пламя, а также газы-заменители ацетилена: пропан-бутан, городской газ, природный газ, пары бензина и керосина. Листы толщиной до 1,5 мм сваривают встык с отбортовкой без присадочного материала. Листы толщиной до 6 мм сваривают встык без скоса кромок, при большей толщине применяют односторонний скос кромок под углом 30—35°. Применяют также соединения внахлестку. В качестве присадочного прутка используют проволоку или полоску свинца. Диаметр прутка выбирают равным 2—2,5б, где б — толщина свариваемого металла.

Пламя не должно иметь избытка кислорода. При сварке листов мощность пламени равна 5—10, при сварке труб — 15—20 дм³/ч

ацетилена на 1 мм толщины металла. Скорость сварки следует поддерживать максимально возможной ($15/\delta - 30/\delta$ м/ч). Сварку ведут в нижнем или вертикальном положении. Применяют способ сварки отдельными ванночками. При толщине металла свыше 8 мм применяют многослойную сварку. Для лучшего оплавления металла и удаления пленки окиси свинца рекомендуется применять флюс из равных частей канифоли и стеарина. При сварке внахлестку верхнюю кромку слегка отгибают и используют ее как присадочный материал. При малых толщинах применяют ацетилено-воздушное пламя.

Для предупреждения вытекания металла при сварке свинца в положениях, отличных от нижнего, рекомендуется использовать формирующие полоски из стали, располагаемые вдоль шва, или стальные дугообразные формочки, передвигаемые по шву в процессе заполнения его металлом. Эти формочки (так называемые кристаллизаторы или холодильники) ускоряют охлаждение металла шва и облегчают его формирование.

8. СВАРКА ПЛАСТМАСС

Сварке подвергаются только так называемые термопластичные пластмассы (термопласты), которые при нагревании становятся пластичными, а после охлаждения принимают первоначальные вид и свойства. Кроме них, существуют терморезистивные пластмассы, которые изменяют свои свойства при нагреве. Нагревать пластмассы при сварке следует не выше температуры их разложения, т. е. в пределах 140—240° С.

Пластмассы можно сваривать различными способами: нагретым газом; контактной теплотой от нагревательных элементов; трением; ультразвуком. Рассмотрим способ сварки нагретым газом. Основные условия для получения качественного соединения пластмасс при сварке следующие.

1. Диаметр присадочного прутка не должен превышать 4 мм для достаточно быстрого его нагрева и обеспечения необходимой производительности сварки.

2. Сварку следует вести по возможности быстро во избежание термического разложения материала.

3. Необходимо точно выдерживать температуру сварки во избежание недостаточного нагрева или перегрева свариваемого материала.

Для сварки нагретым газом в качестве теплоносителя используют воздух, азот, углекислый газ. Наиболее широкое применение получил воздух, как более доступный газ. При сварке в азоте и углекислом газе, создающих инертную среду, вокруг места сварки, не происходит окисления и разрушения структуры свариваемого термопласта. Нагревание газа-теплоносителя происходит в специальных горелках, газовых или электрических. Сварка нагретым газом проста, не требует сложного оборудования, удобна в случае

ремонтных работ; ее можно применять для изделий различных размеров и формы; она получила достаточно широкое применение в практике сварки пластмасс.

Для сварки можно использовать горелки ГПП-1-56 конструкции ВНИИАВТОГЕНА, в которых использован принцип прямого нагрева газа-теплоносителя. Температура нагретого газа в них регулируется в широких пределах изменением расхода горючего газа и газа-теплоносителя. Применяют также пропано-воздушные вихревые горелки ГПП-1-66 и горелки ГЭП-1А-67 с электроподогревом.

При сварке пластмасс применяют различные виды соединений: встык с односторонним и двусторонним скосом кромок под углом $35-45^\circ$; внахлестку; тавровые; угловые без скоса и со скосом кромок. Наиболее распространено соединение встык. Шов с двусторонней разделкой кромок обеспечивает более равномерное распределение теплоты и поэтому он прочнее шва с односторонней разделкой кромок. Шов внахлестку в несколько раз менее прочен, чем стыковой, и поэтому применяется лишь в отдельных случаях, например при сварке стыков труб с отбортовкой. Сварка термопластов основана на доведении прутка и свариваемого материала до температуры их размягчения, когда они в вязком состоянии способны склеиваться при небольшом усилии сжатия.

Сварщик должен подавать пруток под углом 90° к поверхности шва. Если этот угол более 90° , то пруток вытягивается и при охлаждении его происходят разрывы; при меньшем угле пруток нагревается быстрее на более длинном участке и не успевает привариваться к свариваемым кромкам или ранее уложенным пруткам. Скорость укладки прутка диаметром 3 мм должна составлять 12—15 м/ч, для того чтобы происходило хорошее сваривание прутка и основного материала и обеспечивалась достаточная прочность соединения.

Угол между осью сопла горелки и прутком определяется толщиной свариваемого листа: при толщине до 5 мм этот угол равен $20-25^\circ$, при толщине 10—20 мм $30-45^\circ$. Расстояние между накопником и поверхностью шва необходимо по возможности поддерживать постоянным (5—8 мм). При правильном положении горелки и необходимой температуре нагрева основной материал по обе стороны укладываемого прутка должен «закипать». Усилие давления на пруток необходимо стремиться создавать равным: для прутка диаметром 2—3 мм 1—1,6 кгс, диаметром 4—5 мм 2,2—3 кгс.

После сварки изделие следует подвергать медленному охлаждению на воздухе. При быстром охлаждении возможно растрескивание соединения вследствие различной и неравномерной усадки основного материала и присадочного прутка. В зависимости от квалификации сварщика прочность сварного соединения винипласта может колебаться от 30 до 90% прочности основного материала.

Применение прутков при сварке пластмасс снижает производительность процесса для газовой горелки до 15—20 м/ч, для элект-

рической — до 10—12 м/ч. При этом данный метод имеет еще тот недостаток, что ударная вязкость шва и основного материала на границе сварного шва получается примерно в 12 раз ниже ударной вязкости основного материала и не превышает 1 МДж/м² (10 кгс·м/см²).

Для повышения производительности процесса и прочности сварного соединения применяют беспрутковый метод сварки пластмассовых листов. Он состоит в том, что свариваемые листы срезают по кромкам под углом 20° и складывают внахлестку. Затем листы нагревают до температуры $250-300^\circ\text{C}$ воздухом, подогреваемым в электрической горелке, и сжимают валиками, облицованными слоем резины. Струю воздуха направляют непрерывно на срезаемые кромки листов и горелку перемещают впереди валиков вдоль свариваемых кромок. Скорость сварки для винипласта толщиной 3—12 мм составляет 120—200 м/ч. Листы равномерно нагреваются до температуры $60-70^\circ\text{C}$ на ширине 300—400 мм. Прочность сварного соединения при этом достигает 80—90% прочности основного материала, а производительность в 10—15 раз выше, чем при прутковом способе. Ударная вязкость, материала после сварки почти не снижается.

При сварке полиэтилена, полихлорвинила (так называемых мягких термопластов) прутки для повышения прочности соединения прикатывают специальным роликом.

Качество сварки термопластов контролируют наружным осмотром. Полученный шов должен быть плотным, без разрывов и трещин. Плотность швов можно испытывать водой, сжатым воздухом или керосином. Для контроля качества швов используют также электролитный и электроискровой дефектоскопы.

ГЛАВА X

ГАЗОПРЕССОВАЯ СВАРКА

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Газопрессовая сварка относится к способам сварки металла в пластическом состоянии (рис. 59). Место сварки нагревают многопламенной горелкой до температуры перехода металла в пластическое состояние или до оплавления, а затем свариваемые элементы сжимают внешним усилием, действующим по их оси; при этом происходит сваривание.

Нагревательное пламя может быть направлено перпендикулярно внешней поверхности деталей в зазор между их торцами или перпендикулярно торцам.

Существуют разновидности газопрессовой сварки: в пластическом состоянии и с оплавлением торцов свариваемых деталей. Сварку

в пластическом состоянии выполняют: а) с постоянным давлением сжатия, которое снимается после достижения заданной величины осадки; б) с переменным давлением нагрева и сваривания при достижении заданной температуры нагрева. При втором способе детали первоначально сжимают небольшим осевым усилием, нагревают до установленной температуры сваривания, а затем усилие сжатия повышают до максимальной величины, и детали свариваются при достижении установленной величины осадки.

Сварка с оплавлением осуществляется путем нагрева пламенем, направляемым в зазор между торцами деталей; после начала оплавления торцов детали сжимают и они свариваются, а жидкий шлак в виде графа выдавливается наружу из стыка.

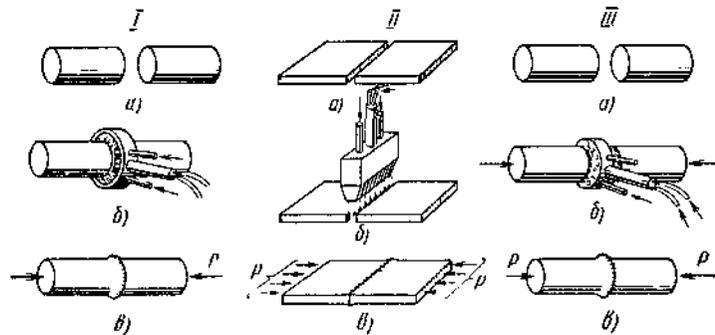


Рис. 59. Способы газопрессовой сварки:

I — сварка стержней в пластическом состоянии и с оплавлением; а — стержни перед сваркой; б — нагревание (в пластическом состоянии) — без зазора, с оплавлением — с зазором); в — осадка и сварка; II — сварка листов (обозначения а, б и в см I); III — сварка стержней торцевой горелкой с оплавлением (а и в — см I); б — нагревание торцов до оплавления

При сварке с оплавлением требуется большая мощность пламени, чем при сварке в пластическом состоянии, но зато этот способ не требует предварительной обработки и подгонки кромок, а качество сварного соединения получается более высоким.

Основные преимущества газопрессовой сварки: высокая производительность; механизация процесса; относительная простота технологии сварки; низкая стоимость; несложность сварочного оборудования; отсутствие потребности в мощных источниках электроэнергии для сварки и автономность действия сварочных установок, что позволяет применять их в полевых условиях; высокое качество соединений встык стержней любой формы и труб; возможность достаточно быстро готовить операторов-сварщиков для выполнения сварки деталей определенного сортамента.

В настоящее время газопрессовая сварка имеет преимущественное применение при ремонте деталей подвижного состава на железнодорожном транспорте.

Для газопрессовой сварки применяют специальные станки, оснащенные устройствами для закрепления свариваемых деталей, механизмом для их сжатия при сварке и нагревательными многопламенными горелками, форма и размеры головок которых соответствуют профилю и размерам поперечного сечения свариваемых элементов. Сварочная установка оснащается устройствами для газопитания.

Горелки — многосопловые разъемные, снабжены водяным охлаждением камер, в которые ввернуты сопла. В зависимости от мощности горелки могут иметь один или два ствола. Применяют инжекторные и безинжекторные горелки.

На рис. 60 показана одноствольная кольцевая горелка серии КГ для нагрева и сварки труб диаметром 30—170 мм с толщиной стенки 3—14 мм и круглых стержней диаметром 30—120 мм. Мощность горелки может изменяться от 0,75 до 15 м³/ч ацетилена. Удельный расход ацетилена при сварке труб 2 дм³/ч на 1 мм² поперечного сечения стыка. Изменяя давление кислорода перед горелкой в пределах 0,2—0,5 МПа (2—5 кгс/см²), можно изменять режим (скорость) нагрева стыка. Расход охлаждающей воды 0,05 дм³ на 1 дм³ ацетилена. Расстояние между осями сопел, ввернутых в камеры головки горелки, составляет 6—7 мм. Диаметр кольцевой головки выбирают в соответствии с диаметром свариваемых труб и стержней.

Разработаны и применяются также полукольцевые горелки серии ПКГ, конструкция которых показана на рис. 61. Их используют для сварки труб диаметром 174—299 мм с толщиной стенки 7—14 мм, они имеют мощность 7,5—25 м³/ч ацетилена. Каждая полукольцевая горелка имеет свой ствол, что позволяет обеспечивать повышенную мощность нагревательного пламени.

Станки различных типов разработаны для газопрессовой сварки с осадочным давлением, определяемым максимальным сечением свариваемых деталей. Для зажатия свариваемых элементов и осадки используют ручной, пневматический и гидравлический способы.

Станки с ручным приводом для зажатия и осадки используют только для сварки деталей с поперечным сечением до 1000 мм². Усилие, необходимое для зажатия деталей, должно примерно в 2 раза превышать усилие для осадки. Для сварки более крупных деталей с площадью поперечного сечения 1000—6000 мм² применяют станки с ручным или пневматическим способом зажатия и пневмоприводом для осадки. Еще более крупные станки имеют гидравлическую систему для зажатия и осадки деталей при сварке. Горелка в процессе сварки перемещается вдоль оси свариваемых деталей ручным или механическим приводом, в обе стороны от места сварки.

На рис. 62 в качестве примера показан станок МГСП 15/160-53 конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа, предназначенный для сварки труб и стержней на машиностроительных заводах и стройплощадках.

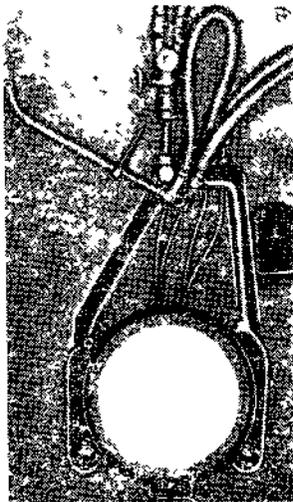
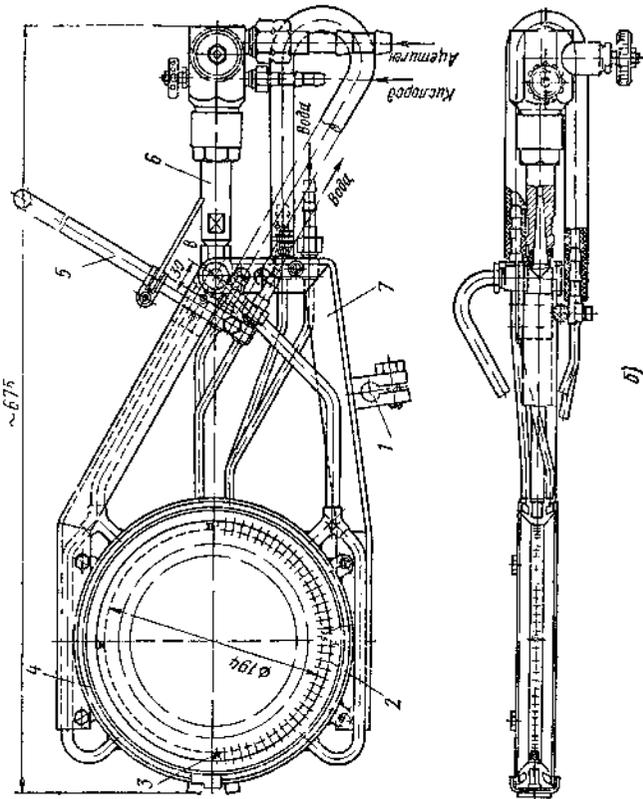


Рис 60
 1 — общий вид
 2 — детали корпуса
 3 — деталь корпуса
 4 — деталь корпуса
 5 — деталь корпуса
 6 — деталь корпуса
 7 — деталь корпуса
 8 — деталь корпуса
 9 — деталь корпуса
 10 — деталь корпуса
 11 — деталь корпуса
 12 — деталь корпуса

На раме 1 укреплены зажимы 2 (подвижный) и 4 (неподвижный), между которыми расположена горелка 3. Станок имеет пневматический мембранный силовой привод 6, расположенный в нижней части рамы. Рычаги 5 и 7 передают усилие от мембранного привода к зажимам 2 и 4. Маховички 8 и 9 служат для центрирования свариваемых деталей.

В пространство между двумя двойными мембранами привода 6 подается воздух давлением до 0,6 МПа (6 кгс/см²) с помощью пятипозиционного распределительного пневмокрana 10. Раздвигаясь,

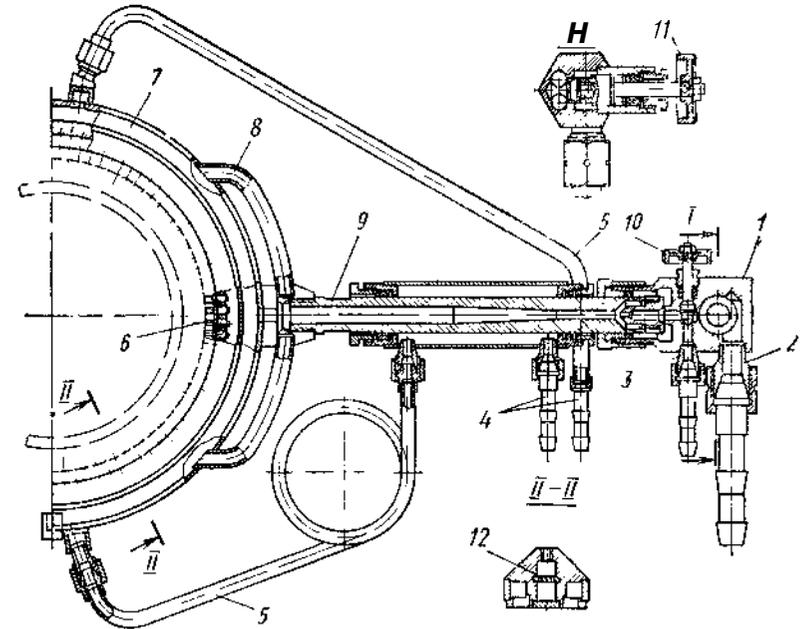


Рис 61 Полукольцевая горелка серии ПКГ

1 — корпус, 2 — штуцер для ацетилена, 3 — штуцер для кислорода, 4 — ниппели для воды, 5 — трубка водопроводной системы, 6 — мембрана, 7 — сварное полукольцо головки, 8 — трубка подвода горючей смеси, 9 — смесительная камера, 10 — вентиль кислорода, 11 — вентиль ацетилена, 12 — распределитель

мембраны действуют на рычаги 5 и 7, а те передают усилие зажимам 2 и 4, вследствие чего происходит сначала зажатие деталей, а затем (при дальнейшем ходе мембран) осадка вследствие перемещения подвижного суппорта с зажимом 2 в горизонтальном направлении.

Станок снабжен пультом управления, пневмоторбиком для продольного колебательного перемещения горелки, автоматическим ограничителем величины осадки, обдувочным устройством для охлаждения зажимов (автоматически включаемым при зажатии горелки), двоянным газовым рубильником для кислорода и ацетилена. Станок позволяет осуществлять сварку при величине осадочных давлений 20—40 МН/м² (2—4 кгс/мм²). При сварке труб

диаметром 159 мм и толщиной стенки 8 мм расход воздуха на один стык 0,35 м³, ацетилена 0,15 м³, кислорода 0,15 м³, воды 7 дм³, продолжительность нагрева стыка 80 с.

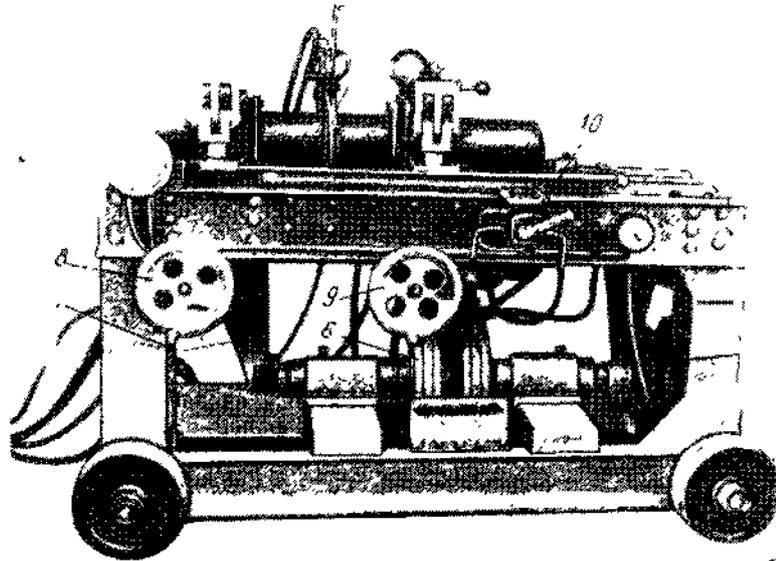


Рис. 62. Станок МГСП 15/160-53 для газопрессовой сварки

Автоматизация станков для газопрессовой сварки обеспечивает постоянство качества сварки и повышает механические свойства сварных соединений. Наиболее совершенным является способ автоматизации процесса сварки по величине осадки, заранее задаваемой для данных условий сварки.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для получения качественного сварного соединения при газопрессовой сварке необходимо соблюдать следующие заданные параметры технологического процесса: температуру нагрева; величину осадочного давления; величину осадки; мощность и состав пламени; величину колебаний горелки вдоль оси изделия. Основные из этих параметров: температура нагрева и величина давления осадки.

Для получения удовлетворительной сварки температура нагрева должна быть выше нижнего предела температуры свариваемости стали данной марки, но ниже температуры, при которой возможен пережог металла. Так, при сварке низкоуглеродистой стали температура нагрева должна составлять 1180—1260° С. Давление осадки

134

для низкоуглеродистой стали должно быть равно при сварке труб 20—25 МН/м² (2,0—3,5 кгс/мм²), сплошных сечений 15—25 МН/м² (1,5—2,5 кгс/мм²). При сварке труб из низколегированной стали давление осадки выбирают равным 50—60 МН/м² (5—6 кгс/мм²), при сварке труб из хромоникелевой аустенитной стали типа X18N10T - 100-120 МН/м² (10-12 кгс/мм²).

Величина осадки при сварке труб $a = (1,0 \div 1,3)s$, при сварке сплошных стержней $a = 0,3d$ (s — толщина стенки трубы, d — диаметр стержня). При недостаточной величине осадки прочность сварного соединения снижается вследствие неполного удаления пленки окислов металла из зоны сварки.

Тепловая мощность пламени, необходимая для прогрева стыка, при сварке труб составляет 1,8—2,2 дм³/ч · мм², при сварке стержней сплошного сечения 1,0—2,5 дм³/ч · мм² ацетилена. Для уменьшения окисления металла в стыке пламя горелки должно иметь избыток ацетилена 5—8% т. е. состав смеси $\beta_0 = 1/1,05 \div 1,08$. Это вызвано тем, что при газопрессовой сварке восстановительная газовая среда в зоне сварки может быть обеспечена только при достаточном удалении концов ядер пламени от поверхности металла. Это возможно лишь при некотором избытке ацетилена в газовой смеси.

Газопрессовая сварка характеризуется применением равномерного и постепенного нагрева, надежной защитой нагреваемого металла факелом пламени от действия кислорода воздуха, однородностью металла в месте сваривания, применением последующей механической и термической обработки. Это обуславливает получение высоких прочностных свойств сварного соединения, временное сопротивление которого при правильном выполнении сварки, как правило, бывает выше, чем у свариваемого металла. Пластичность сварных стыков после проведения проковки и нормализации не ниже пластичности основного металла. При испытании на вибрационную нагрузку пределы выносливости для сварных образцов и образцов из основного металла почти одинаковые.

Микроструктура сварного соединения имеет однородное строение. При недостаточно удачном сочетании давления осадки, времени сварки и температуры нагрева в месте шва появляется светлая ферритная полоска. Для предупреждения появления ферритной полоски при сварке в пластическом состоянии рекомендуется предварительно сплавлять кромки стыка по периметру, после чего производить последующий нагрев стыка до температуры сваривания.

Сварка в пластическом состоянии. Для обеспечения равномерного нагрева всего сечения стыка кромки свариваемых деталей скашивают под углом 6—15°. При сварке труб с толщиной стенки 3,5—8,0 мм угол скоса равен 10—15°. Это обеспечивает хороший провар всей толщины стенки трубы и предупреждает образование значительного утолщения стенки на внутренней поверхности трубы.

Торцы кромок необходимо тщательно очищать от ржавчины, окалины, масла, краски и прочих загрязнений. Свариваемые детали

должны быть возможно точнее сцентрированы относительно друг друга; несовпадение кромок не должно превышать 1,0—1,5 мм.

Для нагревания применяют пламя с избытком ацетилена до 8%, так как окислительное пламя вызывает появление пленки окислов в стыке, что снижает его прочность. Слишком большой избыток ацетилена также вреден — происходит науглероживание свариваемого металла и повышение его хрупкости. При нагреве концы ядер пламени многопламенной горелки должны быть удалены на одинаковое расстояние от поверхности детали. В зависимости от мощности пламени горелки это расстояние составляет 8—20 мм. Нагрев должен быть равномерным по всей поверхности стыка.

Практически всегда нижняя сторона стыка нагревается сильнее верхней, поэтому горелку несколько опускают, приближая на 1—2 мм верхние пламена к поверхности стыка.

Свариваемые детали центрируют, надежно зажимают в губках станка и подвергают предварительному сжатию. Необходимую величину осадки устанавливают заранее. Затем зажигают пламена горелки, регулируют их, обеспечивают правильное положение пламен относительно поверхностей свариваемых деталей и начинают нагрев стыка. По мере нагревания кромки сжатых деталей деформируются, и тогда горелкой совершают колебательные движения (одно-два движения в секунду) в обе стороны от стыка на 10—12 мм, равномерно прогревая металл около шва.

При нагреве до белого каления и появления тонкой пленки плавящегося металла детали сжимают до заданной величины осадки. Затем горелку гасят, стык охлаждают в спокойном воздухе. После охлаждения стык подвергают нормализации нагревом той же горелкой до температуры 850—900° С с последующим охлаждением на воздухе.

Наиболее частый дефект газопрессовой сварки — непровар в стыке вследствие недостаточной температуры нагрева и неравномерного распределения теплоты по всему сечению стыка, а также недостаточной величины осадочного давления. При неточном центрировании деталей происходят взаимное смещение и перекос свариваемых стержней, полос или труб. Посторонние включения в стыке вследствие попадания в него ржавчины, окалины и загрязнений также вызывают непровар и снижают прочность сварки. При слишком продолжительном нагреве возможны перегрев металла, рост зерна в околошовной зоне и, как следствие, понижение пластичности и ударной вязкости сварного соединения. Перегрев можно устранить последующей нормализацией места сварки. Пламя с избытком кислорода приводит к появлению в шве большого количества включений, окислов и снижению прочности соединения.

Сварка оплавлением. При сварке этим способом на оплавление и усадку при сварке дается припуск 15—20 мм. Концы не требуют тщательной подготовки и могут быть обрезаны с помощью кислородной резки. Остатки шлака и окислов после резки удаляют

зубилом, проволочной щеткой или наждачным камнем. Стержни сближают до соприкосновения, зажигают и регулируют характер и положение пламен горелки, а затем начинают нагрев стыка. Сверху стыка пламя несколько приближают к поверхности. Во время нагрева стыка горелку перемещают вправо и влево на расстояния, равные диаметру свариваемой детали. Вначале число колебаний равно 20—25, а в конце — 50—60 в минуту.

По достижении температуры нагрева 1100—1200° С (оранжево-желтый цвет) стержни раздвигают на 15—20 мм, направляют пламена в образовавшийся зазор и оплавливают торцы стержней. При этом вместе с жидким металлом с поверхности торцов стекают шлаки, после чего, не отводя горелки, стержни сжимают с удельным усилием сжатия 30—35 МН/м² (3—3,5 кгс/мм²). Сжатие прекращают после достижения заданной величины усадки.

Для повышения пластичности и ударной вязкости металла место сварки вновь нагревают до температуры 1150° С, срубая утолщение (грат), затем место сварки проковывают до заданного размера. Если это предусмотрено техническими условиями, то проводят термообработку стыка (нормализацию, отжиг) по заданному режиму для данной марки стали.

ГЛАВА XI

ГАЗОВАЯ НАПЛАВКА И ПАЙКА

Наплавка — это процесс нанесения слоя присадочного металла на основной металл, который расплавляется только с поверхности, на небольшую глубину. Наплавку можно осуществлять металлом того же состава, что и основной, и другим металлом, значительно отличающимся от основного по свойствам и химическому составу. Так, например, сталь и чугун наплавляют цветными металлами (латунью, бронзой), твердыми или износостойкими сплавами и др. С помощью наплавки восстанавливают первоначальные размеры изношенных деталей, придают рабочим поверхностям антифрикционные свойства, повышают их твердость и стойкость против абразивного износа и т. п.

Для получения требуемой глубины проплавления при наплавке необходимо регулировать степень нагрева основного и присадочного металлов. Это облегчается при использовании газового пламени, что является существенным преимуществом данного способа. Газокислородное пламя также защищает наплавляемый металл от окисления кислородом окружающей среды и от испарения элементов, входящих в состав наплавляемого металла и придающих ему заданные свойства (антифрикционность, износостойкость и др.). Недостаток газовой наплавки — более низкая ее производительность по сравнению с электрическими способами нагрева и большее термическое воздействие на основной металл.

1. НАПЛАВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

С помощью газового пламени наиболее часто наплавляют стальные и чугунные детали латунью, так как при этом получаются лучшие результаты. Бронзу и медь более целесообразно наплавлять с применением электрических способов нагрева. Латунь наплавляют на детали с целью создания уплотнительных поверхностей в запорных элементах арматуры, применяемой в различных отраслях промышленности, конструкциях клапанов некоторых типов двигателей, насосов и тому подобных изделий.

Основное требование в данном случае — получение плотного слоя, без пор и газовых включений. Не допускаются также включения свободного железа, что возможно в случае наплавки разнородных металлов с ограниченной растворимостью, к которым относится система $\text{Cu} - \text{Zn} - \text{Fe}$.

Для получения прочной связи наплавленного металла с основным необходимо получение хорошего контакта между жидким наплавляемым и основным металлами. Этот контакт определяется условиями смачивания на границе их соприкосновения, где образуются межкристаллические связи. Основную активную роль в процессе смачивания выполняет флюс (в основном бура), который раскисляет поверхность контактирующих металлов (основного и присадочного) и защищает их от окисления во время нагрева. Смачивание улучшается с повышением температуры нагрева основного металла до определенного предела. Если нагрев недостаточен или металл перегрет, то наплавляемый металл собирается в виде капель и плохо смачивает наплавляемую поверхность.

Наилучшие результаты при наплавке латуни на сталь и чугун достигаются при использовании газобразного флюса БМ-1 разработанного ВНИИ АВТОГЕНМАШем, при достаточно низкой температуре нагрева основного металла — в пределах $700 - 850^\circ \text{C}$. Для уменьшения испарения цинка и снижения газонасыщенности наплавленного металла, как и при сварке латуни, используют пламя с увеличенным избытком кислорода (30—40%).

В качестве наплавляемого металла применяют все марки латуней, в которых содержание свинца не превышает 0,1%. Для наплавки слоев, прилегающих непосредственно к основному металлу, не следует использовать кремнистые латуни (ЛК62-05, ЛК80-3 и др.), так как при этом образуется хрупкая прослойка, в основном представляющая твердый раствор кремния в α -железе, со средним содержанием кремния более 11%.

Никель в латуни уменьшает вредное влияние кремния при высоком содержании последнего, обеспечивает бездымность процесса и высокую прочность сцепления с наплавляемой деталью из стали или чугуна. Плотный наплавленный металл бескремнистой латуни и отсутствие испарения цинка обеспечивает только газобразный флюс БМ-1.

Поверхность наплавляемого металла обрабатывают механическим путем. Литейная или прокатная корка должна быть предва-

рительно удалена. Поверхностные дефекты (заусенцы, трещины и пр.) тщательно вырубают. Перед наплавкой в канавку острые углы последней закругляют. Размеры сечения канавки должны обеспечивать свободный доступ в нее пламени и прутка и равномерный нагрев канавки. Поверхности деталей перед наплавкой зачищают до металлического блеска. Присадочный металл для лучшего плавления и надежной защиты газовым пламенем должен иметь круглое сечение, а также поверхность, очищенную от окислов и загрязнений.

При применении порошкообразных флюсов используют пламя с избытком кислорода. Наплавку с газообразным флюсом БМ-1 кремнистых латуней проводят нормальным пламенем. Мощность пламени при наплавке принимают следующую.

| Толщина наплавки, мм | Диаметр прутка, мм | Мощность по ацетилену, $\text{дм}^3/\text{ч}$ |
|----------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| 3—4 | 4—6 | 400—700 |
| 5—6 | 8—10 | 660—1100 |
| 6—7 | 10—12 | 1050—1750 |

Крупные изделия сложной формы наплавляют с предварительным общим подогревом до температуры 500°C . Для массивных деталей можно применять сопутствующий подогрев второй горелкой с наконечником № 5 при толщине стенки более 20 мм и массе детали свыше 70 кг.

При наплавке латуни на сталь и чугун вместо ацетилена можно применять пропан-бутан-кислородное пламя с коэффициентом замены ацетилена пропан-бутаном $\psi = 1$, флюс БМ-1.

При оптимальной скорости истечения смеси расстояние мундштука от поверхности ванны равно 25—35 мм (при механической наплавке 40—45 мм). Плотный беспористый наплавленный металл получается при отношении кислорода к пропану в смеси $\beta_0 = 3,5 \div 4$. При меньшем значении β_0 в пламени образуется избыток паров воды, что уменьшает содержание в нем паров борного ангидрида — флюсующего вещества. Водяные пары также способствуют увеличению количества газовых включений в наплавляемом металле. Повышение мощности пропан-бутан-кислородного пламени увеличивает скорость наплавки и поэтому целесообразно в пределах до 30% от указанных выше норм для ацетилена.

При недостатке флюса не обеспечивается нормальное раскисление и защита жидкого металла от испарения цинка; избыток флюса затрудняет сплавление латуни со сталью или чугуном. Для улучшения процесса смачивания основного металла латунью при ручной наплавке приходится удалять стекловидную пленку флюса с помощью поперечных колебаний прутка. В этих условиях смачивание начинается при температуре 800°C и протекает нормально в интервале температур $800 - 850^\circ \text{C}$. При механической наплавке самопроизвольное разрушение пленки флюса начинается только при температуре $820 - 850^\circ \text{C}$, так как в этом случае прутки подаются без поперечных колебаний. При ацетилено-кислородном пламени, имеющем большую концентрацию теплоты и более высокую темпе-

ратуру, этих затруднений не возникает в связи с быстрым нагревом пленки флюса до температуры, необходимой для ее разрушения.

Наплавку латуни на сталь и чугун производят левым способом, или непрерывным валиком, или обратноступенчатым швом. В последнем случае в месте соединения валиков необходимо перекрывать предыдущий участок на 15—20 мм. Наплавку ведут в нижнем положении, располагая поверхность детали под углом $8-15^\circ$ к горизонтали для получения большей толщины наплавленного слоя. ЛК62-05 латунью первого и последующих слоев кремнистой латунию, должен оставаться нерасплавленным на толщину не менее 2 мм от основного материала для сохранения прочности его сцепления с ней.

При наплавке чугуна с порошкообразным флюсом следует учитывать возможность выгорания из него графита при температуре 900—950° С, продукты сгорания которого затрудняют смачивание. Поэтому графит предварительно выжигают с поверхности детали окислительным пламенем горелки. При наплавке чугуна возможно его отбеливание вследствие высокой температуры нагрева. Наплавка чугуна латунию с порошковыми флюсами требует высокой квалификации сварщика и ее рекомендуется применять лишь в исключительных случаях.

При газодюзовой наплавке латуни на чугун и сталь вначале деталь прогревают горелкой до температуры 700° С, при которой начинается смачивание основного металла латунию. До температуры 500° С нагревать можно без подачи флюса в пламя горелки, далее — только с флюсом. Наплавляемую поверхность располагают под углом $8-10^\circ$ к горизонтали, наплавку ведут левым способом 30—60°, углу наклона оси мундштука к горизонтали угол между осями мундштука и прутка 90—110°. Конец прутка должен быть погружен в ванну жидкого металла.

При правильном течении процесса наплавки металл ложится компактным валиком; выделение паров окиси цинка отсутствует; ванна расплавленной латуни не кипит; часть ванны, не подвергающаяся воздействию пламени, закрыта сплошной пленкой шлака, поверхность наплавленного металла гладкая и покрыта сплошной коркой шлаков коричневого цвета; поры, свищи и инородные включения отсутствуют.

При наплавке последующих слоев угол между осью мундштука и поверхностью основного металла может быть увеличен. Проковка и очистка предыдущих слоев перед наплавкой последующих не требуется. Вследствие более низкой температуры наплавки при применении газообразного флюса графит при наплавке чугуна не выгорает и предварительного выжигания не требуется.

Для механизации наплавки разработаны специальные станки, например, станок УФН-1-60 конструкции ВНИИ АВТОГЕНМАШИНЫ. Станок используют для наплавки плоских кольцевых поверхностей (уплотнительных колец в арматуре). При некоторой модернизации этого станка возможна наплавка поверхностей других очертаний.

140

2. НАПЛАВКА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Твердыми и износостойчивыми сплавами наплавляют детали, рабочие поверхности которых подвергаются абразивному износу или испытывают ударную нагрузку в процессе работы: буровой инструмент, зубья ковшей экскаваторов, лемеха плугов, клапаны, центры токарных станков, штампы, режущий инструмент (сверла, фрезы, резцы) и пр. Наплавке лучше всего поддаются углеродистые стали с содержанием не выше 0,6% С, хромоникелевые и ванадиевые стали. Марганцовистые, хромомолибденовые, кремнистые стали, склонные к закалке и трещинообразованию при наплавке, а также чугун труднее поддаются наплавке и требуют предварительного подогрева. Для получения ровного, плотного слоя без пор, трещин и отслоений требуется, чтобы наплавляемый сплав имел более низкую температуру плавления, чем основной металл, а его коэффициент линейного расширения был бы близок к таковому для основного металла. Для наплавки используют зернистые и порошковые наплавочные смеси, литые сплавы в виде прутков, стальную наплавочную проволоку и электроды, трубчатые наплавочные стержни и пр.

Из износостойких сплавов широкое применение находят: сталинит — порошкообразная смесь, состоящая из железа, хрома, марганца, углерода и кремния; вокар-зернистая наплавочная смесь, содержащая вольфрам и образующая в наплавленном металле твердый раствор высокотвердых карбидов вольфрама в железе; реллиты — трубчато-зернистые сплавы ТЗ на основе вольфрама с 3% С; висхом — дешевая зернистая смесь, не содержащая вольфрама и состоящая из железа, углерода (6%), марганца, хрома; боридная порошковая смесь, состоящая из 50% боридов хрома и 50% железного порошка.

При газопламенной наплавке находят применение в основном литые износостойкие сплавы, так как порошкообразные и зернистые смеси сдуваются газовым пламенем. Литые сплавы имеют температуру плавления 1260—1300° С и представляют собой твердый раствор карбидов хрома в кобальте (стеллиты) или в никеле и железе (сормаиты). Сплавы на основе железа более дешевы, но более хрупки, чем сплавы на никелевой и кобальтовой основе. Стеллиты имеют большую вязкость, коррозионную стойкость и лучшие наплавочные свойства по сравнению с сормаитами.

Сормаит выпускают в прутках диаметром 6—7 мм, длиной 400—450 мм и в виде порошка, крупного и мелкого. Прутковый сормаит применяют для газовой или электродуговой наплавки пуансонов, матриц, роликов, деталей засыпных аппаратов доменных печей, пропусков прокатных станов, лемехов плугов и т. п. Порошковый сормаит используют для наплавки т. в. ч. деталей почвообрабатывающих машин и других деталей. Твердость наплавленного слоя HRC 73—74.

Если деталь изношена, то перед наплавкой твердым сплавом ее наплавляют низкоуглеродистой проволокой до восстановления пер-

воначального профиля. Затем это место очищают от шлаков и окалины, снимают фаску или делают выточку (канавку). При наплавке сормайт № 1 глубина выточки или канавки равна: для деталей, работающих в статическом состоянии, 1,5—2,5 мм; для режущих кромок инструмента 0,5—1,5 мм; для инструмента, работающего при ударах, — не более 0,5 мм. При наплавке сормайт № 2, который менее хрупок, чем сормайт № 1, глубину канавки (фаски) увеличивают в 2 раза. Глубина канавки определяет толщину рабочего слоя наплавки. Ширина фаски равна 5—10 мм.

Поверхность детали перед наплавкой зачищают до металлического блеска напильником или абразивом. Наплавку ведут левым способом, наконечником № 2, 3 или 4, в зависимости от размеров детали. В процессе наплавки пламенем горелки непрерывно подогревают наплавляемую поверхность металла. Подогрев считается достаточным, когда на детали появляется тонкая пленка жидкого металла. Наплавку ведут слегка науглероживающим пламенем, так как окислительное пламя вызывает выгорание легирующих примесей наплавляемого слоя и снижение его твердости. Присадочный пруток держат впереди пламени, обогревая его с торца и с боков. Перемещение горелки осуществляется так же, как и при газовой сварке. Толщина слоя должна быть не более 6—7 мм во избежание выкрашивания наплавленной кромки.

Твердый сплав можно наплавлять на предварительно подогреваемую деталь до температуры 500—750° С. Подогрев предупреждает коробление детали и улучшает качество наплавки. Наплавку ведут в нижнем положении. Для лучшего сплавления наплавляемого слоя с основным металлом в качестве флюса применяют прокаленную буру.

После наплавки обязательно медленное охлаждение для предотвращения появления трещин в наплавленном слое.

Для наплавки бурового инструмента в нефтяной промышленности используют стержни ТЗ, представляющие собой стальную трубку размером 6 X 0,5 мм, заполненную крупкой из карбидов вольфрама. При наплавке стержнями ТЗ в наплавленном металле содержится 15% железа и 85% карбидов вольфрама, обеспечивающих высокую твердость и износоустойчивость наплавленного слоя. Карбиды вольфрама вкраплены в железо в виде зерен.

Для механизации наплавки однотипных деталей применяют специальные станки. Например, для газопламенной наплавки износоустойчивых сплавов на режущую кромку лемехов применяется станок СГЛ-3,

3. ПАЙКА МЕТАЛЛОВ

Пайка — это технологический процесс получения неразъемных соединений металлов в нагретом состоянии посредством расплавления более легкоплавкого, чем соединяемые металлы, сплава, называемого припоем,

По существу и природе протекающих процессов пайку следует рассматривать как сочетание трех одновременно происходящих процессов: 1) нагревания паяемого металла до температуры расплавления припоя; 2) плавления припоя, взаимной диффузии припоя и паяемого металла, кристаллизации металла шва; 3) взаимодействия припоя с паяемым металлом и возникновения межкристаллитных форм связи.

Таким образом, пайка представляет собой достаточно сложный и многообразный процесс.

При пайке существенную роль играют процессы диффузии, при которой могут образовываться или твердый раствор основного металла в припое, или химическое соединение металла и припоя. Предпочтительнее образование твердого раствора, так как он повышает вязкость и коррозионную стойкость паяного соединения. Процесс диффузии происходит на границе твердой и жидкой фаз и диффузия имеет неоднородный характер. Припой в результате диффузии проникает в основной металл по границам зерен последнего. Глубина диффузии определяется видом припоя и основного металла и режимом пайки, т. е. температурой и временем нагрева.

Пайка позволяет получать высококачественные соединения не только однородных материалов, но практически любых разнородных металлов и сплавов. В качестве источников теплоты при пайке используют газокислородное и газовоздушное пламя, электронагрев в специальных печах и ваннах, пламенные печи, токи высокой частоты, индукционный нагрев, паяльники и т. п. Рассмотрим только пайку с нагревом газовым пламенем.

Различают два основных вида пайки: высокотемпературную и низкотемпературную (ГОСТ 17327-71). Температура плавления припоев для высокотемпературной пайки составляет свыше 550° С, а для низкотемпературной — ниже 550° С. При высокотемпературной пайке предел прочности соединения 500 МН/м^2 (50 кгс/мм^2); при низкотемпературной эта величина не превышает $50\text{--}70 \text{ МН/м}^2$ ($5\text{--}7 \text{ кгс/мм}^2$). В основу припоев с высокой температурой плавления входят медь, цинк, кадмий и серебро, а в основу припоев с низкой температурой плавления — свинец, олово, сурьма.

Хорошо поддаются пайке чугун, сталь углеродистая и легированная, медь и ее сплавы, никель и его сплавы, алюминий. Пайка — достаточно производительный процесс, легко механизуемый при массовом производстве, обеспечивает необходимую прочность и герметичность соединений, не вызывает изменения структуры основного металла. К недостаткам пайки относятся: необходимость применять преимущественно соединения внахлестку; более низкая прочность и пластичность соединений по сравнению с подобными характеристиками основного металла; необходимость расхода дефицитных металлов (олова, серебра и др.); более высокие требования к подготовке деталей под пайку.

Аппаратура для пайки. В качестве основного инструмента при ручной и механизированной пайке служит горелка. В зависимости

от вида припоя, характера паяного соединения и организации технологического процесса используют различные виды горелок — кислородно-газовые, однопламенные и многопламенные, инжекторные и безынжекторные, газоздушные, вихревые и пр. Для повышения производительности применяют мундштуки той формы, которая наиболее соответствует конструкции паяного соединения. Широко применяют горелки, работающие на заменителях ацетилена — пропане, природном газе, городском газе, керосине, бензине и т. п.

Мощность горелки подбирают в соответствии с видом припоя и паяного соединения. Многопламенные мундштуки обеспечивают более равномерный нагрев поверхности пайки. Кроме того, сокращается размер ядра пламени и нагрев можно вести при меньшем расстоянии от поверхности металла, что на 15—20% увеличивает эффективную мощность пламени. Многопламенные горелки рекомендуются для пайки крупногабаритных деталей со швами значительной длины.

Припои. Припои выпускают в виде проволоки, прутков, полос, фольги, порошковой проволоки, порошков, пасты и пр. предъявляемые к припою требования следующие.

1. Температура его плавления должна быть на 50—60° ниже температуры паемых металлов.

2. Припой должен быть жидкотекуч, хорошо растекаться, проникая в щели зазора, поры и хорошо смачивая металл.

3. Припой и металл должны взаимно диффундировать и образовывать сплав.

4. Необходима примерно одинаковая стойкость против коррозии припоя и металла.

5. Припой не должен быть красноломким.

6. При пайке разнородных металлов следует применять пластичные припои.

7. Припой должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к внешнему виду изделия, и по возможности не содержать дорогих и дефицитных компонентов.

Все припои для высокотемпературной пайки, применяемые в промышленности, можно разбить на следующие группы: медные, медно-цинковые (латуни), серебряные, медно-фосфористые.

Медные припои прочны, пластичны, но требуют высокой температуры нагрева. Применяют их для пайки стали преимущественно в печах с защитной атмосферой. При газопламенной пайке их использовать не следует ввиду возможности появления трещин при восстановлении закиси меди водородом продуктов сгорания пламени горелки.

Медно-цинковые припои применяют при пайке стали, чугуна и медных сплавов, меди, бронзы, никеля. Лучшие результаты дает припой марки ЛОК 62-06-04, содержащий 60—63% Си, 0,3—0,4% Sn, 0,4—0,6% Si, остальное — цинк. Температура плавления его 905° С, предел прочности 450 МН/м² (45 кгс/мм²). Кремний и олово в припое играют роль энергичных восстановителей, предохраняю-

щих цинк от окисления и испарения. Кремний при восстановлении окислов цинка окисляется до кремнезема, соединяется с флюсами и образует боросиликаты, которые всплывают на поверхность жидкого металла, покрывая его пленкой, препятствующей окислению и испарению цинка. Олово способствует растеканию припоя по металлу и улучшает заполнение зазоров и пор. Припой ЛОК 62-06-04 обеспечивает плотный, беспористый паяный шов с высокими механическими свойствами. Процесс пайки происходит без выделения паров окиси цинка, что улучшает условия труда в цехе. Этим припоем можно паять сосуды, работающие под давлением до 2,5 МПа (25 кгс/см²). Серебряные припои содержат, кроме серебра, медь и цинк. Для снижения температуры плавления в эти припои добавляют кадмий, фосфор и другие элементы. Температура плавления серебряных припоев 720—870° С. Их можно применять для пайки всех черных и цветных металлов, кроме алюминия и цинка, имеющих более низкую температуру плавления, чем припой. Швы получаются с высокими механическими свойствами, коррозионностойкими, хорошо работают при изгибающих, ударных и вибрационных нагрузках. Ассортимент серебряных припоев очень широк. В зависимости от содержания серебра выпускаются припои марок от ПСр 10 до ПСр 70.

Медно-фосфористые припои находят широкое применение в электропромышленности и служат заменителями припоев ПСр 25, ПСр 45 и низкотемпературного припоя. Их используют только для пайки меди и латуни. Для пайки черных металлов они непригодны, так как не смачивают поверхности спая и в пограничных диффузионных слоях образуют хрупкие фосфиды железа. Они непригодны также для деталей, работающих при ударных вибрационных нагрузках. Вместо припоя ПСр 25 и ПСр 45 при пайке меди и латуни используют припой ПСр МФ 15-80-5 состава 15% Ag, 5% P, остальное — медь.

Припои для низкотемпературной пайки готовят на основе оловянно-свинцовых сплавов различного состава. В зависимости от содержания олова используют припои марок ПОС 80 (89—90% Sn) до ПОС 18 (17—18% Sn). Применяют также сурьмянистые низкотемпературные припои марки ПОСС-4-6. Температура плавления этих припоев колеблется от 222—183° С (ПОС 90) до 277—183° С (ПОС 18). Предел прочности 28—59 МН/м² (2,8—5,9 кгс/мм²). Наибольшее распространение получили припои марок ПОС 25, ПОС 30, ПОС 40 и ПОС 50.

Для пайки алюминия и его сплавов используют специальные припои. В качестве низкотемпературных припоев применяют сплавы состава: 1) 50% Zn, 45% Sn, 5% Al; 2) 20—25% Zn, 2—6% Al, остальное — олово. Швы алюминия, паянные низкотемпературными припоями, склонны к коррозии, и их необходимо покрывать защитными пленками. Для высокотемпературной пайки алюминия используют припои, содержащие не свыше 70% Al, представляющие собой тройные сплавы Si — Си — Al, с температурой плавления 525° С

состава: 5,2—6,5% Si, 26—29% Si, остальное — алюминий. С. А. Лоцманов разработал припой 34А, получаемый сплавлением (50—60% температура 650—700° С двух стандартных сплавов: № 1 (Si, остальное — алюминий) и № 2 (8—14% Si, остальное — алюминий)). Швы алюминия, паянные высокотемпературными припоями, имеют удовлетворительную стойкость против коррозии.

Флюсы для пайки. Флюс удаляет пленку окислов, предохраняет металл от окисления, улучшает смачиваемость металла и способствует затеканию припоя в зазоры между паяемыми деталями. Испарения при плавлении флюса должна быть ниже, а температура выше температуры плавления припоя. Задача флюса — раскислять окислы или связывать их в легкоплавкие и легко растворимые химические соединения. Более низкая плотность флюса обеспечивает его всплытие на поверхность расплавленного припоя и удаление из шва. Применяют флюсы в виде порошков, пасты и газа.

Для высокотемпературных припоев типа латуни применяют флюсы с температурой плавления выше 750° С. Для более низкотемпературных серебряных припоев используют флюсы с температурой плавления ниже 750° С. В качестве тугоплавких флюсов используют технич. $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O})$ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) или лучше прокаленную буру, которая не сдувается пламенем горелки. Буру применяют при пайке низкоуглеродистых сталей и меди припоями, имеющими температуру плавления выше 800° С. Для пайки коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов применяют специальные флюсы № 200 и № 201, способные растворять окисные соединения, присутствующие на поверхности этих сталей. Для пайки серебряными припоями используют флюсы № 209 и 18-В.

Составы всех этих флюсов следующие (%):

| № флюса | 200 | 201 | 209 | 18-В |
|---------------------------------------------|-----|-----|-----|------|
| Борная кислота (H_3BO_3) | 70 | 80 | — | 60 |
| Борный ангидрид (B_2O_3) | — | — | 35 | — |
| Бура | 21 | 14 | — | — |
| Фтористый кальций (CaF_2) | 9 | 5,5 | — | — |
| Лигатура (Al—Cu—Mg) | — | 0,5 | — | — |
| Фторборат калий, обезвоженный (KF) | — | — | 42 | 40 |
| Фторборат калий (KB_4F_4) | — | — | 23 | — |

Флюс 18-В менее активен, чем флюс № 209. B_2O_3 , тугоплавких флюсах активная их часть — борный ангидрид $\text{SiO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$, в реакцию с окислами, образует бораты и др. В легкоплавких флюсах при пайке серебряными или медно-фтористыми припоями входящие в состав флюса галогенидные соли растворяют окислы, а борнокислые соли образуют химические соединения, увеличивая активность флюса. Для пайки низкотемпературными припоями в качестве флюса применяют водный раствор хлористого цинка (10—30%), канифоль или ее раствор в

ортофосфорной кислоте и спирте и др. Для низкотемпературной пайки алюминия применяют следующие флюсы, разработанные С. Н. Лоцмановым.

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Хлористый цинк 85% | 3. Хлористый цинк 95% |
| Хлористый аммоний 10% | Фтористый натрий 5% |
| Фтористый натрий 5% | 4. Хлористый цинк 90% |
| 2. Хлористый цинк 90% | Хлористый аммоний 8% |
| Хлористый аммоний 10% | Фтористый натрий 2% |

При высокотемпературной пайке алюминия применяют флюсы, действующие также, как и флюсы для сварки алюминия и его сплавов, которые образуют легкоплавкие фтористые и хлористые соединения, хорошо растворяющие пленку окиси алюминия. Действие этих флюсов должно проявляться при более низкой (450—550° С) температуре, чем флюсов для сварки. Это обеспечивается добавлением во флюс хлористого лития. Разработанный С. А. Лоцмановым флюс 34А имеет состав: 25—35% хлористого лития, 8—15% хлористого цинка, 12—18% фтористого калия, хлористый калий — остальное. Флюс имеет температуру плавления 420° С. Для пайки трещин в алюминиевом литье применяют флюс состава: 8—10% фтористого натрия, 10—15% хлористого бария, 15—20% хлористого натрия, 30—40% хлористого цинка, хлористый калий — остальное.

Конструкции соединений. Чем тщательнее подогнаны детали и чем больше площадь спая, тем выше прочность паяного соединения. Преимущественно применяют соединения внахлестку. Зазор должен быть минимальным и для серебряных припоев равным 0,05—0,03 мм, при трубчатых элементах 0,2—0,25 мм. Величина зазора особенно влияет на прочность пайки металлов с высоким пределом прочности. При пайке меди величина зазора оказывает меньшее влияние на прочность соединения. При низкотемпературной пайке применяют только соединения внахлестку, длина нахлестки составляет 3—60 мм, в зависимости от толщины металла и требований к изделию. При толщине 2—5 мм и давлении 0,5 МПа (5 кгс/см²) ширину нахлестки принимают не менее 40 мм, шов рассчитывают на срез.

Подготовка металла к пайке. Поверхности паяемых деталей тщательно очищают от загрязнений, окислы, окислов жира и пр. механическими способами или травлением в кислотах с последующей промывкой и сушкой. Не рекомендуется применять пескоструйную очистку, так как оставшиеся на металле песчинки затрудняют смачивание.

Техника пайки. При низкотемпературной пайке на очищенные поверхности металла наносят флюс и нагревают место спая паяльником или пламенем горелки. При этом флюс испаряется, а расплавленный припой затекает в зазор. Для лучшего затекания припоя поверхности в месте спая предварительно облуживают припоем и после этого узел собирают и паяют.

При высокотемпературной пайке детали закрепляют в кондукторе с заранее установленным зазором между паяемыми поверхно-

стями и величиной нахлестки. Нагрев ведут широкой частью пламени. Окислительное пламя обеспечивает более плотный шов, но внешний вид шва хуже. Легче паять пламенем с избытком ацетилена, поскольку при этом снижается возможность перегрева припоя, а более мягкое пламя не выдувает флюс. При пайке разнородных металлов пламя направляют на более толстый и более теплопроводный металл с целью равномерного нагрева деталей. Поскольку припой стремится всегда затекать на более нагретое место, пламя следует держать так, чтобы оно было направлено на место спая.

Флюс наносят в момент пайки на нагретое место деталей. Припой также покрывают флюсом. Припой расплавляют теплотой нагретых деталей, касаясь их концом прутка припоя. В пламени припой плавить не следует. После окончания пайки припой должен медленно остывать вместе с деталью. При пайке цветных металлов их можно охлаждать в воде. При этом бура, входящая в состав флюсов, хорошо удаляется с поверхности паяного шва. Полевой шпат, если он входит в состав флюсов, удаляют промывкой в горячей воде. Для удаления остатков буры и флюсов можно применять также травление в 10%-ном растворе серной кислоты с последующей промывкой в воде.

При пайке алюминия место пайки очищают тонкой проволочной щеткой, промывают бензином с целью обезжиривания с последующим травлением слабым раствором азотной кислоты. Затем место пайки подогревают пламенем горелки до температуры начала плавления флюса, наносят флюс, вводят в спай припой и расплавляют последний. После пайки шов очищают от остатков флюса и излишнего припоя. От флюса очищают тщательной промывкой в теплой воде и протиркой чистой тканью. При пайке алюминия применяют только соединения внахлестку. Получаемые швы не обладают достаточной пластичностью. При массовом производстве процесс газопламенной пайки однотипных деталей механизуют. При этом сохраняется часть ручных операций, как, например, сборка деталей, нанесение флюса, подача припоя. Припой также заранее закладывают на место спая в виде колец из проволоки. Этот способ наиболее целесообразен и экономичен при пайке трубчатых соединений.

ГЛАВА XII

ГАЗОПЛАМЕННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА

Процесс газопламенной поверхностной закалки состоит в быстром, интенсивном нагревании поверхностного слоя детали до температуры выше критической точки A_{c3} и последующем быстром охлаждении водой. При этом в поверхностном слое образуется закаленная (мартенситная) структура (рис. 63), переходящая в основную

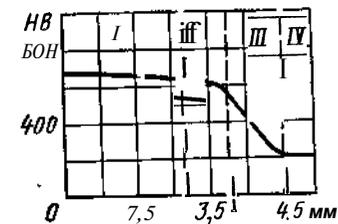


Рис. 63. Изменение твердости и структуры по глубине закаленного слоя для стали 40:

/ — мартенсит (закаленный слой); // — троосто-мартенсит (переходная зона); /// — троостит (переходная зона); IV — перлит и феррит (сердцевина)

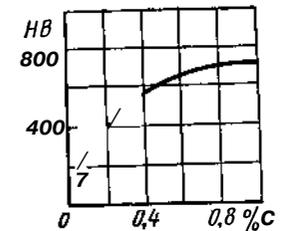


Рис. 64. Твердость закаленного слоя в зависимости от содержания углерода в стали при закалке ацетилено-кислородным пламенем

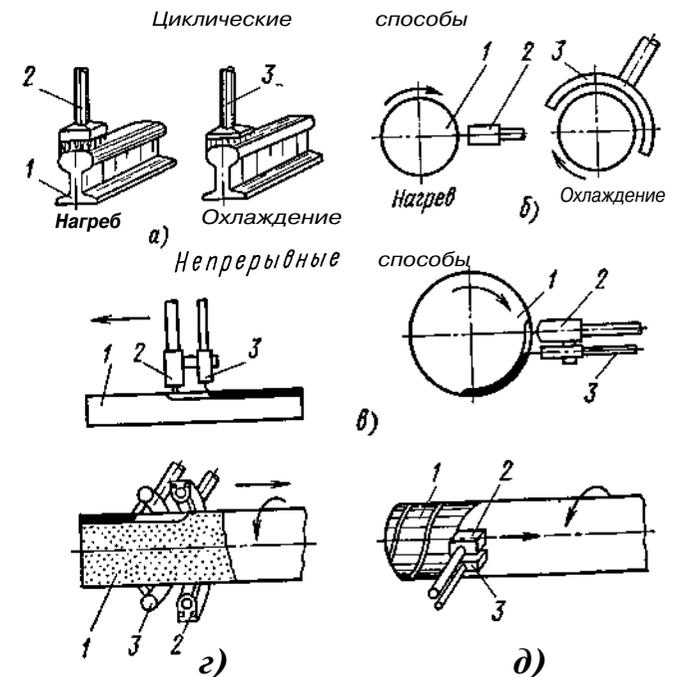


Рис. 65. Способы пламенной поверхностной закалки: а — стационарный; б — быстрого вращения; в — непрерывно-последовательный; г — комбинированный кольцевой; д — комбинированный спиральный; 1 — изделие; 2 — горелка; 3 — разбрызгиватель

структуру незакаленного металла через промежуточные (переходные) зоны. Переходные структуры появляются вследствие естественного отпуска за счет теплоотвода от поверхностного слоя в средние слои. Вследствие наличия переходных структур исключается отслаивание закаленного слоя от детали, что иногда имеет место при других способах упрочнения поверхности деталей (например при азотировании, цементации).

На рис. 64 показано изменение твердости поверхностного слоя после закалки газокислородным пламенем в зависимости от содержания углерода в стали. Для поверхностной закалки применяют стали, содержащие 0,4—0,7% С.

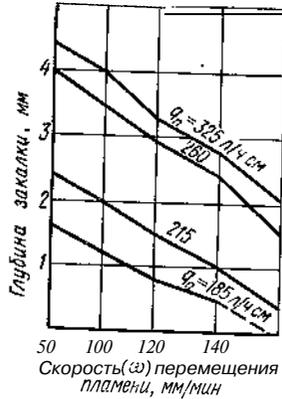


Рис. 66. Изменение глубины закаленного слоя в зависимости от погонной мощности пламени q_0 и скорости его перемещения со при поверхностной закалке плоских поверхностей непрерывно-последовательным способом

Разработано несколько способов газопламенной поверхностной закалки (рис. 65). При циклических способах нагревают всю поверхность изделия одновременно до закалочной температуры, а затем охлаждают также одновременно во всех точках. Нагревают неподвижной или передвигающейся горелкой. Для закалки изделий круглого сечения применяют циклический способ быстрого вращения.

Непрерывный способ состоит в перемещении изделия относительно горелки или, наоборот, горелки относительно изделия с постоянной заданной скоростью. Горелка нагревает изделие до закалочной температуры, а прикрепленный к горелке разбрызгиватель подает на поверхность детали охлаждающую жидкость, осуществляющую закалку.

При закалке цилиндрических изделий и медленном вращении (комбинированный кольцевой способ) начальный участок закаленного слоя отпускается по дуге длиной 20—30 мм. При комбинированном спиральном способе закаленные слои должны перекрывать друг друга на 5—10 мм. В зависимости от положения детали в пространстве и изменения относительного перемещения горелки и изделия возможны разновидности указанных основных способов.

Особенность пламенной поверхностной закалки — самоотпуск изделия после закалки при температуре 120—200° С, что приводит к снижению твердости на 3—5 единиц RC , но зато уменьшает внутренние напряжения в изделии, вызванные закалкой.

Области применения пламенной поверхностной закалки весьма широки: закалка концов рельс, крестовин, стрелок, крупномодульных и мелкомодульных шестерен, штоков компрессоров, роликов и опорных катков, шеек коленчатых валов, зубьев фрез, направляющих станин металлообрабатывающих станков и других деталей.

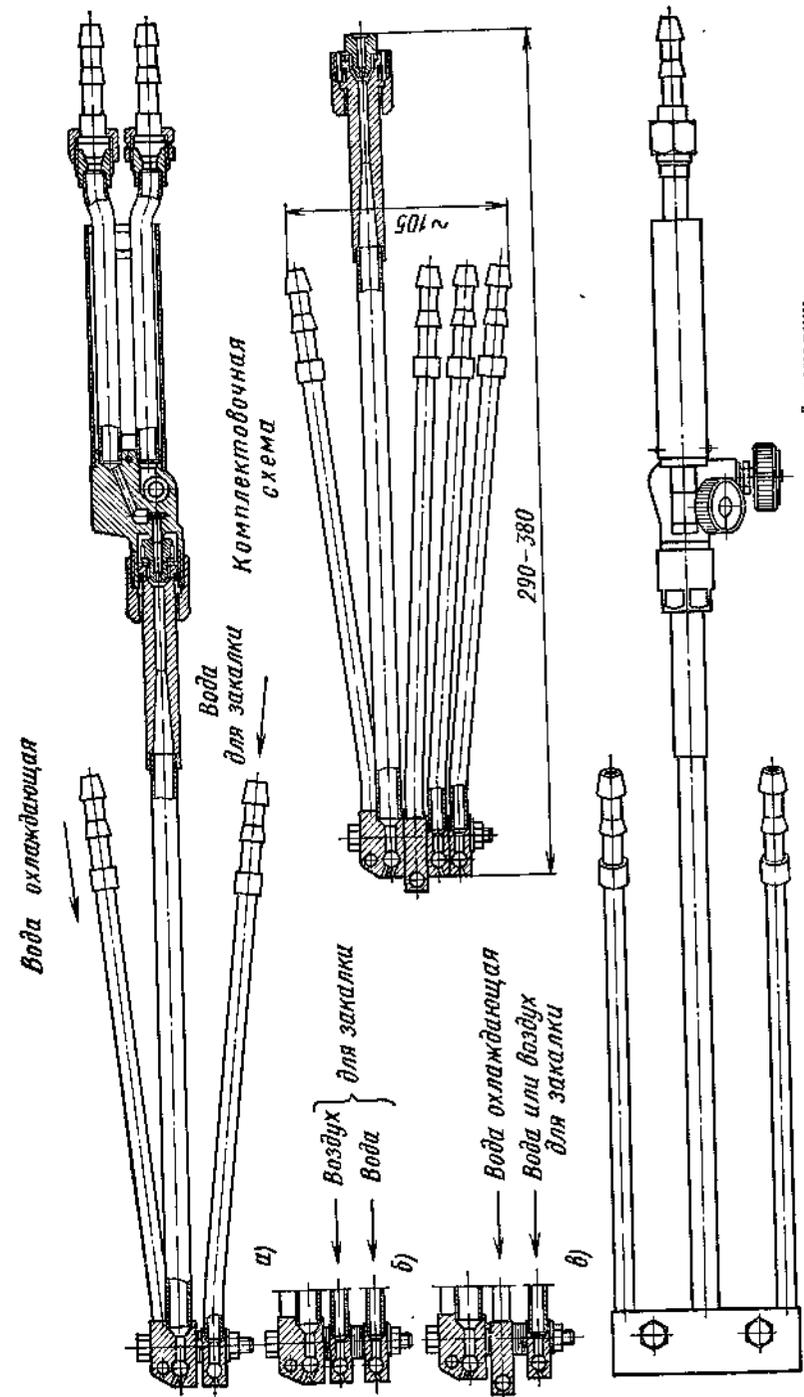


Рис. 67. Схемы сборки наконечника НАЗ для поверхностной закалки: а — на мартенсит, б и в — на троостит и сорбит

Основное преимущество пламенной поверхностной заправки — простота и дешевизна используемого оборудования, что делает этот способ доступным для использования в любых производственных условиях. В качестве горючего применяется ацетилен, пропан-бутан, природный газ, пары бензина и керосина.

Глубина закаленного слоя зависит от скорости перемещения горелки относительно поверхности детали и от погонной мощности пламени, измеряемой в $\text{дм}^3/\text{ч}$ ацетилена на 1 см ширины закаливаемой поверхности. Данные о зависимости скорости перемещения горелки и погонной мощности пламени на глубину заправки для стали 45 (круглый стержень диаметром 58 мм) приведены на рис. 66. Глубина заправки уменьшается со снижением погонной мощности пламени и возрастанием относительной скорости перемещения горелки,

1. АППАРАТУРА

Основной инструмент для поверхностной заправки — горелка. Форма мундштука горелки определяется конфигурацией поверхности закаливаемой детали. Для заправки используют также специальные наконечники, присоединяемые к стволу стандартной сварочной горелки. Так, например, для поверхностной термообработки стальных и чугунных деталей, а также нормализации, заправки на мартенсит, сорбит и троостит применяют наконечники серии НАЗ, работающие на ацетилено-кислородной смеси (рис. 67). В комплект НАЗ входят пять наконечников.

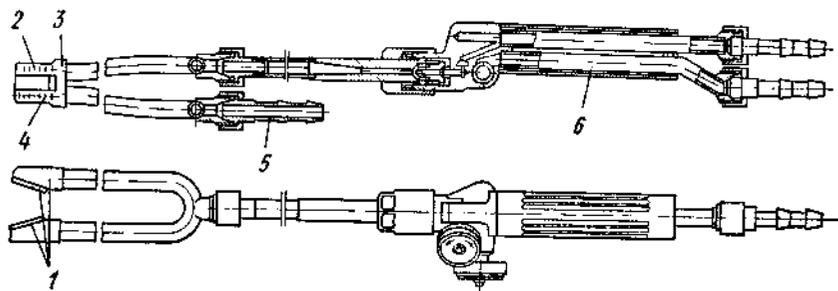


Рис. 68. Горелка с наконечником для заправки зубьев шестерен:

1 — выступы, разделяющие газовые и водяные сопла; 2 — газовые сопла; 3 — мундштук; 4 — водяные сопла; 5 — трубка для подвода воды; 6 — ствол горелки «Москва»

Заправку тел вращения этими наконечниками выполняют способом быстрого вращения, а деталей с линейной поверхностью — непрерывно-последовательным. Для заправки цилиндрических деталей диаметром до 100 мм ствол горелки «Москва» с наконечником НАЗ устанавливают неподвижно в суппорте токарного станка. При непрерывно-последовательном способе горелка перемещается с помощью суппорта токарного станка или тележки переносного прибора для кислородной резки.

Рис. 69. График для определения скорости перемещения горелки при непрерывно-последовательной заправке в зависимости от толщины детали

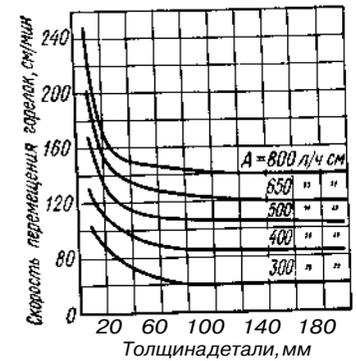


Рис. 70. Заправка зубьев крупномодульных шестерен:

a — односторонняя заправка зубьев плоской горелкой; *б* — заправка зубьев на специализированной установке УЗШ-1 и АЗШ-2; *в* и *г* — положение мундштуков горелки относительно зуба; 1 — шестерня; 2 — горелка; 3 — подача газов; 4 — подача воды; 5 — верхний упор; 6 — нижний упор; 7 — золотниковый воздухохораспределитель; *A* — положение горелки в момент гашения пламени; *Б* — то же, в момент начала заправки

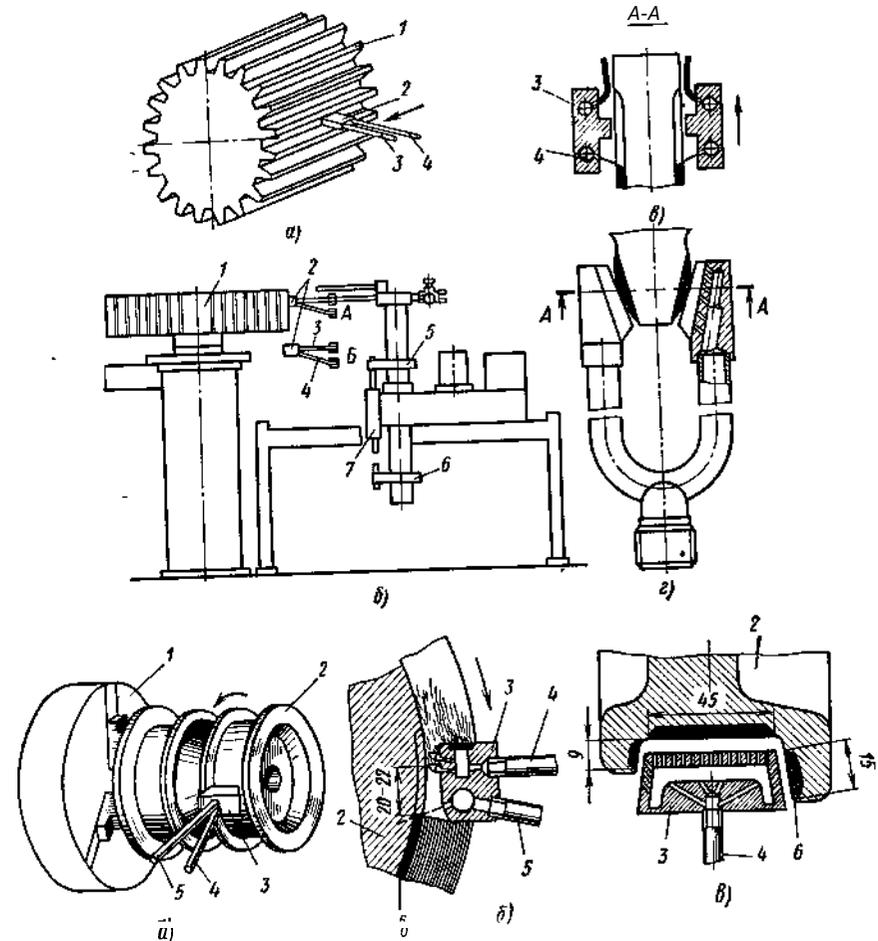


Рис. 71. Заправка роликов трактора:

a — установка ролика при заправке; *б* и *в* — расположение горелки относительно ролика; *г* — патрон токарного станка; 2 — ролик; 3 — горелка; 4 — подача воды; 5 — подача газов; 6 — закаленный слой

Промышленность выпускает также закалочные горелки ГЗЗ-2-72, работающие на смеси пропан-бутан — кислород. Расход пропан-бутана 1,12—2,38 м³/ч, кислорода 3,95—8,35 м³/ч. Горелки комплектуются шестью наконечниками для ширины закали 45; 55; 60; 65; 70 и 85 мм. Горелки ГЗЗ-2-72 предназначены для закали и нормализации массивных изделий с поверхностью линейного профиля. Охлаждающие устройства у них сменные.

На рис. 68 показана горелка для закали зубьев шестерен непрерывно-последовательным способом, при движении горелки снизу вверх, с одновременной закалкой обеих рабочих поверхностей одного зуба. Эти горелки используют для закали шестерен с модулем 10—30 мм.

Для массовой закали одностипных деталей (шестерен, катков, валков и пр.) применяют специальные станки и приспособления.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Режимы закали при непрерывно-последовательном способе выбирают по графику рис. 69. Наилучшие результаты закали получают при линейном расходе ацетилена 400—600 л/ч·см, линейном

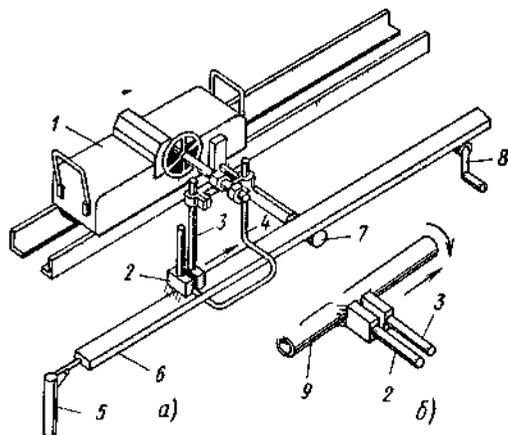


Рис 72 Закалка направляющих:

а — прямоугольных, б — трубчатых, 1 — тележка с электродвигателем, 2 — разбрызгиватель, 3 — горелка, 4 — разбрызгиватель для предварительного и сопутствующего охлаждения, 5 — поддерживающая стойка, 6 — направляющая, 7 — ролик, 8 — откидная опора, 9 — трубчатая направляющая

расходе воды 0,4—0,6 л/мин·см и расстоянии между зоной нагрева и зоной охлаждения 20—25 мм. Сталь с содержанием углерода более 0,6% следует закаливать с промежуточным охлаждением воздухом, расход которого 1,5—2,5 м³/ч·см.

При комбинированном спиральном способе закали линейными горелками режимы также выбирают по графику рис. 69. При этом

за один оборот вала суппорт должен перемещать горелку на расстояние, равное ширине мунштука, а окружная скорость вращения вала должна быть такой же, как и при непрерывно-последовательном способе закали (рис. 70—72).

ГЛАВА XIII

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ И НАНЕСЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Процесс металлизации (напыления) протекает следующим образом. В распылительную головку металлизационного аппарата непрерывно подается металлическая проволока напыляемого металла или порошок неметаллического материала, которые расплавляются с помощью ацетилено-кислородного или пропан-кислородного пламени или с помощью электрической дуги косвенного действия, горящей между двумя проволоками-электродами, или сжатой дугой (плазменное напыление).

Расплавленный металл струей продуктов сгорания и воздуха, выходящей из сопла головки с большой скоростью, распыляется и в виде мельчайших частиц наносится на поверхность металлизуемой детали. Скорость частиц в потоке газов достигает 200 м/с. Размер частиц 10—150 мкм. Вследствие большой скорости частицы достигают поверхности детали в жидком или пластическом состоянии и внедряются в эту поверхность, прочно сцепляясь с ней, образуя металлизационный (напыленный) слой. При этом частицы вследствие удара деформируются, сплющиваются и принимают форму чешуек, образующих покрытие слоистого строения. Напыляемая деталь находится от сопла металлизационного аппарата на расстоянии 75—250 мм.

В зависимости от источника теплоты, применяемого в процессе, различают следующие виды металлизации (напыления): газопламенная электрическая и плазменная. В настоящее время получили распространение все три вида напыления. В большей степени используется электрическая металлизация, а для тугоплавких материалов — плазменная.

При газопламенной металлизации распыление металла происходит потоком продуктов сгорания горючей смеси (рис. 73). Сжатый воздух окружает факел пламени, образуя вокруг него зону повышенного давления, в которой продукты сгорания приобретают большую скорость, активно нагревают проволоку и распыляют жидкий металл. В зоне повышенного давления процесс горения интенсифицируется и температура пламени повышается. Струя сжатого воздуха частично перемешивает потоки и несколько снижает температуру пламени, и тем больше, чем выше расход воздуха. Если в горючей смеси соотношение количества кислорода и горючего меньше стехиометрического, то кислород воздушной струи принимает участие в процессе сгорания.

Поскольку напыляемые частицы держатся на поверхности детали и соединяются друг с другом только механически — за счет сил взаимного сцепления, то напыленный слой имеет неоднородную структуру, хрупок и менее плотен, чем основной металл. Металлизационные покрытия имеют небольшую пластичность, плохо сопротивляются удару, разрыву, кручению и изгибу. Благодаря пористой структуре металлизационный слой хорошо работает в условиях жидкостного и полужидкостного трения, поэтому используется в качестве антифрикционного покрытия.

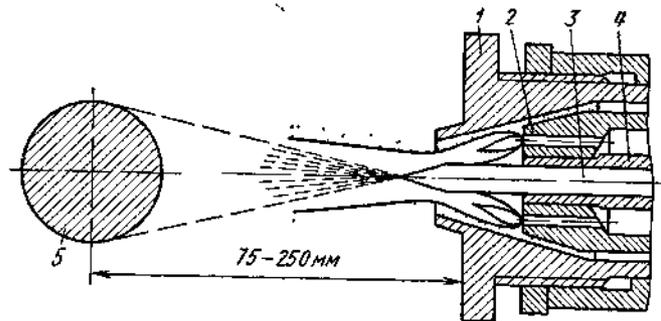


Рис. 73. Схема работы распылительной головки газометаллизационного аппарата:

1 — сопло наружное для подачи воздуха; 2 — мундштук для подачи газа; 3 — проволока, 4 — сопло для подачи проволоки, 5 — деталь

Металлизацию используют также для защиты поверхности деталей от коррозии, упрочнения поверхности, защиты от окисления, абразивного износа, эрозии, для восстановления изношенных деталей, в качестве декоративного покрытия, для придания жаростойкости (алитирование) и других подобных целей в зависимости от условий работы изделия. Металлизацию используют при изготовлении валов гидромашин, ремонте роторов резиносмесительных машин, плунжеров насосов, проволокопротяжных валков, восстановлении направляющих роликов, бандажей, шпинделей, валков различного назначения, подшипников, втулок, цилиндров двигателей и т. п. Применение металлизации в промышленности, на транспорте и ремонте сельскохозяйственной техники дает большую экономию металла, труда и денежных средств.

1. АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ И НАПЫЛЕНИЯ

Схема рабочего поста для газовой металлизации показана на рис. 74. Газометаллизационный аппарат МГИ-2-65 (рис. 75) состоит из распылительной головки 1 и механизма подачи 2 проволоки с приводом от воздушной турбинки, действующей через червячный редуктор на механизм подачи проволоки. Газы и воздух в металлиза-

ционный аппарат подводятся по шлангам, присоединяемым к штуцерам 3. Во время работы оператор держит металлизатор за руко-

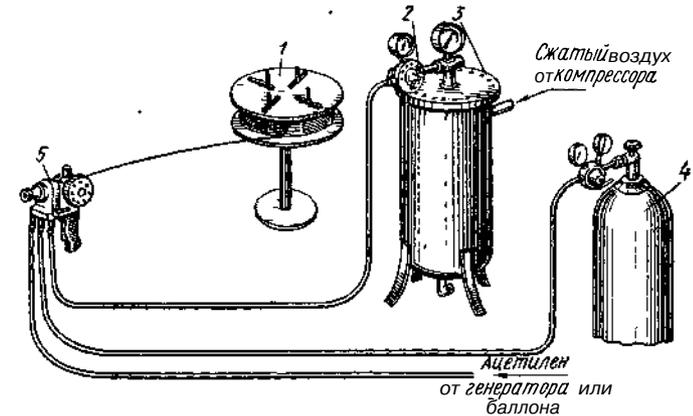


Рис. 74. Пост для газопламенной металлизации:

1 — катушка для проволоки; 2 — регулятор давления, 3 — масло-влажнотделитель, 4 — баллон с кислородом; 5 — газовый металлизатор

ятку 4 или устанавливает в крепежное приспособление на станке для вращения детали. Подачу и выключение газов осуществляют краном 5. Металлизатор МГИ-2-65 предназначен для нанесения покрытий из цинка, алюминия и других металлов на стальные детали; он может работать на ацетиле или пропане (с заменой газосмесительного узла).

Для порошкового напыления различных тугоплавких неметаллических материалов (окись алюминия и т. п. с температурой плавления выше 2000 °С) и легкоплавких полимеров (с температурой размягчения и плавления до температуры 500 °С) применяют специальные установки (рис. 76). Такая установка состоит из специальной распылительной газовой горелки и бачка-питателя с напыляемым порошковым материалом.

Некоторые из таких установок имеют специальный пульт управления с расположенной на нем регулирующей и контрольно-измерительной аппаратурой. Производительность установки УПН-8-68 1,2—1,3 кг/ч окиси алюминия, установки УПН-6-63 3—5 кг/ч порошка полимера. Бачок имеет емкость 6 дм³.



Рис. 75. Газовый металлизатор МГИ-2-65

Выпускаются также установки УПН-7-65 для порошкового напыления легкоплавких двухслойных металло-полимерных покрытий. С помощью этих установок последовательно напыляются двухслойные металло-полимерные покрытия из материалов с температурой

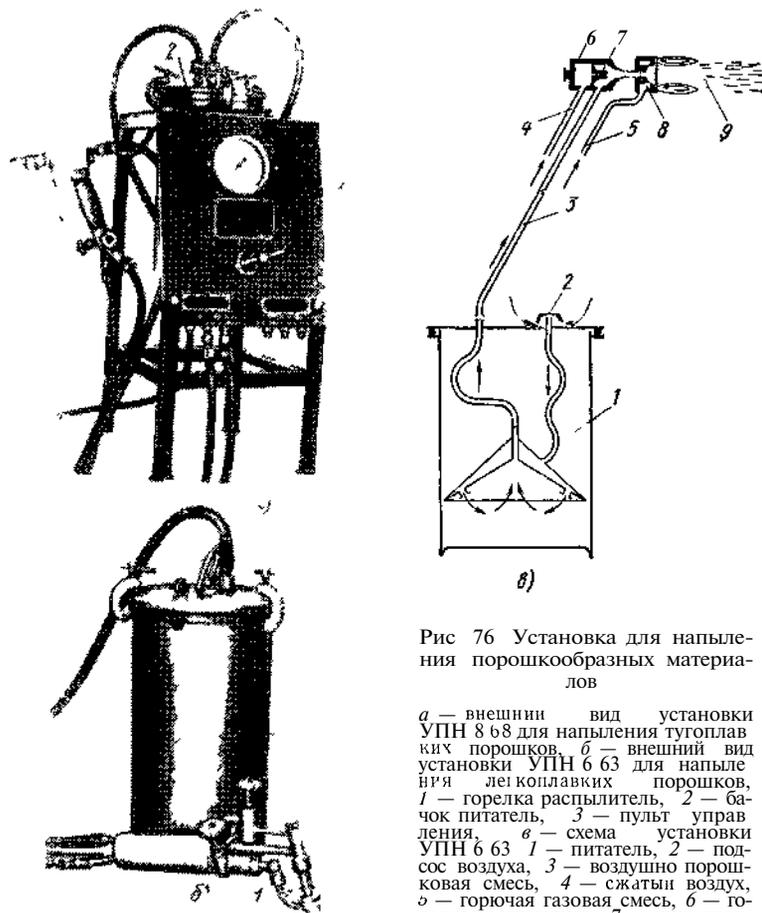


Рис 76 Установка для напыления порошкообразных материалов

a — внешний вид установки УПН 8 68 для напыления тугоплавких порошков, *б* — внешний вид установки УПН 6 63 для напыления легкоплавких порошков, *1* — горелка распылитель, *2* — бакочок питатель, *3* — пульт управления, *а* — схема установки УПН 6 63 *1* — питатель, *2* — подсос воздуха, *3* — воздушно-порошковая смесь, *4* — сжатый воздух, *5* — горючая газовая смесь, *6* — горелка распылитель, *7* — инжектор, *8* — распылительная головка, *9* — напыляемый порошок

размягчения и плавления до 500 °С (например цинком и полимером). Они имеют два отдельных бачка (для металла и для полимера), к которым поочередно подключается распылительная горелка. Низкотемпературные напыляющие установки имеют горелки, которые могут работать или на ацетилене, или после соответствующей смены смесительного устройства и головки — на пропан-бутане.

Для высокопроизводительных металлизационных процессов выпускаются стационарные газометаллизационные установки МГИ-5 производительностью: при напылении цинка 37 кг/ч, при напылении алюминия 14 кг/ч. Они работают на проволоке диаметром 5—6 мм при скорости подачи 0,2—5 м/мин. В качестве горючего используют пропан-бутан. Расход пропан-бутана 2,5 м³/ч, кислорода 12 м³/ч, сжатого воздуха 1,5 м³/ч.

2. ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Подготовка поверхности. Поверхность изделия перед нанесением покрытия должна быть тщательно очищена от загрязнений маслом, окислами, продуктами коррозии, влаги, пыли и пр., сохраняться в таком очищенном виде до момента нанесения покрытия. Для получения хорошего сцепления наносимого слоя металла с основной поверхностью детали придают шероховатость путем пескоструйной обработки или нанесения канавок обдиркой на токарном станке.

Углубления в детали, куда не должен попадать напыляемый металл (шпоночные канавки, отверстия и пр.), забивают деревянными пробками. При толщине металлизационного слоя свыше 0,5 мм на поверхности детали нарезают канавки в виде «ласточкиного хвоста» или устанавливают шпильки, делая между ними насечку зубилом.

Для твердых закаленных и цементованных деталей применяют специальную подготовку поверхности, наплавляя на нее тонкий слой электродного металла с применением одновременно воздушного дутья. Слой наплавки состоит из большого количества бугорков и впадин, улучшающих сцепление.

Нанесение покрытия. На подготовленную поверхность детали, свободную от следов ржавчины и загрязнений, наносят покрытие. Для этого включают металлизатор и, помещая деталь на требуемом расстоянии от него, напыляют металл тонким слоем требуемой толщины, равномерно перемещая металлизатор по поверхности, подвергаемой напылению. Детали, имеющие форму тел вращения, металлизуют на токарных станках, в суппорте которых крепится металлизатор.

Металлизацией исправляют следующие участки: наружные и внутренние поверхности под прессовую и скользящую посадку; такие же поверхности, работающие на трение со смазкой; плоскости разъема; поверхности, работающие на безударное сжатие или не испытывающие значительных напряжений на гранях, имеющие дефекты механической обработки. Восстанавливать можно только те детали, которые не утратили своей прочности вследствие износа и других дефектов. Скорость перемещения детали относительно сопла металлизатора выбирают такой, чтобы деталь не нагревалась до температуры выше 60—70 °С. При слишком сильном нагревании

детали процесс металлизации прерывают и детали дают охладиться до 20—25 °С.

На наружные поверхности покрытие можно наносить слоем 0,05—10 мм и более, в зависимости от требований к процессу покрытия.

Детали, работающие на износ в условиях жидкостного трения, следует металлизировать высокоуглеродистой стальной проволокой. Антифрикционные покрытия наносят из двух разных металлов соответствующих марок, взятых примерно в равных количествах или с применением биметаллической проволоки. Для антифрикционных покрытий применяют следующие сочетания металлов: 75% стали и 25% меди; 75% стали и 25% латуни; 50% стали и 50% алюминия; 70% стали и 30% алюминия; 50% алюминия и 50% свинца.

Для придания деталям жаростойкости их покрывают алюминием (алитируют) и подвергают последующей термообработке, в результате чего алюминий диффундирует в сталь, образуя на ее поверхности тонкий жаростойкий слой железоалюминиевого сплава. Чугун не подвергается жароупрочнению путем алитирования металлизацией алюминием, так как свободный углерод в структуре чугуна препятствует диффузии алюминия в основной металл. Стойкость алитированных изделий зависит от глубины диффузионного слоя и температуры при эксплуатации: для 900—950 °С продолжительность службы изделий из углеродистых сталей после алитирования возрастает в несколько раз.

Защита от окисления алитированной стали в основном обеспечивается наружным слоем окиси алюминия, имеющей температуру плавления свыше 2000 °С. Стальные алитированные изделия могут работать в окислительной и восстановительной среде топочных газов и в воздухе с примесью до 15% сернистого газа. Толщина алюминиевого слоя покрытия должна быть равна 0,3—0,5 мм. Процесс покрытия алюминием для получения защиты от окисления деталей в агрессивных средах состоит в следующем: подготовка поверхности; нанесение покрытия; обмазка покрытия флюсом; обжиг. В качестве флюса применяют обмазку, состоящую из 48—50% графита, 20—25% огнеупорной глины, 20—25% кварцевого песка, 2% нашатыря, разведенную на жидком стекле до сметанообразного состояния. Обмазка защищает от окисления при обжиге и удерживает расплавленный алюминий от стекания. Обмазку наносят кистью в два-три слоя после полного высыхания каждого слоя. Начальная температура обжига 600—650 °С, быстрый нагрев до 900—950 °С, выдержка при 900—950 °С в течение 2,5—3,5 ч, медленное охлаждение до 600—650 °С.

Для защиты от коррозии наиболее широко применяют металлизацию цинком слоем толщиной 0,1—0,3 мм. На 0,1 мм толщины слоя расходуют проволоки 0,9—1,0 кг/м². При газовой металлизации за один проход аппарата наносят слой толщиной 0,03—0,05 мм.

3. НАПЫЛЕНИЕ ПЛАСТМАСС И ЭМАЛЕЙ

Напыление пластмасс. Для напыления наиболее пригодны полимеры, температура разложения которых на 100—200 °С выше температуры плавления, а интервал между температурами плавления и растекания незначителен, порядка 20—30 °С. Температура предварительного подогрева покрываемой детали должна быть равна температуре растекания полимера, которая несколько выше температуры его плавления.

Для газопламенного напыления специально выпускают полимер типа ПФН-12, представляющий собой смесь из нескольких видов смол и графита. Для напыления размер частиц полимера должен составлять 0,1—3 мм, так как более мелкий порошок плохо проходит по шлангам, а при попадании в пламя сгорает, более же крупный не успевает нагреться, и качество покрытия ухудшается.

Пластмассы можно напылять на любую поверхность и любые изделия, допуская нагрев до температуры растекания материала. Углы на детали закругляют, на ребрах делают фаски, швы зачищают, поры и раковины заделывают. Поверхность обезжиривают и подвергают пескоструйной обработке, как и при металлизации.

Изделие подогревают до температуры растекания материала (для полиэтилена 190—210 °С, для полиамидов 230—250 °С). Подогревать можно распылительной горелкой металлизационной установки, но без подачи порошка, либо сварочной горелкой. Если подогрев может повредить покрытие, имеющееся с другой стороны изделия, то напыляемую поверхность покрывают теплоизоляционным лаком, например алкиднотирольным, слоем толщиной 0,1 мм.

При напылении полимеров изделие располагают на расстоянии 150—200 мм от горелки; скорость перемещения горелки подбирают практически так, чтобы частицы порошка, попадая на поверхность детали, плавилась и растекалась по ней, образуя сплошное покрытие. Лучше, если частица сливается со слоем уже после того, как горелка прошла над данным участком. При неполном оплавлении частиц их слегка подогревают пламенем горелки без подачи порошка до полного оплавления слоя. Для получения сплошных беспористых покрытий толщина слоя должна составлять до 0,4—0,5 мм.

Напыление эмалей. Установка УПН-5-61 рассчитана для работы с тугоплавкими порошками. Порошок эмали проходит по шлангу, засасывается инжектором и выбрасывается из щелевидного сопла, образуя плоскую веерообразную струю. Для взмучивания порошка в бачке питателя в последний подается сжатый воздух. Наконечник горелки состоит из двух плоских вертикально расположенных многопламенных мундштуков, между которыми проходит порошковая струя. Эмали наносят на поверхность, предварительно нагретую до температуры 600—700 °С. Напыление эмалей применяют, как правило, при ремонте и восстановлении эмалированных изделий.

Для исправления мелких дефектов применяют специальные горелки с распылительным наконечником и небольшим бачком

(емкость до 100 см³) для порошка, установленным непосредственно на горелке. Мундштук в зависимости от положения дефекта на изделии может быть установлен в вертикальном положении или горизонтальном положении.

При нанесении эмалей, во избежание их отслаивания, все изделие целесообразно предварительно подогреть до температуры 250—300 °С, после чего нагреть до рабочих температур поврежденный участок и напылить на него порошок эмали.

Эмалями можно покрывать наружную поверхность стальных труб, устранять местные дефекты (отколы, трещины и пр.) эмалевых покрытий химической аппаратуры. При ремонте бытовых изделий можно использовать эмали: белую титановую № 1; коричневую сборную; зеленую; глазурь № 3 и т. п., выпускаемые отечественными заводами.

4. ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ

Сущность процесса. При плазменном напылении для расплавления порошка, подаваемого в горелку-распылитель (плазмотрон), используется теплота сжатой электрической дуги (плазменной дуги). Расплавленные частицы порошка выносятся потоком горячего газа из сопла и напыляются на поверхность детали, на которую направлено пламя горелки.

Преимущества плазменного напыления перед газопламенным следующие: возможно напыление материалов, температура плавления которых превышает температуру ацетилено-кислородного пламени; производительность напыления керамических материалов увеличивается в 6—10 раз; не требуется применения кислорода и ацетилена. По сравнению с электродуговым способом напыления преимущество плазменного способа состоит в возможности напыления порошковых материалов, в том числе керамических, в то время как для электродугового способа требуется применение проволоки из напыляемого металла.

По составу, строению и свойствам (прочность, степень окисленности, тепло- и электропроводность и др.) плазменные покрытия не имеют преимуществ перед нанесенными газопламенным и электродуговым способами.

Области применения. Плазменные покрытия применяются, как правило, для нанесения жаростойких покрытий, необходимых в реактивной технике. Этим способом можно напылять также поршни дизелей, рабочие лопатки дымососов, дроссельные заслонки и фурмы доменных печей и другие изделия, требующие повышенной жаростойкости. При нанесении покрытий на внутренние поверхности деталей диаметр отверстия должен быть не менее 100 мм. С увеличением толщины слоя покрытия их прочность снижается. Так, например, при покрытии окисью алюминия прочность слоя резко падает при толщине слоя свыше 0,8 мм. Обычно применяют покрытия с толщиной слоя 0,2—0,3 мм.

Для повышения прочности сцепления керамических покрытий с основным металлом их напыляют на подслою. При напылении окиси алюминия лучшим для подслоя является нихром или коррозионно-стойкая сталь. Толщина подслоя равна 0,05 мм. Менее пригодны для подслоя, с точки зрения термостойкости, — молибден и вольфрам, образующие окислы с недостаточной величиной прочности.

Плазменные покрытия используют также в качестве электроизоляционных, например при изготовлении деталей МГД-генераторов, теплообменников, тензодатчиков, дисков электропил, индукторов для высокочастотной пайки и других деталей в электротехнике, радиоэлектронике, приборостроении. Пористость покрытий, в том числе керамических, не препятствует применению их в качестве электроизоляционных материалов, если они защищены от попадания влаги.

Плазменные покрытия для защиты деталей от коррозии и износа менее эффективны, так как имеют высокую пористость. Для уменьшения пористости они нуждаются в дополнительной пропитке (органическими полимерными материалами — смолами и лаками) или оплавлении. Свойства пропиточных материалов определяют рабочую температуру детали. Пропитка особенно эффективна, когда деталь подвержена одновременно коррозии и абразивному или эрозионному износу. Обычно для пропитки применяют фенолформальдегидную смолу. Для высоких рабочих температур применяют пропитку покрытий из напыленного вольфрама медью и серебром.

Применяемые материалы. Для плазменного напыления используют порошки с размером частиц 20—150 мкм. Для окиси алюминия и двуокиси циркония размер частиц должен быть равным 40—70 мкм, для вольфрама 20—100 мкм. Для покрытий повышенной плотности размер частиц должен быть меньше и не превышать 10—40 мкм; для получения оптимального гранулометрического состава порошков их перед использованием следует просеивать.

Для получения жаростойких покрытий применяют следующие порошки: окись алюминия (глинозем) марок ГА85 или ГА8; двуокись циркония (90% ZrO₂); вольфрам с частицами 40—100 мкм в виде порошка марки В или В-1. В качестве плазмообразующего газа используют азот концентрации 99,5% или водород чистотой 99,7% (марки А), или аргон.

Аппаратура. Для плазменного напыления используют специальные установки, выпускаемые промышленностью, например установки типа УМП-4-64 (рис. 77). Данная установка предназначена для напыления тугоплавких материалов: вольфрама, двуокиси циркония, окиси алюминия. При наличии камеры с защитной атмосферой можно также напылять карбиды, бориды, нитриды, силициды и другие соединения тугоплавких материалов. Установка состоит из плазменной горелки, порошкового питателя и пульта управления.

Для питания установки током используют сварочные преобразователи ПСО-500 (2 шт.) или полупроводниковые выпрямители

ИПН-160/600 Рабочий газ — азот или смеси азота, аргона или гелия с водородом. Производительность установки по напыляемой окиси алюминия 3 кг/ч, напряжение при работе на азоте 85—90 В, при смеси азота и водорода 100—120 В, рабочая сила тока на азоте 320—340 А, на смеси азота и водорода 270—300 А. Устройство горелки для плазменного напыления показано на рис. 78.

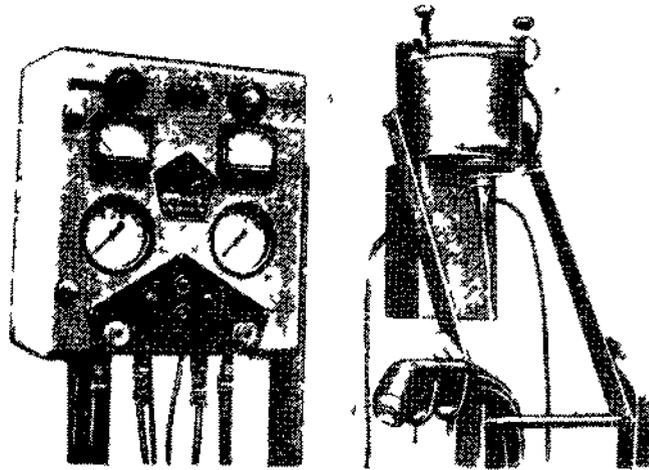


Рис. 77 Установка УМП 4 64 для плазменного напыления
1 — горелка (плазмотрон) 2 — порошок в пылепитателе 3 — пульт управления

Технология плазменного напыления. Перед напылением поверхность детали подвергают пескоструйной обработке, желательнее непосредственно перед процессом покрытия. Помимо создания шероховатой поверхности, при опескоструивании удаляется пленка адсорбированного воздуха и влаги, препятствующая контакту между напыляемыми частицами и деталью. Вместо кварцевого песка, который вреден, так как вызывает силикоз, применяют порошок корунда, карбида кремния и крошку белого чугуна. При коррозионноустойчивых материалах крошку белого чугуна применять не следует, так как его частицы, остающиеся на поверхности изделия, могут вызывать местную коррозию.

Перед напылением основного покрытия напыляют подслои из соответствующих материалов, указанных выше. Наносить подслои можно любым способом — газопламенным, электродуговым.

При плазменном напылении поверхность не следует перегревать выше температуры 300 °С, так как при этом возникают внутренние напряжения, которые могут привести к разрушению покрытия. Для

предупреждения перегрева поверхность около места напыления охлаждают сжатым воздухом, поток которого направляют на покрытие с помощью дополнительного кольцевого сопла, окружающего мундштук горелки.

Применение охлаждающего сопла позволяет уменьшить расстояние от горелки до поверхности со 120 мм до 70 мм. Это повышает производительность оборудования, увеличивает коэффициент использования порошка, повышает прочность и снижает пористость покрытия. Чрезмерное охлаждение недопустимо, так как ухудшает свойства покрытия. Охлаждение не требуется, если толщина слоя

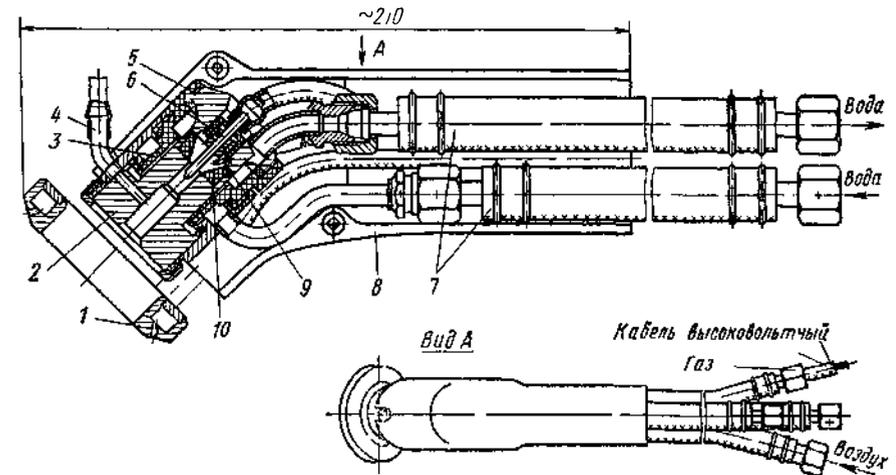


Рис. 78 Горелка для плазменного напыления

1 — насадка для охлаждения напыляемой поверхности сжатым воздухом 2 — сопло-анод 3 — тек. голая втулка 4 — ниппель для ввода газа 5 — медный корпус катода 6 — вольфрамовый электрод диаметром 3 мм 7 — водоохлаждаемые кабели 8 — рукоятка, 9 — свеча зажигания 10 — асбестоцементное кольцо

покрытия менее 0,1 мм или скорость перемещения горелки относительно поверхности достаточно велика, а нанесенный слой успевает охладиться до следующего прохода горелки. Это обеспечивается при массивных деталях, в которых происходит интенсивный отвод теплоты.

Угол напыления, т. е. угол между осью сопла горелки и поверхностью, должен составлять 90—60°. При угле, меньшем 60°, энергия удара частиц о поверхность снижается, что ухудшает прочность покрытия.

Для получения равномерного по толщине и однородного по качеству покрытия применяют различные средства механизации процесса. Наиболее простой и доступный из них — токарный станок, в патрон которого устанавливают напыляемую деталь, а в суппорт — горелку.

В качестве плазмообразующего газа рекомендуется применять азот. Добавление к азоту 5—10% водорода повышает производи-

тельность процесса, но требует источника тока с рабочим напряжением 110—120 В вместо 85—95 В при одном азоте. Аргон можно использовать только в смеси с водородом или азотом, так как при одном аргоне рабочее напряжение не превышает 35 В, что резко снижает тепловую мощность горелки и ее производительность.

ГЛАВА XIV

ГАЗОПЛАМЕННАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ОТ ОКАЛИНЫ, КРАСКИ И ДРУГИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Кислородно-ацетиленовое пламя используют для очистки стальных изделий и конструкций от прокатной окалины, ржавчины и старой краски, а также с целью тщательной подготовки поверхности для окрашивания. Пламенная очистка имеет ряд преимуществ перед другими способами — опескоструиванием и травлением в кислотах. Ее можно применять для всех изделий, независимо от их формы и размеров; она не требует сложного оборудования и подготовки, проста, дешева, обеспечивает сухую поверхность, полностью подготовленную для немедленной окраски.

Пескоструйная очистка, очистка наждаком и другие механические способы, хотя и дают блестящую поверхность, но повреждают ее структуру, снимая микровыступы над оставшимися окислами. При пламенной очистке получается серая, матовая поверхность с неповрежденной структурой верхнего слоя.

Окалина и сталь имеют различные коэффициенты теплового расширения. При интенсивном и быстром нагреве поверхности кислородно-ацетиленовым пламенем происходит отслаивание окалины. Ржавчина дегидратируется (обезвоживается) и также легко отделяется от поверхности стального листа. Остатки загрязнений удаляются проволочной щеткой. При первом проходе пламенем горелки удаляется около 70% окалины; при втором проходе в направлении, перпендикулярном к первому, удаляется почти весь остаток окалины.

Пламенной очисткой дешевле очищать сильно заржавленные листы. Вместо ацетилена можно применять и газы-заменители, но ацетилен обеспечивает лучшие результаты, так как при нем нагревание происходит быстрее, а продукты его сгорания содержат меньше паров воды, чем продукты сгорания пропана, городского и природного газа, водорода.

Для пламенной ручной очистки и проката применяют специальные многофакельные горелки ГАО, одна из которых изображена на рис. 79. При особо тяжелых условиях работы можно использовать горелки с водяным охлаждением. Горелка присоединяется к стандартному стволу сварочной горелки «Москва» и работает на кислороде под давлением 3—5 кгс/см², ацетилене под давлением 0,08—0,10 кгс/см².

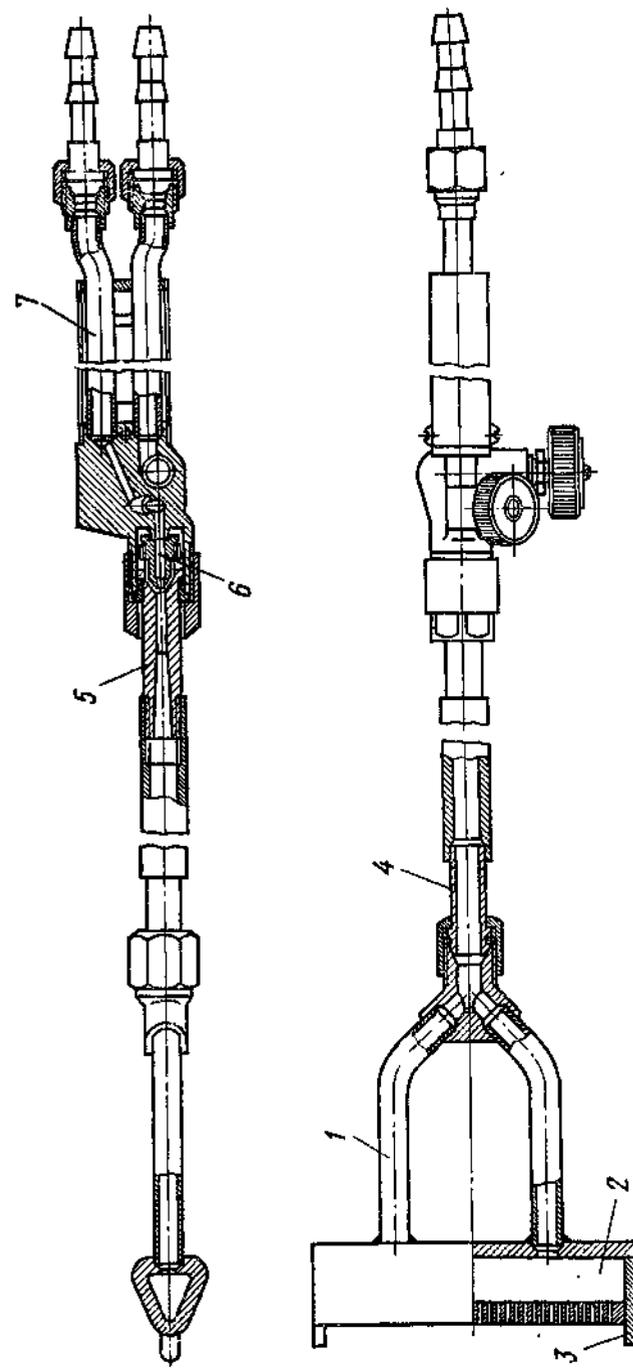


Рис. 79. Многофакельная горелка для поверхностной очистки металла:
1 — наконечник; 2 — опорные выступы; 3 — трубка; 4 — смесительная камера от наконечника № 6;
5 — инжектор от наконечника № 6; 6 — ствол горелки

Расход газов: кислорода 1,8—2,3, ацетилен 1,6—2,0 м³/ч. При очистке скорость передвижения горелки относительно металла 0,5—1,0 м/мин. Ширина пламени многофакельного мундштука 100 мм. Такая горелка может очищать до 20 м² поверхности металла в 1 ч. Для удобства работы длина горелки составляет 1300—1400 мм.

Многофакельные горелки ГПО-2 с двумя сменными мундштуками обеспечивают ширину обрабатываемой полосы 100 и 200 мм. Эти горелки работают на пропан-кислородной смеси. Расход пропана 0,5—2,5 м³/ч; давление 0,35 кгс/см². Расход кислорода 1,9—10 м³/ч; давление 2—5 кгс/см². Инжектор и смесительная камера в этих горелках расположены в непосредственной близости от мундштука, что обеспечивает устойчивость горения пламени.

Применяют жесткое окислительное пламя. Для удаления ржавчины и окалины горелку держат под углом 60° к поверхности листа, опирая на него мундштук закаленными выступами, имеющимися на мундштуке. Скорость передвижения горелки при очистке от окалины может быть увеличена до 1,8 м/мин и более. Вершины конусов пламени должны касаться поверхности очищаемого металла.

Для очистки окрашенных поверхностей горелку держат под углом 90° при расстоянии мундштука 25 мм над поверхностью металла. Если под краской обнаружен слой ржавчины, необходимо еще раз пройти пламенем горелки по поверхности листа.

Пламенную очистку применяют для ремонта хранилищ на химических заводах, очистки ступелей, мостов, стальных строительных конструкций, сельхозмашин, горного оборудования, газгольдеров и большого числа других разнообразных изделий и сооружений. Ее можно применять для очистки не только стали, но и других достаточно тугоплавких металлов и материалов.

Раздел третий

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ГЛАВА XV

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГАЗОВОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ РЕЗКИ

Процесс кислородной резки металлов основан на сгорании (интенсивном окислении) металлов в струе кислорода и принудительном удалении этой струей образующихся окислов.

В отличие от резки металлов процесс кислородной резки неметаллических материалов (бетона, шлака, огнеупоров) основан на сгорании в кислородной струе металлических порошков, вводимых в зону резки, расплавлении выделенной теплотой неметалла и последующем удалении расплава струей кислорода.

По направленности кислородной струи, ее кинетической энергии и форме образуемых резов кислородную резку можно разделить на два основных способа: резку разделительную, образующую сквозные разрезы, и резку поверхностную (строжку или обточку), при которой на поверхности материала образуются канавки скруглой формы. Классификация способов кислородной резки приведена на рис. 80.

При газовой (кислородной) и кислородно-флюсовой резке непрерывный подогрев металла осуществляется газовым пламенем, а при кислородно-дуговой и плазменно-кислородной резке в первом случае — дугой, а во втором — проникающей дугой и плазмой.

При резке кислородным или порошково-кислородным копьем подогрев металла требуется лишь в начале процесса резки.

Кислородная резка находит широкое применение во всех областях металлургической и металлообрабатывающей промышленности и, в частности, в черной и цветной металлургии, судостроении, котлостроении, вагоностроении, тепловозостроении, моторостроении, строительстве и т. д.

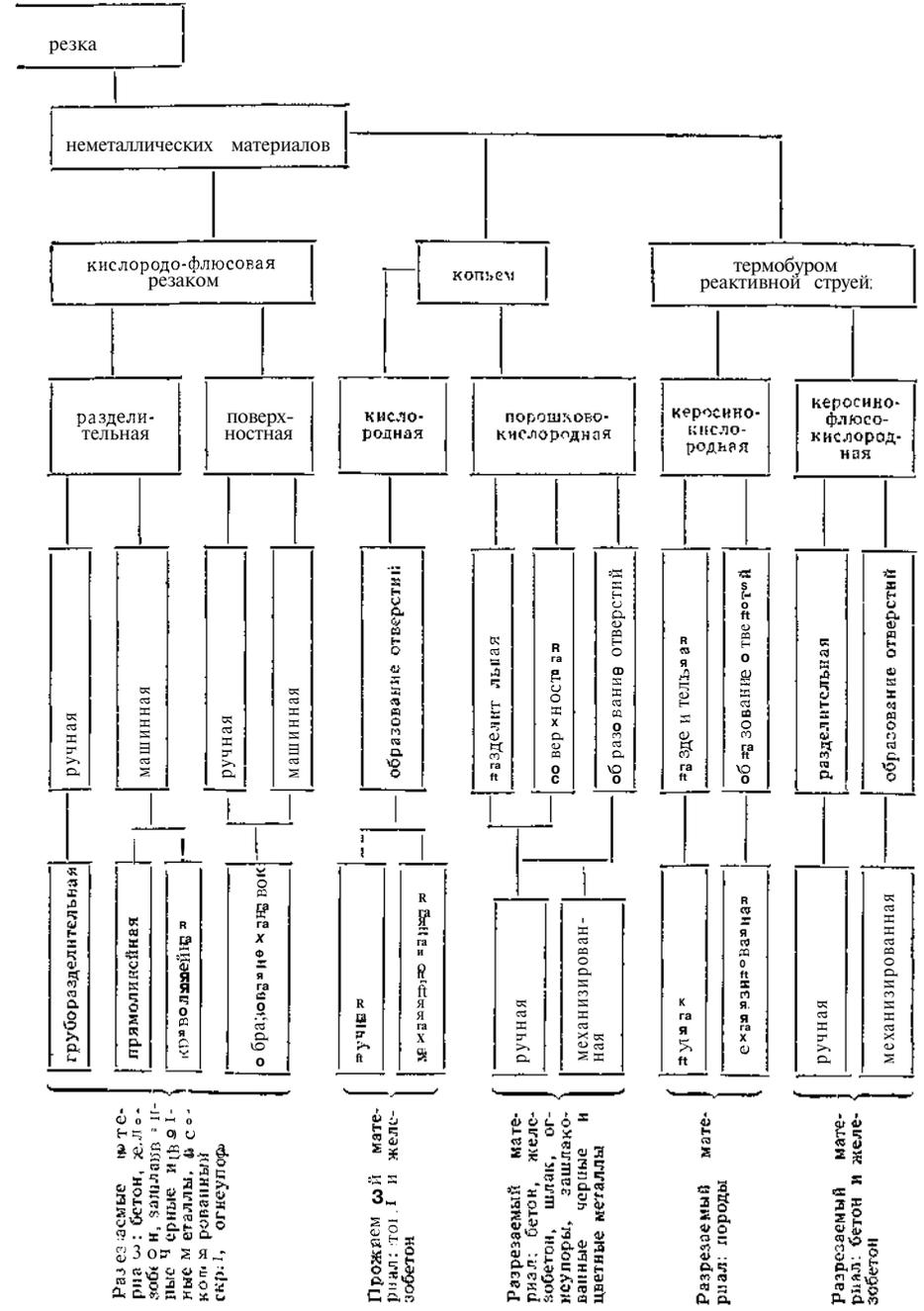
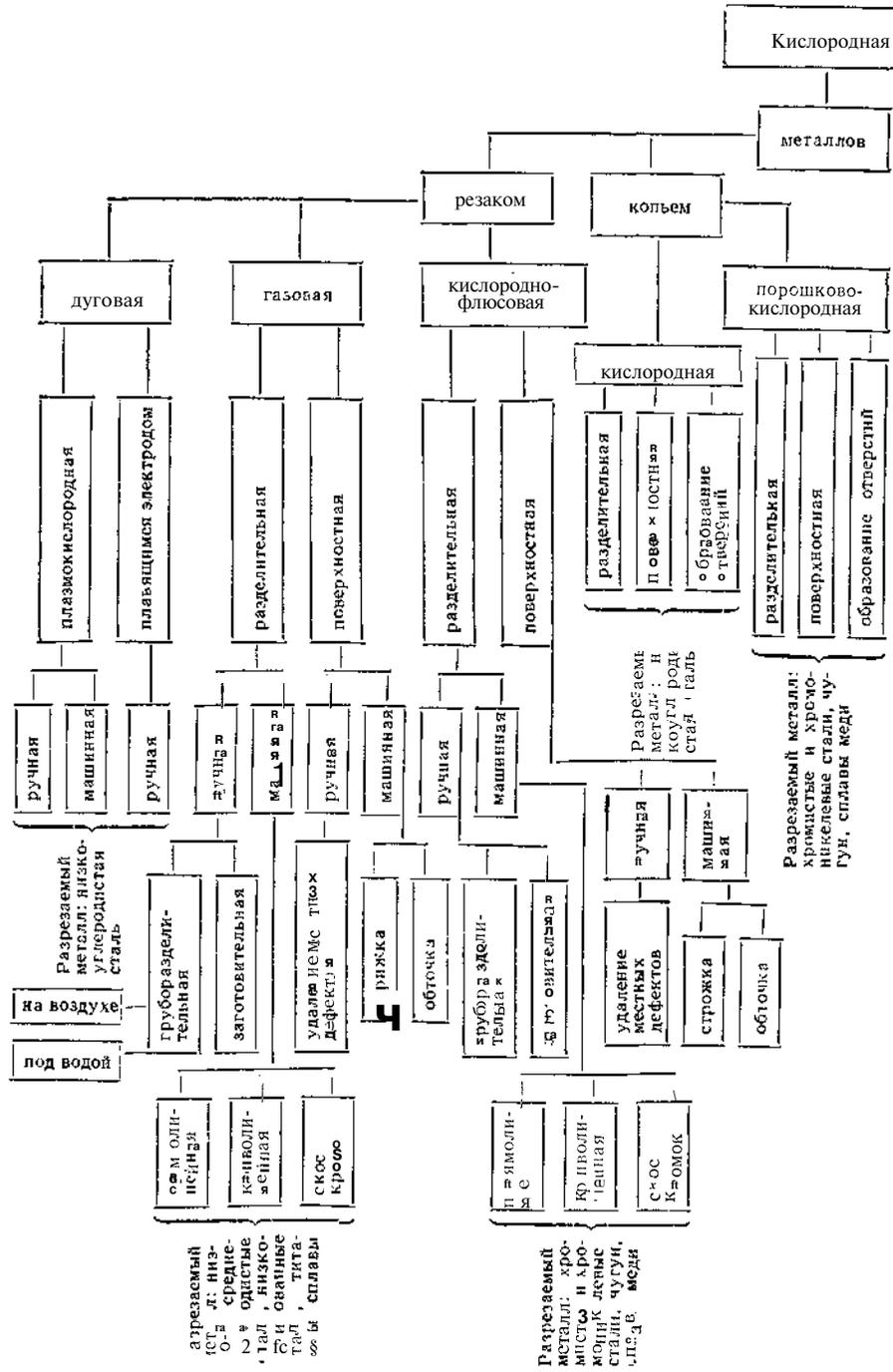


Рис. 80. Классификация способов кислородной репки

Особенно широкое применение нашла ручная разделительная резка стали при раскрое листов, при резке профильного металла, при вырезке деталей простого и сложного контуров.

Значительное распространение получила также машинная кислородная резка, осуществляемая на полуавтоматах и на автоматах, позволяющих копировать контуры чертежа или шаблона с помощью механических, электромагнитных или фотокопировальных головок.

При малых сериях или штучном производстве плоских деталей из листовых сталей, когда изготовление штампов не окупается, кислородная машинная резка имеет самое широкое применение. Кислородная (газовая или кислородно-флюсовая) машинная резка с успехом заменяет также и строгальные операции, в частности операцию скоса кромок листов под сварку, где производительность ее во много раз выше производительности других способов.

Основная область применения машинной резки — судостроительная промышленность, котельное производство и заводы химического, транспортного, подъемно-транспортного, сельскохозяйственного и тяжелого машиностроения.

Достаточно широкое распространение имеет также и поверхностная кислородная резка, основная область применения которой — заводы черной металлургии, где этот вид резки применяется для удаления поверхностных дефектов литья и проката.

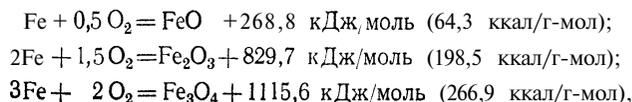
Применение копьевой резки до последнего времени в нашей стране ограничивалось образованием (прожиганием) леток в металлургических печах, отверстий в стальных блоках при взрывных работах и т. п. В последние годы копьевая резка находит применение также при разделительной резке. Особенно перспективно порошково-кислородное копье, позволяющее осуществлять разделительную резку не только металлов и сочетаний металлов с огнеупорами, но и чисто неметаллических материалов, таких как бетон, металлургические шлаки и огнеупоры.

Весьма большое распространение в черной металлургии получила также поверхностная воздушно-дуговая резка, а в машиностроительной промышленности и в судостроении разделительная резка плазменной проникающей дугой для раскроя алюминиевых сплавов, коррозионно-стойких сталей и сплавов меди.

2. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Процесс газовой (кислородной) резки основан на сгорании (интенсивном окислении) металла в струе кислорода и принудительном удалении этой струей образующихся окислов.

При резке стали сгорание железа в кислороде протекает по реакциям



так как при высоких температурах в зоне реакции резки образуются все три окисла железа.

Нагрев металла производят подогревающим пламенем резака, образуемым при сгорании горючего газа в кислороде. Когда температура нагрева металла достигнет величины, достаточной для воспламенения металла в кислороде, пускают струю технически чистого (99,0 — 99,8%) кислорода и начинают процесс резки.

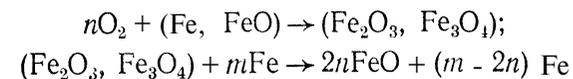
Этот кислород, выходящий обычно из центрального канала мундштука и идущий непосредственно на окисление металла и удаление окислов, принято называть режущим в отличие от кислорода подогревающего пламени, выходящего в смеси с горючим газом из подогревающих сопл.

Направленный на нагретый участок металла режущий кислород немедленно вызывает интенсивное окисление металла в верхнем слое, образуя на поверхности сильно перегретую закись железа и под ней слой оплавленного металла. Выгнанные струей в разрез расплавленные окислы нагревают нижележащий слой металла, создавая условия для его интенсивного окисления и т. д. В результате, процесс интенсивного окисления распространяется на всю толщину листа или заготовки. Образующиеся при сгорании металла окислы, будучи расплавленными, увлекаются струей режущего кислорода и удаляются из зоны резки.

3. МЕХАНИЗМ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ПРИ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКЕ СТАЛИ

Существовавшие ранее представления о механизме окисления железа струей кислорода при резке в настоящее время в значительной степени пересмотрены.

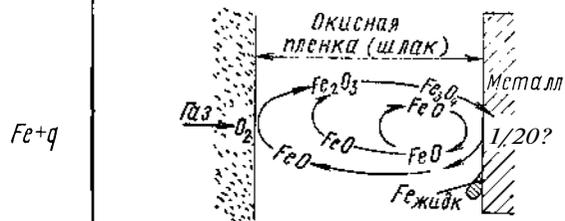
По гипотезе, принятой в настоящее время, о конвективной передаче кислорода к поверхности режущей струи он проходит через ламинарный поверхностный слой струи, образуемый содержащимися в кислороде инертными газами (азотом, аргоном, окисью углерода и др.), и через слой шлака, стекающего по поверхности кромки реза к неокисленному металлу. При этом предполагается, что кислород через шлаковую пленку переходит в металл обменными реакциями



и что окисление металла носит избирательный характер с преимущественным окислением участков стали, богатых железом и бедных углеродом.

Приведенная гипотеза допускает следующее: 1) интенсивного окисления (горения) металла в твердой фазе не происходит; 2) твердая поверхностная пленка окислов железа при кислородной резке защищает металл и препятствует контакту его с кислородом; 3) процесс горения железа начинается и поддерживается лишь после

перехода пленки окислов в жидкое состояние при температурах 1330—1350 °С — в интервале, соответствующем плавлению вюстита (твердого раствора FeO в Fe_3O_4); 4) обмен кислородом между газовой средой и металлом происходит в окисной пленке расплавленного шлака по схеме, приведенной на рис. 81.



4. ОТСТАВАНИЕ
В ПРОЦЕССЕ РЕЗКИ

Рис. 81. Схема кислородного обмена при газовой резке

В процессе газовой раздельной резки, в особенности при резке стали большой толщины, окисление металла по толщине происходит неравномерно — верхние слои металла окисляются и выносятся кислородной струей раньше, чем нижние (рис. 82). В результате этого даже при строго вертикальном направлении струи происходит отклонение передней грани реза от вертикали, причем бороздки, оставляемые струей на поверхности кромки и реза, имеют наклон в некоторых случаях на угол до 30—45° и более.

В практике кислородной резки это явление принято называть отставанием.

Согласно современным представлениям об окислении металла по толщине (в направлении кислородной струи), подтверждаемым скоростной цветной киносъемкой, сгорание (интенсивное окисление) железа происходит не по всей фронтальной части цилиндрической кислородной струи, перемещаемой вперед в направлении резки и ограничиваемой стенками реза, а ступенчато) в направлении режущей струи кислорода (рис. 83).

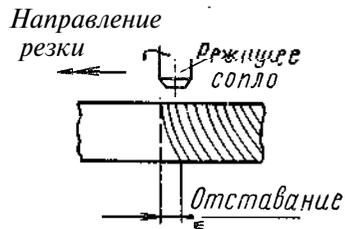


Рис. 82. Отставание в процессе резки

В первой стадии Процесса край кислородной струи попадает на нагретый подогревающим пламенем до температуры воспламенения участок поверхности металла, в результате чего на этом участке образуется сильно перегретая закись железа, а под ней — оплавленный металл.

В последующих стадиях FeO и металлический расплав давлением кислорода вытесняются вниз и фронтальным давлением струи назад, за струю, в результате чего фронт окисления железа по передней (лобовой) грани реза в нижних слоях металла смещается в сторону, обратную направлению резки, и отстает от окисления металла у верхней кромки.

Стадийное окисление железа по толщине протекает настолько быстро, что при визуальном наблюдении представляется непрерыв-

ным процессом. Таким образом, основной и единственной причиной отставания, объясняющей тот факт, что при прочих равных условиях величина отставания сохраняется одинаковой по всей длине реза, является стадийное окисление металла по толщине.

Величина же отставания зависит от целого ряда других факторов: отсутствия непосредственного подогрева нижних слоев металла подогревающим пламенем; относительной загрязненности режущей струи, увлекающей за собой выделяющиеся при плавлении и окислении металла газы; падения кинетической энергии кислородной струи по мере удаления от режущего сопла и увеличения диаметра струи из-за ее конусности, приводящего к увеличению ширины

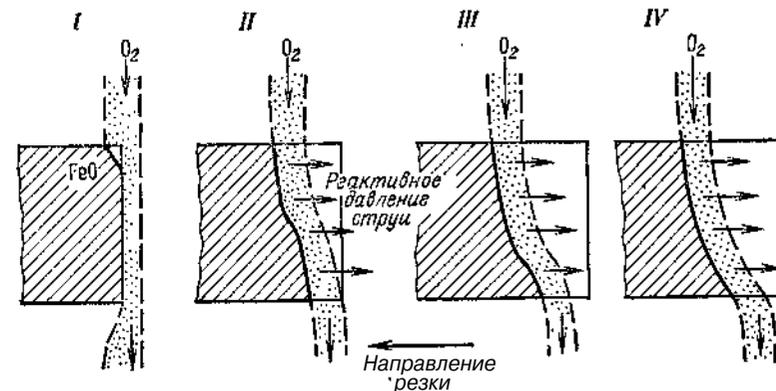


Рис. 83. Стадийное (I—IV) окисление металла по толщине

реза у нижней кромки и, следовательно, к увеличению в нижних слоях объема сжигаемого и удаляемого струей металла, требующего большей затраты времени.

В значительной мере величина отставания зависит от толщины металла и скорости резки, возрастая с увеличением этих параметров.

При грубой разделительной резке в лом, производимой обычно с большими скоростями резки, величина отставания значения не имеет.

При заготовительной резке по прямой или по криволинейным контурам с большими радиусами закругления, где применяются несколько меньшие скорости резки, отставание также не имеет большого значения, если оно не нарушает процесса резки и если к поверхности кромки реза не предъявляется слишком строгих требований в отношении ее чистоты и гладкости. При прямолинейной резке серийными резаками отставание обычно имеет следующие значения.

| | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|---------|
| Толщина разрезаемой стали, мм . . . | 5—9,3 | 25—50 | 50—100 | 100—200 |
| Отставание, мм | 1—5 | 5—8 | 8—12 | 12—15 |

При вырезке фигурных профилей с малыми радиусами закругления, в особенности в металле значительной толщины, отставание, помимо низкого качества поверхности реза, может привести к искажению формы вырезаемой детали и несоответствию ее контура на верхней и нижней поверхностях листа металла.

В значительной степени величина отставания зависит от конструкции режущего сопла, определяющей при соответствующем давлении скорость истечения и форму режущей струи кислорода.

Чем больше скорость истечения струи, а следовательно, и ее пробивная способность, тем интенсивнее происходит удаление расплавленных окислов в нижних слоях металла и тем меньше величина отставания.

Кроме того, при рациональной конструкции сопла (например, при профилированной форме расширяющегося сопла) и низком давлении кислорода струя, помимо сверхзвуковой скорости истечения, имеет необходимую цилиндричность, обеспечивающую равномерную ширину реза по толщине и, таким образом, уменьшающую величину отставания при резке.

5. ПОДОГРЕВАЮЩЕЕ ПЛАМЯ И НАГРЕВ МЕТАЛЛА ДО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Для начала процесса резки металл должен быть нагрет до температуры воспламенения в кислороде (температуры начала интенсивного окисления), при резке низкоуглеродистой стали — до температуры 1350—1360 °С.

Благодаря высокой температуре пламени и большому количеству теплоты, выделяемой в рабочей средней зоне пламени, а также благодаря простоте получения горючего газа из карбида кальция ацетилен получил наибольшее распространение как при сварке, так и при резке и других процессах газопламенной обработки. Нагрев металла ацетилено-кислородным пламенем значительно эффективнее нагрева пламенем других горючих.

Устанавливаемая при резке мощность подогревающего пламени зависит от рода горючего газа и от толщины разрезаемого металла. В значительно меньшей степени она зависит от химического состава разрезаемой стали.

В момент начала газовой резки подогрев металла в начальной точке реза до воспламенения осуществляется исключительно тепловой подогревающий пламени, причем в зависимости от рода горючего газа, температуры пламени и теплоты его сгорания в кислороде время начального подогрева может быть различным.

Для ацетилено-кислородного подогревающего пламени время начального подогрева низкоуглеродистой стали до воспламенения в кислороде составляет:

| | | | |
|-----------------------------------------------------|-------|--------|---------|
| Толщина стали, мм | 10—20 | 20—100 | 100—200 |
| Продолжительность начального подогрева, с | 5—10 | 7—25 | 25—40 |

Для остальных горючих газов-заменителей, менее калорийных и обладающих меньшей температурой пламени при сгорании в кислороде, время начального подогрева значительно больше.

Однако при установившемся процессе резки тепловой мощности пламени газа-заменителя оказывается недостаточно для эффективного нагрева металла, в связи с чем скорость резки при использовании этих газов обычно не ниже, чем при ацетилено-кислородном пламени. В то же время большое преимущество газов-заменителей — их низкая стоимость и недефицитность.

Мощность пламени и соотношение смеси. В зависимости от толщины стали соотношение между количеством теплоты, вводимой в металл подогревающим пламенем $Q_{п}$, и теплотой, выделяющейся в процессе окисления железа $Q_{г.ж}$, меняется. Чем меньше толщина стали, тем большую роль играет подогревающее пламя, сообщаемое металлу (при толщине стали 5 мм) до 80% общего количества теплоты, выделяемой в процессе резки.

При сравнительно малой толщине стали (до 12—15 мм) целесообразно применять повышенную мощность пламени, обеспечивающую необходимый нагрев металла при больших скоростях перемещения пламени. Так как температура пламени, а следовательно, и эффективность нагрева возрастают с увеличением содержания в горючей смеси кислорода, то в процессе газовой резки листовой стали целесообразно применять окислительное подогревающее пламя с соотношением смеси $\beta_0 = 1,5$, соответствующим максимальной температуре пламени.

При резке стали больших толщин роль подогревающего пламени в тепловом отношении значительно меньше, основное количество теплоты (до 90—95%) выделяется в результате процесса окисления железа и эффективность процесса резки определяется в основном режимом струи режущего кислорода. В этом случае, несмотря на то что мощность пламени должна быть достаточно большой, применение окислительного пламени вряд ли можно считать оправданным.

Однако роль подогревающего пламени при резке металлов большой толщины существенно возрастает при возникновении так называемого обжимающего эффекта, действие которого начинает сказываться при завышенной мощности подогреваемого пламени, т. е. тогда, когда расход горючего газа соизмерим с суммарным расходом кислорода.

Вследствие статического давления горящих газов пламени режущая струя кислорода сохраняет на большом протяжении цилиндрическую форму, высокую скорость истечения и относительно постоянный химический состав.

На рис. 84 видно, что при отсутствии подогревающего пламени (кривые 2) на расстоянии от сопла 600 мм скорость истечения струи падает до 40 м/с, а чистота кислорода до 25%. При наличии же мощного подогревающего пламени (кривые 1) на том же расстоянии от сопла скорость истечения струи составляет ~140 м/с, а чистота кислорода ~ 60%.

Форма подогревающих сопел и их расположение относительно режущего сопла. В отличие от сварочного пламени подогревающее пламя резака образуется на выходе горючей смеси из мундштука с кольцевым, щелевидным каналом — преимущественно у ручных

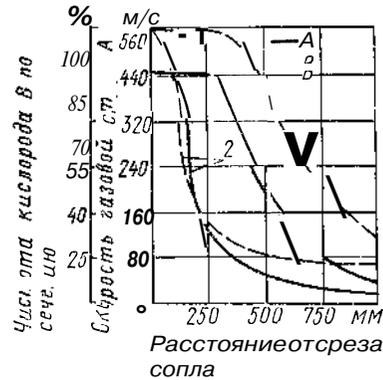


Рис. 84. Зависимость скорости газового потока и чистоты кислорода от расстояния до среза сопла:

А — скорость газового потока;
В — чистота режущего кислорода

резаков (рис. 85, а) или из многосоплового мундштука, имеющего несколько отдельных цилиндрических каналов, также расположенных по концентрической (по отношению к режущему соплу)

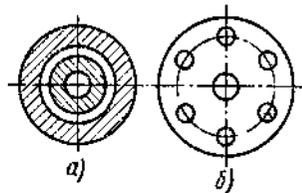


Рис. 85. Форма и расположение подогревающих сопел; а — кольцевой щелевидный канал; б — концентрически расположенные цилиндрические каналы

окружности, — у большинства машинных резаков (рис. 85, б). Многосопловые мундштуки обеспечивают большую устойчивость пламени и более концентрированный нагрев металла.

При прямолинейной резке стали малой толщины (менее 5 мм) в некоторых случаях находят применение резаки с последовательным расположением сопел (рис. 86), при котором достигается нагрев металла узкой полосой, что особенно важно при резке тонкой стали, так как позволяет производить резку с малой шириной зоны теплового влияния и без оплавления кромок.

Расстояние от подогревающего сопла до металла. Так как максимальная температура пламени имеет место в его средней зоне — на расстоянии 2—3 мм от его внутреннего ядра, то для достижения наиболее интенсивного концентрированного нагрева расстояние от сопла до поверхности металла при резке стали должно составлять

$$L = l + 3,$$

где l — длина ядра пламени, мм.

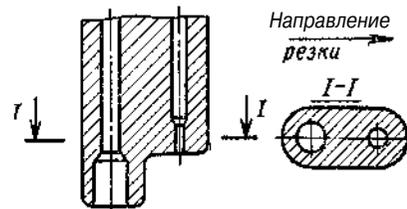


Рис. 86. Последовательное расположение подогревающего и режущего сопла

При резке же стали большой толщины во избежание перегрева и засорения мундштука брызгами металла это расстояние значительно больше и в некоторых случаях составляет

$$L = l + (5 \div 10).$$

Состояние поверхности металла. В значительной мере эффективность нагрева металла пламенем как в начале, так и в процессе резки зависит от чистоты поверхности разрезаемого металла. Наличие на поверхности металла окалины, шлака и других загрязнений изолирует металл от непосредственного воздействия пламени и препятствует быстрому нагреву его до температуры воспламенения.

Особенно большим препятствием для начала процесса резки является окалина вследствие малой теплопроводности.

6. РЕЖУЩИЕ КИСЛОРОДНЫЕ СТРУИ И СОПЛА

Процесс газовой резки требует вполне определенного количества кислорода. Недостаток кислорода приводит к неполному сгоранию железа и недостаточно интенсивному удалению окислов. Избыток кислорода охлаждает металл.

Количество проходящего через сопло кислорода зависит от скорости истечения струи, определяемой конструкцией (формой) сопла, его наименьшим (критическим) сечением и давлением кислорода.

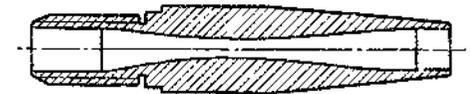


Рис. 87. Расширяющееся профилированное сопло К. К. Хренова и М. М. Борта

Истекающая из режущего сопла струя кислорода должна вызывать непрерывное окисление металла по всей толщине разрезаемого листа или заготовки, причем скорость перемещения режущего сопла вдоль линии реза должна соответствовать скорости окисления металла по толщине.

В значительной мере скорость окисления металла по толщине зависит от скорости истечения кислородной струи. Кислородная струя должна интенсивно удалять из зоны резки образующиеся при сгорании металла окислы, для чего также необходима высокая скорость истечения струи.

Струя кислорода должна обеспечивать равномерную ширину реза по толщине разрезаемого металла и минимально возможную величину отставания, для чего необходимо сохранение цилиндрической формы струи по всей ее длине в пределах толщины разрезаемой стали.

Максимальная скорость истечения режущей струи кислорода, превышающая скорость звука, и необходимая цилиндричность струи достигаются применением расширяющихся профилированных сопел типа, представленного на рис. 87. Такие сопла при их достаточной длине **обеспечивают** полное расширение газа в устье

канала сопла до давления окружающей атмосферы и, следовательно, полное превращение потенциальной энергии газа в кинетическую.

Истечение газа из сопла характеризуется следующими параметрами: формой и относительными размерами сопла; рабочим давлением и характером падения давления внутри сопла; расходом газа и скоростью его истечения. Особенно важна зависимость характера истечения от формы сопла и рабочего давления газа перед соплом.

В условиях газовой резки давление среды, в которую истекает кислород, $p_{\text{вых}} = 101\,325$ Па (1 ат), и, таким образом, уже при давлении кислорода на входе в сопло $p_{\text{вх}} = 188\,943$ Па (1,893 ат), т. е. избыточном давлении 87 618 Па (0,893 ат), наступает критическое отношение давлений, соответствующее переходу к сверхзвуковой скорости.

В соплах с каналами цилиндрической формы, когда избыточное давление кислорода на выходе в сопло больше 87 618 Па (0,893 ат) — а это имеет место в подавляющем большинстве случаев резки, расширение газа в устье канала сопла не полное и давление в нем больше давления окружающей атмосферы. Расширение кислорода происходит вне сопла и его струя менее направленная, чем при истечении из расширяющихся сопел при тех же давлениях кислорода.

Исследования кислородных струй методом интерференционных полос, основанным на фотографировании освещенной кислородной струи, показывают, что относительная цилиндричность струи, истекающей из сопла цилиндрической или ступенчато-цилиндрической формы, наблюдается только при сравнительно низких избыточных давлениях кислорода, не превышающих 490 330—582 396 Па (5—6 ат). При дальнейшем повышении давления режущая струя заметно расширяется и приобретает конусообразную форму. Особенно сильное расширение струи наблюдается у цилиндрических сопел.

Расширяющиеся сопла при их рациональной форме и длине и при соответствующем давлении кислорода обеспечивают полное расширение газа в устье канала сопла (случай равенства давлений окружающей среды и струи), т. е. полное превращение потенциальной энергии газа в кинетическую, в результате чего отсутствуют затраты энергии на расширение струи на выходе из сопла; вся энергия струи идет только на увеличение скорости истечения кислорода, на увеличение длины струи и ее пробивной способности.

Однако сказанное относится только к свободно истекающей струе, так как при резке, когда струя проходит через образуемый в металле разрез, при большой скорости истечения имеет место подсос воздуха, и часть струи затрачивается на эжектирование.

Суживающиеся сопла не обеспечивают сверхзвуковой скорости истечения кислорода и работают на дозвуковой или звуковой скорости истечения газа. Однако эти сопла менее чувствительны к изменению рабочего давления и при низких давлениях кислорода, не создавая подсоса воздуха, обеспечивают необходимую кинетическую энергию и пробивную способность струи.

Выбор формы сопла и рабочего давления кислорода при резке в большей мере зависит от толщины разрезаемой стали. Так, при резке листовой стали толщиной до 100 мм, применяемое давление кислорода не более 490 000 Па (5 кгс/см²), весьма удовлетворительных результатов достигают при использовании цилиндрических сопел, отличающихся удлиненным цилиндрическим каналом режущего кислорода.

Отличительная особенность этих резаков состоит также и в том, что в них применяют цилиндрические сопла в сочетании с удлиненным кольцевым каналом горючей смеси, образуемым двумя составными мундштуками — внутренним и наружным, при увеличенных размерах камеры горючей смеси в головке резака (рис. 88). В результате и кислородная струя, и подогревающая смесь газов приобретают большие скорости истечения и создают концентрированный нагрев и окисление металла. Увеличенные же размеры камеры горючей смеси обеспечивают необходимый запас газов и удлиненную форму ядра пламени.

Применение подобных сопел обеспечивает малую ширину реза и высокую производительность. В некоторых случаях, при резке стали указанной и большей **ТОЛЩИНЫ** используют **СУЖИВАЮЩИЕСЯ** конусные или профилированные сопла. Однако наибольшее применение при резке стали толщиной до 300 мм нашли выпускаемые промышленностью резаки с простыми в изготовлении ступенчатоцилиндрическими соплами.

При резке стали толщиной до 700 мм используют как цилиндрические, так и конусные суживающиеся сопла, работающие на пониженном давлении кислорода. В некоторых случаях резки стали этих толщин применяют и плавно расширяющиеся, профилированные сопла, также работающие на низком давлении кислорода и обеспечивающие плавное, безударное истечение газа.

Наконец, при резке стали толщиной 700—2000 мм используют преимущественно профилированные расширяющиеся сопла, обеспечивающие при сверхзвуковой скорости истечения относительно малую и равномерную по толщине стали ширину реза, малое отставание, интенсивное удаление образующихся окислов (шлаков) и высокую производительность процесса.

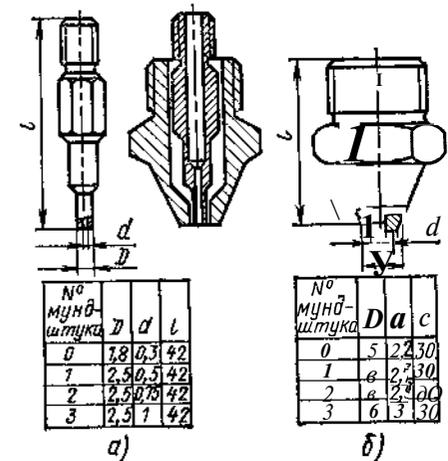


Рис. 88. Цилиндрические сопла: а — А. Г. Семенова; б — Н. С. Эйсмонтова

7. ВЛИЯНИЕ ЧИСТОТЫ КИСЛОРОДА НА КАЧЕСТВО И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РЕЗКИ

Для процесса газовой резки чистота режущего кислорода — один из главнейших факторов, определяющих качество разрезанных кромок, производительность процесса и удельный расход кислорода.

С понижением чистоты кислорода процесс окисления железа замедляется, а продолжительность резки и удельный расход кислорода возрастают. Принято считать, что с понижением чистоты кислорода на 1% (в пределах 99,5—97,5%) возрастает продолжительность резки (на 10—15%) и удельный расход кислорода (на 25—35%).

Помимо влияния на производительность резки и расход газа пониженная чистота кислорода влияет на качество кромок реза и, в частности, на образование на поверхности кромок привариваемого к ним, трудно отделимого грата (шлака, содержащего высокий процент неокисленного железа). В тех случаях, когда по условиям производства поверхность кромок должна быть гладкой, наличие на ней приваренного грата вызывает необходимость последующей механической обработки, повышающей трудоемкость работ и снижающей экономичность резки.

Применять для резки кислород чистотой ниже 97,0% из-за низкого качества кромок реза не рекомендуется. Опыт показывает, что наиболее высокой эффективности процесса разделительной резки стали и наибольшей чистоты поверхности кромок, свободных от грата, достигают при использовании кислорода наибольшей практически достижимой чистоты (99,8%).

8. РАЗРЕЗАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Подвергаемый газовой резке металл должен удовлетворять ряду определенных условий (требований).

I. Температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде (температуры начала интенсивного окисления металла). В противном случае металл под действием подогревающего пламени резака будет плавиться и принудительно удаляться кислородной струей без необходимого окисления, характеризующего процесс газовой резки. При этих условиях шлак не образуется, и расплавляемый металл, трудно удаляемый кислородной струей, будет образовывать на кромках реза наплывы. При этом производительность процесса крайне низкая, рез большей ширины и исключительно неровный.

Низкоуглеродистая сталь этому условию удовлетворяет. Температура ее плавления составляет $\sim 1500^\circ\text{C}$, а температура воспламенения в кислороде $1350\text{—}1360^\circ\text{C}$. Однако с повышением содержания углерода в стали способность ее поддаваться газовой резке падает (так как температура плавления стали снижается, а температура воспламенения в кислороде возрастает). Кроме того в обра-

зующихся при резке шлаках увеличивается количество неокисленного железа, сильно затрудняющего процесс резки из-за образования грата (сплава шлака с металлом), трудно отделяемого от кромок реза.

Тем более не поддается газовой резке чугун, содержание углерода в котором составляет более 1,7%.

II. Температура плавления металла должна быть выше температуры плавления образующихся в процессе резки окислов.

Низкоуглеродистая сталь образует три окисла железа: FeO с температурой плавления 1270°C , Fe₃O₄ с температурой плавления 1538°C и Fe₂O₃ с температурой плавления 1562°C . Допуская, что все эти окислы железа присутствуют в шлаке, температура плавления которого в среднем ниже 1500°C , можно считать, что низкоуглеродистая сталь удовлетворяет и этому условию, тем более, что на поверхности ее при нагревании не образуется пленки тугоплавких окислов, препятствующих контакту кислородной струи с металлом. Однако целый ряд металлов и сплавов, например алюминий, магний, сплавы этих металлов, а также высоколегированные стали, содержащие высокий процент хрома, этому условию резки не удовлетворяют. При нагревании этих сплавов в процессе резки на их поверхности образуется пленка тугоплавкого окисла, изолирующая металл от контакта с кислородом.

III. Тепловой эффект образования окисла металла должен быть достаточно высоким. Это условие диктуется тем, что при резке стали подогревающее пламя резака сообщает металлу сравнительно небольшую часть теплоты — около 5—30% ее общего количества, выделяемого в процессе резки. Основное же количество теплоты (70—95%) выделяется при окислении металла.

Низкоуглеродистая сталь образует при резке три окисла железа, выделяющих при своем образовании в среднем около 627 — 666,8 кДж/моль (150—160 ккал/г-мол). Этого количества теплоты оказывается достаточно для протекания эффективного процесса газовой резки стали.

Иначе обстоит дело с резкой меди и ее сплавов. Помимо высокой теплопроизводительности меди, сильно затрудняющей начало процесса резки, главной причиной, делающей газовую резку меди невозможной, является низкое тепловыделение при окислении, поскольку при образовании CuO выделяется теплоты всего 156,8 кДж/моль (37,5 ккал/г-мол), а при образовании Cu₂O 169,7 кДж/моль (40,6 ккал/г-мол). Этого количества теплоты для начала и поддержания процесса резки меди недостаточно, в связи с чем процесс газовой резки этого металла невозможен.

IV. Консистенция образующихся окислов должна быть жидкой, т. е. появляющиеся при резке шлаки должны быть жидкотекучими. Это условие хорошо выполняется при резке низко- и среднеуглеродистой стали, низколегированной стали и титановых сплавов.

Газовая резка сплавов, содержащих высокий процент кремния или хрома сильно затруднена или невозможна. Так, например, невозможна резка серого чугуна, содержащего высокий процент

кремния (до 3,5—4,5%), окись которого (SiO_2) сильно повышает вязкость шлака (см. условие I).

V. Теплопроводность металла должна быть возможно низкой. В противном случае бывает трудно, а иногда и невозможно (при большой массе высокотеплопроводного металла) достигнуть концентрированного нагрева металла.

Низкоуглеродистая сталь, теплопроводность которой невелика {коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,63 \text{ Дж}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$ [$\lambda = 0,12 \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{С})$], не вызывает трудностей ни в начальный момент, ни в процессе резки. В этом случае подогрев металла в начальной точке реза до воспламенения осуществляется быстро, без заметного отвода теплоты в массу разрезаемого металла.

Что касается начального подогрева до воспламенения таких металлов, как медь и алюминий, то для этих металлов из-за высокой теплопроводности начальный подогрев связан с большими трудностями и в большинстве случаев становится возможным только после предварительного подогрева разрезаемых листов или заготовок до достаточно высокой температуры (меди до $700\text{—}800^\circ \text{С}$, алюминия до $300\text{—}500^\circ \text{С}$). Высокая теплопроводность меди и алюминия — одна из причин, затрудняющих и делающих невозможной газовую резку этих металлов.

Анализируя приведенные выше условия газовой резки, можно констатировать, что всем этим условиям хорошо удовлетворяет чистое железо и низкоуглеродистая сталь. С повышением содержания углерода в стали способность ее поддаваться газовой резке падает.

Опыт показывает, что углеродистые стали по разрезаемости (с учетом качества) можно делить на следующие четыре группы.

1. Низкоуглеродистая сталь, содержащая до $0,20\text{—}0,25\%$ С, режется хорошо и не требует ни предварительного подогрева, ни последующей (после резки) термообработки.

2. Среднеуглеродистая сталь, содержащая $0,25\text{—}0,5\%$ С, режется удовлетворительно, но во избежание возможной подкалки кромок, а иногда и образования трещин при жестком закреплении разрезаемого листа или наличии резких переходов в контуре вырезаемых деталей, приводящих к концентрации напряжений, требует предварительного (до 300°С) или сопутствующего подогрева.

3. Высокоуглеродистая сталь, содержащая $0,5\text{—}0,7\%$ С, режется плохо, образуя рез с зашлакованными и оплавленными кромками (обычно с приваренным гратом). Резку такой стали рекомендуется производить с предварительным подогревом до температуры не ниже 300°С .

4. Высокоуглеродистая инструментальная сталь, содержащая $0,7\text{—}1,2\%$ С, режется очень плохо и во всех случаях требует предварительного подогрева до температуры $600\text{—}650^\circ \text{С}$. Резка такой стали связана с сильным зашлаковыванием и оплавлением кромок и образованием на кромках большого количества трудно отделимого графа. Сталь, содержащая более $1,2\%$ С, газовой резке не поддается.

181

Легированные стали по разрезаемости можно делить на две группы: 1) низколегированные, содержащие незначительное количество углерода и легирующих элементов, при котором эквивалент углерода $C_{\text{эkv}} \leq 0,45$; в этом случае резка возможна без подогрева; 2) среднелегированные, содержащие повышенное количество углерода и легирующих примесей, при котором эквивалент углерода $C_{\text{эkv}} > 0,45$; такие стали требуют предварительного или сопутствующего подогрева.

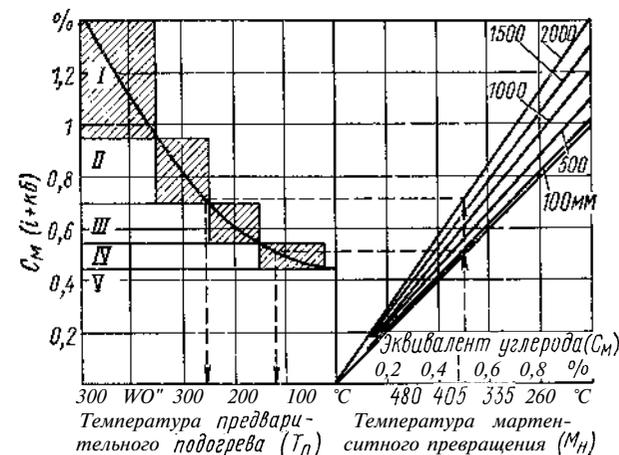


Рис. 89. Номограмма определения температуры предварительного подогрева легированных сталей перед резкой:

/ — резка возможна только при предварительном подогреве выше 350°С и последующем медленном охлаждении в печи;
 // — необходимы предварительный подогрев до $250\text{—}350^\circ \text{С}$ и последующее медленное охлаждение; /// — необходимы предварительный или сопутствующий подогрев до $150\text{—}250^\circ \text{С}$, охлаждение на спокойном воздухе; IV — при резке стали толщиной более 500 мм необходим подогрев не ниже $100\text{—}150^\circ \text{С}$;
 V — подогрева не требуется

Температура предварительного подогрева может быть определена по эмпирической формуле

$$T_{\text{н}} = 500 \sqrt{C_{\text{эkv}} (1 + kb) - 0,45},$$

где k — коэффициент, учитывающий толщину разрезаемого металла, равный $0,0002$; b — толщина стали, мм; величина $0,45$ соответствует верхнему пределу $C_{\text{эkv}}$, при котором возможна резка без подогрева.

В случае необходимости применения предварительного подогрева при резке той или иной легированной стали величина температуры может быть установлена также по номограмме (рис. 89). Однако предварительный подогрев стали перед резкой может быть осуществлен преимущественно при резке массивных поковок или отливок из легированных сталей. Для резки листовой стали, в особенности листов больших размеров, может быть эффективно применен только

сопутствующий подогрев, рассматриваемый в § 6 гл. XXI. Из других металлов так же хорошо, как и железо, газовой резке поддаются титан и его сплавы.

5. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КРОМКЕ РЕЗА ПРИ ГАЗОВОЙ РЕЗКЕ СТАЛИ

В результате газовой резки стали в кромке реза наблюдается увеличение содержания тех элементов, которые обладают меньшим сродством с кислородом, чем железо, в частности углерода, меди и никеля. Содержание же элементов, обладающих большим сродством с кислородом, нежели железо, например марганца и кремния, снижается (рис. 90).

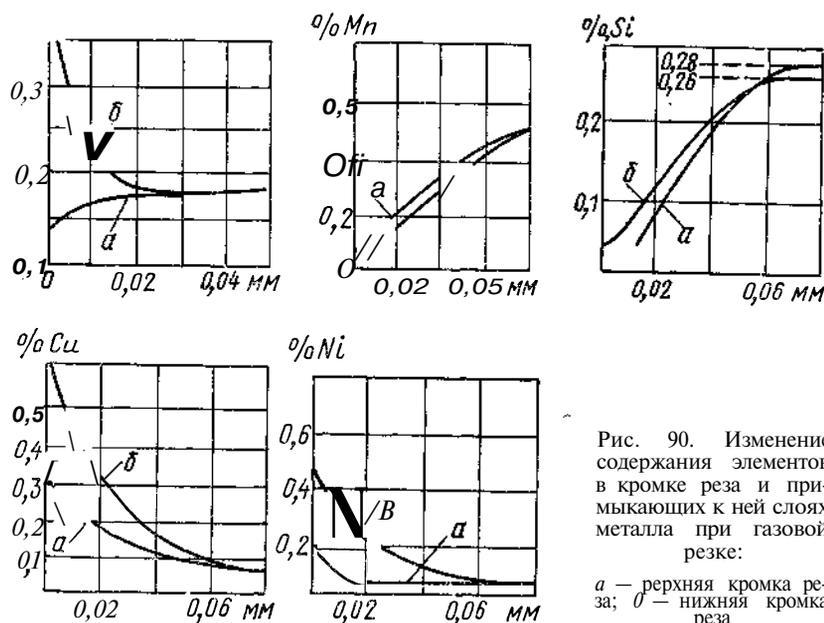


Рис. 90. Изменение содержания элементов в кромке реза и прилегающих к ней слоях металла при газовой резке:

a — верхняя кромка реза; б — нижняя кромка реза

Наибольший интерес с точки зрения влияния на структуру и механические свойства стали в кромке реза представляет увеличение содержания углерода.

В настоящее время существуют в основном две гипотезы, наиболее достоверно объясняющие механизм науглероживания кромки при газовой резке стали.

Одна из них объясняет науглероживание кромки реза тем, что при горении углерода стали будет образовываться преимущественно окись углерода. С образованием же последней в резе создаются

условия для процесса цементации поверхности кромок, при котором поглощение углерода металлом кромки должно протекать по реакции

$$3\text{Fe} + 2\text{CO} \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2.$$

Возражением против этой гипотезы может быть, очевидно, только то, что количество образуемой CO будет недостаточно для полной цементации кромок, так как основное количество углерода из сгоревшего металла остается в шлаке, около 2,5% переходит в кромку и только 3—6% удаляется с газами.

По второй гипотезе, вытекающей из приведенного выше механизма окисления железа, процесс науглероживания кромки протекает за счет избирательного окисления железа или фаз, богатых железом, и выноса углеродистой компоненты в шлак или за счет науглероживания королек шлака, привариваемых при стекании последнего вниз к поверхности реза.

Механизм этого процесса можно представить следующим образом. Врезаясь в металл, кислородная струя выносит большую часть шлака и неокисленного металла в разрез, причем при продвижении струи вперед вследствие возникновения фронтального давления происходит оттеснение части шлака и жидкого металла назад за струю и отложение на гребешках кромки реза наплывов с высоким содержанием углерода. В результате приварки наплывов к кромке реза происходит науглероживание последней, а в результате местной диффузии углерода внутрь кромки — выравнивание содержания этого элемента в кромке и в прилегающих к ней слоях металла.

10. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ В СТАЛИ НА ПРОЦЕСС РЕЗКИ

Содержащиеся в стали примеси, как правило, оказывают влияние на процесс резки. Некоторые из них, не влияя на процесс отрицательно, вызывают повышенную склонность кромок реза к закалке; некоторые же замедляют процесс или, образуя вязкие шлаки, делают резку практически невозможной.

Весьма важно сочетание примесей в стали, а именно: содержит ли сталь только одну примесь в повышенном количестве или наряду с этой примесью содержит повышенные количества других примесей, тоже влияющих на процесс резки.

Углерод сильно влияет на процесс резки. Даже при низком содержании углерода в стали, около 0,15—0,18%, в особенности при резке больших толщин из-за избирательного окисления железа и перехода углерода в шлак кромки реза обогащаются углеродом и приобретают склонность к закалке. Еще большее количество углерода в стали приводит к увеличению его содержания в кромках реза, что еще больше способствует их закалке или придает кромкам свойства высокоуглеродистого сплава с ледебуритной структурой (при $C \geq 2\%$).

Углерод, снижая температуру плавления стали и повышая температуру ее воспламенения в кислороде, препятствует процессу

резки тем, что способствует повышению количества несгоревшего железа в шлаке, привариваемого к кромкам и затрудняющего удаление шлака из образуемого разреза.

Марганец по своим теплофизическим свойствам близок к железу и низкоуглеродистой стали. Его температура плавления 1250°C , а тепловые эффекты образования окислов $\text{MnO} - 389,2 (93,1)$; $\text{Mn}_2\text{O}_3 - 993,6 (232,7)$ и $\text{Mn}_3\text{O}_4 - 1406,6$ кДж/моль (336,5 ккал/г-мол). При содержании марганца до 4% сталь режется хорошо. При более высоком содержании марганца (до 14%) процесс резки протекает несколько хуже, но все же удовлетворительно. Основное затруднение при резке марганцовистых сталей с повышенным содержанием углерода — их склонность к образованию закалочных трещин, в связи с чем резку этих сталей рекомендуется производить с предварительным подогревом до температуры $\sim 300^{\circ}\text{C}$.

Кремний в количествах, в которых он содержится в низкоуглеродистой или низколегированной стали, на процесс резки не влияет. Кремний незначительно влияет на процесс резки и в том случае, когда содержание его в стали достигает 1,5—2%. Однако при содержании его свыше 4—5% из-за чрезмерной вязкости шлака, богатого окислом кремния (SiO_2), рез зашлаковывается и процесс резки весьма затрудняется или становится вообще невозможным.

Сера и фосфор в тех незначительных количествах, в которых эти вредные примеси содержатся в стали, на процесс резки не влияют.

Хром, так же как примесь кремния, в стали повышает вязкость шлака, и уже при его содержании до 2—3% способствует зашлаковыванию кромок реза. При содержании до 4—5% Cr, когда на нагреваемой поверхности стали присутствуют отдельные разобщенные окисные частицы, процесс резки еще возможен. Однако при более высоком содержании хрома вся поверхность стали оказывается покрытой тугоплавкой окисной пленкой ($I_{\text{пл}} \text{Cr}_2\text{O}_3 = 2200^{\circ}\text{C}$), изолирующей сталь от контакта с кислородом, в связи с чем резка становится невозможной.

Хром способствует также прокаливаемости стали при резке, и при неблагоприятных условиях охлаждения (резкие переходы в сечениях, прямые углы линии реза и др.) образованию глубоких трещин.

Никель, имея высокую упругость диссоциации окисла (NiO), т. е. обладая низким сродством с кислородом, весьма слабо окисляется кислородной струей при резке, чем и объясняется невозможность газовой резки этого металла. Однако, присутствуя в стали как примесь, никель при содержании его до 6—7% процессу газовой резки стали заметно не препятствует. Значительно хуже процесс резки протекает при высоком содержании никеля, достигающем 30%. В этом случае благодаря избирательному окислению компонентов стали образуемый при резке шлак содержит участки, богатые оплавленным, но не окисленным никелем, выносимым кислородной струей из реза и частично остающимся на разрезанных кромках.

Молибден в тех малых количествах (0,15—0,25%), в которых он содержится в низколегированных конструкционных сталях, на процесс резки не влияет. Он не оказывает заметного влияния и при более высоком содержании (до 0,6—0,9%) при резке специальных молибденовых и хромомолибденовых сталей, однако даже при низком его содержании в стали резко повышается прокаливаемость кромок реза и их склонность к образованию трещин.

Вольфрам при обычном содержании в специальных сталях (до 1,0—1,4%) на процесс резки заметно не влияет. Однако подобно хрому и молибдену вольфрам увеличивает прокаливаемость стали в зоне теплового влияния резки и ее склонность к образованию глубоких трещин.

Ванадий в незначительных количествах, в которых он присутствует в стали, на процесс резки не влияет.

Медь и алюминий в незначительных количествах, в которых эти элементы могут иногда содержаться в низколегированных сталях, на процесс резки не влияют.

11. ВЛИЯНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Тепловое воздействие резки на структуру и механические свойства (твердость) металла в примыкающих к кромке слоях зависит прежде всего от толщины разрезаемой стали и ее химического состава.

Сообщенная металлу при резке теплота складывается из теплоты подогревающего пламени и теплоты, выделяемой при окислении кислородной струей железа и содержащихся в стали примесей. Значительная часть теплоты, идущая на нагрев металла в объеме реза, выносится из разреза с расплавленным шлаком, однако другая, меньшая, ее часть передается кромкам разрезаемого металла. При этом металл кромок реза нагревается выше критической точки A_{c3} , а затем быстро охлаждается за счет отвода теплоты в более холодные соседние слои металла и за счет охлаждающего действия кислородной струи, способствующего интенсивной теплоотдаче в окружающую среду.

Простая низкоуглеродистая сталь закалке при резке практически не поддается. Тепловое влияние резки на структуру этой стали при условии содержания в ней менее 0,2% С сказывается главным образом на изменении величины зерна в зоне теплового влияния и появлении в структуре наряду с участками перлита неравновесной составляющей — сорбита. Сорбитные образования, как правило, недостаточно развиты и характеризуются незначительным изменением зерна. Объясняется это тем, что из-за быстрого охлаждения продолжительность пребывания металла кромок при температуре выше A_{c3} крайне мала и аустенитное превращение в металле не успевает полностью совершиться.

Наличие сорбитной структуры в зоне теплового влияния резки не снижает качества металла, а напротив, несколько повышает

его механические свойства, в частности предел прочности, без заметного снижения пластических свойств стали. При резке сталей с повышенным содержанием углерода или легирующих примесей из-за их большой прокаливаемости изменение структуры происходит на большую глубину от кромки реза, чем в низкоуглеродистых сталях. При этом сама структура, помимо перлита и сорбита, может содержать троостит и даже мартенсит, сильно повышающий твердость и хрупкость стали. Наличие мартенситной составляющей в структуре стали затрудняет механическую обработку кромок реза и повышает склонность стали к образованию трещин главным образом при охлаждении кромок в период мартенситного превращения, связанного с объемными изменениями в металле. Наиболее вероятно образование трещин при резке закаливаемых сталей большой толщины, при сложных контурах реза, с прямыми и острыми углами.

Резка сталей в закаленном состоянии без отжига или нормализации перед резкой также способствует возникновению в металле трещин. Кромки реза обогащаются углеродом даже при низком содержании этого элемента в стали, причем наиболее сильное науглероживание кромок наблюдается в ее нижней части, где содержание углерода может достигать 0,3—0,75%, в зависимости от толщины стали, содержащей всего 0,15—0,25% С. Таким образом, металл кромок почти всегда склонен к закалке, которая в зависимости от содержания углерода и легирующих примесей в стали и от скорости охлаждения может давать различные закалочные структуры, обладающие различной твердостью.

12. МАТЕРИАЛЬНЫЙ И ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНСЫ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Анализ данных о составе остывшего шлака, образуемого при газовой (кислородно-ацетиленовой) резке низкоуглеродистой стали, показывает, что данные эти весьма разноречивы, поскольку одни исследователи указывают на содержание в шлаке всех трех окислов железа; вторые — на содержание FeO и Fe₃O₄ и отсутствии Fe₂O₃; третьи, наоборот, обнаруживают FeO и Fe₂O₃ и не определяют Fe₃O₄ и, наконец, четвертые обнаруживают только один окисел Fe₃O₄. В то же время, все эти данные свидетельствуют о наличии в остывшем шлаке какого-то количества неокисленного железа, процентное содержание которого можно считать равным 15—20%.

Разноречивость данных различных исследователей о составе образуемого при газовой резке шлака вызвана тем, что все эти анализы проводились на шлаках, полученных при различных условиях резки, а именно: при разной толщине стали и различных режимах резки, различных соотношениях горючей смеси, чистоте и расходе кислорода, скорости резки и т. д.

Кроме того, практически результаты химических анализов шлака не могут быть одинаковыми, так как система железо—кисло-

род характерна тем, что окислы железа FeO и Fe₃O₄, образуя твердые и жидкие растворы между собой, образуют также твердые и жидкие растворы с железом, осуществляя как бы непрерывное поглощение кислорода.

В условиях резки при температуре шлака выше 1383° С образовавшаяся Fe₂O₃ должна переходить на воздухе в Fe₃O₄, освобождая часть кислорода, так как при температуре 1383° С упругость диссоциации Fe₂O₃, достигая 21240 Па (0,21 ат), становится равной парциальному давлению кислорода воздуха. Высказанное положение справедливо только для случаев резки стали сравнительно небольшой толщины, когда шлака образуется мало и когда весь он соприкасается с воздухом. При резке же стали большой толщины шлак образует большие скопления, внутренние объемы которых оказываются изолированными от воздуха и в них не происходит перехода Fe₂O₃ в Fe₃O₄.

Несмотря на то, что для составления теплового баланса процесса разделительной резки имеет значение не конечное состояние продуктов резки, а состав окислов, образующихся в зоне реакции, — из-за сложности непосредственного определения состава шлаков в разрезе, материальный и тепловой баланс разделительной резки сталей строят, заменяя фактический состав шлаков условным (расчетным), состоящим из 100% FeO. Такая замена является оправданной с точки зрения теплового эффекта при расчете на единицу кислорода вне зависимости от образующегося окисла. Так, на 1 г-мол кислорода выделяется теплоты при образовании FeO $Q = 537,8$ кДж (128,6 ккал); при образовании Fe₃O₄ $Q = 561,3$ кДж (133,45 ккал); при образовании Fe₂O₃ $Q = 553,8$ кДж (132,3 ккал). Средний тепловой эффект на 1 г-мол кислорода составляет 552,7 кДж (131,45 ккал). Отклонения от этого среднего значения для условного состава флюсов — не более 2—2,5%, что вполне приемлемо для практических расчетов.

Полный материальный баланс процесса ацетилено-кислородной разделительной резки низкоуглеродистой стали в общей форме можно представить следующим образом:

$$G_{Fe} + G_{к.н} + G_{к.ок} + G_{к.в} + G_a = G_{FeO} + G_{Fe_3O_4} + G_{Fe_2O_3} + G_{CO_2} + G_{H_2O} + G_{CO} + G_{H_2}$$

где G_{Fe} — масса удаленного из разреза железа; $G_{к.н}$ — масса кислорода, идущего на подогревающее пламя; $G_{к.ок}$ — масса кислорода, идущего на горение (окисление) железа; $G_{к.в}$ — масса кислорода, идущего на выдувание окислов; G_a — масса ацетилена, идущего на подогревающее пламя; G_{FeO} — масса образующейся FeO; $G_{Fe_3O_4}$ — масса образующихся Fe₃O₄ и Fe₂O₃; G_{Fe} — масса негоревшего железа, удаленного кислородной струей из разреза; G_{CO_2} — масса отходящего углекислого газа CO₂; G_{H_2O} — масса отходящего водяного пара H₂O; G_{O_2} — масса кислорода, неиспользованного

при горении ацетилена и железа и удалении (выдувании) окислов (непроизводительные потери кислорода).

В упрощенном виде все основные составляющие материального баланса кислородной резки на основании принятого выше допущения можно свести к количеству сжигаемого металла G_{Fe} .

Действительно, для резки средних толщин расход кислорода на окисление $G_{к.ок}$ составляет

$$\frac{16}{56} G_{Fe} = 0,285 G_{Fe}.$$

Так как $G_{к.в}$ в этом случае приблизительно равен $G_{к.ок}$, то суммарный расход режущего кислорода составит $\approx 0,57 G_{Fe}$. Расход



Рис. 91. Тепловой баланс газовой резки стали толщиной 15 мм

ацетилена подогревающего пламени по отношению к общему расходу кислорода составляет около 10—15%. Так как при резке применяют подогревающее пламя с избытком кислорода ($\beta_0 = 1,5$), то легко определить $G_{к.п}$. При резке средних толщин $G_{к.п} \approx 0,15 G_{Fe}$ и $G_a \approx 0,1 G_{Fe}$.

Таким образом, общий расход кислорода при резке средних толщин составляет $\sim 0,7-0,72 G_{Fe}$ или на сжигание металла объемом 1 см³ расходуется ~ 4 л кислорода и $\sim 0,5$ л ацетилена.

Полный тепловой баланс кислородной резки в общей форме представляется следующим выражением:

$$Q_{н.п} + Q_{г.ж} + Q_{г.п} = Q_{н.м}^п + Q_{н.ж}^ж + Q_{н.ш} + Q_{п.л}$$

где $Q_{н.п}$ — теплота, выделяемая подогревающим пламенем (рассчитывают исходя из расхода горючего и его нижней теплотворной способности); $Q_{г.ж}$ — теплота, выделяемая при сгорании железа; $Q_{г.п}$ — теплота, выделяемая при сгорании примесей в железе (при обычных составах низколегированных сталей дает увеличение общего теплового эффекта реакции горения металла на 2—4%);

$Q_{н.м}^п$ — теплота подогревающего пламени, расходуемая на нагрев металла; $Q_{н.ж}^ж$ — теплота, затрачиваемая на нагрев металла сжиганием железа и примесей; $Q_{н.ш}$ — теплота, затрачиваемая на нагрев шлака; $Q_{п.л}$ — потери теплоты (унос перегретыми газами, потери на излучение, подогрев струи режущего кислорода).

Тепловой баланс газовой разделительной резки листовой низкоуглеродистой стали толщиной 15 мм Представлен на рис. 91.

С изменением толщины разрезаемой стали значения отдельных параметров теплового баланса разделительной резки меняются. При резке сталей малых толщин (до 12 мм) определяющим фактором является теплота, сообщаемая подогревающим пламенем, а не теплота образования окислов железа, как это имеет место при резке сталей больших толщин (рис. 92).

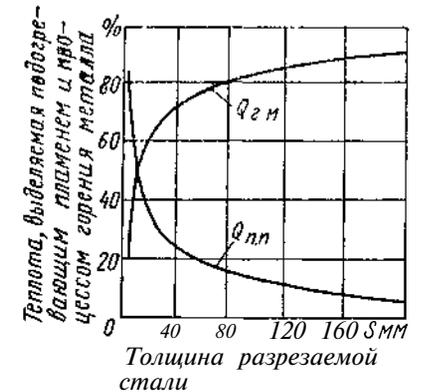


Рис. 92. Зависимость сообщаемой металлу теплоты подогревающего пламени и теплоты горения железа от толщины разрезаемой стали

ГЛАВА XVI

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ

1. РУЧНЫЕ РЕЗАКИ

Ручные резаки для газовой резки классифицируются по роду горючего газа, на котором они работают, по принципу смешения горючего с кислородом и по назначению.

По роду горючего газа резаки делятся на: 1) ацетилено-кислородные; 2) работающие на газах-заменителях ацетилена (водород, метан, пропано-бутановые смеси и др.) и 3) работающие на жидких горючих (керосин, бензин, бензол).

По принципу смешения горючего газа с кислородом резаки бывают: 1) инжекторные и 2) с внутрисопловым смешением газов.

По назначению различают резаки: 1) универсальные, предназначенные для разделительной резки стали толщиной до 300 мм по прямой, по кругу и по различным криволинейным контурам, и 2) специального назначения — для резки стали большой толщины, вырезки отверстий, срезки заклепок, для подводной резки и т. п.

Требования к ручным резакам: возможность резки во всех направлениях; необходимое соотношение мощности подогревающего пламени и режущей струи кислорода; отсутствие эксцентриситета в расположении наружного и внутреннего мундштуков в резаках с кольцевой подогревающей щелью; возможность регулирования пламени при пушенной струе режущего кислорода; высокая чистота обработки каналов мундштука, в особенности канала режущего кислорода; герметичность соединений; комплектование резака сменными мундштуками; достаточная длина резака, исключающая нагрев рукоятки и ожоги рук резчика; комплектование резака тележкой, обеспечивающей постоянство расстояния от сопла до металла и равномерное перемещение резака над поверхностью металла.

Конструктивно резак представляет собой горелку, снабженную устройством для подачи в центральный канал мундштука режущей струи кислорода. Так же как и сварочные горелки, выпускаемые

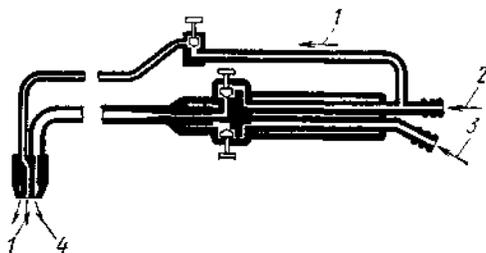


Рис. 93. Инжекторный резак:
1 — режущий кислород; 2 — кислород; 3 — ацетилен; 4 — горячая смесь

промышленностью резаки имеют инжекторное устройство, обеспечивающее необходимое смешение газов как при низком, так и при среднем давлении горячего газа.

Инжекторные резаки. Корпус инжекторного резака и его наконечник с инжектором и смесительной камерой имеют устройство, аналогичное сварочной горелке. В отличие от последней резак имеет дополнительную трубку для режущего кислорода, вентиль для пуска и перекрытия режущей кислородной струи и отличающееся по конструкции устройство головки и мундштуков (рис. 93).

Резак состоит из двух основных частей — ствола и наконечника. Ствол резака включает в себя рукоятку с ниппелями (для присоединения ацетиленового и кислородного шлангов) и трубками — ацетиленовой и кислородной и корпус с регулировочными вентилями — ацетиленовым и кислородным. Наконечник состоит из инжектора, смесительной камеры, трубки смеси, головки резака с внутренним и наружным мундштуками и трубки режущего кислорода с вентилем.

Ацетилен обычно под небольшим избыточным давлением через ниппель поступает в трубку и через вентиль проходит в боковые пазы инжектора. Кислород под необходимым давлением через ниппель поступает к вентилям. Через вентиль он поступает в центральный канал инжектора и, выходя из него с большой скоростью в про-

странство перед смесительной камерой, создает в нем некоторое разрежение, в результате которого происходит подсос ацетилена кислородом и необходимое смешение газов в смесительной камере.

Из смесительной камеры смесь газов поступает в трубку смеси и через головку резака и кольцеобразный канал, образуемый внутренним и внешним мундштуками, выходит в атмосферу, образуя при воспламенении подогревающее пламя.

При открывании вентиля кислород проходит по трубке через головку резака и внутренний мундштук и на выходе из резака образует режущую струю, окисляющую металл и выдувающую окислы в процессе резки.

Резаки с внутрисопловым смешением. Принципиальное отличие этих резаков от обычных инжекторных состоит в том, что в них и горючий газ и кислород подогревающего пламени проходят в головке резака и в мундштуке по отдельным кольцевым каналам (рис. 94). В мундштуке со стороны этих кольцевых каналов имеются группы цилиндрических отверстий, сходящихся под острым углом и соединяющихся в выходных каналах, концентричных режущему кислородному соплу. Таким образом, смешение газов происходит только на выходе из мундштука. Получение горючей смеси в выходных каналах мундштука практически исключает возможность возникновения обратных ударов пламени.

Резаки с внутрисопловым смешением газов применяют главным образом при резке стали сравнительно больших толщин, когда при больших удельных расходах газов сечения головки резака и мундштука должны быть увеличены, что упрощает обработку и облегчает сверление каналов.

Резаки для разделительной резки с использованием газов-заменителей. Эти резаки предназначены для газовой резки низкоуглеродистой стали с использованием в качестве горючего различных углеводородных газов (метана, природного газа, пропано-бутановой смеси и др.).

Отличительная особенность этих резаков, по сравнению с ацетилено-кислородными — увеличенные каналы горячего газа в инжекторе, смесительной камере и мундштуках, обеспечивающие необходимый расход горючего и соответствующую мощность подогревающего пламени. Так же, как и ацетилено-кислородные резаки, работающие на газах-заменителях, комплектуют сменными внутренними и наружными мундштуками, тележкой и циркульным устройством для резки по окружности.

Керосинорезы. Для газовой резки низкоуглеродистой стали с использованием в качестве горючего керосина или бензина используют керосинорезы двух принципиально отличных типов: с испарением и с распылением горючего.

Резак керосинореза, работающего по принципу испарения горючего, имеет специальную испарительную камеру с асбестовой набивкой, через которую поступает керосин или бензин. Нагрев

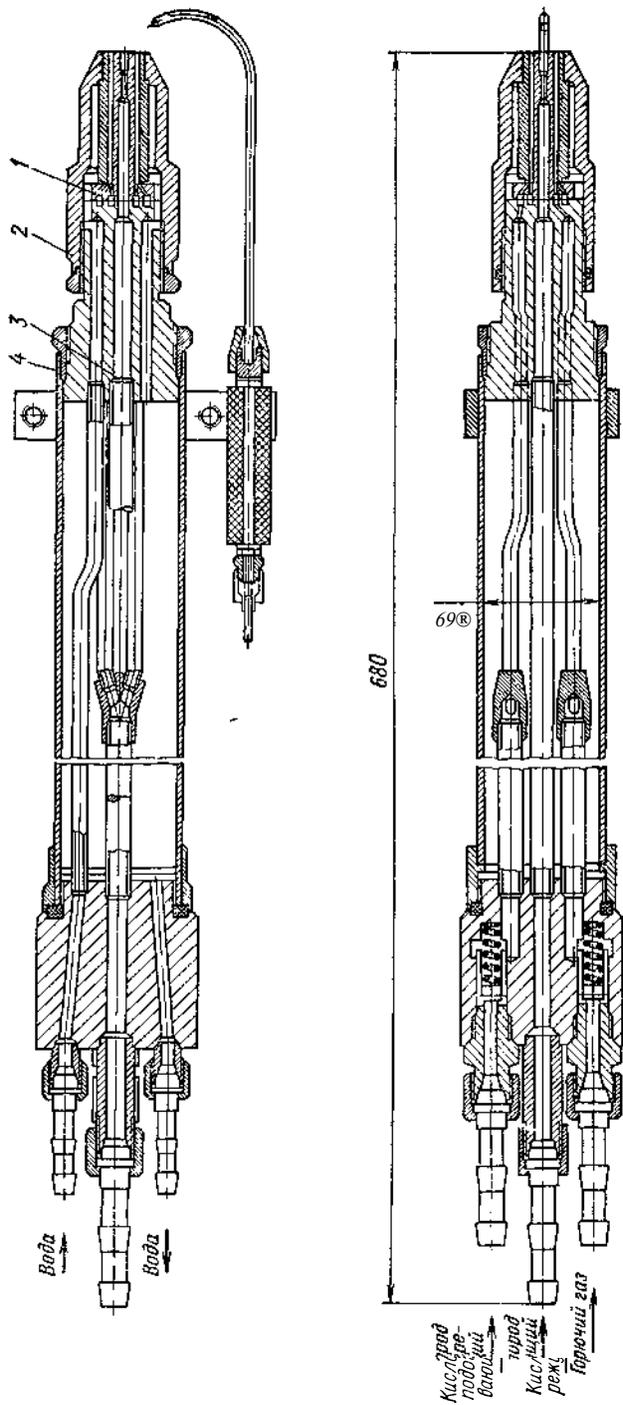


Рис. 94. Внутриопловое смешение газа. 1 — мундштук с внутренним смещением газа; 2 — наружный водоохлаждающий канал резака; 3 — канал режущего кислорода; 4 — корпус.

испарительной камеры и испарение горючего у ручных и машинных резаков осуществляются дополнительным пламенем. Резак керосинореза, работающего по принципу распыления, имеет специальное распылительное устройство, благодаря которому жидкое горючее в распыленном виде поступает в мундштук резака и в нем испаряется.

Керосинорез, работающий по принципу испарения горючего, состоит из бачка для жидкого горючего емкостью около 5 л и резака. Бачок представляет собой резервуар цилиндрической формы, переходящей в верхней части в сферическую. Бачок снабжен насосом с обратным каналом, трубкой с запорным вентилям для присоединения керосиностойкого шланга и манометром.

После заливки горючего с помощью ручного насоса в бачок закачивают воздух под давлением 0,5—2 кгс/см², благодаря которому керосин или бензин поступает в резак (рис. 95).

Кислород через ниппель, вентиль, трубку и инжектор поступает в смешительную камеру, в которой смешивается с парами горючего, поступающими из испарителя. Керосин или бензин поступает в резак по шлангу и затем через ниппель и трубку — в заполненный асбестовой набивкой испаритель. Испаритель в процессе работы керосинореза нагревается пламенем, образуемым на выходе из дополнительного сопла.

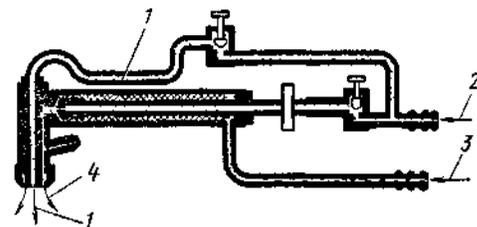


Рис. 95. Резак керосинореза с испарителем: 1 — режущий кислород; 2 — кислород; 3 — керосин или бензин; 4 — горючая смесь

Горючее регулируют маховичком, жестко связанным с трубкой, получающей поступательное перемещение при вращении маховичка. Вращением маховичка по часовой стрелке трубку ввертывают в корпус резака, в результате чего сечение для прохода горючего из испарителя в смешительную камеру уменьшается. Вращением маховичка против часовой стрелки увеличивают проходное сечение для горючего, т. е. увеличивают мощность подогревающего пламени.

При эксплуатации керосинорезов необходимо следить за тем, чтобы давление в бачке с горючим ни в коем случае не превысило давления кислорода, так как в противном случае при обратном ударе пламени взрывная волна может распространиться в кислородный шланг, воспламенить и взорвать его и вызвать еще более тяжелые последствия.

При работе керосинореза на бензине применяют меньшие диаметры канала сопла для подогрева испарителя. Чистый бензин для резки используют редко. При резке на морозе к керосину добавляют до 10—15% бензина, повышающего эффективность мощности пла-

мени, компенсирующую потери теплоты за счет низкой температуры окружающего воздуха.

Керосинорез, работающий по принципу механического распыления горючего, имеет резак (рис 96), состоящий из головки с наружным и внутренним мундштуками, ствольных трубок, корпуса, фильтра и обратного клапана. Горючее из бачка по керосиностойкому шлангу поступает в фильтр и через регулирующий вентиль в трубку — в распылительное устройство головки резака. Кислород из шланга, преодолевая сопротивление возвратной пружины клапана поступает в корпус, разветвляясь по двум каналам, проходит к регулировочному вентилю подогревающего кислорода и к вентилю режущего кислорода.

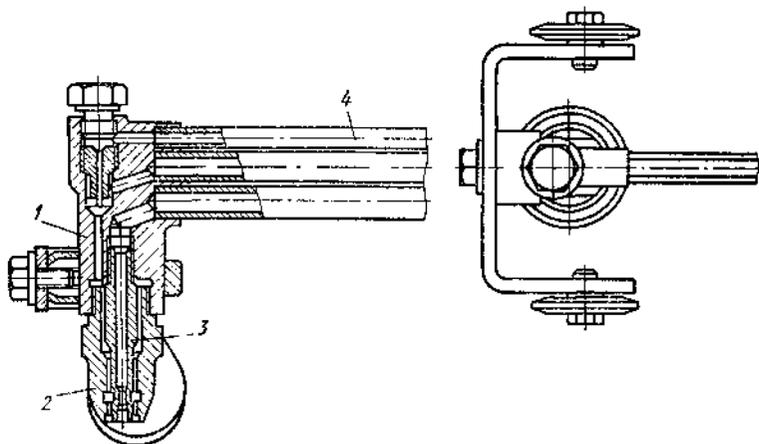


Рис. 96. Резак керосинореза с распылением горючего:

1 — головка керосинореза, 2 — наружный мундштук; 3 — внутренний мундштук; 4 — кислородопровод для кислорода подогревающейся пламени

По трубке кислород поступает в распылитель и, выходя из бокового отверстия последнего, распыляет струю жидкого горючего, проходящего через центральный канал распылителя. Образовавшаяся смесь горючего с кислородом по цилиндрическому каналу поступает в кольцевой зазор между наружным и внутренними мундштуками и, соприкасаясь с нагретой стенкой наружного мундштука (при установившемся процессе резки), испаряется и в парообразном состоянии выходит из мундштука через сопло подогревающей смеси.

Режущий кислород поступает в головку резака, режущее сопло и в зону резки.

Специализированные резаки. К ним относятся резаки, предназначенные для выполнения весьма ограниченных, сугубо специализированных операций, таких как вырезка дымогарных труб в котлах, срезка заклепок и т. п.

2. МАШИННЫЕ РЕЗАКИ

В отличие от ручных, машинные резаки имеют обычно цельные мундштуки с шестью концентрически расположенными подогревающими соплами и центральным каналом (соплом) режущего кислорода.

По назначению различают резаки для машин общего назначения и резаки для специализированных машин.

По роду горючего машинные резаки делят на ацетилено-кислородные, метано- или пропано-бутано-кислородные и керосино-кислородные.

Все резаки имеют головки одинаковой конструкции; одинаковые сечения трубок горючей смеси, режущего кислорода и смеси-тельной камеры; одинаковые диаметр кожуха, сечение и модуль рейки, проходы в корпусах и т. д. Так же как и ручные, машинные резаки могут быть инжекторными и с внутрисопловым смещением газов. Последние применяют главным образом на специализированных машинах.

3. МАШИНЫ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ

Газорезущие машины подразделяют на машины общего назначения и специализированные.

Согласно ГОСТ 5614—74 существуют переносные и стационарные машины общего назначения — для газовой (кислородной) резки стали и плазменно-дуговой резки стали и других металлов. В зависимости от способа резки ГОСТом установлены два исполнения машин: К — для газовой резки стали кислородной струей и Пл — для резки металлов плазменной дугой.

Переносные машины. Режущие переносные машины могут иметь приводы: электрический, пневматический (кислородный или воздушный) и пружинный. Наиболее распространен электрический привод.

ГОСТ предусматривает пять типов переносных машин общего назначения: ПК-1, ПК-2 и ПК-3 — для газовой резки низкоуглеродистой стали и ППл-1 (легкая), ППл-1 (тяжелая) — для плазменно-дуговой резки металлов (низкоуглеродистой и высоколегированной стали, сплавов меди и алюминия). Максимальная толщина стали, разрезаемой газом с помощью переносных машин общего назначения типа ПК, составляет 65—300 мм, а максимальная толщина других металлов (в том числе сплавов алюминия), разрезаемого плазменно-дуговым способом на машинах общего назначения типа ППл 100—300 мм.

Все машины ПК могут осуществлять односторонний скос кромок при работе одним (ПК-1) или двумя резаками (ПК-2) и двусторонний скос — при комплектовании машины тремя резаками (ПК-3). Машина ППл-1 (легкая) может осуществлять плазменно-дуговую резку, перемещаясь по листу: при ручном управлении дви-

жением тележки по разметке, при резке по циркулю и по направляющим. Кроме того, машина может перемещаться по гибкому и жесткому рельсовому пути. Машина ППл-1 (тяжелая) может перемещаться только по жесткому рельсовому пути. Обе машины могут осуществлять как разделительную резку, так и односторонний скос кромок.

Наиболее распространенная в промышленности машина типа ПҚ — двухрезаковая машина «Радуга». Переносная газорезущая машина «Радуга» (рис. 97) предназначена для резки листовой стали толщиной 5—300 мм по прямой, по окружности диаметром 300 мм

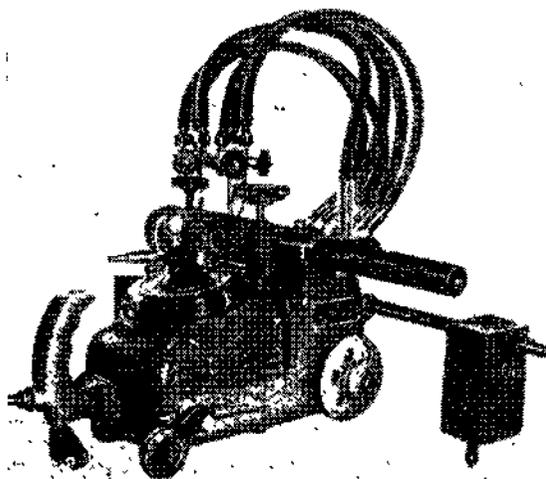


Рис. 97. Переносная газорезущая машина «Радуга»

и более и по произвольным кривым. При одновременной работе двух резаков машина производит резку листов на полосы шириной до 330 мм, вырезку фланцев шириной до 330 мм при минимальном внутреннем диаметре 300 мм и максимальном наружном 3000 мм, подготовку кромок листов под сварку с односторонним скосом под углом до 40° к вертикали.

В процессе резки машина передвигается по рельсовому пути или по направляющему угольнику. Машина опирается на лист или рельс тремя колесами, одно из которых укреплено на передней качающейся оси, что при резке искривленных листов обеспечивает постоянство опоры на все колеса. При движении по прямолинейному рельсу резка криволинейных участков контура обеспечивается вручную путем плавного поперечного перемещения резакового суппорта. Направляющий угольник может быть прямолинейным или изогнутым по радиусу не менее 1500 мм. Для резки по окруж-

ности используют циркульное устройство. Машину включают в цепь переменного тока напряжением 110—127 В.

Стационарные машины. По конструкции стационарные машины общего назначения делятся на прямоугольно-координатные, полярно-координатные (шарнирные) и параллелограммные (рис. 98).

Вырезка заданной конфигурации детали на прямоугольно-координатной машине достигается сочетанием двух взаимно перпендикулярных в плоскости листа движений: движения каретки продольного хода и движения поперечной штанги (рис. 98, а). Машины этой конструкции позволяют выполнять фигурную вырезку деталей по копиру, а также прямолинейные резы под прямым углом

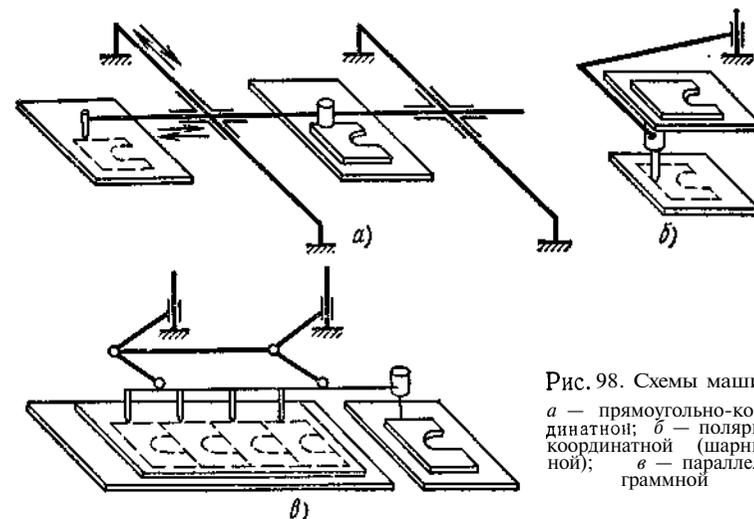


Рис. 98. Схемы машин:
а — прямоугольно-координатной; б — полярно-координатной (шарнирной); в — параллелограммной

или с наклоном резака при скосе кромок под сварку. Они могут быть оснащены одним или несколькими резаками для одновременной вырезки нескольких одинаковых деталей или для одновременного выполнения нескольких прямолинейных резов.

Прямоугольно-координатные машины — самые распространенные, они позволяют осуществлять все принципы копирования и программного управления процессом резки.

В полярно-координатных машинах перемещение резака по заданному контуру осуществляется с помощью шарнирной связи двух рам. Одна из рам шарнирно закреплена на неподвижной колонне, вторая, будучи шарнирно-связанной с первой, имеет на себе ведущий механизм, электромагнитную головку с копирным роликом и резаки.

В машинах с однорезаковым суппортом для обеспечения копирования в масштабе 1 : 1 резаки монтируют под электромагнитной головкой так, чтобы ось режущего сопла резака строго совпадала с осью копирного ролика (рис. 98, б). Благодаря отсутствию люф-

тов шарнирные машины обеспечивают наиболее точное копирование, однако из-за консольной конструкции ферм имеют сравнительно небольшой вылет резака и позволяют вырезать детали из листов сравнительно небольших размеров.

Существующие конструкции шарнирных машин допускают только контактное электромагнитное копирование и не пригодны для механического и тем более фотоэлектронного.

Параллелограммные машины представляют собой две соединенные шарнирные системы, каждая из которых имеет две шарнирно связанные фермы. Шарнирные системы соединены между собой двумя параллельными штангами одинаковой длины, в результате чего образуются два шарнирных параллелограмма (рис. 98, в).

На внешней штанге, соединяющей концы наружных ферм, установлена ведущая головка и определенное, обычно значительное, число суппортов с резаками, совершающих при работе машины одинаковые движения и производящих одновременную вырезку большого количества одинаковых деталей.

Параллелограммные машины допускают все виды копирования. Однако из-за относительно сложной конструкции, больших площадей, занимаемых машиной, и из-за невозможности осуществления программирования процесса резки в отечественной практике эти машины распространения не получили.

Основной узел стационарных машин, позволяющий автоматизировать процесс резки, — система контурного копирования, работа которой основана на следующих принципах: механическом, электромагнитном, фотоэлектронном, дистанционно-масштабном и программном.

Механическое (следающее) копирование осуществляется с помощью механической головки по чертежу или разметке, причем воспроизведение резаком требуемого контура вырезаемой детали достигается соответствующими поворотами от руки ведущего ролика машины, катящегося по поверхности копировального стола.

При копировании по чертежу последний выполняют на плотной бумаге и закрепляют на копировальном столе машины. Оператор (резчик), поворачивая ведущий ролик машины с помощью штурвала, направляет острие указательного стержня копировальной головки по контурной линии чертежа. Ведущий ролик при соответствующем изгибе указательного стержня перемещается рядом с чертежом по металлической поверхности копировального стола машины. Благодаря этому повышается точность копирования и сохраняется чертеж.

Механическое копирование обычно применяется на прямоугольно-координатных и параллелограммных машинах. На существующих шарнирных (полярно-координатных) машинах механическое копирование также возможно, однако, как правило, не применяется из-за неудобства расположения копировального стола над резаком и необходимости закрепления чертежа в потолочной плоскости.

Помимо вырезки деталей по чертежу и разметке, прямоугольно-координатные и параллелограммные машины позволяют разрезать листы стали по прямой в любом направлении при установке ведущего ролика механической головки под требуемым углом. Особенно устойчиво протекает резка без ручного управления ведущим роликом на прямоугольно-координатных машинах, в которых при движении ролика по копировальному столу в поперечном направлении

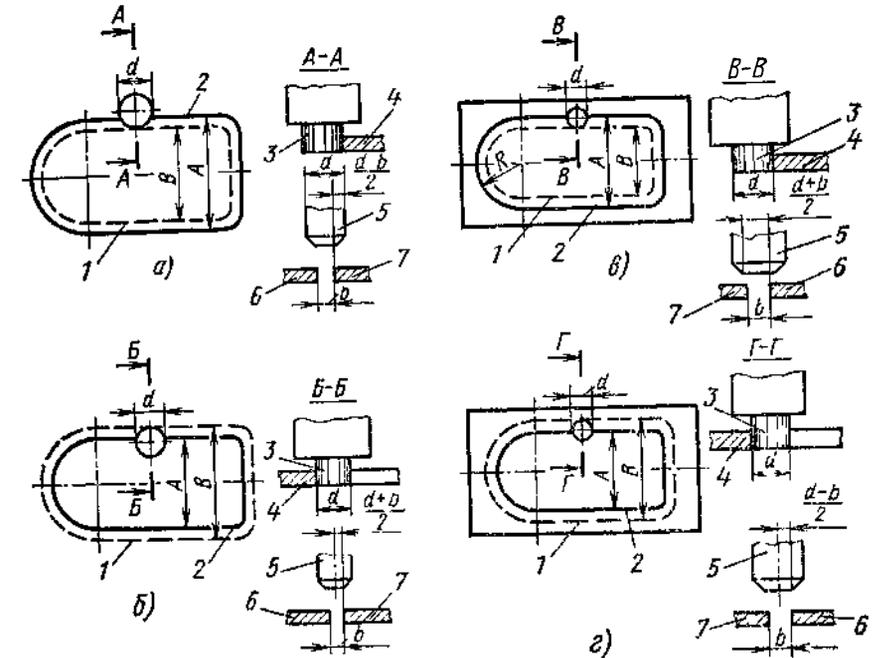


Рис. 99. Соотношение размеров копира и вырезаемой детали:

a — вырезка внешнего контура детали по внешнему контуру копира; b — вырезка внешнего контура детали по внутреннему контуру копира; e — вырезка внутренне контура детали по внешнему контуру копира; e — вырезка внутреннего контура детали по внутреннему контуру копира;

1 — контур копира; 2 — контур детали; 3 — магнитный палец; 4 — копир; 5 — мундштук; o — обрызг; 7 — вырезаемая деталь

стопором закрепляют каретку продольного хода, а при продольном движении ролика стопором закрепляют штангу (хобот) поперечного хода.

Механические головки газорезущих машин обычно оснащают циркульным устройством, с помощью которого осуществляется резка по окружности. В этом случае центр циркуля закрепляют на копировальном столе машины. Механическая головка, связанная штангой с центром, перемещается по окружности установленного радиуса,

Электромагнитное (контактное) копирование с помощью электромагнитной головки применяют на всех газорезущих машинах.

При электромагнитном копировании магнитный палец (стальной цилиндрический стержень с накаткой) получает вращение от электродвигателя через редуктор и притягивается к рабочей кромке стального копира; магнитный палец обкатывает контур копира, заставляя резак, жестко связанный с электромагнитной головкой, в точности воспроизводить траекторию своего перемещения и осуществлять вырезку детали требуемого очертания и размеров.

Обычно копиры изготовляют из листовой низкоуглеродистой стали толщиной 5—8 мм, в некоторых случаях — из дерева, обшивая рабочую кромку полоской из низкоуглеродистой стали.

При проектировании копиров для газовой машинной резки приходится учитывать следующие возможные случаи вырезки деталей: 1) вырезка внешнего контура детали с копированием по внешнему контуру копира; 2) вырезка внешнего контура детали с копированием по внутреннему контуру копира; 3) вырезка внутреннего контура детали с копированием по внешнему контуру копира; 4) вырезка внутреннего контура детали с копированием по внутреннему контуру копира.

В первом случае (рис. 99, а) размер копира определяют по формуле

$$B = A - (d - b),$$

где A — размер детали; B — размер копира, соответствующий размеру A детали; d — диаметр магнитного пальца; b — ширина реза»

Минимальный радиус закругления углов вырезаемой детали

$$r_{\text{Amin}} = \frac{d - b}{2}.$$

Во втором случае (рис. 99, б) размер копира определяют по формуле

$$B = A + (d + b).$$

Минимальный радиус закругления углов вырезаемой детали

$$r_{\text{Amin}} = 0.$$

В третьем случае (рис. 99, в) размер копира определяют по формуле

$$B = A - (d + b).$$

Минимальный радиус закругления углов вырезаемой детали

$$r_{\text{Amin}} = \frac{d + b}{2}.$$

В четвертом случае (рис. 99, г) размер копира определяют по формуле

$$B = A + (d - b).$$

Минимальный радиус закругления углов вырезанной детали

$$r_{\text{Amin}} = 0.$$

Фотокопирование по чертежу можно осуществлять на прямоугольно-координатных и параллелограммных машинах, оснащенных механическими головками. На шарнирных (полярно-координатных) машинах фотокопирование, так же как и механическое копирование, обычно не производят.

Принцип фотокопирования состоит в том, что закрепленный на копирующей части машины источник света (рис. 100) через систему линз дает необходимый для копирования световой пучок. Последний, попадая на наклонное зеркало, фокусируется в яркое световое пятно на поверхности чертежа. Находящийся в закрытой

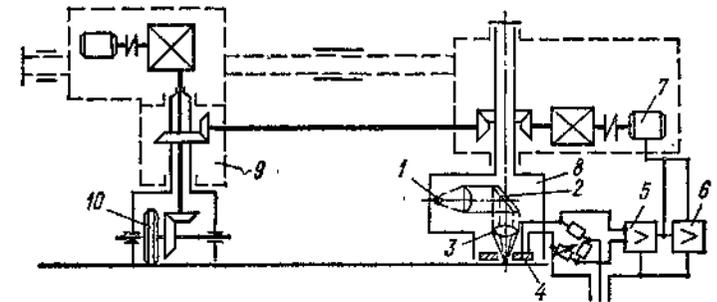


Рис. 100. Схема фотокопирования по амплитудной системе:

1 — лампочка подсветки; 2 — наклонное зеркало; 3 — линза; 4 — фотоэлемент; 5 — усилитель напряжения; 6 — тиратронный или полупроводниковый блок (усилитель мощности); 7 — серводвигатель; 8 — фотоголовка; 9 — механическая головка машины; 10 — ведущий ролик

коробке фотоэлемент воспринимает только лучи, отражающиеся от белого фона чертежа (когда световое пятно попадает на черную линию, фотоэлемент световых лучей не получает).

Напряжение фототока, возникающего при отражении световых лучей от белого фона чертежа и генерируемого фотоэлементом, усиливается электронным услителем напряжения и попадает на сетки двух тиратронов, схема включения которых предусматривает работу одного при положительном полупериоде, а другого — при отрицательном. Разностный ток обоих тиратронов управляет двигателем поворота фотоголовки, направляя световое пятно строго по линии чертежа. Синхронно с фотоголовкой поворачивается и кинематическая связанная с ней механическая головка машины, направляющая движение ведущего ролика в строгом соответствии с контуром чертежа.

Применяемые в промышленности фотокопировальные системы подразделяют на амплитудные и импульсные.

В амплитудных системах световое пятно совершает только поступательное движение по линии чертежа; для копирования

применяют чертежи-копиры с изображением контура детали черной линией, имеющей ширину 3—5 мм. Копирование ведется по одной из кромок линии чертежа, причем световое пятно перемещается поступательно вдоль кромки линии. В этой системе балансу моста, при котором управляющее напряжение равно нулю, соответствует положение центра светового пятна точно на кромке линии (рис. 101).

В импульсных системах, помимо поступательного движения светового пятна вдоль линии чертежа, предусмотрено вращательное движение его по кольцевой орбите (рис. 102). Так как скорость движения пятна по орбите в несколько десятков раз больше скорости копирования, то траектория пятна на чертеже будет очень мало отличаться от окружности, ввиду чего при настройке системы

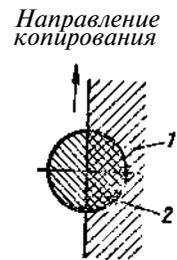


Рис. 101. Нейтральное положение светового пятна в амплитудной системе:

1 — линия чертежа;
2 — световое пятно

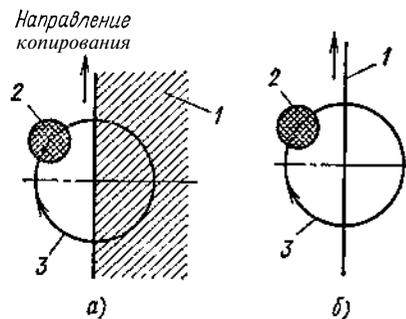


Рис. 102. Движение светового пятна в импульсной системе при нейтральном положении орбиты:

a — чертеж выполнен широкой линией;
б — чертеж выполнен тонкой линией;
1 — линия чертежа, 2 — световое пятно;
3 — кольцевая орбита

влияние поступательного перемещения обычно не учитывают. Нейтральное состояние в импульсных системах соответствует положению центра кольцевой орбиты на кромке широкой линии или на середине тонкой (рис. 103).

Масштабное и дистанционно-масштабное копирование по чертежу или копиру можно применять при вырезке крупногабаритных деталей и малых размерах копировального устройства, а также при более точной вырезке небольших деталей по чертежу или копиру большего размера.

В первом случае масштабное копирование сокращает производственные площади, так как позволяет использовать копировальные столы малых размеров. Во втором случае применение чертежей большого размера и в особенности копиров позволяет вырезать фасонные детали с малыми радиусами закруглений.

Масштабное копирование может быть осуществлено механическим путем, например на пантографных шарнирных машинах, и с помощью относительно сложных электрических схем. В отечест-

венной практике масштабное копирование, не совмещенное с дистанционным, распространения не получило.

При дистанционно-масштабном копировании газорезущая машина состоит из двух самостоятельных частей: задающей и исполнительной, связанных только электрически. Данный принцип копирования целесообразно использовать при вырезке крупногабаритных деталей, когда оператору-резчику из-за больших размеров листов трудно управлять процессом резки, находясь около режущей головки машины, или когда резчику необходимо находиться в смежном изолированном помещении в связи с выделением в процессе

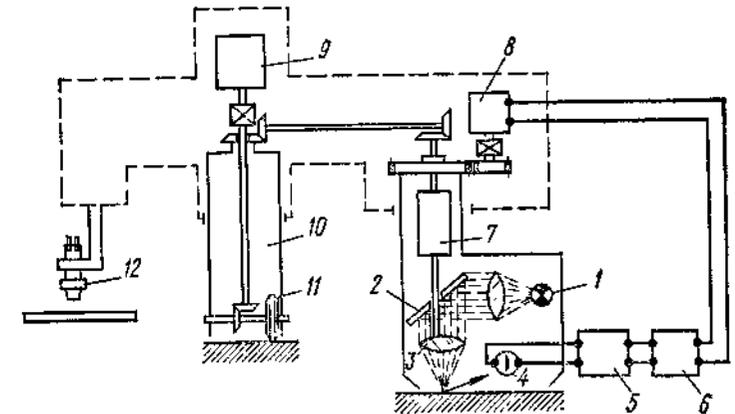


Рис. 103. Схема фотокопирования по импульсной системе:

1 — лампочка подсвета; 2 — зеркало, 3 — вращающаяся линза; 4 — фото-сопротивление; 6 — усилитель напряжения, 6 — усилитель мощности; 7 — электродвигатель; 8 — серводвигатель; 9 — электродвигатель механической головки; 10 — механическая головка; 11 — ведущий ролик; 12 — резак

резки значительного количества вредных паров и газов. Примером может служить резка латуни, при которой выделяется значительное количество вредных паров окиси цинка.

Несмотря на относительное совершенство, автоматы с дистанционно-масштабным копированием имеют тот органический недостаток, что при большом масштабе копирования создают масштабное увеличение неточностей копирования. Кроме того, в этих машинах автоматизирован только обход резаком контурной линии детали. Все другие операции вырезки деталей осуществляют вручную.

Программное управление позволяет автоматизировать все параметры режима резки, что повышает точность копирования, облегчает обслуживание машины и снижает стоимость резки. Техническим средством осуществления программного управления программируемым устройством может служить магнитная (рис. 104) или перфорированная бумажная лента.

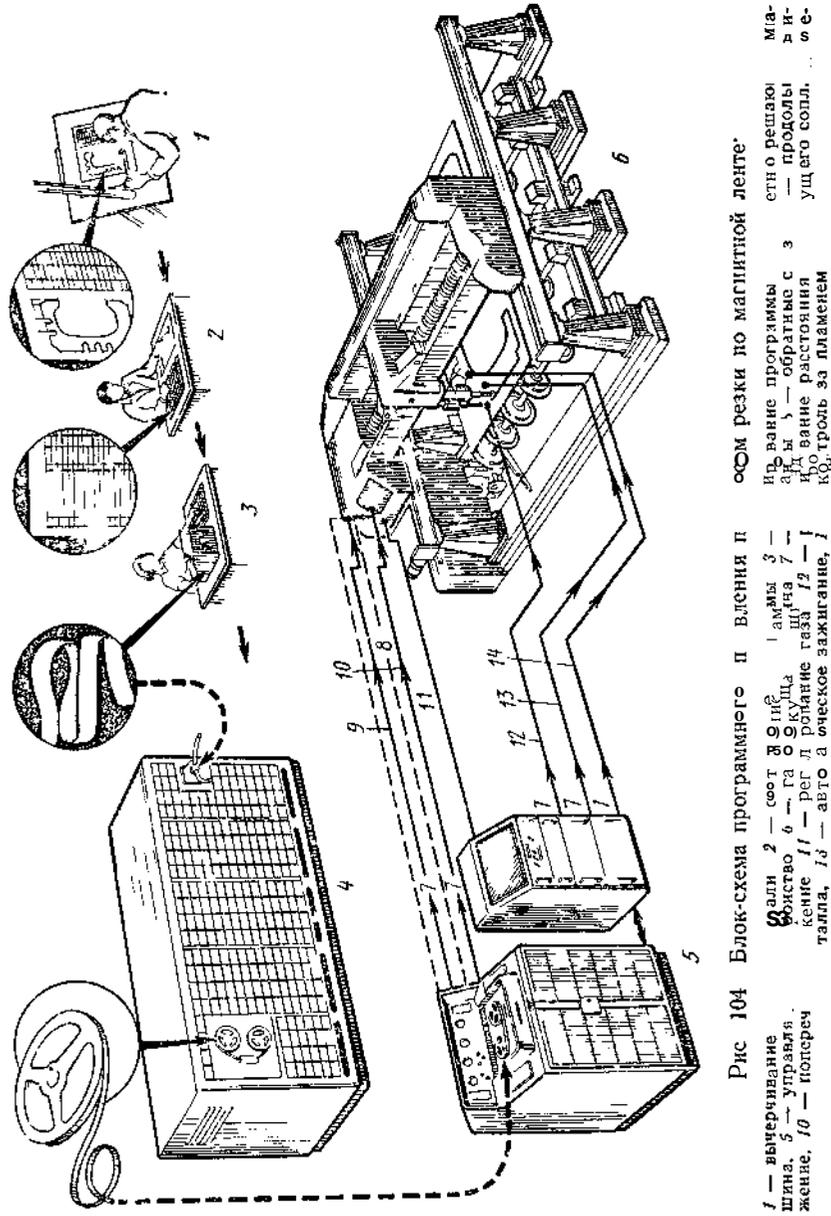


Рис 104 Блок-схема программного управления плазменной резкой

На чертеже проставляют размеры (расстояния), определяющие положение всех точек перегиба контурной линии детали в прямоугольных координатах, направление которых совпадает с продольным и поперечным ходом машины. Затем по чертежу составляют программную таблицу (лист планирования), в которую записывают основные параметры режима резки: скорость, длительность периода начального подогрева и пр., а также данные о положении в координатных осях отдельных точек перегиба контурной линии детали (точки, ограничивающие прямолинейные участки контура, точки сопряжения, характер кривых и т. д.) в той последовательности, в которой резак должен перемещаться в процессе резки. После этого программную таблицу кодируют и переносят ее данные на перфорированную бумажную ленту в виде условных сочетаний пробитых отверстий. Пробивают отверстия с помощью телепринтера — телеграфного буквопечатающего устройства.

Для записи команд используют стандартную 16-миллиметровую бумажную ленту с односторонней интервальной перфорацией для ее передвижения. При кодировании на ленте пробивают еще несколько рядов отверстий для задания координат точек контурной линии детали и режимов резки.

Одновременно с пробивкой на ленте отверстий печатают шифрованную копию, необходимую для проверки правильности переноса программы на перфорированную ленту.

Нанесенная на ленту программа поступает в качестве входного сигнала в интерполятор, который переписывает программу с перфорированной ленты на магнитную с одновременным расчетом всех промежуточных координат между точками перегиба на контурной линии детали. Вместе с координатами точек на магнитную ленту записываются также данные режима резки. Затем магнитная лента поступает в считывающее устройство, расположенное на газорезающей машине и представляющее собой магнитную головку с усилителем.

После соответствующего преобразования сигналы управления поступают на исполнительные серводвигатели, которые перемещают каретки машины в соответствии с заданным контуром. Заданная программа непрерывно сравнивается с реализуемой. Благодаря обратной связи расхождения исключены, так как напряжение расхождения подается на обмотку возбуждения серводвигателя.

Описанный принцип работы газорезающей машины обеспечивает автоматическое зажигание пламени, пуск и перекрытие кислородной струи, подвод резака к начальной точке реза и позволяет автоматически регулировать все параметры режима резки: расстояние от сопла до металла, скорость резки, мощность и состав пламени и пр.

Большое преимущество машин с программным управлением в условиях отечественного производства состоит в том, что подготовка рабочей программы на магнитной ленте централизуется и может обеспечиваться специальными вычислительными центрами.

Существенно облегчает программное управление газорезущими машинами, помимо наиболее совершенных методик и аппаратуры для расчета и составления программы, использование в качестве программносителя перфорированной бумажной ленты. В качестве примера программного управления газорезущей машиной по перфоленте рассмотрим систему программного управления «Луч». Для газорезущей машины подготовка программы состоит из двух этапов (рис. 105, 106).

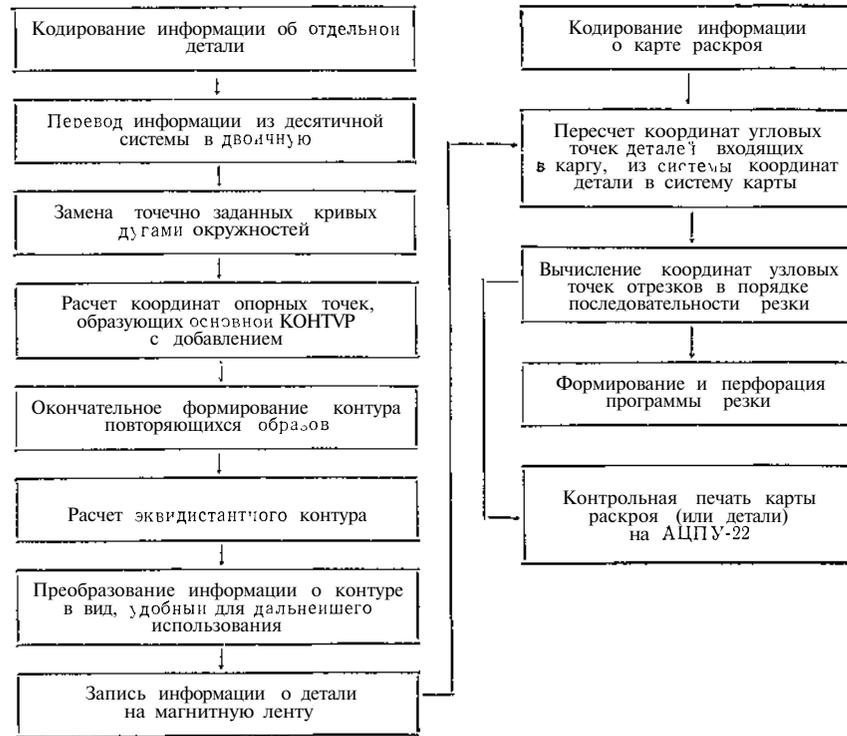


Рис. 105. Блок-схема алгоритма расчета программы управления газорезущими машинами по перфоленте

Первый этап включает подготовку информации о вырезаемой детали, т. е. ее кодирование, математическую обработку с целью определения значений координат опорных точек контура детали, эквидистантного заданному контуру, и выдачу перфоленты управления контрольно-чертежным столом. Параллельно с этим информация об эквидистантном контуре детали записывается на магнитную ленту для использования ее во втором этапе.

Второй этап включает информацию о карте раскроя, положении отдельных деталей в системе координат обрабатываемого листа; информацию о последовательности операций резки; матема-

тическую переработку всех материалов и выдачу перфоленты управления машиной.

В основу подготовки и переработки информации об отдельной детали положена методика, по которой контур детали считается состоящим из прямых линий и дуг окружностей. Для характеристики каждого входящего в контур отрезка используют следующие параметры: координаты концов отрезка или длину отрезка; угол, образуемый рассматриваемым отрезком с положительным направлением оси X выбранной системы координат; угол, образуемый рассматриваемым отрезком с продолжением предыдущего отрезка.

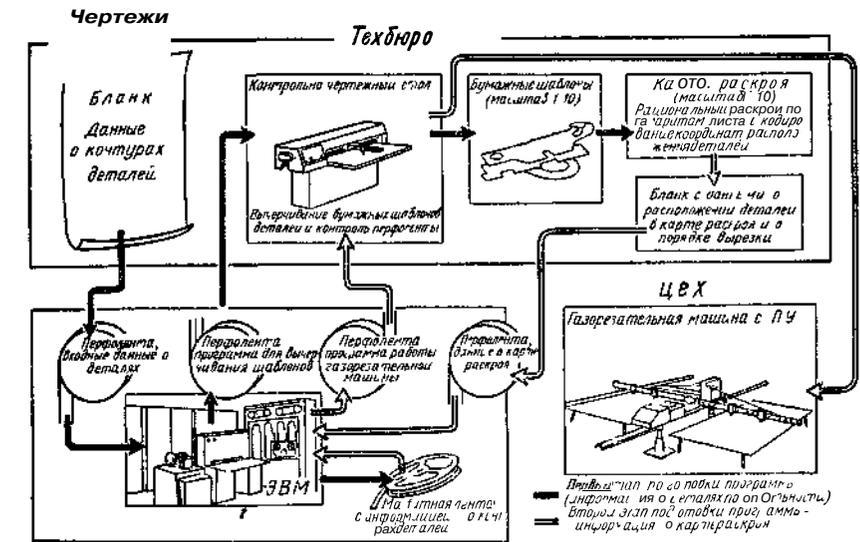


Рис. 106. Блок-схема программного управления газорезущими машинами по перфоленте

Математическая обработка программы производится на вычислительной машине «Минск-22».

Из других отечественных конструкций газорезущих машин, работающих с цифровым программным управлением по бумажной перфоленте, можно назвать машины «Кристалл» и ТК-2,5Ц.

В развитие действующего ГОСТ 5614—74 ВНИИАВТОГЕНМАШ и Одесский завод «Автогенмаш» разработали унифицированный типоразмерный ряд стационарных машин для газовой и плазменной дуговой резки металлов.

Согласно этому ряду первая базовая модель (рис. 107) предполагает выпуск крупногабаритных порталных машин с шириной обработки до 12 м и более, предназначенных для точной газовой вырезки фигурных деталей больших габаритных размеров из листов и сварных полотнищ или одновременно из нескольких листов под прямым углом или с наклоном резака для V- и X-образного скоса

кромки под сварку. Эти машины имеют двусторонний реечный привод и системы контурного копирования: фотоэлектронную по масштабным копир-чертежам (масштабы 10 : 1 или 20 : 1) или цифровую программу. По требованию потребителей машины должны быть оснащены аппаратурой для плазменно-дуговой резки.

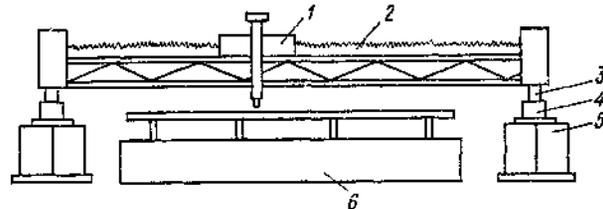


Рис. 107. Первая и вторая базовые модели унифицированного типоразмерного ряда — машина портального типа:
1 — каретка поперечного хода; 2 — ходовой винт; 3 — ведущий ролик продольного хода; 4 — направляющий рельс; 5 — опора; 6 — раскройный стол

Вторая базовая модель ничем, кроме ширины обрабатываемого листа, не отличается от первой. Предполагается выпуск среднегабаритных портальных машин с шириной обработки листа 2,5—3 м, предназначенных для точной вырезки фигурных деталей средних габаритных размеров из листов без разделки и с разделкой кромок под сварку. Системы контурного управления в этом случае:

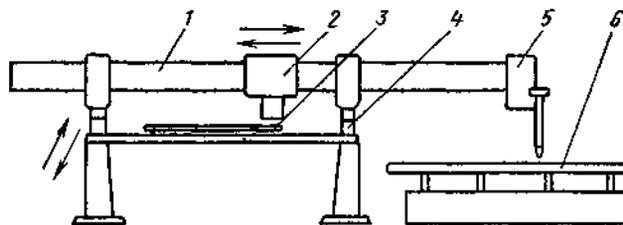


Рис. 108. Третья базовая модель — машина портально-консольного типа с перемещающимся хоботом:
1 — хобот; 2 — ведущий механизм; 3 — копир; 4 — направляющий рельс; 5 — суппорт с резаком; 6 — разрезаемый лист

фотоэлектронная по масштабным копир-чертежам (масштабы 5 : 1 и 10 : 1) или цифровая программная.

На первой и второй базах предусмотрен выпуск раскройных машин, типичным представителем которых является выпускаемая промышленностью машина типа «Черномор». Машины первой и второй базовых моделей имеют аналогичные конструктивные схемы и максимально унифицированы.

На основе третьей базовой модели (рис. 108) предусмотрен крупносерийный выпуск машин портально-консольной конструкции

с шириной обработки листа 1,6 и 2 м. Эти машины предназначены в основном для вырезки фигурных деталей. Для увеличения производительности они оснащены несколькими суппортами. В машинах третьей базовой модели предполагается использование следующих систем контурного копирования: фотоэлектронной по копир-чертежам, цифровой программной и электромагнитной по стальному копиру. Прототипом этой базовой модели служит машина СГУ-1-60.

Машины третьей базовой модели предназначены и для газовой (кислородной) и для плазменной резки металлов.

Наконец, четвертой базовой моделью является шарнирная однорезаковая машина (рис. 109), у которой ось режущего сопла резака совмещена с осью копирующего ролика, или многорезаковая с пантографной приставкой. В обоих случаях предусмотрена вырезка деталей по стальному копиру. Машины этой базовой модели предназначены для вырезки малогабаритных фасонных деталей.

В качестве примера рассмотрим некоторые, наиболее распространенные конструкции стационарных машин общего назначения.

Газорезущая машина типа СГУ-1-60 (конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа). Конструкция машины — прямоугольно-координатная (рис. ПО). В ней сочетаются два взаимно перпендикулярных движения: продольное движение тележки вдоль рельсового пути и поперечное движение резаковых суппортов по рельсовой направляющей консольной части фермы тележки.

Рельсовый путь состоит из трех секций — концевой и двух приставных. Концевая секция крепится на трех опорах, а приставные — на двух опорах каждая. Общая длина рельсового пути допускает резку листов длиной до 8 м.

По швеллерным балкам рельсового пути по мере вырезки деталей перемещают от руки и устанавливают в нужном положении копирующий стол. Это позволяет вырезать детали на всей длине обрабатываемого листа стали. Фиксирование стола осуществляют стопорами.

Тележка продольного хода состоит из двух кареток, жестко закрепленных между собой (фермой с консольным вылетом). Ферма

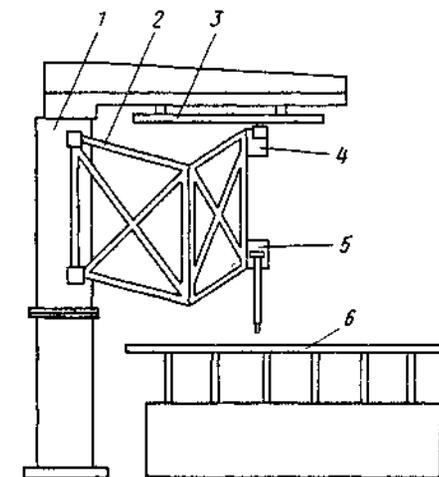


Рис. 109. Четвертая базовая модель — машина шарнирного типа:

1 — колонна; 2 — шарнирная рама; 3 — копир; 4 — ведущий механизм; 5 — суппорт с резаком; 6 — разрезаемый лист

тележки состоит из двух симметричных частей, соединенных между собой болтами с фланцами и верхней винтовой стяжкой.

К балкам жесткости порталной и консольной частей фермы крепятся одинаковые рельсовые направляющие поперечного хода. В порталной части они служат для перемещения ведущего механизма, а в консольной — для перемещения резаковых суппортов. Ведущий механизм и резаковые суппорты жестко соединены трубчатой штангой, обеспечивающей точное повторение суппортами, а следовательно, и резаками движений копирного ролика (магнитного пальца) по кромке копира или ведущего ролика по копировальному столу при механическом копировании.

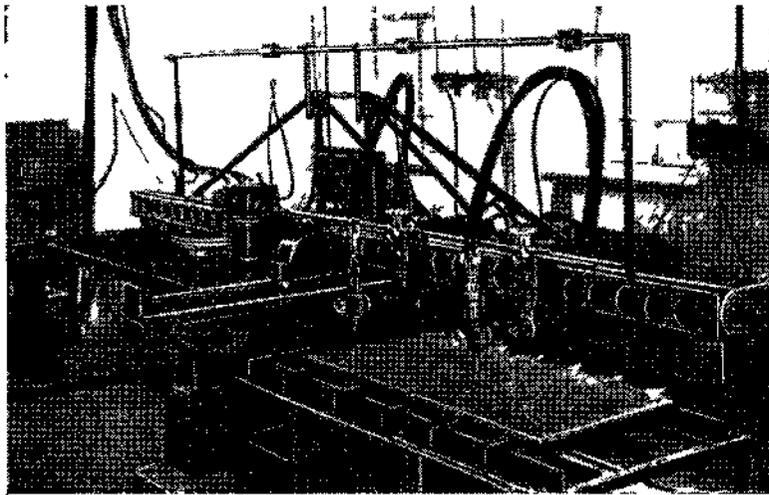


Рис. 110. Газорезущая машина СГУ-1-60

На конце консоли тележки продольного хода смонтированы пульт управления, на котором расположены маховичок регулятора напряжения, для регулирования скорости резки в пределах 80—800 мм/мин — I ступень и 400—4000 мм/мин — II ступень (переключение ступеней осуществляется рукояткой на ведущем механизме); кнопки подъема и опускания магнитного пальца; общий тумблер включения и выключения газов; кнопки пуска и остановки ведущего механизма, подъема и опускания резаков.

Ведущий механизм машины (рис. 111) состоит из электродвигателя постоянного тока (напряжением 220 В, мощностью 120 Вт типа ПЛ-102), двухступенчатого редуктора, двух сменных копировальных головок (электромагнитной и механической) и ходовой каретки для перемещения механизма по рельсовой направляющей портала. Редуктор ведущего механизма обеспечивает два диапазона скоростей, переключение которых осуществляется рукояткой.

При резке по копиру к ведущему механизму присоединяют электромагнитную головку и на копировальном столе с помощью электромагнитов закрепляют копира. В этом случае копирование резаком движений магнитного ролика, обкатываемого по кромке копира, осуществляется за счет жесткой связи резакового суппорта с электромагнитной головкой ведущего механизма.

При резке по чертежу (закрепленному на копировальном столе машины) к ведущему механизму присоединяют механическую головку с ведущим рифленным роликом, опирающимся на копировальный стол и приводимым в движение электродвигателем. Для более

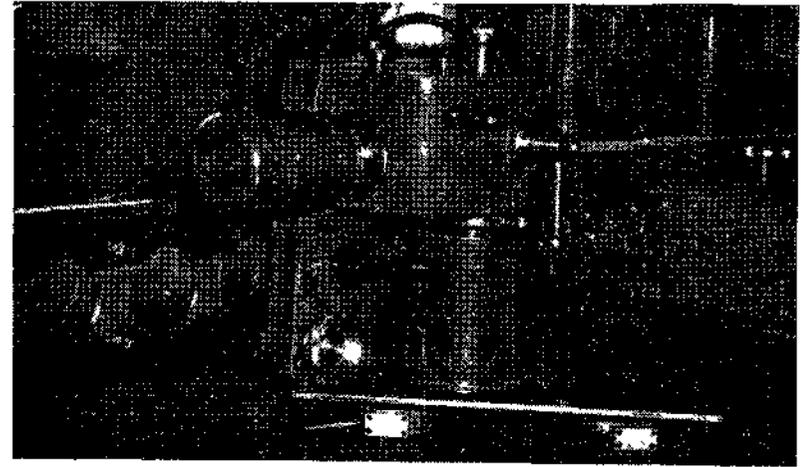


Рис. 111. Ведущий механизм машины СГУ-1-60

точного копирования механическая головка снабжена указательной иглой, направляемой по контурной линии чертежа. При резке по чертежу направление ведущего ролика изменяют маховичком, расположенным на механической головке.

Подъем и опускание ведущего ролика, так же как и копировального ролика электромагнитной головки, осуществляют рукояткой, расположенной на ведущем механизме. Направление плоскости качения ведущего ролика под нужным углом устанавливают по лимбу и фиксируют кнопкой. Механическая головка допускает направление движения ролика под любым углом с шагом 3°. Кроме того, она имеет два нарезных отверстия для крепления циркульного устройства, применяемого при вырезке дисков и фланцев диаметром 240—2040 мм. Возможность резки по окружности столь больших радиусов достигается креплением к основной штанге длиной 570 мм дополнительной штанги длиной 450 мм.

Машину комплектуют двумя однорезаковыми суппортами с механизированным подъемом и опусканием резаков. При необходимости

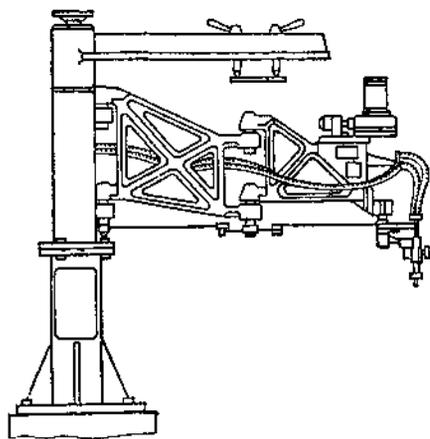


Рис. 112. Газорезущая машина АСШ-2

на машине может быть установлен и двухрезаковый суппорт для снятия кромок листов под сварку. Резаки крепят в цанговых зажимах с рейками, посредством которых их перемещают вручную в вертикальном направлении. Питание резаков газами — ацетиленом и кислородом — осуществляют от цеховой магистрали или от баллонов. Газы поступают через электромагнитные клапаны и коллектор по трем трубкам (для режущего и подогревающего кислорода и для ацетилена), а затем по резиноканевым шлангам — в резаки. Включать и выключать газы можно дистанционно с пульта управления или непосредственно вентилями на резаках. Давление режущего кислорода регулируют дроссельным вентилем коллектора.

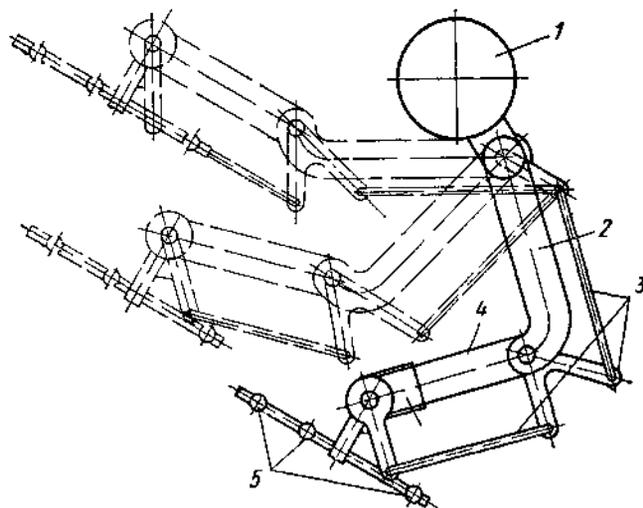


Рис. 113. Пантографная приставка с трехрезаковым суппортом

1 — колонна, 2 — внутренняя рама, 3 — пантограф, 4 — наружная рама, 5 — ведущий механизм, 6 — резаки, 7 — штанга

Газорезущая машина типа АСШ-2 (конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа). Конструкция машины — полярно-координатная (шарнирная), основанная на принципе шарнирной связи двух ферм,

на машине может быть установлен и двухрезаковый суппорт для снятия кромок листов под сварку. Резаки крепят в цанговых зажимах с рейками, посредством которых их перемещают вручную в вертикальном направлении.

Питание резаков газами — ацетиленом и кислородом — осуществляют от цеховой магистрали или от баллонов. Газы поступают через электромагнитные клапаны и коллектор по трем трубкам (для режущего и подогревающего кислорода и для ацетилена), а затем по резиноканевым шлангам — в резаки.

одна из которых укреплен шарнирно на неподвижной колонне, а вторая, связанная шарнирно с первой, несет на себе ведущий механизм с электромагнитной головкой (рис. 112). Копирный ролик головки расположен строго соосно с режущим соплом резака. При этом копир, кромку которого обкатывает копирный ролик (магнитный палец), укрепляют болтовыми зажимами на консольной балке (хоботе) машины, расположенной над ведущим механизмом и электромагнитной головкой с копирным роликом. В результате резак в точности (в масштабе 1 : 1) повторяет движения копирного ролика.

Машина предназначена для газовой резки фасонных, преимущественно малогабаритных, деталей из листовой стали толщиной 5—100 мм исключительно по копиру с помощью электромагнитной головки. Шарнирные связи машины, обеспечивающие почти полное отсутствие люфтов и строго соосное расположение режущего сопла с копирным роликом, позволяют достигать наиболее точного копирования. Пульт управления машиной сосредоточен на щите, смонтированном на одной ферме с ведущим механизмом.

Модификацией машины АСШ-2 является трехрезаковая конструкция типа АСШ-70, отличающаяся от приведенной машины наличием пантографной приставки (рис. 113) с трехрезаковым суппортом для одновременной вырезки (в масштабе 1 : 1) трех одинаковых деталей,

4. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ГАЗОРЕЗУЩИЕ МАШИНЫ

Специализированными принято называть машины и установки, предназначенные для выполнения определенных весьма ограниченных операций резки. В одних случаях эти машины выполняют операции разделительной резки по прямой или по окружности и являются полуавтоматами, в других, например при фасонной резке труб, они представляют собой достаточно сложные и совершенные автоматы.

Переносная машина «Спутник-2». В качестве примера машины для резки труб под прямым углом рассмотрим серийно выпускаемую переносную машину «Спутник-2».

Машина (рис. 114) состоит из ходовой тележки с ведущим механизмом, натяжного устройства, разборной цепи, резакового суппорта и блока питания. На легкой ходовой тележке закреплены все узлы машины. Тележка имеет три ролика: два ролика меньшего диаметра расположены на задней оси тележки и один ролик большего диаметра — на передней оси. Машина перемещается по поверхности обрабатываемой трубы с помощью цепного механизма, представляющего собой закрепленную на трубе цепь и входящую в зацепление с ней звездочку механизма, приводимую во вращение электродвигателем через редуктор.

Суппорт машины имеет державку с двумя штангами, одна из которых — направляющая, а вторая — удерживающая державку от

разворота. Державка резака может поворачиваться на оси на угол $\pm 40^\circ$, что позволяет выполнять резку со скосом кромок под сварку.

В зависимости от условий работы машина комплектуется блоком питания для работы от сети переменного тока напряжением 220/380 В и от аккумулятора.

Машины для фасонной резки труб. Фасонная резка труб, осуществляемая при различных сопряжениях трубопроводов, приобрела исключительно большое значение в практике сварки магистральных и городских трубопроводов. Ручная фасонная резка труб по

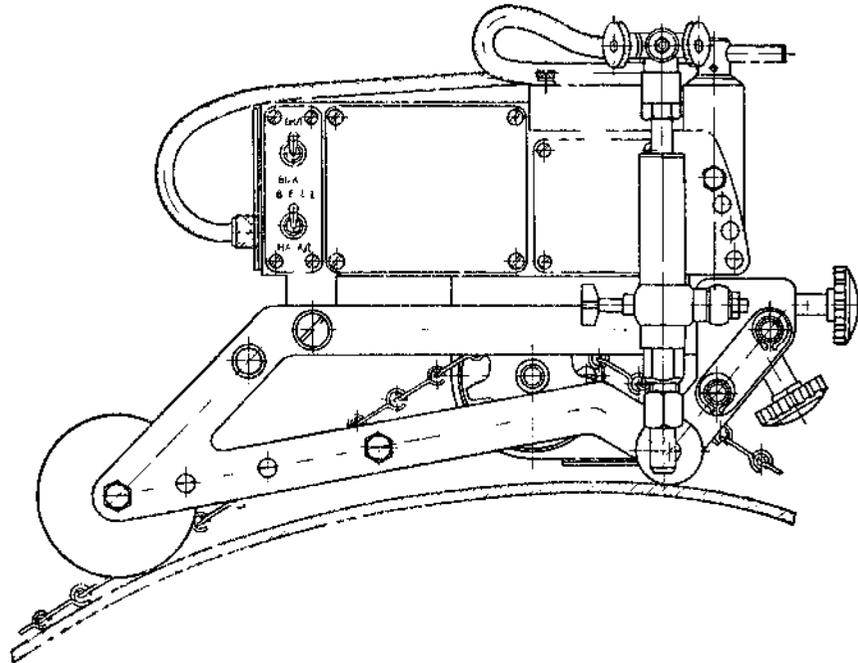


Рис 114 Переносная машина «Спутник 2» для резки труб под прямым углом

разметке не может обеспечить необходимую точность и обычно приводит к образованию больших и неравномерных зазоров в местах сопряжений. Механизация фасонной резки труб и вырезки в них различных отверстий, в частности при косых сопряжениях труб, связана с большими трудностями, обусловленными необходимостью осуществления фасонного копирования при большом многообразии форм сопряжений. В отечественной и зарубежной практике для фасонной резки труб используют механизированные машины с кулисным механизмом (машина системы Кудрявцева), с рычажным механизмом (машина системы Мюллера) и с фотокопированием (машина типа УФВТ-2м конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа).

Машины для вырезки фланцев. Помимо различных циркульных устройств и специальных головок для вырезки фланцев на машинах

находят применение и специальные переносные фланцерезы, устанавливаемые непосредственно на обрабатываемый лист стали и позволяющие осуществлять вырезку фланцев как в заводских, так и в монтажных условиях. В качестве примера рассмотрим фланцerez ПГФ-2-67.

Фланцerez (рис. 115) предназначен для вырезки фланцев и дисков диаметром 50—450 мм из листовой стали толщиной 5—60 мм.

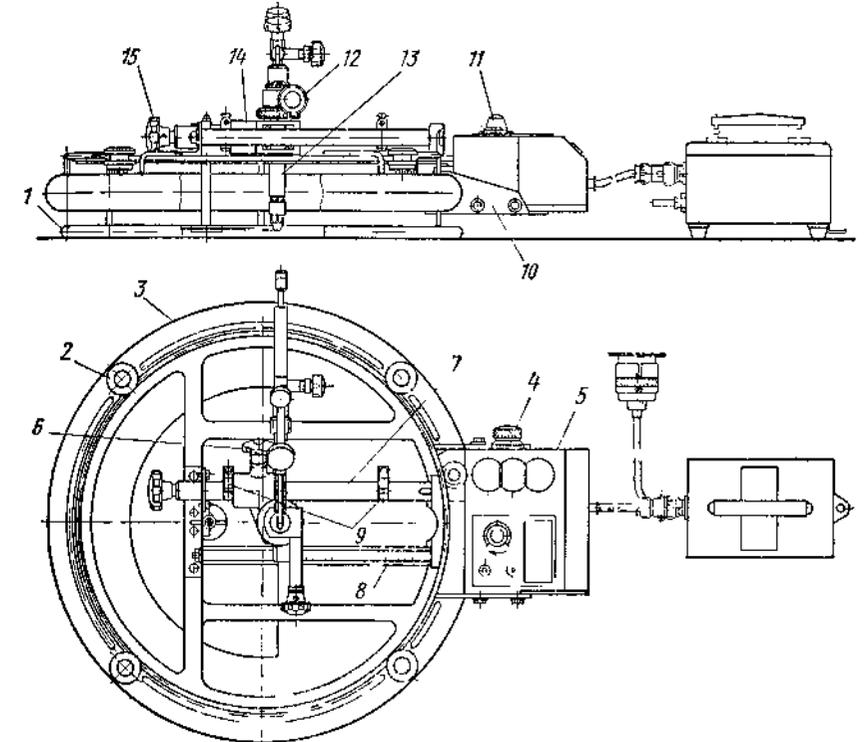


Рис 115 Фланцerez ПГФ 2 67

1 — кольцевая опора 2 — втулка 7 — карусельное кольцо 4 и 11 15 — маховички
5 — электропривод 7 — ходовая штанга 8 — установочная штанга 9 — кронштейн
10 — маховичок вертикального перемещения 12 — стопор 13 — резак 14 — суппорт

Он имеет кольцевую опору 1 с закрепленными на ней четырьмя втулками 2, несущими эксцентриковые направляющие ролики, в которых вращается от электропривода 5 карусельное кольцо 3

Кольцо 3 имеет зубчатый венец, входящий в зацепление с выходной шестерней ведущего механизма. На карусельном кольце закреплены две несущие суппорт 14 и резак 13 штанги — ходовая 7 и установочная 8.

Заданные радиусы вырезаемых окружностей устанавливают по линейке с миллиметровыми делениями, двумя упорами, перемещаемыми по штанге 7 и закрепляемыми стопорами.

Кольцевая опора 1 состоит из двух колец: нижнего опорного и верхнего с вырезом для крепления кронштейна и укрепленного на нем ведущего механизма.

Фланцerez при работе устанавливают непосредственно на обрабатываемый лист стали, причем положение его на листе, т. е. место вырезки фланца, определяют с помощью шаблона-искателя. Во избежание закручивания шлангов резак фланцереза закреплен в свободно вращающейся в суппорте обойме. Вертикально перемещают резак маховичком 10, связанным с реечным устройством. Суппорт на ходовой штанге закрепляют стопором 12.

Резак фланцереза имеет горизонтально расположенный корпус, при котором вентили газов подогревающей смеси и режущего кислорода оказываются достаточно удаленными от зоны резки.

Пуск, остановка и реверсирование электродвигателя фланцереза (типа СЛ-262, мощностью 14 Вт), подключаемого к сети переменного тока напряжением 127 В, осуществляют двухполюсным переключателем, смонтированным на корпусе фланцереза. Привод фланцереза имеет две ступени скорости, переключаемые маховичком 6, смонтированным на боковой стенке корпуса ведущего механизма. Плавную регулировку скорости резки в пределах каждой ступени осуществляют реостатом посредством маховичка 11.

Принцип работы фланцереза состоит в следующем: установив с помощью линейки и упоров требуемый радиус вырезаемой окружности, после необходимого разогрева начальной точки реза подогревающим пламенем пускают струю режущего кислорода, включают электродвигатель, и резак вручную перемещают в радиальном направлении до упора. В результате сочетания двух движений: радиального, осуществляемого маховичком 10, и вращательного от электродвигателя — вырезание происходит по кривой, плавно переходящей в контурную линию вырезаемой окружности. После соприкосновения корпуса суппорта с упором вырезка окружности осуществляется при равномерном движении резака от электродвигателя.

Машины (установки) для резки стали большой толщины. Установка типа ПМР-1000 (конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа) предназначена для газовой резки углеродистых сталей толщиной 600—1200 мм и кислородно-флюсовой резки высоколегированных сталей толщиной 500—1000 мм.

Большое преимущество установки — ее мобильность. Ее можно переносить к тяжелым и громоздким отливкам и обрезать прибыли в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Установка состоит из перемещающейся по рельсовому пути 1 самоходной тележки 2, опорного узла 3, установленного на тележке, в направляющих которого смонтирована балка 4, на которой смонтированы приводы 5 подъема и поворота резака, суппорт 6 с закрепляемым в нем резаком 7 и противовес 8, уравновешивающий систему при больших вылетах резака (рис. 116). Включение и выключение подачи газов и регулировка их давления производится посредством щита 9, а электропитание тележки привода подъема

220

и поворота резака и электромагнитных запорных клапанов — посредством блока электропитания 10.

Для подачи флюса при кислородно-флюсовой резке высоколегированных сталей в установке используют флюсопитатель УРХС-5.

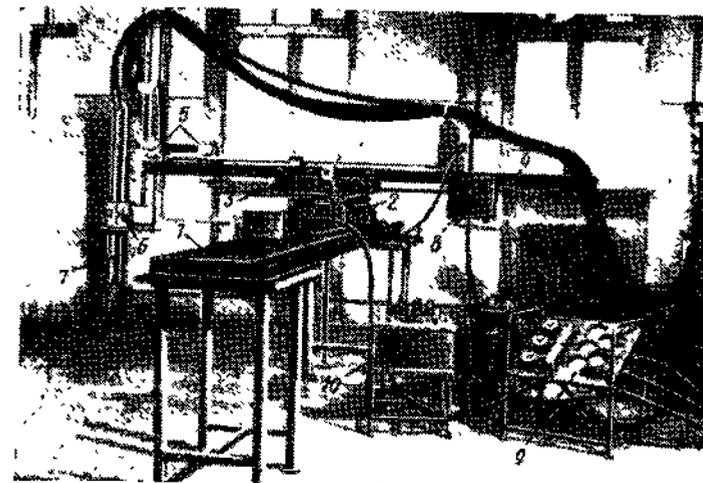


Рис. 116. Установка ПМР-1000 для резки стали больших толщин:

1 — рельсовый путь; 2 — самоходная тележка; 3 — опорный узел; 4 — балка; 5 — приводы подъема и опускания резака; 6 — суппорт; 7 — резак; 8 — противовес; 9 — газовый щит; 10 — блок электропитания

Внешняя подача флюса осуществляется по двум флюсоподающим трубкам. Резак установки работает по принципу внутрисоплового смешения газов. Режущее сопло резака имеет цилиндрическую форму.

ГЛАВА XVII

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ

1. ТЕХНИКА РЕЗКИ

Подготовка стали перед резкой. Если поступающая на резку сталь находится в закаленном состоянии, то ее перед резкой необходимо термически обработать: отжечь при температуре 600° С (для снятия напряжений закалки) или отпустить (для снижения твердости и повышения пластичности). В противном случае напряжения закалки, суммируясь с напряжениями, возникающими при резке, могут достигнуть чрезмерно большой величины и послужить

причиной образования трещин. Поверхность разрезаемого листа стали должна быть очищена от окалины, ржавчины, масла и грязи. Особенно тщательно следует очищать поверхность стали от окалины, изолирующей металл от непосредственного контакта с пламенем и режущей струей кислорода. Для этого необходим незначительный прогрев поверхности металла подогревающим пламенем резака, в результате которого благодаря разным коэффициентам теплового расширения окалины и стали отскакивает окалина от поверхности. Очищать поверхность стали от окалины, естественно, следует узкой полосой по линии предполагаемого реза, при скорости перемещения подогревающего пламени, примерно соответствующей скорости резки.

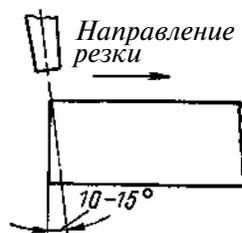


Рис. 117. Начало процесса резки от края заготовки при резке стали толщиной до 100 мм

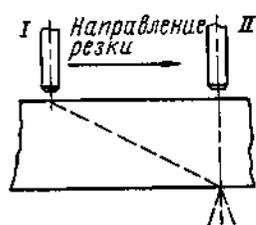


Рис. 118. Пробивка начального отверстия в стали толщиной до 100 мм движущимся резаком при прямолинейной резке:

/ — начало процесса; // — окончание процесса

Начало резки. Процесс резки начинают с нагрева металла с поверхности в начальной точке реза до температуры воспламенения металла в кислороде, точнее — до температуры начала интенсивного окисления металла. Практически металл нагревают до температуры его плавления. После пуска кислородной струи и начала непрерывного окисления металла по толщине резак перемещают по линии реза.

При резке стали толщиной до 30 мм мунштук резака в начале процесса резки может быть установлен вертикально или с небольшим наклоном на угол 5—10° в сторону, обратную направлению резки. При резке стали сравнительно большой толщины (до 100 мм) мунштук резака в начале процесса устанавливают под углом 10—15° (рис. 117).

Особую трудность представляет начало процесса резки внутри контура листа или заготовки. В этом случае для стока шлака необходимо начальное отверстие, которое при толщине стали до 20 мм прожигают резаком при горизонтальном положении листа, а при большей толщине стали (до 40 мм) — также резаком, но при вертикальном или наклонном положении листа стали,

Иногда начальное отверстие внутри контура листа образуют движущимся резаком. В этом случае кислородная струя, врезаясь постепенно в металл (рис. 118), после перемещения резака на некоторое расстояние пробивает сквозное отверстие. Этот способ начала резки получил распространение в котлостроении при вырезке отверстий под штуцеры и патрубки, когда процесс резки начинают внутри контура вырезаемого отверстия (рис. 119). Шлаки, образующиеся при прожигании отверстия движущимся резаком, давлением кислородной струи выносятся назад за струю, благодаря чему устраняется засорение мунштука брызгами металла и шлака,

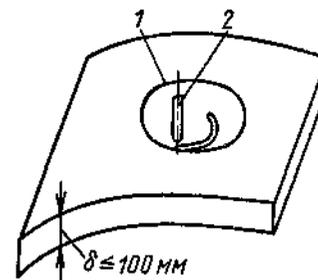


Рис. 119. Пробивка начального отверстия в стали толщиной до 100 мм движущимся резаком при вырезке круглых отверстий под штуцера и патрубки:

1 — контур вырезаемого отверстия; 2 — сопло резака

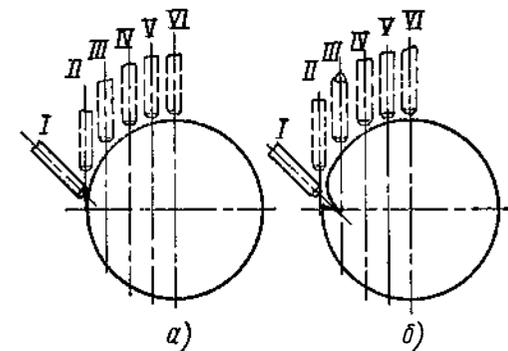


Рис. 120. Начало резки круглой заготовки без надрубки (а) и с надрубкой (б)

Начальное отверстие в стали толщиной более 100—150 мм получают механическим высверливанием или прожиганием отверстия кислородным копьем. Весьма трудно также начать резку круглой заготовки. В этом случае для достижения концентрированного нагрева металла в начальной точке реза резак располагают под углом 45—60° к вертикали, а затем после пуска кислородной струи и начала резки выравнивают до вертикального положения, перемещая его в поперечном направлении заготовки (рис. 120, а). Иногда, в особенности, если поверхность заготовки покрыта литейной коркой, целесообразно заготовку в месте начала резки надрубать кузнечным зубилом (рис. 120, б).

Положение резака в процессе резки. При прямолинейной резке стали толщиной до 30 мм режущее сопло резака целесообразно наклонять на угол 20—30° от вертикали в сторону, обратную направлению резки (рис. 121). В этом случае направленная под углом кислородная струя частично или полностью смывает с передней грани разреза образующиеся при окислении стали жидкие шлаки, ускоряет окисление металла и существенно увеличивает скорость резки, а следовательно, и ее производительность,

Процесс механизированной скоростной резки листовой стали следует производить с наклоном режущего сопла на угол до 45° и с подогревом режущего кислорода (достигаемым расположением

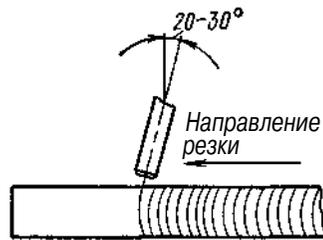


Рис. 121. Наклон резака в процессе прямолинейной резки стали толщиной до 30—40 мм

подогревающих сопел резака под режущими), что способствует существенному повышению производительности процесса. Сравнительные данные о скорости механизированной резки листовой низкоуглеродистой стали вертикально расположенным соплом (обычная резка) и соплом, наклоненным на угол 45° (скоростная резка), приведены на рис. 122.



Рис. 123. Наклон резака в процессе прямолинейной резки стали толщиной более 30—40 мм

При криволинейной ручной или машинной резке стали любой толщины режущее сопло резака всегда необходимо располагать перпендикулярно к поверхности металла; при прямолинейной же резке стали толщиной свыше 30 мм — с небольшим наклоном на угол 5—10° от вертикали в сторону, обратную направлению резки (рис. 123).

Режимы резки. Скорость перемещения резака в процессе резки — один из главных параметров режима, определяющих качество разрезанных кромок и производительность процесса. В большой мере от скорости резки зависит степень прорезания металла по толщине и величина отставания.

Ориентировочно скорость грубой разделительной резки можно определить по эмпирической формуле

$$v_0 = \frac{16,6}{\delta} \text{ мм/с}; \quad v_0 = \frac{1000}{\tau} \text{ мм/мин},$$

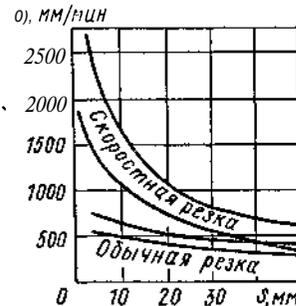


Рис. 122. Скорость газовой резки листовой стали вертикально расположенным соплом (обычная резка) и соплом, наклоненным на угол 45° (скоростная резка)

где $\tau = 1,25 + 0,025 \delta$ — продолжительность резки 1 пог. м реза, с (мин); δ — толщина разрезаемой стали, мм.

Однако определяемые по этой формуле скорости резки сильно завышены и пригодны только для резки в лом. Во всех остальных случаях вычисленные скорости должны быть понижены: при заготовительной резке на — 10%, при вырезке фасонных деталей с припуском — на 20%, при чистовой машинной прямолинейной резке — на 30%, при чистовой машинной фасонной резке — на 40%.

2. РЕЗКА СТАЛИ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ

Обычно газовый процесс применяют для резки стали при толщине металла не менее 3 мм. При газовой резке более тонких листов стали наблюдается оплавление кромок и перегрев металла подогревающим пламенем. Однако при необходимости образования прямолинейных резов и отсутствии возможности разрезать сталь на ножницах листы толщиной 2—2,5 мм можно разрезать резаком с последовательным расположением сопел, снижающим ширину зоны теплового влияния и уменьшающим оплавление кромок.

В некоторых случаях, главным образом при вырезке фасонных деталей из стали толщиной 2—2,5 мм, когда из-за малой серии вырезаемых деталей штамповка их экономически неоправдана, прибегают к газовой резке резаком с концентрическим расположением сопел при возможно меньшей мощности подогревающего пламени и с возможно большей скоростью.

3. ПАКЕТНАЯ РЕЗКА СТАЛИ

Сущность процесса газовой пакетной резки состоит в том, что разрезаемые листы, число которых при малой толщине металла может составлять 25—50 шт. и более, собирают в пакет, стягиваемый струбцинами или специальным зажимным приспособлением, и разрезают за один проход резака (рис. 124).

Для пакетной резки кислородом обычного давления, применяемой, как правило, при малой толщине отдельных листов пакета, необходимо плотное прижатие листов друг к другу, для чего используют струбцины и другие зажимные приспособления, обеспечивающие минимальный зазор между листами. Максимальная толщина отдельных листов пакета в этом случае не превышает 4—6 мм при общей толщине пакета не более 100 мм.

Пакетную резку кислородом пониженного давления можно производить как при плотно сжатом пакете, так и при наличии зазоров между отдельными листами, иногда достигающих 3,5—4 мм (при толщине отдельных листов 3—5 мм). В этом случае, не требующем принудительного сжатия листов, толщина отдельных листов пакета может достигать 30 мм и более. Однако в связи с возможной деформацией листов при резке пакета в свободном состоянии же-

лательно зажатие листов хотя бы со стороны, противоположной началу резки (рис. 125).

Независимо от давления режущего кислорода разрезаемые в пакете листы должны быть тщательно выровнены, причем если

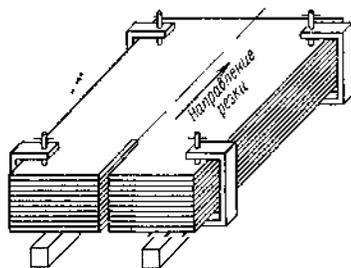


Рис. 124. Пакетная резка листов стали с плотным зажатием пакета

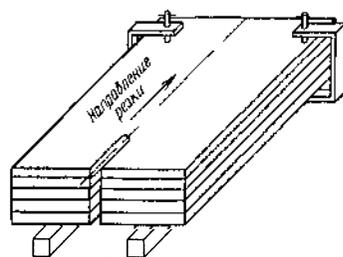


Рис. 125. Пакетная резка листов стали с зажатием пакета со стороны, противоположной началу резки

резку начинают от края пакета, листы желателно собирать в соответствии со схемой рис. 126. Если же резку начинают внутри контура пакета, то необходимо рассверливание начального отверстия в точке начала резки на обрести с последующим выводом резака на контурную линию вырезаемой детали или высверливание отверстия строго на контурной линии. В последнем случае диаметр начального отверстия должен быть равен ширине реза (или меньше ее).

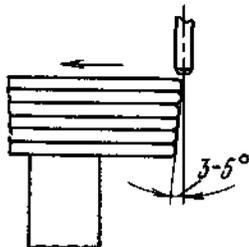


Рис. 126. Сборка листов в пакет, облегчающая начало процесса резки

В процессе пакетной резки оплавляется в основном верхний лист пакета; в меньшей степени, главным образом при малой толщине отдельных листов пакета, за счет стекающих шлаков возможны чрезмерный нагрев и оплавление и нижнего листа.

Для защиты верхнего, а иногда и нижнего листа пакета от оплавления пламенем целесообразно применять пакеты с накладками из низкоуглеродистой стали, используя при этом обрести (отходы) производства.

Мощность подогревающего пламени, а также расход и давление режущего кислорода при пакетной резке устанавливают по суммарной толщине пакета. Скорость резки пакета несколько меньше скорости однослойной резки стали той же толщины.

Независимо от способа газовой пакетной резки (кислородом низкого или относительно высокого давления) пакетная резка имеет весьма ограниченное применение в промышленности. Объясняется это тем, что, с одной стороны, этот способ требует специальных зажимных приспособлений, а с другой — повышает воз-

можность получения высокого процента брака, так как даже при незначительном отклонении кислородной струи или возникновении хлопков и обратных ударов пламени, приводящих к выплескам металла и прекращению процесса резки, дефектными могут оказаться не один лист, а все листы пакета.

4. РЕЗКА КИСЛОРОДОМ НИЗКОГО (ПОНИЖЕННОГО) ДАВЛЕНИЯ

Применение высокого давления режущего кислорода, достигающего при резке стали большой толщины 2 МПа (20 кгс/см²) и более, требует бронированных шлангов, вызывает опасность срыва их во время работы, а также связано с сильным охлаждающим действием струи на металл вследствие имеющего место дроссель-эффекта. Кроме того, при высоком давлении кислорода при мгновенном открытии кислородного вентиля на резаке в начале процесса резки, как правило, наблюдаются выплески металла, снижающие качество кромок реза.

Давление кислорода в рабочей камере редуктора, а следовательно, и на входе в режущее сопло может быть существенно понижено, при условии увеличения проходных сечений на всем протяжении кислородопровода — от присоединительного вентиля на магистрали или рампе — до режущего сопла резака. В этом случае струя кислорода имеет ламинарное истечение, обеспечивающее спокойное (без выплесков металла) начало резки и устойчивый процесс резки стали относительно большой толщины (100—700 мм).

Удельный расход кислорода и скорость резки при низком давлении примерно такие же, как и при высоком давлении кислорода. Однако при толщине стали менее 100 мм расход кислорода при пониженном давлении больше, чем при обычном. При пониженном давлении кислорода уменьшается возможность замерзания редуктора в процессе работы и отпадает необходимость в бронированных шлангах.

Сталь толщиной 100—300 мм можно разрезать на пониженном давлении кислорода серийно выпускаемыми резаками при условии расширения проходных сечений в вентиле на магистрали или рампе и применения шланга внутренним диаметром 12 мм.

5. ОСОБЕННОСТИ РЕЗКИ СТАЛИ БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ

Основная трудность газовой резки стали большой толщины обычными резаками связана с необходимостью применения высоких давлений кислорода.

При цилиндрических или ступенчато-цилиндрических режущих соплах без увеличения проходных сечений всего кислородопровода. При избыточном давлении кислорода на рамповом редукторе или на магистрали свыше 1,2—1,4 МПа (12—14 ат), расширение кислородной струи становится особенно сильным, и конусность струи,

наблюдаемая даже при избыточном давлении кислорода 0,5—0,6 МПа (5—6 ат), — особенно большой.

В связи с изложенным, при резке стали больших толщин применяют обычно конусные суживающиеся или профилированные расширяющиеся сопла, работающие на пониженном давлении кислорода, при расширенных каналах всего кислородопровода (от рампового редуктора или магистрального вентиля до входа в режущее сопло резака).

На процесс резки существенно влияет химическая неоднородность стали по толщине. Слои металла, содержащие больший процент углерода, имеют более низкую температуру плавления и более высокую температуру воспламенения в кислороде, в связи с чем окисление и удаление жидких окислов в этих слоях запаздывает по отношению ко всему объему стальной отливки или поковки.

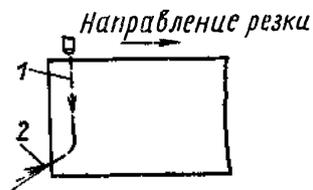


Рис. 127. Непорезание металла по толщине в начале резки:

1 — направление кислородной струи; 2 — шлак

Не меньшее влияние на процесс резки оказывает неравномерный нагрев металла по толщине. Стальные заготовки большой толщины всегда целесообразно подвергать резке в нагретом состоянии (непосредственно после литья иликовки, или предварительно подогретые в печи); наружные слои предварительно нагретой заготовки охлаждаются быстрее, чем внутренние. В результате процесс резки внутренних слоев

металла протекает с большей скоростью, что приводит к уширению реза в середине заготовки, образованию так называемых карманов (впадин), искажающих направление струи и потока стекающих шлаков, замедляющих процесс резки и ухудшающих качество кромок реза.

Для устранения неравномерного нагрева металла по толщине процесс резки необходимо начинать и вести немедленно после поступления обрабатываемой нагретой заготовки на резку.

Весьма существенное влияние на процесс резки стали большой толщины оказывает также положение резака в начале и в процессе резки и скорость его перемещения. Особенно большое значение имеет начало резки, когда для стабильного удаления шлаков необходимо полное прорезание металла по толщине.

Если грань, от которой начинается процесс резки, не прорезается на всю толщину металла, то шлак под действием кислородной струи выносится в сторону, обратную направлению резки, как это показано на рис. 127. В результате этого по мере продвижения резака вперед рез зашлаковывается и процесс резки прекращается. Во многих случаях газовой резки большой толщины стали это приводит к порче дорогостоящей стальной отливки или поковки.

Необходимое качество кромок реза стали большой толщины может быть достигнуто лишь при соблюдении следующих условий;

а) в начале и в течение всего процесса резки сопло резака должно быть установлено с наклоном к вертикали, в сторону, обратную направлению резки, на угол около $5\text{--}10^\circ$; б) после подогрева металла в начальной точке реза до температуры воспламенения в кислороде и пуска режущей кислородной струи перемещать резак вдоль линии реза можно только после достижения сквозного прорезания металла на всю толщину; в) в связи со значительной величиной отставания (в случае резки стали большой толщины) процесс резки необходимо заканчивать на заниженной скорости при наклоне режущего сопла на угол около $10\text{--}15^\circ$ в сторону, обратную направлению резки. Снизить скорость резки на 25—50% и наклонить режущее сопло следует плавно.

Сталь толщиной до 600 мм целесообразно разрезать на пониженном давлении кислорода с помощью установки УРР-700, состоящей из переносной десятибаллонной кислородной распределительной рампы и ручного резака с расширенными каналами кислородопровода и цилиндрическим или суживающимся режущим соплом. Благодаря расширенным каналам кислородопровода, снижающим потери давления газа, максимальная величина давления кислорода перед соплом при резке стали толщиной до 700 мм не превышает 0,25—0,3 МПа (2,5—3 кгс/см²), при давлении в рабочей камере редуктора (при закрытом вентиле) 0,5—0,8 МПа (5—8 кгс/см²).

Качество кромок реза в этом случае достаточно высокое, скорость резки и расход кислорода примерно такие же, как и при обычном давлении кислорода.

Приведенные выше условия резки стали большой толщины в полной мере распространяются и на резку стали сверхбольшой толщины — 1000—1500 мм и более.

6. РЕЗКА ЛИСТОВЫХ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

Процесс газовой резки низколегированных конструкционных сталей не встречает никаких технологических трудностей, режимы их резки те же, что и для простой низкоуглеродистой стали. Однако в случаях, если в стали содержатся в повышенном количестве такие примеси, как хром или кремний, технологически процесс резки стали сильно осложняется зашлаковыванием кромок.

Газовая резка конструкционных сталей осложняется их склонностью к закалке, затрудняющей последующую механическую обработку кромок и в некоторых случаях приводящей к образованию трещин.

Скорость нагрева и охлаждения кромки при резке листовой низколегированной стали толщиной 5 мм иллюстрируется рис. 128, представляющим результат термографической записи изменения температуры кромки реза во времени. С точки зрения образования в кромке закалочных структур интерес представляет скорость охлаждения металла в субкритическом интервале температур, соответствующем наименьшей устойчивости аустенита и равном для

большинства низколегированных сталей 650—450° С. По рис. 128 нетрудно определить скорость охлаждения кромки, составляющую 130° С/с. Однако следует иметь в виду, что столь большая скорость охлаждения металла в субкритическом температурном интервале характерна только для поверхности кромки, на удалении же от нее в глубь металла на 0,5—0,75 мм скорость охлаждения не превышает 40° С/с.

Предварительный подогрев конструкционной стали перед газовой резкой имеет практический смысл только при резке изделий малых размеров, резка которых может быть выполнена за весьма короткое время, или при резке массивных стальных изделий или заготовок, обладающих значительной массой и благодаря этому медленно остывающих.

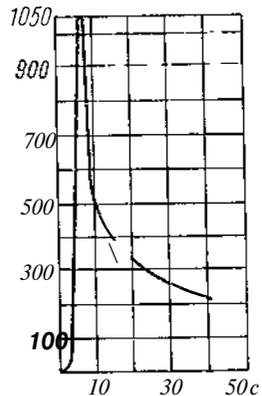


Рис. 128 Температурный цикл нагрева и охлаждения низкоуглеродистой стали толщиной 5 мм в кромке реза в процессе газовой резки, спай термпары расположен в кромке реза

При сравнительно малой толщине листов (порядка 4—6 мм), в особенности при больших размерах листов, когда предварительный подогрев немислим и недопустима высокая твердость кромок реза, целесообразно применять сопутствующий подогрев многопламенной горелкой.

Для сопутствующего подогрева, способствующего поднятию температур вблизи линии реза всего на несколько десятков градусов, можно использовать линейные и кольцевые многопламенные горелки. Линейные горелки применяют при прямолинейных резах, кольцевые — при вырезке фигурных деталей.

Выполнение фигурных резов с сопутствующим подогревом кольцевой многопламенной горелкой представляет особый интерес, так как наиболее часто встречается в практике.

В этом случае насадка на мунштук резака с несколькими концентрически расположенными соплами обеспечивает некоторое повышение температуры стали и существенное снижение скорости охлаждения, а следовательно, и твердости в кромке и примыкающих к ней слоях металла.

Термический цикл процесса резки низколегированной стали толщиной 5 мм с сопутствующим подогревом кольцевой шестисопловой горелкой для точки, отстоящей от кромки реза на расстоянии 0,5 мм (рис. 129), характеризуется скоростью охлаждения металла в субкритическом интервале температур около 4,5° С в секунду, т. е. примерно в 8 раз меньшей, чем при резке без подогрева. Если сопутствующий подогрев в процессе резки существенно снижает твердость стали в зоне теплового влияния, способствуя хорошей обрабатываемости кромок, и устраняет возможность образования трещин в зоне теплового влияния, его необходимо применять.

Однако в связи с тем, что сопутствующий подогрев связан с излишним расходом газов (расход ацетилена возрастает на 600—1000 л/ч), рекомендовать его следует только в случае выполнения резки исключительно ответственных изделий, когда недопустима заковка кромок.

Если кромки вырезаемого изделия должны подвергаться последующей механической обработке, а сопутствующий подогрев не может быть применен из-за сравнительно большой толщины стали (свыше 6—8 мм), можно произвести отжиг или отпуск изделия в термической печи. Иногда термообработку (отпуск или нормализацию) разрезанных кромок осуществляют путем их последующего нагрева до требуемой температуры пламенем многопламенной горелки, перемещаемой за резаком в процессе резки. При значительной толщине листов нагрев для отпуска разрезаемых кромок можно проводить одновременно с двух сторон разрезаемого листа двумя многопламенными горелками

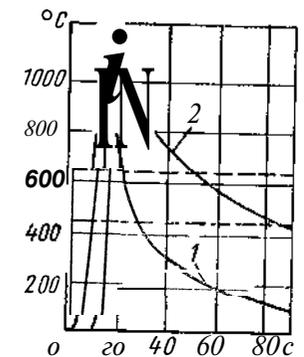


Рис. 129 Влияние сопутствующего подогрева на скорость охлаждения листов низколегированной стали в процессе резки

1 — без подогрева, 2 — с сопутствующим подогревом

7. ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕЗКЕ

Точность газовой резки характеризуется соответствием размеров вырезанной детали заданным чертежным размерам и чистотой (степенью шероховатости) поверхности разрезанных кромок.

В соответствии с этим принято рассматривать макроточность, связанную с тепловой деформацией и с искажением размеров детали до нескольких миллиметров, иногда до 10 мм и более, и микроточность, измеряемую в десятых, сотых и тысячных долях миллиметра (микрометрах), определяемую режимом резки, характером истечения кислородной струи и точностью копирования.

Возможны два основных случая газовой резки: резка как заготовительная операция и резка как операция изготовления деталей в окончательный размер без последующей механической обработки.

В качестве заготовительной операции газовую резку применяют: а) при подготовке деталей под сварку (в зависимости от предполагаемого процесса сварки припуск 0,5 — 3,5 мм); б) при вырезке деталей под станочную обработку режущим инструментом или абразивами (в зависимости от вида предполагаемой обработки припуск 1,5—5,5 мм); в) при отрезке прибылей стального литья, подлежащего ковке или прокатке (припуск более 5 мм).

Как операцию изготовления деталей в окончательный размер без последующей механической обработки газовую резку применяют: а) при вырезке деталей, контуры которых не сопрягаются со смеж-

ными деталями, например внешняя окружность фланцев, основания опорных лап и т. п. (припуск до 5,5 мм); б) при вырезке деталей, сопрягаемых с другими деталями с помощью сварки, клепки или болтового соединения внахлестку (припуск 1,5—2,5 мм); в) при вырезке сопряженных деталей повышенной точности. Примером могут служить шестерни и звездочки тихоходных передач или ручных приводов, зубчатые колеса храповиков, кулачки механизмов грубо переключения, кулисы и т. п. (припуск 0,5—1,5 мм).

Деформация листа и вырезаемой из него детали обусловлена значительной величиной внутренних напряжений, вызываемых местным и неравномерным по отношению ко всему листу нагревом при резке. Как и при сварке, величина возникающих в металле напряжений определяется характером температурного поля, величиной температуры и градиента ее изменения в направлении линии реза и поперек нее, а также жесткостью разрезаемого листа стали.

Так как напряжения при резке в зоне, примыкающей к резу, всегда превышают предел текучести (для низкоуглеродистой стали $\sigma_T = 24 \text{ кгс/мм}^2$), то пластическая деформация приводит к образованию остаточных деформаций и напряжений.

При резке сравнительно толстых листов стали основное внимание обычно уделяется деформациям, возникающим в плоскости листа, и прежде всего деформациям изгиба; при резке тонколистовой стали большую величину могут иметь и деформации из плоскости листа, г. е. коробление.

Большое разнообразие случаев резки не позволяет выработать общих мер борьбы с деформациями листа и вырезаемых из него деталей: вырезаемые детали имеют самую различную величину и форму; вырезают как в центральной части листа, так и вблизи от его краев; различны количество вырезаемых из листа деталей, толщина листа и т. д.

Опыт показывает, что при машинной резке разрезаемый лист из-за неравномерного нагрева и охлаждения в процессе резки деформируется и перемещается на опорах раскройного стола, тогда как копир, по которому деталь вырезают, будучи закрепленным на машине, остается неподвижным. В результате размеры изделия не соответствуют размерам, заданным чертежом. В связи с изложенным чертежные размеры соблюдаются более точно, если резчик независимо от происходящей деформации листа направляет резак строго по разметке, нанесенной на обрабатываемом листе стали.

На рис. 130 представлена зависимость кривизны отрезаемой полосы от ее ширины после полного охлаждения металла для случаев, когда полоса отрезается от листа одним резом (штриховая линия) и двумя последовательными резами (семейство сплошных кривых).

Из приведенных на рис. 130, а зависимостей $c = f(h)$ следует, что с увеличением ширины отрезаемой полосы как при одном резе, так и при двух последовательных резах кривизна полосы уменьшается. Однако эта зависимость справедлива лишь для полос

шириной не менее 100 мм; при меньшей ширине полосы зависимость иная. При отрезке полосы одним резом кривизна ее больше, чем при двух последовательных резах. При отрезке полосы двумя последовательными резами кривизна полосы зависит также от ширины листа H , от которого ее отрезают: чем больше ширина исходного листа стали, тем меньше кривизна отрезаемой от него полосы. Пользуясь графиком (рис. 130, а), стрелу прогиба отрезаемых от листа (рис. 130, б) полос можно определить по формуле

$$f = \frac{cl^2}{6\sigma}$$

где l — длина отрезаемой полосы; c — кривизна полосы, определяемая из графика в зависимости от ее ширины h при отрезке ее по одной кромке и от ширины исходного листа стали H при отрезке полосы двумя последовательными резами.

Деформации отрезаемых полос пропорциональны квадрату их длины. Поэтому узкие и длинные полосы следует стремиться отрезать от более широких листов. Стрелу прогиба отрезаемых от листа

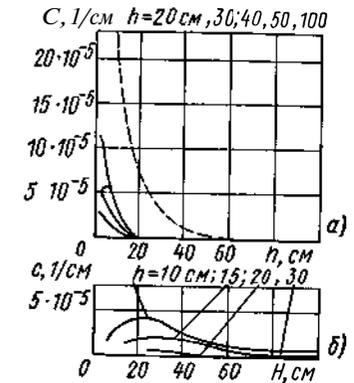


Рис. 130. Зависимость кривизны c от ширины отрезаемых полос и ширины исходного листа стали

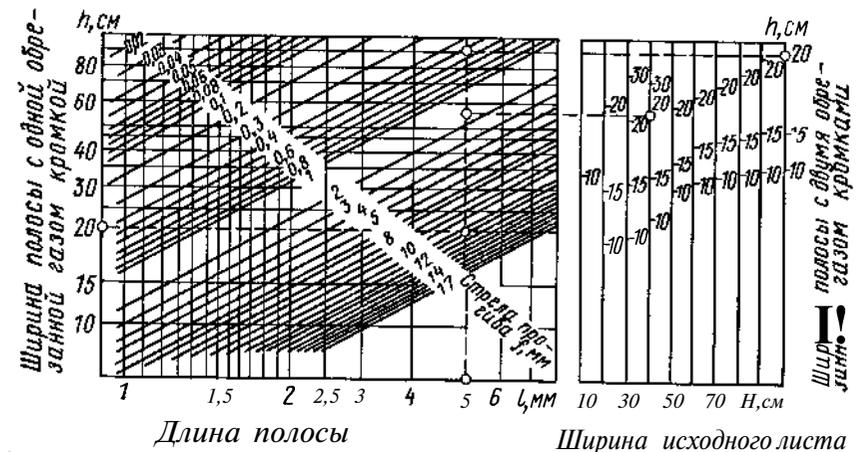


Рис. 131. Номограмма определения стрел прогиба вырезаемых полос и остающихся после резки листов стали

полос можно также определить по номограмме (рис. 131). Пользуясь номограммой, необходимо иметь в виду, что на вертикальной шкале слева отложена ширина полос, отрезаемых одним резом, а на шкале

справа — ширина полос, отрезаемых двумя последовательными резами; каждая из вертикальных линий правой части номограммы соответствует определенной ширине исходного листа стали; на горизонтальной шкале номограммы отложена длина отрезаемых полос. Наклонные прямые характеризуют значения стрел прогибов отрезаемых полос стали.

Приведенная номограмма позволяет количественно определить деформации полос прямолинейного очертания при постоянстве их ширины по длине; пользуясь графиками рис. 130, можно количественно определить также и деформации деталей с прямолинейными кромками, но с переменной по длине шириной. Если принять, что изменение кривизны детали соответствует изменению ее ширины, то можно построить эпюру изменения кривизны c по длине детали. Для этого необходимо знать изменение ширины детали по ее длине и то, как ее вырезают из листа — одним или двумя последовательными резами.

В случае вырезки детали переменной ширины из листа одним резом (т. е. практически, в случае отрезки от листа полосы переменной ширины) следует пользоваться зависимостью $c = f(h)$, изображенной на рис. 130, a штриховой линией. В случае же вырезки детали переменной ширины двумя последовательными резами необходимо знать изменение ширины детали и ширину листа, из которого деталь вырезается. Установив ширину листа $Я$, кривизну c по длине / детали определяют по семейству сплошных кривых на рис. 130, a и b .

Зная изменение кривизны c , по длине / детали (рис. 132) можно определить прогиб вырезанной детали в любом поперечном сечении, так как согласно законам строительной механики прогиб рассматриваемого сечения определяют через изгибающий момент от фиктивной распределенной нагрузки, характер распределения которой аналогичен кривизне вырезанной детали. Для случая простой, прямолинейной отрезки полос остаточная деформация полосы (т. е. величина продольного укорочения $\Delta_{ц.т}$) и кривизна c могут быть определены также аналитически:

$$\Delta_{ц.т} = -7,4 \cdot 10^{-6} \frac{q_{п.р}}{F}; \quad \Delta_{ц.т} = 1,765 \cdot 10^{-6} \frac{q_{п.р} \cdot z'}{F}, \quad (12)$$

$$c = -7,4 \cdot 10^{-6} q_{п.р} \frac{z'}{J}; \quad c = 1,765 \cdot 10^{-6} q_{п.р} \frac{z'}{J}, \quad (13)$$

где $q_{п.р}$ — погонная энергия резки, Дж/см (кал/см); F — площадь поперечного сечения полосы ($h\delta$), см², z' — расстояние от кромки реза до центра тяжести сечения полосы, равно $\sim 0,5h$, см; J — момент инерции сечения отрезаемой полосы, см⁴

Входящая в формулы (12), (13) погонная энергия резки q является в некоторой степени условной величиной, так как учитывает и теплоту подогревающего пламени, и теплоту окисления (горения) железа. Однако, поскольку горение железа при резке — основной источник теплоты, выделяемой в равной степени — в верхних»

средних и нижних слоях металла, то приближенно можно принять, что деформации, вызываемые резкой, не зависят от толщины разрезаемого металла. Высказанное положение хорошо иллюстрируется рис. 133. Нетрудно видеть, что кривые $\Delta_{ц.т} = f_c(h)$ для случая резки стали толщиной 1 и 3 см, имея одинаковый характер, проходят почти рядом с весьма незначительным различием по величине $\Delta_{ц.т}$ для обеих толщин стали.

Ниже перечислены факторы, влияющие на величину деформации, и общие рекомендации по снижению величины остаточной деформации при газовой резке.

Состояние разрезаемого листа. Если поступивший на резку лист термообработан на высокую твердость, то его следует отжечь

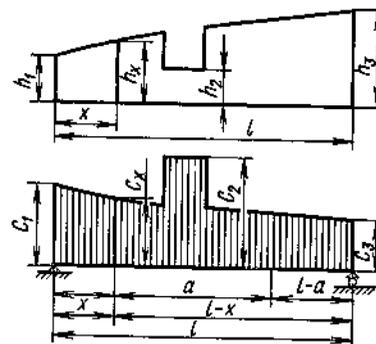


Рис. 132. Определение деформаций изгиба деталей переменной ширины

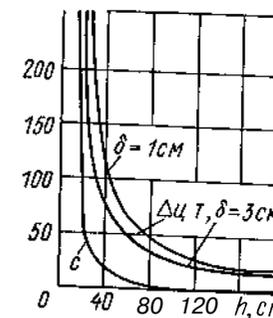


Рис. 133. Зависимость продольного укорочения $\Delta_{ц.т}$ от ширины полосы h и толщины листа δ

или отпустить, так как в противном случае остаточные напряжения закалки могут складываться с напряжениями, возникающими при резке, и приводить к значительной деформации или даже к возникновению в металле (в кромке реза) трещин (последнее наблюдается главным образом при вырезке сложных контуров из листов закаляющихся сталей или при жестком закреплении листов в процессе резки).

Теплофизические свойства металла. Чем ниже теплопроводность и выше коэффициент линейного расширения металла, тем в большей степени металл подвержен возникновению в нем значительных внутренних напряжений и остаточных деформаций. Примером такого металла может служить хромоникелевая сталь с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 16,7$ Вт/(м·К) (0,04 кал/см·с·°С) и коэффициентом линейного расширения $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$, остаточная деформация которой как при сварке, так и при резке в несколько раз превышает деформацию низкоуглеродистой стали.

Толщина разрезаемого листа и его размеры. Толщина металла с точки зрения равномерного по сечению листа выделения теплоты

мало влияет на величину остаточной деформации. Однако на степень поворота листа на опорах раскройного стола под действием неравномерного нагрева при резке масса листа (его толщина и размеры) влияет существенно. Чем больше толщина и размеры обрабатываемого листа стали, чем больше его масса, тем в меньшей степени поворачивается лист на опорах, тем меньше искажаются размеры вырезаемой из листа детали.

Жесткость закрепления листа в процессе резки. Неравномерный нагрев и, как следствие, деформация листа при резке во многих случаях приводят к поворачиванию листа на опорах, что при машинной резке по копиру вызывает изменение размеров и формы вырезаемой детали. Поэтому, если деталь вырезают из достаточно пластичной низкоуглеродистой и, тем более, аустенитной высоколегиро-

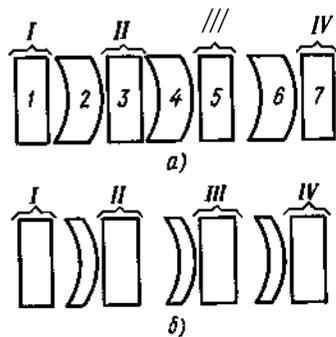


Рис. 134. Резка полос двумя резаками (цифрами показаны номера полос):

a — схема деформации отрезанных полос; *b* — схема резки полос с отходами; I—IV — проходы

ванной стали, когда требуется особо строгое соблюдение чертежных размеров вырезанной детали, возможно применение жесткого закрепления листа в процессе резки. Последнее, несмотря на значительное возрастание внутренних напряжений, существенно снижает величину остаточной деформации.

Равномерность нагрева. Чем равномернее нагрев листа и вырезаемой детали, тем меньше величина внутренних напряжений и вызываемой ими деформации. В значительной степени равномерность нагрева зависит от направления и последовательности резки. Так, например, при прямолинейной разделительной резке листа более равномерный нагрев и меньшая деформация имеют место в том случае, если процесс резки ведут от середины листа к краям или прерывисто с оставлением непрорезанных участков (перемычек), прорезаемых затем после охлаждения листа.

Наилучшим образом равномерный нагрев достигается при одновременной резке несколькими резаками (рис. 134). Во избежание деформации применяют метод резки, заключающийся в том, что между вырезаемыми деталями оставляют деформируемые полосы

шириной 30—40 мм, идущие в отходы. При этом полосы, представляющие собой заготовки для дальнейших технологических операций, могут иметь любую требуемую ширину и не деформируются.

Величина обрезки. Часть металла, остающаяся после вырезки детали, называется обрезью. Значительно меньшая деформация вырезаемой детали достигается, если образуемая обрезь по всему контуру детали остается замкнутой и не имеет возможности свободно деформироваться. Для этого вырезку детали начинают не по прямой, а по петлеобразной кривой, образующей «замок» в обрезе (рис. 135), или оставляют перемычки, перерезаемые после полного остывания листа.

Форма копира. Если известны характер и величина деформации вырезаемой детали, то для предупреждения искажения заданных размеров детали весьма эффективен так называемый обратный прогиб копира на величину ожидаемой деформации (стрелы прогиба). В этом случае размеры вырезаемой детали (в большинстве случаев полос) оказываются близкими к заданным.

Скорость резки. Чем больше скорость резки, тем меньше нагрев разрезаемого листа стали и тем меньше деформация.

Шероховатость поверхности кромок. Шероховатость поверхности кромок зависит от толщины разрезаемого металла и способа резки — ручного или машинного. Чем больше толщина металла, тем больше ширина реза и тем больше неравномерностей на поверхности кромок. Однако во многих случаях производства, главным образом при вырезке в окончательный размер деталей, сопрягаемых с другими деталями, при движении требуется получение так называемых прецизионных резов, отличающихся малой шероховатостью и осуществляемых обычно на автоматах с большой точностью копирования (преимущественно на шарнирных).

Условия выполнения прецизионной резки: выполнение резки на автоматах, обеспечивающих достаточную точность и плавность

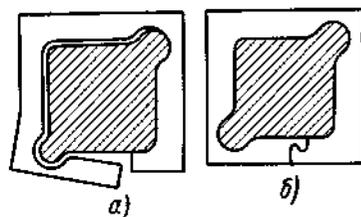


Рис. 135. Изменение размеров детали в зависимости от деформации обрезки при вырезке:

a — с выводом реза на контурную линию по прямой; *b* — с выводом реза по петлеобразной кривой

Таблица 9

| Параметры резки | Режимы прецизионной резки | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Толщина разрезаемой стали, мм | |
| | 6—12 | 12—20 |
| Расстояние от сопла до металла, мм | 3,5 | 4 |
| Скорость резки, м/мин | 410—450 | 350—400 |
| Избыточное давление кислорода при закрытом вентиле на резаке, МПа (ат) | 0,294—0,392 (3—4) | 0,392—0,49 (4—5) |
| Расход, дм ³ /с (м ³ /ч): | | |
| кислорода | 0,415—0,75 (1,5—2,7) | 0,75—0,84 (2,7—3,0) |
| ацетилена | 0,1—0,17 (0,36—0,42) | 0,17—0,19 (0,42—0,46) |

перемещения резака; точная установка расстояния от режущего сопла до металла, при необходимости — правка разрезаемого листа стали и тщательная очистка его поверхности от окалины и других загрязнений; установка листа в строго горизонтальном положении (по уровню); установка контролируемого по приборам режима резки в строгом соответствии с табл. 9, применение кислорода достаточно высокой чистоты, не ниже 98,5; образование начального отверстия сверлом при необходимости начала резки внутри контура листа; применение заниженной скорости резки в соответствии с табл. 9.

8. ГАЗОВАЯ РЕЗКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Титан имеет относительно высокую температуру плавления, равную 1680 °С, низкий коэффициент теплопроводности $\{\alpha = 15 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}\} [0,036 \text{ кал/}(\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{°C})]$, однако в отличие от хромоникелевых сталей имеет невысокий коэффициент линейного расширения ($\alpha = 8,5 \cdot 10^{-6}$), в связи с чем в меньшей степени подвержен возникновению больших внутренних напряжений. С точки зрения разрезаемости титан полностью отвечает условиям газовой резки, имея сравнительно низкую температуру воспламенения в кислороде (начала интенсивного окисления, $T_{пл} = 1100^\circ\text{C}$) и высокие тепловые эффекты образования окислов TiO_2 [9,1 кДж/моль (216 ккал/г-мол)].

Титан — весьма активный элемент. Он интенсивно поглощает кислород, водород и азот. Поглощение титаном кислорода начинается при температуре 400 °С, причем с дальнейшим повышением температуры интенсивность поглощения возрастает.

Технологически газовая резка титана и его сплавов никаких трудностей не встречает. Титан в силу своего большого сродства с кислородом режется со значительной скоростью, в несколько раз превышающей скорость резки низкоуглеродистой стали. Процесс резки титана сопровождается сильным свечением зоны реакции, наподобие горящего магния.

В связи с большой чувствительностью титана к перегреву зона теплового влияния газовой резки должна быть возможно меньшей. С учетом сказанного следует отметить, что выпускаемые промышленностью для газовой резки стали резаки мало пригодны для резки тонких листов титана и его сплавов.

Достаточно высокое качество разрезанных кромок титана малой толщины достигается применением подогревающего пламени пониженной мощности, концентрированного нагрева и больших скоростей резки, намного превышающих скорости резки низкоуглеродистой стали.

Примером резака, отвечающего приведенным выше условиям резки тонколистового титана (толщиной 3—15 мм), может служить модернизированный машинный резак, имеющий головку с двумя

мундштуками — наружным и внутренним, образующими кольцеобразный канал горючей смеси, и уменьшенные проходные сечения инжектора, смесительной камеры и мундштуков.

Уменьшение проходных сечений достигается постановкой на резак инжектора, смесительной камеры № 2 от серийной сварочной горелки и мундштуков (наружного и внутреннего) № 1 от ручного резака РР. В этом случае наружный диаметр внутреннего мундштука составляет 3 мм, а внутренний диаметр наружного мундштука 2 мм, что обеспечивает малые размеры щели для выхода горючей смеси, ширина которой составляет 0,5 мм, при наружном диаметре кольца 4 мм и внутреннем 3 мм. Диаметр центрального канала режущего кислорода при этом составляет 1,5 мм.

Процесс резки целесообразно начинать в стороне от разрезаемого листа титанового сплава, на укладываемой впритык к нему технологической пластинке, толщина которой должна быть в 2,5 раза меньше толщины разрезаемого сплава (табл. 10).

Изменение структуры технического титана в кромке реза и в зоне теплового влияния выглядит следующим образом. Непосредственно у кромки реза на глубине, не превышающей 0,1 мм, наблюдается светлая слаботравящаяся зона игольчатой структуры, так называемая зона альфирования, возникающая в результате насыщения металла кислородом и азотом. Далее следует зона термического влияния, зона α' -фазы, также игольчатой структуры, аналогичной мартенситной структуре в стали.

Образование α' -фазы происходит в процессе фазовой перекристаллизации при нагреве и последующем быстром охлаждении металла при резке.

Высокая эффективность и незначительное тепловое влияние при газовой резке листовых титановых сплавов позволяют с успехом применять этот процесс при раскрое листов и при вырезке деталей простого и сложного контуров.

При газовой резке кромок под сварку последние можно обрабатывать наждачным кругом на глубину 0,2—0,3 мм, достаточную для гарантированного удаления альфированного слоя. При вырезке же особо ответственных деталей, в которых не допускается присутствия зоны теплового влияния резки, кромки обрабатывают механическим путем на строгальных или фрезерных станках на глубину 1—1,2 мм.

Таблица 10

Режимы кислородно-ацетиленовой резки титановых сплавов

(при инжекторе и смесительной камере № 2, внутреннем и наружном мундштуках № 1)

| Толщина разрезаемого сплава, мм | Давление режущего кислорода, МПа (кгс/см ²) | Скорость резки, мм/с (мм/мин) |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 3 | 0,343—0,392 (3,5-4) | 33,4 (2000) |
| 10 | 0,392—0,49 (4-5) | 29,2 (1750) |
| 15 | 0,49—0,588 (5-6) | 29 (1500) |

9. ПОВЕРХНОСТНАЯ КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

Сущность процесса. При поверхностной кислородной резке струя кислорода направлена на поверхность металла под острым углом, составляющим $20-30^\circ$ к поверхности металла (рис. 136).

Как процесс разделительной резки, поверхностная резка протекает при наличии подогревающего пламени резака, нагревающего металл в начале и в процессе резки.

Механизм образования канавки состоит в том, что направленная под углом на нагретую поверхность металла струя кислорода при ее невысоком давлении и сравнительно небольшой скорости истечения деформируется и, врезааясь на какую-то глубину в металл, выносит на его поверхность образовавшиеся жидкие шлаки.

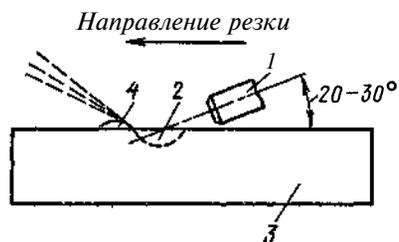


Рис. 136. Схема процесса поверхностной резки

1 — режущее сопло, 2 — образуемая канавка, 3 — обрабатываемая заготовка, 4 — шлак

Именно этим объясняется высокий процент неокисленного железа в шлаке при кислородной поверхностной резке.

Устойчивый процесс поверхностной резки возможен только в том случае, если направление перемещения резака совпадает с направлением кислородной струи и остающаяся на поверхности металла часть образовавшегося шлака перемещается под напором струи впереди режущего сопла в направлении канавки и нагревает металл. Если же резак перемещать в направлении, перпендикулярном струе, то процесс резки прекратится из-за недостаточного прогрева передней грани образуемой канавки расплавленным шлаком, который в этом случае выносится струей на боковую стенку канавки.

При равномерном перемещении резака в направлении образуемой канавки после начала процесса резки подогревающее пламя резака может быть выключено. В этом случае будет иметь место только кислородная резка металла без участия других газов.

Существуют два основных способа поверхностной кислородной резки: строжка и обточка. В первом случае резак наподобие проходного резца совершает поступательное прямолинейное движение, в результате которого с поверхности металла снимается слой определенной ширины или вырезается круглая канавка. Слой с поверхности металла может быть снят за несколько проходов одного

резака или за один проход нескольких резаков, укрепленных в суппорте механизированного устройства и имеющих смещение относительно друг друга по ширине обрабатываемого участка. Во втором случае, т. е. при обработке изделия обточкой, резак наподобие токарного резца совершает поступательное движение вдоль образующей круглой вращающейся заготовки. В результате обточки с поверхности тела вращения снимается слой металла определенной глубины. Этим способом можно нарезать ленточную резьбу, образовывать кольцевые канавки на изделиях цилиндрической формы и пр.

Область применения. Поверхностная резка находит широкое применение во многих отраслях металлургической и металлообрабатывающей промышленности. Наибольшее распространение она получила при удалении поверхностных дефектов на литье и прокате в сталеплавильном и прокатном производстве. Существуют так называемые огневые машины, которые устанавливаются в конвейерной цепи блюминга или слябинга и с помощью группы резаков без замедления процесса прокатки производят снятие равномерного слоя металла одновременно по четырем граням обрабатываемого слитка.

Некоторое распространение поверхностная резка находит также при подготовке U-образных кромок листов под сварку и при вырезке корня сварного шва перед наложением подварочного валика.

Значительно меньшее распространение получили черновая обточка цилиндрических изделий и выполнение ленточной резьбы на поверхности барабанов.

Резаки для поверхностной резки. Конструктивные особенности резаков для поверхностной резки следующие: увеличенные сечения каналов подогревающей системы и, в частности, сопла вследствие необходимости применения при больших скоростях резки более мощного подогревающего пламени; увеличенное сечение кислородопровода резака и, в частности, цилиндрического канала режущего сопла; расположение мундштука под тупым углом к стволу резака; большая длина ручного резака, достигающая 1 м и более, связанная с удобством выполнения ручной поверхностной резки.

Существует несколько типов поверхностных резаков. Одни из них служат для поверхностной резки холодного металла, другие — для резки металла в нагретом состоянии. Первые применяют для удаления местных дефектов на остывшем после литья или прокатки металле, для подготовки кромок листов под сварку, для удаления дефектов сварных швов и т. д. Вторые находят применение в металлургическом производстве при поверхностной резке (строжке) стальных отливок и проката непосредственно после литья или прокатки, когда металл еще не остыл.

Поверхностные резаки бывают ручные и машинные. Последние находят применение главным образом при значительной протяженности резов, например при подготовке U-образных кромок под сварку, при поверхностной резке (строжке) проката и т. д.

Техника поверхностной резки. Начальный нагрев металла до воспламенения осуществляют при наклоне мундштука на угол $70-$

80° к поверхности металла. После того как металл нагрет, мундштук устанавливают под углом 10—30°, пускают струю режущего кислорода и перемещают резак с необходимой скоростью в заданном направлении.

При поверхностной резке массивных отливок или заготовок иногда для облегчения нагрева металла в начальной точке реза в зону пламени вводят конец прутка низкоуглеродистой проволоки диаметром 6—8 мм, расплавляют его на поверхности металла и, пустив струю режущего кислорода, воспламеняют. Выделившаяся при этом теплота способствует необходимому нагреву металла и более быстрому началу процесса резки.

Весьма распространенный прием — надрубка поверхности стали в точке начала резки. В этом случае необходимый разогрев металла достигается за счет быстрого нагрева и воспламенения в кислородной струе стружки, образованной на поверхности стали.

Процесс поверхностной резки требует вполне определенного соотношения между скоростью резки и расходом режущего кислорода. При чрезмерно больших скоростях резки или чрезмерно малых расходах кислорода количество шлака, образующегося при окислении металла, оказывается недостаточным для подогрева металла впереди реза, и процесс резки прерывается. При слишком же малых скоростях резки или слишком больших расходах кислорода поверхность канавки получается волнистой, а образующийся в большом количестве шлак иногда заливает отверстия мундштука и гасит пламя.

Глубина образуемой канавки зависит от угла наклона мундштука. С увеличением этого угла глубина канавки увеличивается.

Большое влияние на глубину канавки, удельный расход кислорода и производительность резки оказывает чистота кислорода. Так, с повышением чистоты кислорода на 1% (в пределах 97—99,5%) производительность резки увеличивается, а удельный расход кислорода снижается на 15—20%.

ГЛАВА XVIII

КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Необходимость разработки процесса резки была вызвана все возрастающим объемом применения конструкций (резервуаров и трубопроводов) из хромоникелевых коррозионностойких и жаропрочных сталей, не поддающихся резке обычными газовыми резаками.

Процесс кислородно-флюсовой резки разработан также применительно к таким не поддающимся обычной газовой резке металлам, как чугун, медь, латунь и бронза. В настоящее время этот процесс отработан и находит применение и при резке неметалличес-

ких строительных материалов — бетона и железобетона, а также зашлакованных черных и цветных металлов и огнеупоров.

В сопоставлении с механической резкой и, тем более, с дуговой резкой плавящимся электродом и автоматической дуговой резкой под слоем флюса, безусловно требующими последующей механической обработки кромок, кислородно-флюсовая резка обеспечивает 15—20-кратное повышение производительности.

1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Процесс кислородно-флюсовой резки состоит в том, что при наличии подогревающего пламени и режущей струи кислорода в зону реакции вводят дополнительно порошкообразный флюс, интенсивно окисляющийся или плавящийся в реакционной зоне и разжижающийся при резке шлаки.

Кислородно-флюсовая резка — сложный процесс, при изучении которого необходимо принимать во внимание химико-металлургический, тепловой и механический факторы. Участие того или иного фактора в процессе резки определяется составом флюса, который может быть термомеханического, механического или химического действия.

Флюс термомеханического действия — железный порошок — сгорает (интенсивно окисляется) в резе с выделением значительного количества теплоты, образует при окислении закись железа (FeO), сильно разжижающую шлаки, и способствует механическому удалению расплавленных шлаков из полости реза.

Флюс механического действия — обычный кварцевый песок — плавится в зоне реакции без выделения дополнительного количества теплоты, но связывает тугоплавкие окислы в более легкоплавкие соединения, т. е. оказывает чисто флюсующее действие в процессе резки. Помимо этого, частицы песка, проходя через образующийся разрез с большой скоростью, способствуют механическому удалению расплавленных шлаков.

Флюсы химического действия — это различные сочетания натриевых солей, например смесь углекислого натрия с небольшой добавкой (до 1—1,5%) фосфористого натрия. Однако распространения натриевые флюсы не получили из-за сильного раздражающего действия на дыхательные пути резчика мелкой разлетающейся пылью.

2. ФЛЮСЫ ДЛЯ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВОЙ РЕЗКИ

Флюсы для резки высоколегированных сталей. Данные исследований мартеновских шлаков показывают, что причиной повышения вязкости хромистых шлаков является образование хромита (содержащего теоретически 67,9% окиси хрома и 32,1% закиси железа) с температурой плавления около 2180 °С. Шлаки, образующиеся при кислородно-флюсовой резке высокохромистых и хромоникелевых сталей, для обеспечения необходимой жидкотекучести должны содержать не более 15% окиси хрома. Это условие легко выполняется

при разбавлении шлака компонентами флюса, в частности железным порошком, образующим при окислении в зоне реакции закись железа с вязкостью 0,2 Пз при температуре 1400 °С. В некоторых случаях для повышения тепловой эффективности, а следовательно, и производительности процесса резки к железному порошку добавляют до 5—10% алюминия, или для улучшения условий флюсования — до 10—20% силикокальция или до 25% железной окалины.

Применяя флюс, состоящий из железного и алюминиевого порошков с добавкой кварцевого песка или ферросилиция, получим

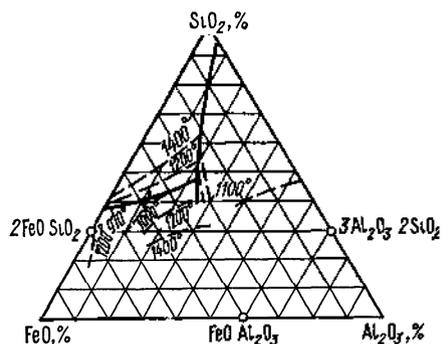
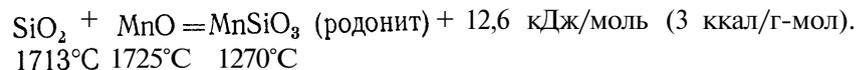
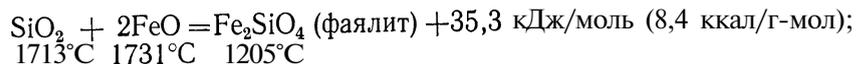
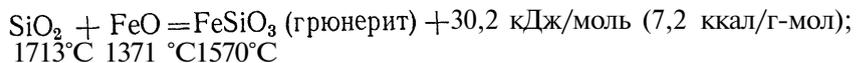


Рис. 137. Изотермы тройной системы

шлак, для анализа которого воспользуемся тройной диаграммой плавкости системы FeO—Al₂O₃—SiO₂, представленной на рис. 137. При содержании в шлаке до 30% FeO и более температура системы снижается до 1000—1200 °С. В этой системе обнаруживаются только двойные соединения: шпинель-герценит FeO·Al₂O₃ с температурой плавления 1300 °С, фаялит 2FeO·SiO₂ с температурой плавления 1205 °С и муллит 3Al₂O₃·2SiO₂ с достаточно высокой температурой плавления (1810 °С). Тем не менее, при использовании в качестве флюса смеси железного порошка с алюминиевым с добавкой порошка ферросилиция или кварцевого песка можно получить достаточно жидкотекучие шлаки, а также значительно повысить температуру в зоне резки и поднять тепловую эффективность и производительность процесса.

Вводя в состав флюса содержащие кремний компоненты, такие как ферросилиций или кварцевый песок, необходимо иметь в виду, что силикатные шлаки системы FeO—SiO₂ весьма жидкотекучи только при содержании в них 30% SiO₂.

Процесс производимого окисью кремния флюсования (шлакования) заключается как в разжижении образующихся при резке шлаков за счет разбавления тугоплавких соединений более легкоплавкими, так и в частичном переводе тугоплавких окислов в более легкоплавкие соединения, как это, например, имеет место при взаимодействии с FeO и MnO:



Введение в состав флюса силикокальция вызывает взаимодействие окиси кальция с другими соединениями, образующимися в зоне резки. Соединения окиси кальция с окислами железа и кремния дают легкоплавкие шлаковые смеси с температурой плавления, не превышающей 1030 °С.

С точки зрения качества кромок реза и легкости отделения от них шлака наилучшие результаты достигаются при составе флюса: 80—85% железа и 20—25% силикокальция.

Петрографический анализ шлака, образуемого при кислородно-флюсовой резке высоколегированной стали с применением флюса на железистой основе, показывает, что в основном шлак состоит из магнетита (FeO·Fe₂O₃) с температурой плавления ~1460 °С и вязкостью 0,2—0,3 Пз.

В небольших количествах кристаллизуется также фаялит (2FeO·SiO₂) состава: 70% FeO и 30% SiO₂ с температурой плавления 1205 °С и вязкостью 0,5 Пз.

Добавка к железному порошку 10% по массе алюминиевого порошка приводит к появлению в шлаке, помимо магнетита, шпинели типа (Fe; Ni)O·(Fe; Cr, Al)₂O₃, достаточно жидкотекучей при высокой температуре, развиваемой в зоне реза.

Флюсы для резки чугуна. Основная металлургическая задача при кислородно-флюсовой резке чугуна состоит в разбавлении расплавленного в объеме реза чугуна железом флюса и снижении в сплаве содержания углерода.

Другая также немаловажная задача — разжижение шлака, который обычно при плавлении чугуна отличается большой густоплакостью из-за повышенного содержания в нем SiO₂, переходящей в шлак из основного металла и сильно повышающей вязкость шлака (содержание кремния в чугуне достигает 3,5% и более). Таким образом, в состав флюса для резки чугуна могут входить железный порошок (иногда с добавкой 10% алюминия, поднимающего тепловую эффективность процесса) и какой-либо флюсующий компонент, способствующий увеличению жидкотекучести шлака, например феррофосфор, кварцевый песок и др. (табл. 11).

Таблица 11

Состав флюса для резки чугуна, % по массе

| Железный порошок | Алюминиевый порошок | Доменный феррофосфор | Кварцевый песок | Назначение флюса |
|------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|
| 65—75 | — | 25—35 | — | Резка чугуна |
| 65—75 | 5—10 | — | 20—25 | То же |
| 75 | — | — | 25 | » |
| 70—80 | 20—30 | — | — | Резка меди |
| 70—80 | 5—10 | — | 15—20 | Резка латуней и бронз |
| 70—75 | 15—20 | 10—15 | — | То же |

Флюсы для резки меди и медных сплавов. Основная трудность резки меди, препятствующая процессу газовой резки этого металла, — это малый тепловой эффект образования окислов меди. Образование CuO связано с выделением всего 156,8 кДж/моль (37,5 ккал/г-мол), а образование Cu_2O — с выделением 173,5 кДж/моль (41,5 ккал/г-мол). В то же время такой металл, как алюминий выделяет при окислении в 10 раз большее количество теплоты — 1672 кДж/моль (400 ккал/г-мол).

Для компенсации недостающей при окислении меди теплоты, в состав флюса целесообразно вводить значительные количества алюминия. Однако образующаяся в этом случае тугоплавкая окись алюминия Al_2O_3 сильно повышает вязкость шлака, поэтому в состав флюса рекомендуется вводить такие флюсующие добавки, как кварцевый песок или железная окалина, понижающие вязкость шлака, или феррофосфор, способствующий получению легкоплавких шлаков.

Другая трудность резки меди связана с ее большой теплопроводностью ($\lambda = 3,9 \text{ Дж}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$ [$\lambda = 0,92 \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{К})$], препятствующей сосредоточенному нагреву меди подогревающим пламенем резака. В значительной мере эта трудность устраняется предварительным подогревом меди и применением флюсов большой тепловой эффективности, способствующей концентрированному нагреву металла в зоне резки (табл. 11).

Флюсы для кислородно-флюсовой и порошково-копьевой резки бетона и других неметаллических материалов. Если интенсивное окисление (горение) в кислородной струе металла всегда сопровождается выделением значительного количества теплоты в зоне реакции, то при воздействии кислородной струи на нагретый и расплавленный неметаллический материал, будь то бетон, шлак или огнеупор, никакого тепловыделения не происходит. Объясняется это тем, что все подобные неметаллические материалы состоят в основном из окислов, дальнейшее окисление которых невозможно.

Для достижения необходимой тепловой эффективности флюса на железистой основе в состав его в повышенном количестве (до 20—25%) вводят алюминий. Кроме того, флюс в этом случае применяют более мелких фракций, нежели при резке металлов.

Так, если при кислородно-флюсовой резке металлов основой флюса является железный порошок марок ПЖ4С (ПЖ5С) или ПЖ4М (ПЖ5М) по ГОСТ 9849—61, с размером частиц порошка в первом случае 0,16—0,25 мм и во втором 0,071—0,16 мм, то при резке неметаллических материалов применяется преимущественно порошок марки ПЖЗМ с размерами частиц 0,056—0,071 мм. Такие размеры частиц, составляющие сотые доли миллиметра, характерны для порошков типа пудры, сохраняющих еще необходимую сыпучесть. Кроме того, порошок марки ПЖЗ содержит 98% чистого железа, в то время как порошки ПЖ4 и ПЖ5 содержат чистого железа первый 96%, а второй 94%.

Таким образом, порошок для резки неметаллических материалов отличается особенно большой активностью благодаря более полному сгоранию мелких частиц, содержащих высокий процент чистого железа. Входящий в состав флюса алюминиевый порошок также имеет высокую тонину помола, соответствующую желаемому.

Помимо основного теплового действия, вводимый в зону реакции резки металлический порошок должен осуществлять также необходимое флюсование (шлакование) образующихся при резке тугоплавких окислов.

Алюминий, вводимый во флюс в количестве 15—25% (по объему), предназначен для еще большего повышения тепловой эффективности флюса, поднятия температуры в зоне реакции резки, поскольку образование Al_2O_3 связано с выделением большого количества теплоты. Обычно флюс для разделительной кислородно-флюсовой (резаковой) и копьевой резки бетона и железобетона содержит 75—85 об. % железного порошка ПЖЗМ и 15—25 об. % алюминиевого порошка АПП.

Для процесса прожигания порошково-кислородным копьем отверстий в бетоне и других неметаллических материалах во избежание воспламенения флюса внутри трубки копы порошки должны быть менее чистыми и должны содержать более крупные фракции (т.е. быть менее активными). Последнее условие решается путем применения для прожигания отверстий железных порошков ПЖ5К или ПЖ5С и алюминиевого порошка АПВ той же тонины помола, что и железный порошок.

Железобетон, содержащий арматуру в виде стержней или проволоки из низкоуглеродистой стали, благодаря окислению арматурной стали режется лучше, чем чистый бетон без армирования.

Для резки других неметаллических материалов, таких как зашлакованные низкоуглеродистая сталь и чугун, зашлакованный высоколегированный скрап, содержащий наряду со шлаком и кусками огнеупорной кладки высокий процент никеля, зашлакованные латуни и бронзы, огнеупоры (шамот, кварцит, магнезит) и различные сочетания металлов с огнеупорами, применяют те же флюсы, что и для резки бетона. Колебания в содержании железа и алюминия во флюсе в этих случаях могут составлять не более 5—10%.

3. ОСОБЕННОСТИ РЕЗКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Высоколегированные стали делятся на коррозионностойкие (нержавеющие), жаростойкие и жаропрочные.

Наиболее типичный состав коррозионностойкой стали, обеспечивающий устойчивую структуру аустенита: 18—20% Cr, 8—10% Ni. Жаростойкие и жаропрочные стали также могут содержать хром и никель в различных сочетаниях или только один хром, приобретая ферритно-сорбитную, ферритно-трооститную или трооститно-мартенситную структуру. Кроме того, все эти стали, помимо обычных примесей углерода, кремния, марганца, серы, фосфора,

могут содержать в том или ином количестве такие примеси, как титан, ниобий, молибден, ванадий, медь, алюминий, никель.

В зависимости от состава чувствительность стали к термическому воздействию при резке различна. В то же время все высоколегированные стали отличаются низкой теплопроводностью. Особенно низок коэффициент теплопроводности аустенитных коррозионноустойчивых сталей: при 0°C $\lambda = 0,15 \text{ Дж}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{K})$ [$\lambda = 0,035 \text{ кал}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C})$] и при 800°C $\lambda = 3,34 \text{ Дж}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{K})$ [$\lambda = 0,08 \text{ кал}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C})$]. Коэффициент же линейного расширения высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей достаточно большой и для коррозионноустойчивой стали составляет $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$.

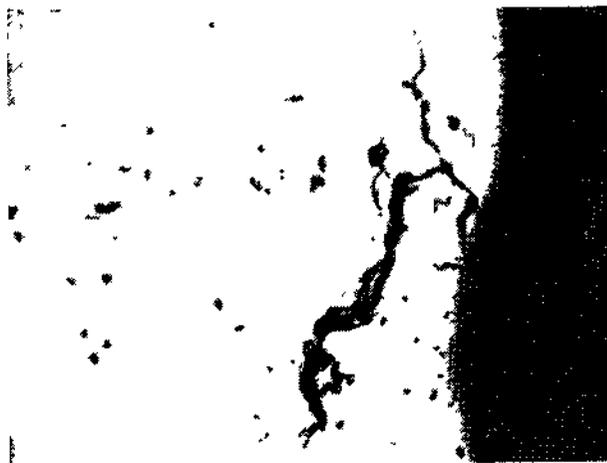


Рис. 138. Микрошлиф образца стали X18H9T с явно выраженной межкристаллитной коррозией у кромки реза; X 450

В результате сочетания двух факторов — низкой теплопроводности, приводящей к большому перепаду температур, и значительного коэффициента линейного расширения стали при нагреве в процессе кислородно-флюсовой резки возникают большие внутренние напряжения, приводящие к деформациям разрезаемых листов, а в некоторых случаях (главным образом при жестком закреплении листа) — к образованию трещин.

Другая особенность высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей, связанная с нагревом стали в процессе резки, — выпадение карбидов хрома (типа Cr_3C , Cr_4C и др.) по границам зерен в интервале температур $650\text{—}450^\circ\text{C}$.

На рис. 138 представлен микрошлиф кромки реза стали X18H9T толщиной 12,5 мм с явно выраженной межкристаллитной коррозией, распространяющейся на глубину до 0,3 мм. Однако выпадение кар-

бидов хрома по границам зерен коррозионноустойчивой стали происходит только в том случае, если содержание углерода в стали превышает предельную растворимость этого элемента в аустените, составляющую 0,04%.

Содержащиеся в высоколегированных сталях примеси существенно влияют на фазовый состав стали. Одни из них способствуют образованию в стали аустенитной структуры (никель, марганец, медь), другие — ферритной (кремний, молибден, алюминий, вольфрам, ванадий).

Послойный локальный спектральный анализ кромок реза различных высоколегированных сталей показывает значительное изменение химического состава стали. Так, содержание углерода, марганца, кремния, хрома и никеля в кромке реза значительно ниже, чем в основном металле (табл. 12).

Таблица 12

| Легирующий элемент | Сталь | Поверхность кромок | Содержание легирующих элементов, % | | | | | |
|--------------------|-------|--------------------|--------------------------------------|-------|------|------|------|------|
| | | | Расстояние от поверхности кромки, мм | | | | | |
| | | | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Хром | 18,00 | 6,00 | 10,80 | 11,80 | 14,3 | 16,7 | 17,0 | 17,6 |
| Никель | 10,40 | 8,30 | 9,70 | 9,90 | 10,0 | 10,0 | 10,2 | 10,2 |
| Титан | 0,65 | 0,07 | 0,31 | 0,31 | 0,45 | 0,56 | 0,63 | 0,65 |
| Марганец | 0,76 | 0,23 | 0,33 | 0,48 | 0,61 | 0,67 | 0,68 | 0,75 |
| Кремний | 0,68 | 0,21 | 0,31 | 0,55 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,68 |

Примечание. Флюс — железный порошок с добавкой флюсующих компонентов

Изменение химического состава металла кромки реза в хромоникелевых сталях понижает устойчивость аустенита, так как точка мартенситного превращения смещается в сторону высоких температур.

Дополнительное количество теплоты, сообщаемое металлу окисляющимся при кислородно-флюсовой резке флюсом, делает тепловое влияние этого способа резки более значительным по сравнению с тепловым влиянием газовой резки, где теплота сообщается только подогревающим пламенем и процессом окисления основного металла в объеме реза. Так, при кислородно-флюсовой резке высоколегированных сталей толщиной до 1000 мм ширина зоны теплового влияния может составлять до 55 мм. Однако при кислородно-флюсовой резке листовых коррозионноустойчивых сталей толщиной до 15—20 мм, где ширина зоны термического влияния не превышает 2—3 мм, тепловое влияние резки на структуру и пластические свойства стали невелико.

Толщина разрезаемой стали оказывает первостепенное влияние на скорость охлаждения металла и на характер структур, образуемых в кромке реза и зоне теплового влияния. При резке хромоникелевой стали X18H9T толщиной 140 мм общая ширина зоны терми-

ческого влияния составляет около 5—6 мм, а ширина участка оплавленного металла (1,3—1,4 мм) имеет дендритную структуру аустенита с включениями феррита. С дальнейшим увеличением толщины этой хромоникелевой стали влияние кислородно-флюсовой резки на структуру и свойства металла в кромке реза и в зоне теплового влияния повысится.

Хромоникелевые стали с относительно невысоким содержанием никеля (до 8—10%) не проявляют при резке склонности ни к образованию трещин, ни к межкристаллитной коррозии. Совсем иначе ведут себя при резке хромоникелевые стали с высоким содержанием никеля и высокохромистые стали. В последних даже незначительное изменение состава, в частности незначительное изменение содержания углерода и хрома, меняет структуру стали с ферритной на мартенситную и наоборот.

Жаропрочные стали, содержащие около 12% Cr и примеси молибдена, вольфрама, ванадия и ниобия, имеют мартенситную структуру и содержат до 10—15% феррита. Для этих сталей характерно замедленное мартенситное превращение, температурный интервал которого, например, для стали состава: 0,07% C; 0,31% Si; 0,56% Mn; 12% Cr; 1,43% Ni и 1,28% Si составляет 400—200° C.

Столь замедленное структурное превращение, образующее хрупкую мартенситную структуру, совершающееся при сравнительно низких температурах, приводит иногда к образованию трещин в кромке реза. Резку такой стали, а также сталей, содержащих 0,1% C и более, свыше 12% Cr и такие добавки, как молибден, ванадий, вольфрам, ниобий, следует проводить с предварительным подогревом до температуры 300—450° C с последующим медленным охлаждением, а иногда и с последующей термообработкой.

Таблица 13

Технологические рекомендации по резке высоколегированных сталей

| Группа стали по разрезуемости | Класс стали | Характеристика группы | | Необходимость предварительного подогрева |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Cr _{ЭКВ} Ni _{ЭКВ} | Cr _{ЭКВ} + Ni _{ЭКВ} | |
| I | Мартенситный | Менее 2,5 | Менее 30 | Подогрев до 250—350° C |
| II | Мартенситно-ферритный | Более 2,5 | Менее 30 | Без подогрева. При резке больших сечений и вырезке деталей сложного контура — подогрев до 250—350° C |
| III | Ферритный | Более 2,5 | Более 30 | Без подогрева |
| IV | Аустенитно-ферритный | 1,25—2,5 | Более 30 | То же |
| V | Аустенитный | Более 1,25 | Более 30 | * |

Таблица 14

Ориентировочные режимы прямолинейной резки высоколегированных сталей большой толщины

| Параметры режима | Толщина разрезаемой стали, мм | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------|---------|
| | 300 | 400 | 500 |
| Рабочее давление кислорода, кгс/см ² | 2,5—3 | 2,5—3 | 2,5—3 |
| Расход кислорода, м ³ /ч | 60—(5) | 75—80 | 90—95 |
| Расход ацетилена, м ³ /ч | 2,4—2,8 | 3—3,4 | 3,6—4 |
| Расход флюса, г/мин | 270—400 | 370—550 | 470—700 |
| Скорость резки, мм/мин | 60—80 | 55—75 | 45—65 |

Если содержание никеля в стали достаточно велико и отношение эквивалента хрома (Cr_{ЭКВ}) к эквиваленту никеля (Ni_{ЭКВ}) значительно меньше 1,2—1,5, может наблюдаться так называемое охрупчивание стали, связанное с длительным воздействием на сталь высоких температур и часто с образованием σ-фазы, т. е. сталь приобретает большую склонность к образованию горячих трещин в процессе резки.

Таблица 15

Ориентировочные режимы резки высоколегированных сталей

| Параметры режима | Толщина разрезаемой стали, мм | | | | | | | |
|-------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 200 |
| <i>Фасонная резка</i> | | | | | | | | |
| Рабочее давление, кгс/см ² | 3,5—4 | 4—4,5 | 4,5—5 | 5—5,5 | 5,6—6 | 6—7 | 7—8 | 12—14 |
| Скорость резки, мм/мин | 400 | 345 | 290 | 260 | 225 | 200 | 180 | |
| Расход кислорода, м ³ /м реза | 0,3 | 0,55 | 0,8 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,35 | |
| Расход ацетилена, дм ³ /м реза | 25 | 40 | 50 | 60 | 75 | 90 | 100 | |
| Расход флюса, кг/м реза | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,75 | |
| Отставание в процессе резки, мм | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 10 | |
| <i>Прямойная резка</i> | | | | | | | | |
| Скорость резки, мм/мин | 760 | 575 | 490 | 435 | 370 | 330 | 300 | 90 |
| Расход кислорода, м ³ /м реза | 0,18 | 0,35 | 0,5 | 0,65 | 0,95 | 1,2 | 1,5 | 4,7 |
| Расход ацетилена, дм ³ /м реза | 17 | 24 | 30 | 35 | 45 | 65 | 60 | 200 |
| Расход флюса, кг/м реза | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 1,76 |
| Отставание в процессе резки, мм | 3 | 6 | 9 | 12 | 18 | 24 | 30 | 15 |

Концентрация легирующих элементов существенно влияет на температуру мартенситного превращения высоколегированной стали, которое определяется прежде всего величиной хромоникелевого эквивалента, влияющей также на образование горячих трещин при резке (табл. 13). При оценке разрезаемости высоколегированной стали, сумму эквивалентов содержания хрома и никеля в стали ($Cr_{эКВ} + Ni_{эКВ}$) следует сопоставлять со значением хромоникелевого эквивалента ($Cr_{эКВ}/Ni_{эКВ}$).

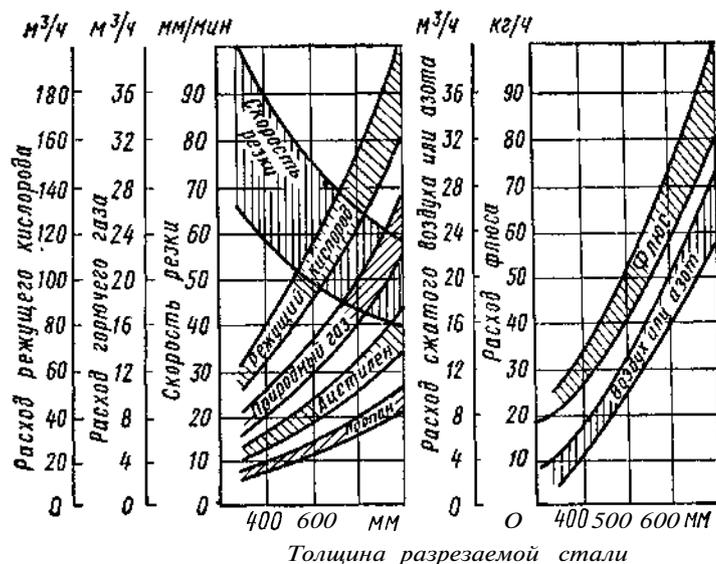


Рис. 139. Зависимость скорости резки и расхода материалов от толщины стали (в пределах 400—1000 мм)

Режимы резки высоколегированных сталей толщиной 10—500 мм приведены в табл. 14—15.

В табл. 15 приведены режимы резки высоколегированных сталей на установке УРХС-6 с применением резака УРР-700, оснащенного флюсоподающей насадкой и флюса на основе железного порошка ПЖ4 (5) М. Данные о режимах резки больших толщин высоколегированных сталей (до 1000 мм) с применением флюса на основе ПЖ4 (5) М приведены на рис. 139.

4. ОСОБЕННОСТИ РЕЗКИ ЧУГУНА

Железоуглеродистый сплав с высоким содержанием углерода — чугун — не удовлетворяет одному из главнейших требований газовой резки: его температура плавления 1100—1200° С оказывается намного ниже температуры начала интенсивного окисления в кисло-

роде (температуры воспламенения), составляющей для чугуна значительно выше 1350° С. В результате сосредоточенного нагрева чугуна подогревающим пламенем можно достичь его расплавления, но интенсивное окисление сплава, характерное для газовой резки, без введения в зону резки железного порошка или проволоки невозможно.

Так как при кислородно-флюсовой резке чугуна происходит разбавление расплавленного чугуна в объеме реза железным порошком, удельное содержание углерода (в объеме реза) снижается и сплав начинает интенсивно окисляться. При использовании в качестве флюса чистого железного порошка при резке чугуна образуются вязкие шлаки, в связи с чем в состав флюса вводят обычно флюсоустойчивые, разжижающие шлак добавки (в виде феррофосфора, кварцевого песка и пр.).

Температурное влияние резки на структуру чугуна в кромке реза и в зоне теплового влияния безусловно большое, в особенности, если процесс резки ведется без предварительного подогрева. В этом случае при быстром охлаждении разрезанных кромок происходит отбеливание чугуна, т. е. образование на поверхности кромок и в зоне теплового влияния цементита Fe_3C . Ширина отбеленного слоя зависит от содержания в чугуне графитизирующих элементов — С и Si.

В связи с тем, что резку чугуна применяют в основном при отрезке прибылей чугунных отливок или при грубой разделительной резке крупногабаритных чугунных отливок в переплавку (табл. 16), качество кромок реза и наличие отбеленного слоя и даже поверхностных трещин значения не имеют. Если кромки реза чугунной отливки подвергаются последующей механической обработке, т. е. недопустимы высокая твердость кромок и наличие на поверхности их даже неглубоких трещин, резку чугуна следует производить с предварительным подогревом.

Таблица 16

| Параметры режима | Режимы резки чугуна | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|------|-----|------|------|------|-------------|-------------|
| | Толщина разрезаемого чугуна, мм | | | | | | | |
| | 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| Скорость резки, мм/мин | 130 | 90 | 50 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 |
| Расход кислорода, м³/м реза | 0,9 | 2,0 | 4,5 | 8,5 | 13,5 | 20,0 | 37,5 | 35,0 |
| Расход ацетилена, м³/м реза | 0,1 | 0,16 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 | 1,1 |
| Расход флюса, кг/м реза | 2,0 | 3,5 | 6,0 | 9,0 | 11,5 | 14,0 | 17,0 | 20,0 |

В некоторых случаях, с целью экономии времени и материалов при разделке массивных отливок в переплавку или при отрезке прибылей крупногабаритных отливок кислородно-флюсовую резку чугуна производят не на всю толщину металла, а только на глубину 30—100 мм с последующей ломкой под копром надрезанной части отливки.

Режущее сопло резака в этом случае в отличие от поверхностной резки располагают так, что кислородная струя и флюс оказываются направленными не в сторону образуемой канавки, а в сторону, противоположную направлению резки (рис. 140).

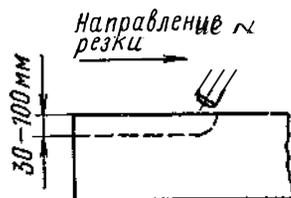


Рис. 140. Схема надрезки чугуна

5. ОСОБЕННОСТИ РЕЗКИ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Медь и ее сплавы — латуни и бронзы — не поддаются обычной газовой резке из-за низких тепловых эффектов образования окислов меди, высокой теплопроводности, препятствующей концентрированному нагреву, и из-за образования тугоплавких окислов при окислении медных сплавов.

Кислородно-флюсовая резка меди требует предварительного разогрева подогревающим пламенем участка металла, с которого начинается процесс резки, до температуры порядка 800—900° С. В противном случае начать процесс резки столь теплопроводного металла как медь — невозможно. Если резке подлежат листы небольших размеров, целесообразно применять общий предварительный подогрев, что существенно повышает скорость резки.

Резка же сплавов меди столь высокого начального разогрева металла на участке, прилегающем к начальной точке реза, не требует. Однако разогревать этот участок до температуры 400—500° С следует и в данном случае. Для поддержания необходимой температуры нагрева прилегающих к резу участков металла как при резке меди, так и при резке ее сплавов требуется исключительно мощное подогревающее пламя резака, примерно в 6 раз превышающее мощность пламени, применяемого при резке высоколегированных сталей.

6. ОСОБЕННОСТИ РЕЗКИ БЕТОНА И ДРУГИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Процесс кислородно-флюсовой резки бетона и железобетона отличается от резки металлов тем, что при неокисляющихся материалах, какими являются бетон, шлаки и огнеупоры, флюсы для резки должны обладать значительно большей тепловой эффективностью, чем флюсы для кислородной резки металлов.

Большое значение при кислородно-флюсовой резке металлов и неметаллических материалов имеет струя режущего кислорода, от характера которой (скорости истечения и формы) в большей степени зависит производительность резки. Для обеспечения цилиндричности струи и ее достаточно большой дальности при малой чувствительности к изменению рабочего давления необходима конусная суживающаяся форма режущего сопла с углом конуса, не превышающим 6°.

Для нормальной работы суживающегося сопла требуется соблюдение по крайней мере двух условий: 1) давление кислорода на входе в сопло должно быть низким и составлять не более 0,08—0,15 МПа (0,8—1,5 кгс/см²); 2) цилиндрический канал кислородопровода перед соплом должен иметь длину 500—600 мм (для установления необходимой ламинарности потока) при диаметре, не меньшем диаметра горлового сечения режущего сопла. При суживающейся форме сопла скорость истечения кислородной струи меньше критической. Частицы флюса успевают достаточно полно окислиться и сообщить необходимое количество теплоты разрезаемому материалу.

Таблица 17

Ориентировочные режимы кислородно-флюсовой резки неметаллических материалов на установке УФР-5

| Параметры процесса | Толщина разрезаемого материала, мм | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 90 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| Расход кислорода, м ³ /ч | 10 | 10 | 15 | 35 | 60 |
| Расход флюса, кг/ч | 20 | 22 | 24 | 30 | 42 |
| Расход горючего газа (пропано-бутановая смесь), м ³ /ч | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 |
| Диаметр сопла, мм | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 |
| Скорость резки, мм/мин | 150 | 100 | 60 | 50 | 40 |

Примечание. Давление режущего кислорода 0,18 МПа (1,8 кгс/см²).

При кислородно-флюсовой резке бетона и других неметаллических материалов (табл. 17) кислород режущей струи расходуется в основном на окисление вводимого в зону резки-флюса (около 15—20%) и на принудительное удаление из полости реза расплавленных материалов и шлаков (около 80—85%).

7. ПОВЕРХНОСТНАЯ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВАЯ РЕЗКА

Процесс поверхностной кислородно-флюсовой резки находит применение при обработке высоколегированных коррозионностойких сталей и чугуна. Техника выполнения поверхностной кислородно-флюсовой резки ничем не отличается от поверхностной кислородной резки низкоуглеродистой стали. Процесс применяется в основном в металлургической промышленности, где перед прокаткой отливок из коррозионностойкой стали с поверхности удаляют такие дефекты литья, как раковины, поверхностные трещины, газовые поры, песочины и др.

Для удаления местных поверхностных дефектов применяют ручной процесс, а дефектов, расположенных на большой площади отливки или проката, — механизированный процесс. Так же как поверхностная резка низкоуглеродистой стали, поверхностная кислородно-флюсовая резка коррозионностойких сталей и чугуна отличается большими скоростями перемещения резака и большими рас-

ходами кислорода. Благодаря более полному использованию флюса удельные расходы последнего при поверхностной резке ниже, а производительность процесса выше, чем при разделительной резке (табл. 18).

Таблица 18

Режимы поверхностной кислородно-флюсовой резки коррозионно-стойкой стали ручным резаком

| Размеры канавки, мм | | Угол наклона мундштука, градусы | Расстояние от сопла до металла, мм | Удельные расходы на 1 кг выплавленного металла | |
|---------------------|---------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-----------|
| Ширина | Глубина | | | кислорода, м ³ | флюса, кг |
| 20—24 | 2—3,5 | 20 | 8—10 | 0,65—1,0 | 1,5—2,0 |
| 20—24 | 3—1,5 | 25 | 14—18 | 0,55—0,8 | 1,0—1,6 |
| 22—24 | 4—1,5 | 30 | 18—28 | 0,55—0,65 | 0,8—1,3 |
| 24—26 | 3—1,0 | 45 | 32—45 | 0,65—0,7 | 0,7—1,1 |

Примечания: 1. Данные таблицы справедливы при условии применения в качестве флюса железного порошка марки ПЖЗС и кислорода чистотой 98,5—99%.
2. При применении более мелкого железного порошка и более чистого кислорода производительность процесса выше, а расход материалов меньше.

8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВОЙ РЕЗКИ

По конструкции флюсопитатели делятся на инжекторные (для установок УРХС-3, УФР-2 и УФР-4) и циклонные (для установок УРХС-4, 5 и 6 и УФР-5). По способу подачи в зону резки кислорода и флюса различают флюсопитатели однопроводные (для установки УФР-2) и двухпроводные (для всех установок УРХС и УФР-5).

Инжекторные конструкции флюсопитателей применяют для резки с применением крупного или среднего железного порошка, когда за счет инжекции возможна устойчивая подача порошка по шлангам в резак (рис. 141, а). Мелкие и тем более очень мелкие порошки в связи с потерей, в известной мере, сыпучести инжектируются плохо и для их транспортировки необходимо предварительное взмучивание (взвешивание) частиц в специальной циклонной камере с последующим их выносом по шлангу в резак струей сжатого воздуха или азота.

В простейшем случае циклонная камера представляет собой полый цилиндр, по центру которого вдоль продольной оси проходит подающая воздух и флюс трубка, не доходящая, однако, до дна цилиндра на 2—5 мм. В перпендикулярном же к продольной оси цилиндра направлении проходит вторая изогнутая в полукольцо трубка, вдувающая воздух в камеру под соответствующим давлением (рис. 141, б).

Выходящая из этой трубки струя воздуха, встречая на своем пути сопротивление в виде цилиндрической поверхности стенки камеры и струи воздуха, поступающего по вертикально расположен-

ной трубке, создает циклон, взвешивающий частицы флюса и выносящий их из камеры в шланг и резак. Нормальная работа циклонной камеры имеет место тогда, когда между поступающими в нее струями воздуха существует разница в давлении.

Флюсопитатели циклонной конструкции применяются главным образом при двухпроводной системе подачи кислорода, при которой флюс в зону резки подается дополнительной струей кислорода или воздуха, режущая же струя кислорода поступает независимо. Однако при закупорке резака шлаком, при отсутствии предохранительной разрывной мембраны возможно чрезмерное возрастание давления в бункере флюсопитателя.

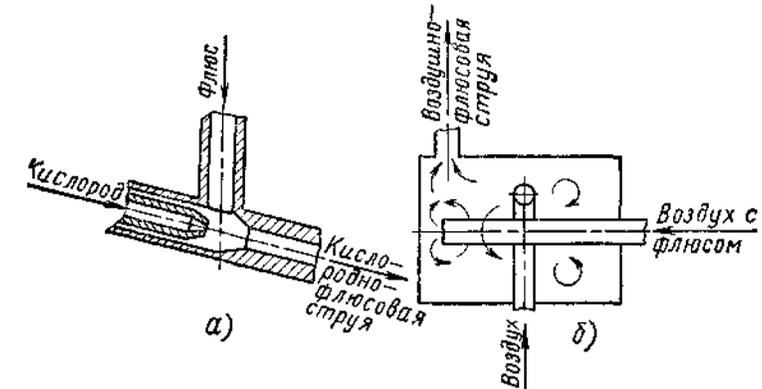


Рис. 141. Схемы транспортирования флюса:
а — инжектором, б — посредством циклонной камеры

Однопроводная система не требует сложной конструкции флюсопитателя и резака. Преимущество же двухпроводной системы состоит в том, что меньшие скорости подачи (истечения) флюса в зону реакции резки способствуют более полному сторанию флюса и большей производительности процесса. В качестве примера рассмотрим некоторые наиболее распространенные конструкции установок с однопроводной и двухпроводной системами кислорода.

Установка УФР-2 (конструкции МВТУ). Установка с однопроводной системой кислорода и центральной подачей флюса (рис. 142) предназначена для кислородно-флюсовой резки высоколегированных (нержавеющих) сталей толщиной 3—100 мм. Флюсопитатель имеет рычажное устройство, с помощью которого осуществляется пуск и дозировка порошка и режущего кислорода. Система подачи кислородно-флюсовой струи — однопроводная, т. е. инжектирование порошкообразного флюса и подача его в режущее сопло резака осуществляются струей режущего кислорода под давлением, необходимым для резки, — обычно 0,3—0,8 МПа (3—8 кгс/см²).

Бункер флюсопитателя состоит из корпуса 1 с конической камерой 13. Крышка бункера прикреплена к корпусу герметичным фланцевым соединением. До начала работы выход порошка перекрыт

конусным клапаном 12, а кислород — вентилем 2. Кислородно-флюсовую струю пускают вращением маховичка 4 по часовой стрелке. Маховичок толкает тягу 5 и через рычаг 7 сообщает вертикальное

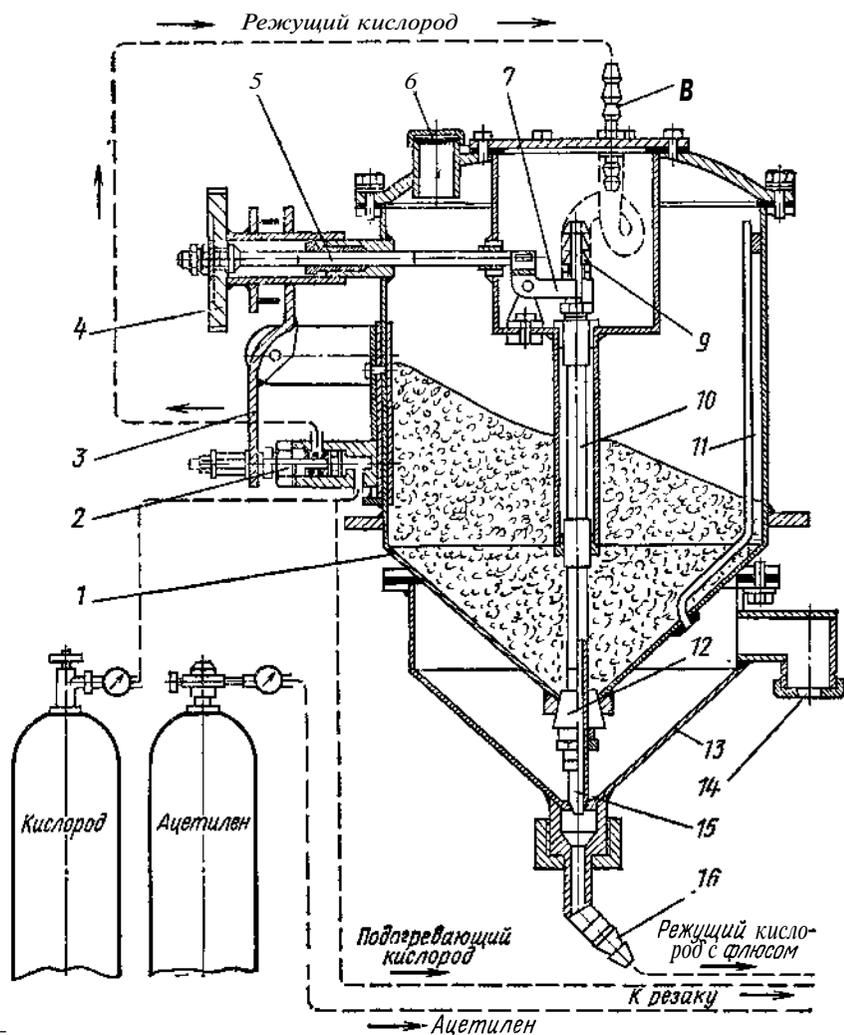


Рис. 142. Газо-кинематическая схема установки УФР-2

перемещение тяге 10 порошкового клапана 12, в результате чего последний опускается вниз и открывает выход порошка в камеру 13. В то же время маховичок 4 нажимает на рычаг 3, открывающий кислородный вентиль 2. В результате кислород через ниппели 8 и 9 поступает к соплу инжектора 15, на выходе из которого он,

создавая необходимое разрежение, увлекает порошок через ниппель 16 в режущее сопло резака.

При вращении маховичка 4 в обратную сторону вентиль 2 перекрывает кислород, а порошковый клапан 12 — выход порошка в коническую камеру 13. Флюс в бункер засыпают через патрубок 6, крышка которого имеет предохранительную мембрану в виде медной фольги, разрывающейся при давлении 0,85 МПа (8,5 кгс/мм²). В нижнюю коническую часть бункера вварена соединительная трубка 11, выравнивающая давление в верхней части бункера над порошком и в конической камере 13. В боковую стенку камеры 13 вварен изогнутый патрубок со второй предохранительной мембраной 14, также рассчитанной на давление 0,85 МПа (8,5 кгс/см²).

Установка может комплектоваться как ручным, так и машинным резаком. Ручной резак установки — любой серийный, переделанный соответствующим образом, в том числе и резак «Пламя».

В качестве машинного резака может быть применен любой двухвентильный резак. В ручном резаке замятия готовки, которая должна быть изготовлена по типу готовки малинных резаков, т. е. иметь один мундштук с центральным каналом для кислородно-флюсовой струи и шестью конически расположенными каналами для подогревающей смеси. Кроме того, резак должен иметь только два вентиля — для горючего газа и кислорода подогревающей смеси. Подачу режущего кислорода с флюсом перекрывают маховичком 4 на флюсопитателе. Флюсопровод резака как ручного, так и машинного должен быть достаточно стойким против абразивного действия железного порошка, для чего латунную подводящую кислородную трубку заменяют закаленной стальной, а в головку резака и в режущее сопло запрессовывают стальные, тоже закаленные втулки.

Установка типа УРХС-5 (конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа). В установке с двухпроводной системой кислорода и внешней подачей флюса флюс подается в резак самостоятельно струей кислорода, независимо от режущей кислородной струи. Флюсопитатель ФПр-65 имеет циклонную конструкцию; резак — внешнюю подачу флюса.

Флюсопитатель установки (рис. 143) состоит из бачка, вмещающего 20 кг железного порошка, регулируемой циклонной камеры (регулирующего устройства) и редуктора. Флюс в бачок засыпают через горловину. Циклонная камера присоединяется к штуцеру.

Кислород от баллона или магистрали поступает в тройник, где разветвляется по двум каналам. Основная часть кислорода под требуемым для резки давлением поступает в резак, другая — поступает в редуктор (снижающий давление кислорода до 0,01—0,05 МПа (0,1—0,5 кгс/см²)). На выходе из редуктора струя дополнительно разветвляется на два потока, один из которых поступает в верхнюю часть бачка, создавая давление на флюс, а второй — через регулирующий вентиль по трубке в циклонную камеру.

Флюс из бачка ссыпается в корпус циклонной камеры, а поступающая через штуцер струя кислорода, входя в камеру по изогну-

той трубке, взвешивает частицы флюса и уносит их по шлангу в резак.

Расход порошка через циклонную камеру регулируют величиной зазора между штоком и штуцером, изменяемой маховичком, а также величиной давления флюсоподающего газа, устанавливаемой с помощью редуктора по манометру.

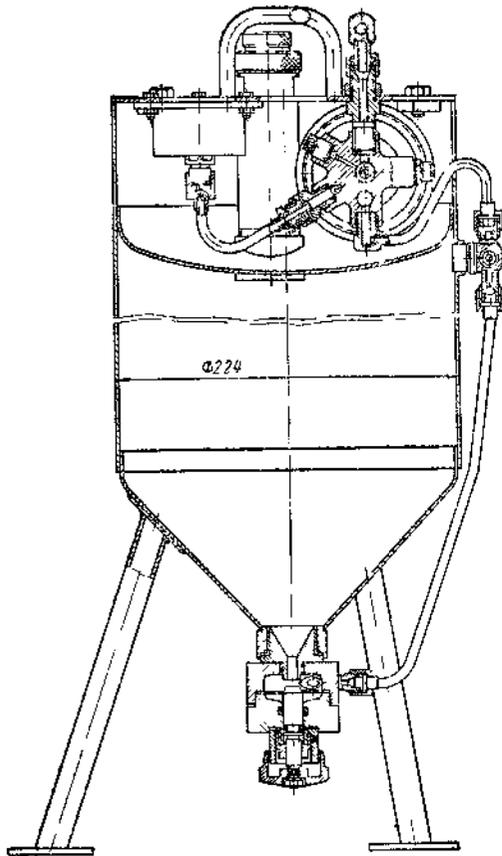


Рис. 143. Флюсопитатель установки УРХС-5

Установка типа УФР-5 (конструкции МВТУ). Основной узел установки — флюсопитатель — обеспечивают бесперебойную подачу в резак или копье необходимых количеств мелкодисперсного флюса.

Установка (рис. 146) состоит из флюсопитателя, монтируемого на тележке, копьедержателя, ручного и машинного резаков, кислородной распределительной рампы на 5—10 баллонов, а также воздушной распределительной рампы на три баллона или воздушного компрессора производительностью 1,7 дм³/с (0,1 м³/мин) при давлении до 0,2—0,3 МПа (2—3 кгс/см²).

Для установки УРХС-5 используют резак «Пламя» с оснасткой для подачи и перекрытия флюса. Насадка для подачи флюса имеет две флюсоподающие трубки, располагаемые на резке поперек линии реза (рис. 144). Подачу флюса перекрывают порошковым вентиляем, вмонтированным во флюсопровод и сжимающим резиновую трубку, по которой подается флюс (рис. 145).

Аналогичное устройство имеет и другая установка УРХС-6. Эта установка отличается емкостью бункера флюсопитателя, вмещающего 35 кг флюса (железного порошка), и большей мощностью резака. Это резак установки УРР-700 снабжен необходимой флюсоподающей оснасткой, в результате чего максимальная толщина высоколегированной стали, разрезаемой на установке УРХС-6, значительно больше и составляет до 500 мм.

Кислородная рампа имеет центральный вентиль и центральный рамповый редуктор с расширенными проходными сечениями, обеспечивающими необходимые для резки железобетона удельные расходы кислорода,

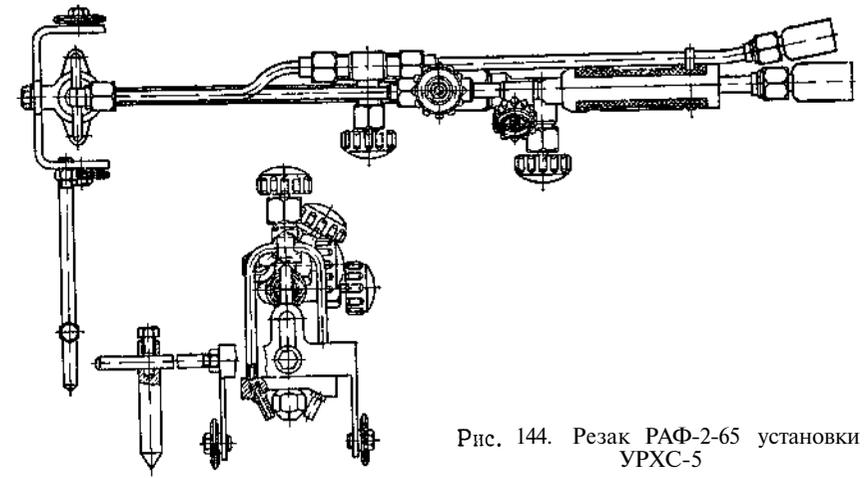


Рис. 144. Резак РАФ-2-65 установки УРХС-5

В качестве флюсоподающего газа следует применять сжатый воздух от одного или нескольких соединенных в рампу баллонов, от компрессора или от магистрали под избыточным давлением [0,2—0,3 МПа (2—3 кгс/см²)] 1.

Воздух должен быть очищен от влаги и масла, поэтому при работе от компрессора или магистрали необходима тщательная очистка и осушка воздуха с помощью маслоотстойника и силикогелевого осушителя. При отсутствии сжатого воздуха в качестве флюсоподающего газа может служить также азот от баллонов, однако производительность резки при этом будет несколько ниже.

При работе резаком для образования подогревающего пламени применяют ацетилен, пропано-бутановую смесь или природный газ.

Флюсопитатель установки создан на базе приведенного выше флюсопитателя УФР-2 и отличается от последнего наличием циклонной камеры, вибратора и газовой схемы, предусматривающей пода-

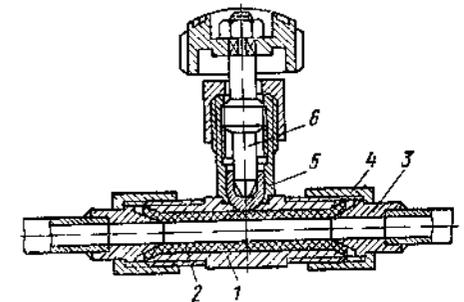


Рис. 145. Порошковый вентиль установки УРХС-5

1 — корпус, 2 — резиновая трубка, 3 — ниппель, 4 — гайки, 5 — направляющий штуцер, 6 — шток

чу флюса струей сжатого воздуха или азота. Он имеет рычажное устройство для пуска и перекрытия флюса и его дозировки (рис. 147).

Флюсопитатель выполнен в виде бункера 1 с нижней конической камерой 2, рычажным механизмом 3, рычажным газовым вентилем 4, тройником 8 — распределительным устройством, газовым вентилем 9, циклонной камерой 15 и вибратором 17. Флюс в количестве 40—50 кг засыпается через патрубок 6, сваренный в крышку бункера 7. Наличие нижней конической камеры обеспечивает постоянный расход флюса, не зависящий от его количества в бункере.

Рычажный механизм 3, осуществляя блокировку порошкового клапана 14 с рычажным газовым вентилем 4, служит для пуска порошка и флюсоподающего газа и их дозировки.

Тройник 8 служит для распределения подачи флюсоподающего газа к рычажному вентилю 4 и через газовый вентиль в боковую изогнутую в полукольцо трубку циклонной камеры 15. Циклонная камера обеспечивает подачу большого количества 26,6 мкг/с (до 1600 г/мин) мелкодисперсного порошка-флюса в резак или копьедержатель.

Вибратор 17, закрепленный на циклонной камере, равномерно встряхивает бункер, устраняя возможность скапливания и зависания порошка перед

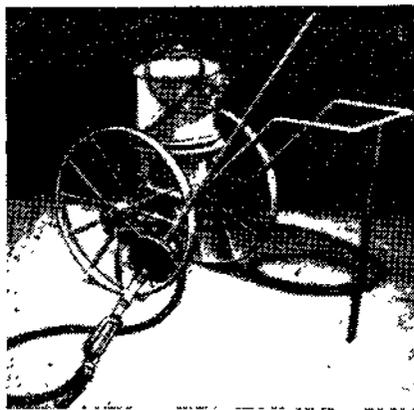


Рис. 146. Установка УФР-5

входом в циклонную камеру. Для лучшей вибрации бункер установлен на пружинах 12.

Установка работает следующим образом. Кислород от ramпы поступает по шлангу к резаку или копьедержателю. При резке резаком ацетилен по шлангу поступает к последнему, где образует в смеси с кислородом подогревающее пламя.

Сжатый воздух по шлангу подается к вибратору 17, к тройнику 8 и газовому вентилю 9. Для продувки циклонной камеры от возможных остатков флюса вначале открывается (на 90°) газовый вентиль 9, а затем уже рычажный вентиль 4 и порошковый клапан 14 посредством маховичка 5. При повороте маховичка 5 против часовой стрелки конус порошкового клапана 14 опускается и порошок пересыпается из бункера 1 в коническую камеру 2. Одновременно с этим при вращении маховичка 5 открывается рычажный вентиль 4, и сжатый воздух поступает по каналу, проходящему внутри вертикальной тяги 13 рычажного механизма. Отсюда воздух, захватывая флюс из нижней конической камеры 2, попадает в центральный канал циклонной камеры. Часть сжатого воздуха, поступающего к ка-

иглу вертикальной тяги, отводится по шлангу 10 в верхнюю часть бункера, свободную от флюса, и по трубке 11, соединяющей пространство над флюсом с нижней конической камерой 2, переходит в последнюю, выравнивая давление в бункере и конической камере.

Выходя из изогнутой в полукольцо трубки 16 циклонной камеры 15 и встречая на своем пути препятствие в виде цилиндрической

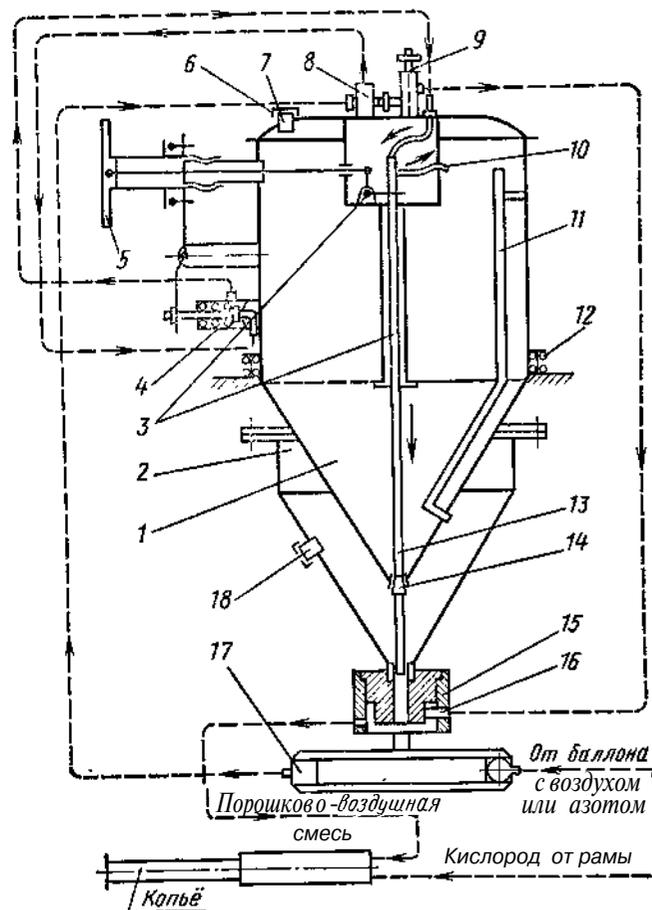
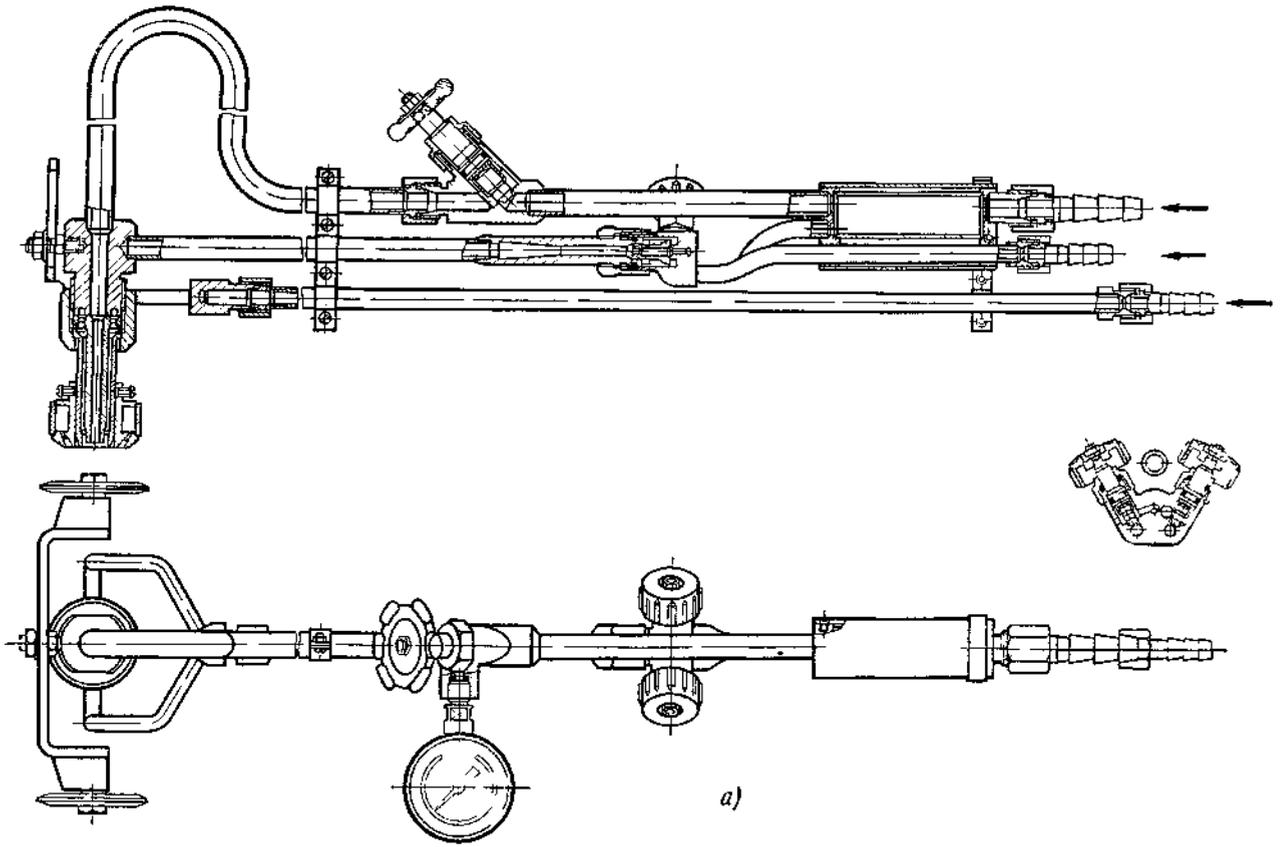


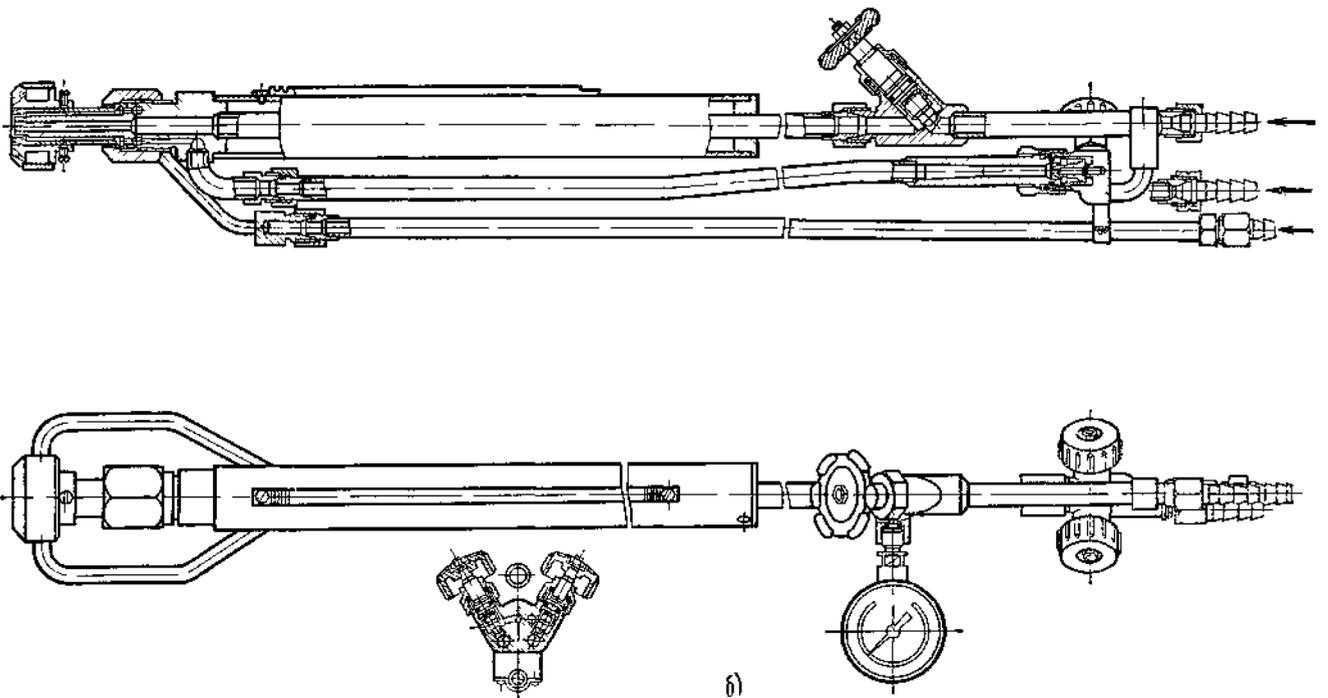
Рис. 147. Газокинематическая схема флюсопитателя УФР-5

стенки этой камеры и сопротивление струи воздуха, поступающего по центральному каналу циклонной камеры, струя газа создает необходимое завихрение и взвешивание мелкодисперсного порошка, увлекая его в шланг.

Во избежание чрезмерного возрастания давления флюсопитатель снабжен предохранительными мембранами 18, разрывающимися при избыточном давлении 5 кгс/см².



a)



б)

Рис 148 Резаки установки УФР 5
 а — ручной РФБ б — машинный РФМ 5

Резаки (рис. 148) имеют расширенные каналы кислородопровода с удлиненным перед соплом прямолинейным участком канала режущего кислорода. Режущее сопло резака имеет конусную суживающую форму. Подача флюса в резак осуществляется по закрепленной на головке резака шестисопловой насадке.

Копьедержатель представляет собой устройство, позволяющее закреплять стальные трубки различных диаметров и обеспечивать при этом плотное прижатие торца трубки к уплотняющей прокладке, исключающее утечку кислорода и мелкодисперсного флюса.

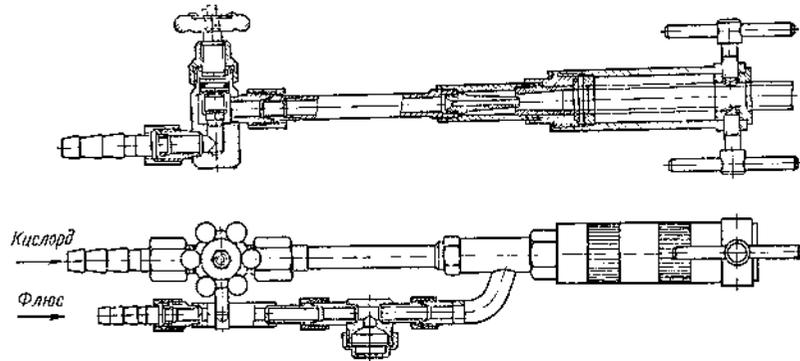


Рис. 149. Порошковый копьедержатель установки УФР-5

Копьедержатель (рис. 149) снабжен инжектором, обеспечивающим необходимый подсос флюса струей кислорода, выходящей под достаточно большим давлением из центрального канала. Закрепление и плотное прижатие к прокладке торца трубки обеспечиваются болтовыми зажимами и поджимной втулкой.

Копьедержатель имеет мембрану, разрывающуюся при избыточном давлении 3 кгс/см^2 и тем самым предохраняющую порошок шланг и флюсопитатель от попадания в них кислорода и горящего порошка при обратных ударах кислородной струи, которые предположительно могут возникнуть при закупорке шлаком выходного отверстия копия,

ГЛАВА XIX

КОПЬЕВАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. ОБРАЗОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ РЕЗКА КИСЛОРОДНЫМ КОПЬЕМ

Кислородное копьё — стальная трубка, по которой пропускается кислород. Будучи предварительно нагретым до температуры $1350\text{--}1400^\circ \text{C}$, рабочий конец копия после пуска кислорода начинает интенсивно окисляться (гореть), развивая температуру до

2000°C . Для увеличения тепловой мощности копия внутри трубки обычно закладывают стальной прутки, но иногда его прихватывают сваркой к наружной поверхности копия (рис. 150).

Для начального нагрева копия пользуются обычно посторонними источниками нагрева сварочной дугой, пламенем сварочной

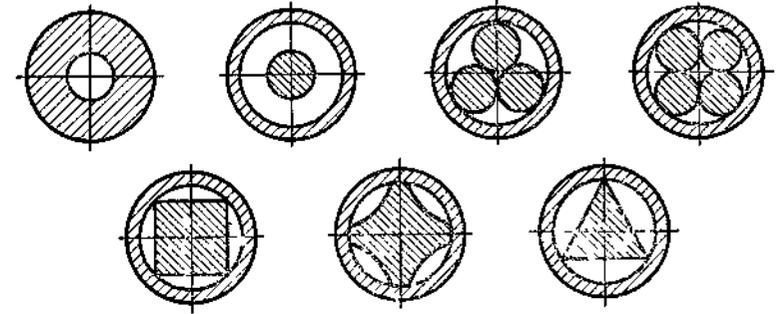


Рис. 150. Прутковые копия

горелки, подогревающим пламенем резака и др. Иногда при резке металлов копьё включают в электрическую цепь источника сварочного тока (рис. 151). В этом случае рабочий конец копия нагревают либо непосредственно дугой, образованной между торсом копия и разрезаемым (прожигаемым) металлом, либо контактным способом, основанным на накалие угольной (графитовой) пластинки, заложённой между торцом копия и обрабатываемым металлом. При включении тока пластинка воспламеняется кислородной струей и воспламеняет конец копия и контактирующий с ним участок прожигаемого металла. После воспламенения копия источник тока немедленно выключают.

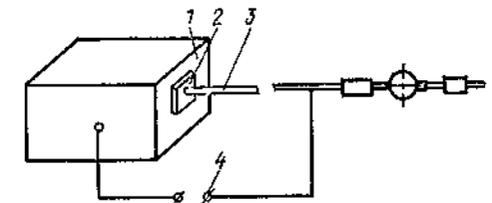


Рис. 151. Нагрев конца копия контактным сопротивлением

В начальный момент, при зажигании копия, давление кислорода устанавливается небольшим, не более 49033 Па ($0,5 \text{ кгс/см}^2$); после же воспламенения трубки и установления устойчивого процесса давление кислорода поднимают до рабочего.

В процессе горения копьё непрерывно укорачивается, причем в зависимости от толщины прожигаемого материала длина сгоревшей части трубки копия может быть в $5\text{--}25$ раз больше длины прожигаемого отверстия.

Обычно процесс прожигания кислородным копьём отверстий производят без применения подогревающего пламени.

Прожигание отверстий в стали. Процесс прожигания кислородным копьем отверстий начинается с воспламенения рабочего конца копия в кислороде. После воспламенения его прижимают к поверхности прожигаемого металла, и, заглубив его в металл, увеличивают давление кислорода до требуемой рабочей величины, совершая копьем периодически возвратно-поступательные (с амплитудой 100—200 мм) и вращательные (на угол 10—15° в обе стороны) движения. В процессе прожигания отверстия торец копия все время необходимо прижимать к обрабатываемому металлу, отрывая его лишь на короткое время при возвратно-поступательном движении.

Образующиеся в процессе прожигания отверстия шлаки давлением кислорода и газов, продуктов реакции окисления металла, выносятся в зазор между трубкой копия и стенкой прожигаемого отверстия (рис. 152).

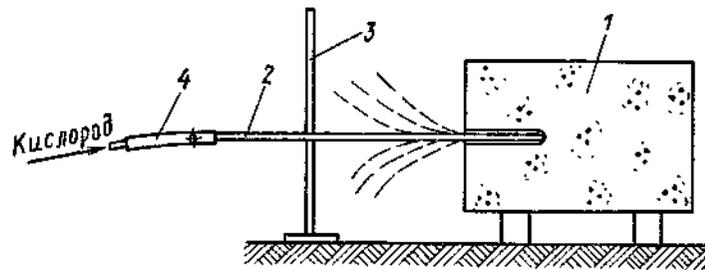


Рис. 152. Прожигание отверстия кислородным копьем:
1 — прожигаемый материал, 2 — трубка копия; 3 — защитный экран;
4 — копьедержатель

Получаемые при этом отверстия имеют приблизительно круглую форму; диаметр отверстия (30—90 мм) зависит в основном от диаметра копия и наличия вращательных и возвратно-поступательных движений копьем.

Кислородным копьем можно прожигать отверстия во всех пространственных положениях. В качестве копия при прожигании отверстий в стали может служить стальная водогазопроводная трубка с диаметром проходного сечения 10 и 15 мм и заложенная внутрь нее низкоуглеродистая проволока диаметром 4 и 5 мм.

Прожигание отверстий в чугуне. Процесс прожигания отверстий в чугуне находит применение в металлургическом производстве при образовании шпуров в чугунных зашлакованных массивах, подлежащих разрушению во взрывных ямах для переплавки.

Производительность прожигания кислородным копьем (стальной трубкой с проволокой) отверстий в чугуне крайне низка, скорость прожигания отверстия диаметром 50—60 мм составляет не более 50 мм/мин при расходе кислорода около 35 м³ на 1 м отверстия и 25 м трубок.

Прожигание отверстий в бетоне и железобетоне. Особенность прожигания отверстий в бетоне и железобетоне состоит в том, что для поддержания материала в месте контакта с копьем в расплавленном состоянии копь необходимо прижимать к обрабатываемому бетону с силой до 300—500 Н (30—50 кгс), преодолевая сопротивление густоплавких шлаков. Последнее вызвано тем, что бетон, состоящий из окислов (Al₂O₃, CaO и SiO₂), кислородной струей не окисляется и теплоты не выделяет, в связи с чем при удалении от его поверхности горящего конца копия быстро застывает. Поэтому прожигать отверстия в бетоне и других неметаллических материалах следует без возвратно-поступательных движений копия, совершая им лишь периодически вращательные движения на угол 10—15° в обе стороны.

Разделительная резка кислородным копьем. Кислородное копь факела не образует. При свободном горении конца копия в кислороде (подаваемом внутрь трубки) происходит лишь разбрызгивание окислов, образующихся при интенсивном окислении железа. Таким образом, разделительная резка, связанная обычно с расплавлением материала по толщине высокотемпературным факелом, для большинства металлов и всех без исключения неметаллических материалов кислородным копьем невозможна; исключение составляет низкоуглеродистая чистая или слабозашлакованная сталь.

2. ПРОЖИГАНИЕ ОТВЕРСТИЙ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ РЕЗКА ПОРОШКОВО-КИСЛОРОДНЫМ КОПЬЕМ

Порошково-кислородное (кислородно-флюсовое) копь представляет собой стальную трубку с проходящими по ней кислородом и флюсом — мелкодисперсной смесью металлических порошков (железного и алюминиевого). Так же, как и при кислородном копье, рабочий конец порошково-кислородного копия в начале процесса нагревают посторонним источником теплоты до температуры 1350—1400° С, после чего в копь подают кислород и флюс.

На выходе из копия порошок воспламеняется, образуя ярко светящийся факел длиной до 50 мм с температурой 4000° С и выше. Направляя факел копия на поверхность обрабатываемого материала, ее расплавляют и кислородной струей удаляют образующиеся шлаки. При резке металлов наряду с расплавлением имеет место и окисление основного металла.

Прожигание отверстий. В отличие от кислородного порошково-кислородное копь во избежание закупорки его шлаком не прижимают к прожигаемому материалу, а выдерживают на расстоянии 30—50 мм от торца образуемого отверстия. Достигается это периодической с интервалом в несколько секунд подачей копия вперед до упора в торец отверстия. Промежутки времени между очередными подачами копия вперед зависят от скорости сгорания трубки копия.

В процессе прожигания отверстий копью иногда придают вращательные движения, поворачивая его от руки на угол 10—15° в обе

стороны. Последнее улучшает условия стекания шлака и способствует расширению образуемого отверстия.

Отверстия порошково-кислородным копьем прожигают в горизонтальном или наклонном снизу вверх направлении. При прожигании отверстий в горизонтальном направлении копье наклоняют на угол около 5° от горизонтали, что при прожигании отверстий в бетоне и чугуне, когда образуются особенно густоплавкие шлаки, улучшает условия их стекания и несколько увеличивает скорость прожигания.

Прожигание отверстий в зашлакованной стали и чугуне. Основная область применения порошково-кислородного копья для образования отверстий в зашлакованной стали и чугуне — металлургическое производство, в частности — копровые цехи заводов черной металлургии и организации, реализующие вторичное сырье для переплавки. Отверстия в зашлакованных стальных и чугунных массивах длиной до 600 мм образуют для последующего разрушения этих массивов во взрывных ямах.

Б сопоставлении с кислородным порошково-кислородное копье обеспечивает повышение производительности прожигания: на стали — в 2 раза и на чугуне — в 3,5 раза при одновременном значительном снижении расхода кислорода, флюса и стальных трубок.

Прожигание отверстий в железобетоне. Необходимость образования отверстий в железобетонных станах и перекрытиях для прокладки внутренних трубопроводов и электропроводки возникает при строительстве новых зданий и сооружений, а также при реконструкции эксплуатируемых.

Отверстия в бетоне и железобетоне порошково-кислородным копьем прожигают обычно в горизонтальном или наклонном снизу вверх направлении. Диаметр образуемого порошковым копьем отверстия зависит от диаметра копья, наличия или отсутствия вращательных движений копья и от удельных расходов кислорода и флюса.

Разделительная резка. Процесс разделительной резки начинают от края разрезаемого материала или от начального сквозного отверстия, образуемого внутри контура.

Сущность процесса состоит в том, что, направляя факел копья на поверхность разрезаемого материала и совершая копьем возвратно-поступательные движения по касательной к передней грани реза (рис. 153), расплавляют поверхность материала факелом и удаляют расплавленный материал и шлаки струей кислорода. Углубляя постепенно копье в образуемый в материале разрез, осуществляют сквозное прорезание материала, т. е. разделительную резку. Ширина образуемого щелевого разреза в зависимости от толщины материала и диаметра копья может составлять 25—70 мм.

В зависимости от рода разрезаемого материала процесс резки может протекать либо с расплавлением и окислением разрезаемого материала (металлы), либо только с расплавлением (неметалличе-

ские материалы). В обоих случаях расплавленный материал и шлаки принудительно удаляются струей кислорода из разреза.

Резка порошковым копьем возможна во всех пространственных положениях независимо от толщины материала (для бетона и железобетона в пределах 3—3,5 м). Поэтому этот процесс незаменим для разделки зашлакованных массивов стали, чугуна, бронзы и латуни, а также для резки больших толщин огнеупоров, сочетаний металлов с огнеупорами, бетоном и железобетоном.

Резка зашлакованной стали. Процесс разделительной порошково-копьевой резки зашлакованной стали находит применение в самых различных случаях сталеплавильного производства. Он применяется при срезке наглылей со стенок сталеразливочных ковшей и с горловин конвертеров; при ликвидации последствий ухода металла через подину, когда подвергаемый резке зашлакованный массив представляет собой монолитную массу, состоящую из стали, огнеупорного кирпича и материалов подины; при удалении старой подины поставленной на ремонт мартеновской печи, где с помощью копья подину разрезают на части,

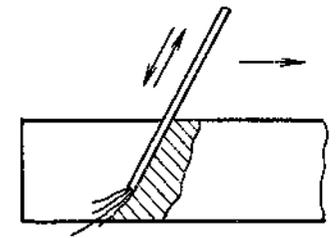


Рис. 153. Разделительная порошково-копьевая резка в нижнем положении

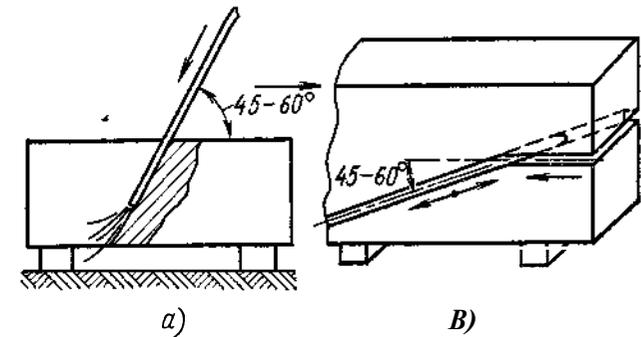


Рис. 154. Резка бетона и железобетона толщиной до 300 мм: а — при направлении копья сверху вниз; б — при горизонтальном направлении копья

удаляемые затем краном; при резке крупногабаритных (иногда массой до 30—40 т) сильно зашлакованных стальных массивов и в целом ряде других случаев.

Резка железобетона. В зависимости от толщины разрезаемого железобетона процесс резки можно производить по одной из схем, представленных на рис. 154—156.

Так, при толщине железобетона до 300 мм, когда ванна расплавленного бетона и шлака на поверхности передней грани реза может поддерживаться на всей длине этой грани в жидком состоя-

нии, резку целесообразно проводить по схемам рис. 154. В этом случае копы совершает возвратно-поступательные движения на всю толщину разрезаемого материала, смывая расплавленный бетон в шлаки.

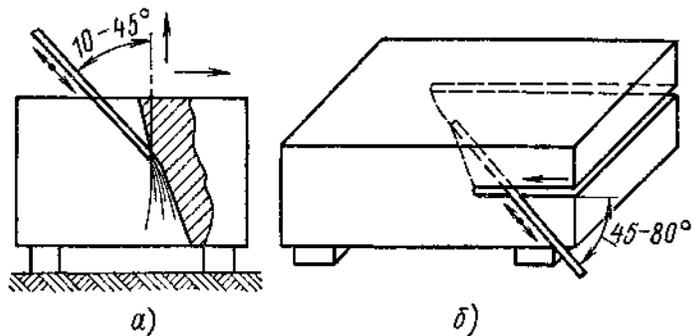


Рис. 155. Резка бетона и железобетона толщиной более 200—300 мм:

a — в горизонтальной плоскости, в вертикальном направлении;
б — в вертикальной плоскости, в горизонтальном направлении

Резка железобетона большей толщины не может быть выполнена этим способом производительно, так как жидкая ванна шлака на передней грани (длина которой может составлять не более 300 мм) по мере продвижения копы в глубь железобетона застывает. По-

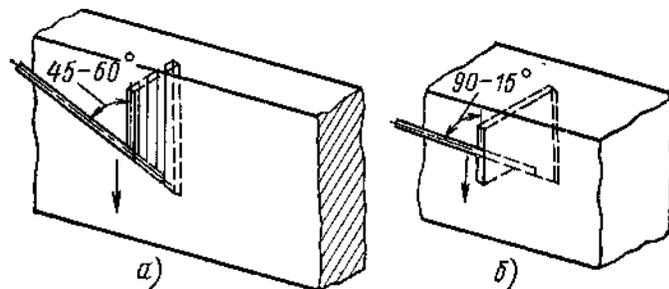


Рис. 156. Резка бетона и железобетона в вертикальной плоскости, в вертикальном направлении.

a — при толщине разрезаемого материала до 300 мм, *б* — при толщине разрезаемого материала более 200 мм

следнее вызывает необходимость повторного разогрева передней грани реза до расплавления, что сильно снижает производительность резки.

Для лучшего удаления шлака из образуемого разреза и достижения большей производительности процесса резку железобетона толщиной более 300 мм следует проводить по схемам рис. 155. В этом случае процесс резки начинается от нижней (рис. 155, *a*)

или боковой, задней (рис. 155, *б*) поверхности разрезаемого железобетона, причем для поддержания шлаковой ванны на всей длине в жидком состоянии максимальная длина передней грани реза не должна превышать 300 мм. Сказанное выше в полной мере относится и к резке в вертикальной плоскости в вертикальном направлении (рис. 156).

Резку железобетона большой толщины, более 200 мм, по схемам рис. 155 и 156 осуществляют участками (рис. 157). Резку в пределах одного участка (при резке железобетона большой толщины) выполняют послойно (рис. 158), так же как и резку железобетона относительно малой толщины (до 300 мм), — за один проход копы на всю толщину разрезаемого железобетона.

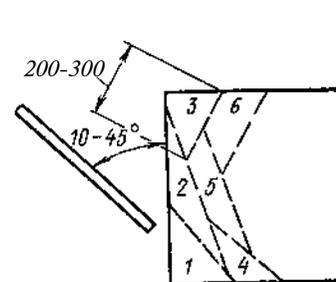


Рис. 157. Схема резки «участками» бетона и железобетона толщиной более 200 мм

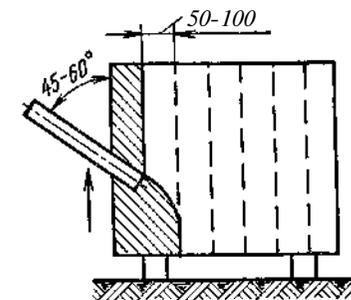


Рис. 158. Схема послойной резки бетона и железобетона толщиной до 200—300 мм и послойной резки отдельных участков при толщине материала более 200 мм

В выполнении разделительной резки железобетона важно начало процесса. В простейшем случае резку железобетона начинают от внешней кромки. Однако в практике весьма часты случаи, когда процесс резки приходится начинать внутри контура железобетонной стены или перекрытия. При этом для начала процесса разделительной резки необходимо иметь начальное отверстие диаметром 70—100 мм, которое можно получить как кислородным, так и порошково-кислородным копыем. При порошково-копьевой резке применяют стальные водогазопроводные трубки с внутренними диаметрами $d = 10$ и 15 мм (ГОСТ 3262—62).

Один из важнейших параметров режима резки — удельный расход кислорода зависит от удельного расхода и состава флюса, сечения копы, насыщенности бетона арматурой, а также от толщины разрезаемого железобетона.

При порошково-копьевой разделительной резке железобетона с применением флюса, состоящего из 80—85% Fe и 15—20% Al (по объему), на окисление трубки копы и флюса ориентировочно расходуется до 40% кислорода. Остальное количество его идет на удаление образующихся шлаков и непроизводительные потери.

Коэффициент полезного действия процесса прожигания в большой мере зависит от толщины разрезаемого железобетона, с увеличением которой наблюдается более полное использование и кислорода и флюса за счет увеличения времени протекания реакций окисления. Следовательно, удельный расход части кислорода, идущей на окисление трубки копы и флюса при разделительной порошково-копьевой резке, уменьшается с увеличением толщины железобетона.

Однако практически для лучшего удаления шлака при резке больших толщин железобетона давление кислорода увеличивают, в результате чего (при сохранении постоянства проходных сечений

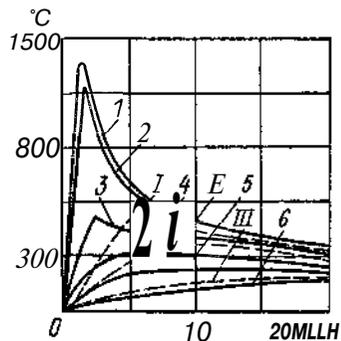


Рис. 159. Термические циклы в бетоне и арматуре в процессе порошково-копьевой резки:

1—6 — температура в арматуре;
I—III — температура в бетоне.
Расстояния от спая термопар до кромки реза: / — 1 мм; 2 — 2 мм;
3 — 12 мм; 4 — 24 мм; 5 — 34 мм;
6 — 58 мм; // — I мм; /// — 12 мм;
/// — 22 мм

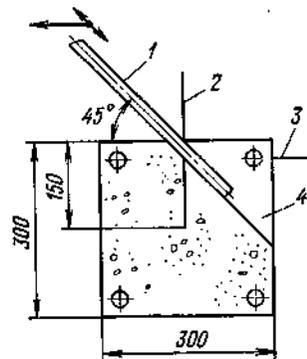


Рис. 160. Измерение температур в бетоне и арматуре в процессе разделительной порошково-копьевой резки железобетона толщиной 300 мм в нижнем положении:

1 — копье; 2 — термопары в бетоне; 3 — термопары в арматуре; 4 — кромка реза

кислородопровода) удельный расход кислорода с увеличением толщины разрезаемого железобетона возрастает. Величина давления кислорода определяется в основном степенью трудности удаления шлака, зависящей, в свою очередь, от толщины железобетона и направления процесса резки. Так, например, если при резке железобетона толщиной 1500 мм в вертикальном направлении сверху вниз рабочее давление кислорода составляет 582 396 Па (6 кгс/см²), то при резке железобетона той же толщины в горизонтальном направлении оно должно составлять не менее 98066,5 Па (10 кгс/см²). Однако во избежание чрезмерно большого охлаждающего действия струи и непроизводительных потерь кислорода давление его даже при резке в горизонтальном направлении бетона толщиной до 2000 мм не должно превышать 1 372 910 Па (14 кгс/см²).

Большое влияние на производительность резки оказывает также удельный расход флюса, изменение величины которого в пределах

24—48 кг/ч и более (при резке железобетона толщиной 150—1500 мм), изменяет скорость резки до 25—30%.

Нагрев бетона и арматуры при резке. Независимо от марки бетона, его свойств и характера заполнителя, будь то известняковый или гранитный заполнитель, — распределение температур в бетоне и арматуре остается примерно одинаковым.

Степень нагрева того или иного участка бетона и арматуры зависит от применяемого режима резки, и в первую очередь от скорости резки и расстояния от рассматриваемого участка до кромки реза. В арматуре в точках, удаленных на разные расстояния от кромки реза, максимум температур наступает значительно раньше, чем в бетоне. Максимальная температура нагрева арматуры, в частности в точке, отстоящей от кромки реза на расстоянии 24 мм, составляет 300° С, а в бетоне на этом же расстоянии от кромки реза — около 100° С. В то же время, бетон утрачивает свои свойства лишь при нагреве свыше 100° С, и, таким образом, на расстоянии от кромки реза до 25 мм порошково-копьевая резка бетона толщиной до 300 мм на свойства его не влияет (рис. 159, 160).

Однако при резке железобетона больших толщин, например толщиной 1500 мм в горизонтальном направлении, из-за более длительного пребывания расплавленного шлака на нижней кромке реза тепловое влияние резки значительно больше. В этом случае свойства бетона изменяются на большую глубину.

ГЛАВА XX

ГАЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Не останавливаясь на всех известных способах дуговой и газодуговой резки, рассмотрим лишь наиболее распространенные способы воздушно-дуговой, кислородно-дуговой, плазменно-дуговой резки металлов.

1. ВОЗДУШНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА УГОЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Сущность процесса состоит в выплавлении металла по линии реза угольной дугой и принудительном удалении сжатым воздухом образующегося под воздействием дуги расплава.

Обычно воздушно-дуговую резку стали проводят на постоянном токе обратной полярности. Напряжение дуги, образуемой между угольным (графитовым) электродом и обрабатываемым металлом, составляет 45—50 В, сила тока 250—500 А, диаметр электрода 6—12 мм, давление сжатого воздуха 0,4—0,6 МПа (4—6 кгс/см²), расход воздуха 20—40 м³/ч.

Возможны два вида воздушно-дуговой резки — разделительная и поверхностная. При разделительной резке (рис. 161) электрод утоплен в образуемый в металле разрез, и угол между электродом и поверхностью разрезаемого металла составляет $60-90^\circ$, в то время, как при поверхностной резке он не превышает 30° (рис. 162).

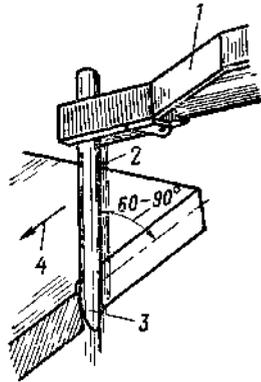


Рис. 161. Разделительная воздушно-дуговая резка

1 — электрододержатель, 2 — воздушная струя, 3 — электрод, 4 — направление процесса

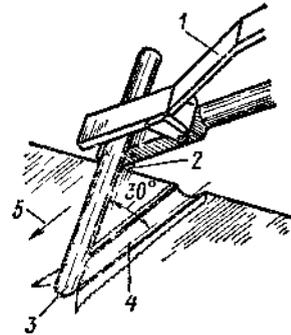


Рис 162 Поверхностная воздушно-дуговая резка

1 — электрододержатель, 2 — воздушная струя, 3 — электрод, 4 — образуемая канавка, 5 — направление процесса

Процессы разделительной и поверхностной воздушно-дуговой резки осуществляют одним и тем же электрододержателем, в нижнем зажиме которого расположены два отверстия для подачи сжатого воздуха (рис. 163). В обоих случаях резки электрод закрепляют в электрододержателе так, чтобы свободный конец (вылет) составлял $100-120$ мм.

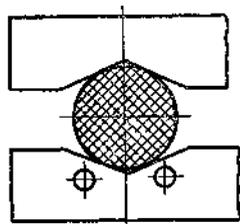


Рис. 163 Зажимы электрододержателя

Наибольшее распространение получила поверхностная резка простой низкоуглеродистой и высоколегированной стали и чугуна. Поверхностная резка высоколегированной стали и чугуна конкурирует с поверхностной кислородно-флюсовой резкой, так как не требует применения дефицитного флюса и кислорода и обеспечивает более высокую производительность процесса (табл. 19)

Недостаток процесса воздушно-дуговой резки состоит в науглероживании кромок реза. Однако при скоростях резки ≥ 800 мм/мин науглероживание незначительно и не превышает $0,05\%$ С. Степень науглероживания металла при воздушно-дуговой резке зависит также от угла наклона электрода к поверхности металла.

Ориентировочные режимы поверхностной воздушно-дуговой резки (постоянный ток, обратная полярность)

| Диаметр или сечение электрода, мм | Сила тока, А | Производительность выплавки стали (кг/ч) | |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------------------|--------------------|
| | | низкоуглеродистой | высоколегированной |
| 6 | 280 | 9,5 | 12,3 |
| 8 | 380 | 12,9 | 16,7 |
| 10 | 500 | 1,5 | 20,1 |
| 12 | 600 | 16,1 | 21,4 |
| 15x8 | 800 | 23,0 | — |
| 30x10 | 1000 | 30,0 | — |

Примечание Расход воздуха 20-30 м³/ч

2. КИСЛОРОДНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Сущность процесса заключается в том, что после возбуждения дуги между стальным толстопокрытым электродом и разрезаемым металлом включается струя режущего кислорода, интенсивно окисляющая железо стали и принудительно удаляющая из разреза образующиеся окислы.

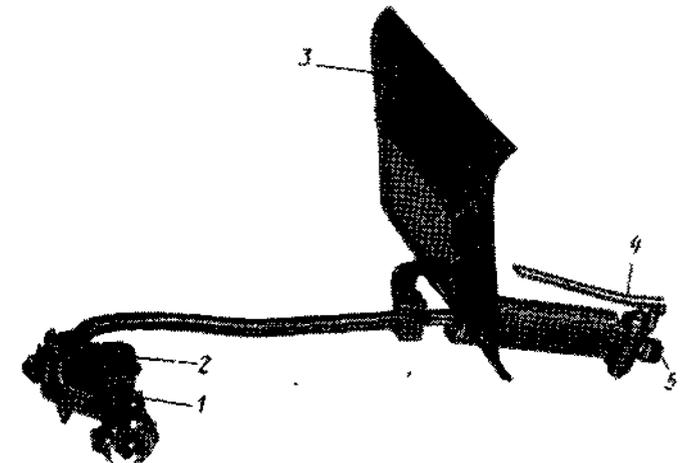


Рис 101 Приставка РГД-1-56

1 — каретка, 2 — направляющая электрод втулка, 3 — защитный экран, 4 — рычажный воздушный вентиль, 5 — штуцер

Резчик, держа в одной (обычно в правой) руке электрододержатель со стальным толстопокрытым электродом, пропущенным через направляющую втулку приставки (левой рукой обычно он держит рукоятку кислородной приставки), возбуждает дугу и оплавляет металл, после чего с помощью рычажного устройства открывает кислородный вентиль и подает кислород в зону резки. Происходит интенсивное окисление металла с принудительным удалением из полости реза образующихся шлаков.

Если при газовой резке подогревающая смесь газов поступает по концентрически расположенным (по отношению к режущему соплу) каналам и образующееся пламя окружает кислородную струю, то при кислородно-дуговой резке кислородная струя перемещается сзади, в связи с чем рез получается менее ровным, ширина реза больше, а производительность резки ниже производительности газовой резки. Кроме того, при последовательном (за дугой) перемещении кислородной струи окисление металла недостаточно полно, в связи с чем состав шлака существенно отличается от состава шлака при газовой резке. Количество пестревшего (неокисленного) железа в шлаке значительно больше. Разработкой ВНИИАВТО-ГЕНМАШем этого способа резки, осуществляемого с помощью приставки РГД-1-56 (рис. 164) к обычному электрододержателю, преследуется цель применения процесса на коротких резах в монтажных условиях при подгонке сопрягаемых элементов стальных сварных конструкций.

3. ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Существуют две разновидности плазменной резки: резка металлов и неметаллических материалов плазменной струей, образуемой дугой косвенного действия, горящей в потоке инертного газа (рис. 165, а), и резка металлов дугой прямого действия, горящей в потоке инертных или активных газов, при которой разрезаемое изделие включено в электрическую цепь дуги (рис. 165, б). В обоих случаях дуга, обжата потоком газа, проходит сквозь сопло малого диаметра, имеет большую плотность тока и, следовательно, более высокую температуру, чем столб открытой дуги, горящей на воздухе, температура которого составляет 5000—8000 К.

Под действием высокой температуры сжатой дуги омывающий ее газ и образующиеся пары электродного металла сильно ионизируют, приобретая свойства плазмы. Плазмой принято называть частично или полностью ионизированный газ, состоящий из смеси нейтральных атомов и молекул, ионов и электронов. Считается, что в 1 см³ такого газа должно содержаться не менее 10⁹—10¹¹ заряженных частиц.

Дуговая газоразрядная плазма при атмосферном и более высоком давлении квазинейтральна, т. е. в единице объема плазмы содержится примерно равное количество свободных положительных

и отрицательных зарядов. Кроме того, дуговая плазма при давлении свыше 0,1 МПа (1 ат) обладает свойством локального термического равновесия, т. е. в небольшой области вблизи рассматриваемой точки соблюдается равенство температур электронов, ионов и нейтральных атомов и молекул.

В отличие от «горячей» термоядерной плазмы, температура которой достигает нескольких десятков миллионов градусов, дуговую газоразрядную плазму принято называть низкотемпературной. В дугах средней мощности (сила тока до 1000—1500 А), стабилизированных потоками газа (аргона, азота, кислорода, водорода), плазма имеет температуру 5000—20 000° С. Однако столь высокие

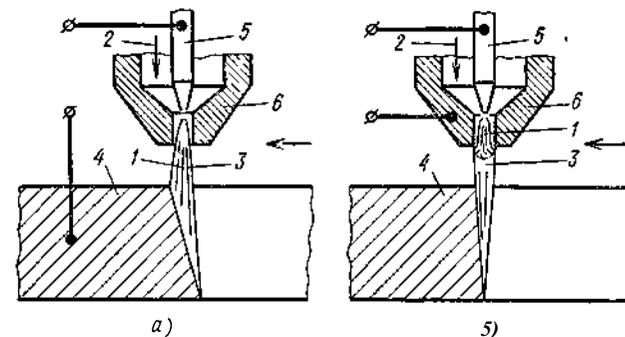


Рис. 165. Разновидности процесса плазменной резки

а — плазменная струя, б — плазменная дуга, 1 — дуга, 2 — подача газа, 3 — струя плазмы, 4 — разрезаемый металл, 5 — вольфрамовый электрод, 6 — сопло

температуры дуговой плазмы имеют место только внутри плазматрона; по мере же удаления от сопла из-за большого градиента температуры последняя резко падает. Так, если на срезе сопла температура аргоно-дуговой плазмы составляет около 10 000° С, то на расстоянии от него 5 мм она не превышает 6000° С.

В дуговом разряде высокого давления, имеющем место при плазменно-дуговой резке, происходит в основном термическая ионизация газа. Связь между степенью ионизации газа и его температурой устанавливается известным уравнением Саха:

$$\frac{x^2}{1-x^2} p = 2,4 \cdot 10^{-4} T^{2,5} e^{-\frac{A_j}{k}},$$

где x — степень ионизации (отношение числа ионов и электронов к полному числу нейтральных молекул и атомов до ионизации); p — давление газа при абсолютной температуре T , мм рт. ст.; A_j — работа ионизации газа, эрг; k — постоянная Больцмана ($k = 1,37 \cdot 10^{-16}$ эрг/К).

Применяемые при плазменно-дуговой резке плазмообразующие газы должны обеспечивать получение высокотемпературной плазмы

и необходимую защиту вольфрамового электрода от окисления и медного сопла плазмотрона от перегрева и разрушения.

Наилучший плазмообразующий и защитный газ — аргон. Он химически инертен и мало теплопроводен. Однако в смысле преобразования электрической энергии в тепловую аргон мало эффективен. Напряженность поля столба дуги, горящей в потоке аргона, значительно меньше, чем у дуг, горящих в азоте и водороде. Так, например, напряженность поля столба дуги, горящей в аргоне, составляет $E_{Ar} = 8$ В/см, в то время, как у дуг, горящих в азоте и водороде, $E_{N_2} = 20$ В/см и $E_{H_2} = 100$ В/см (при одной и той же

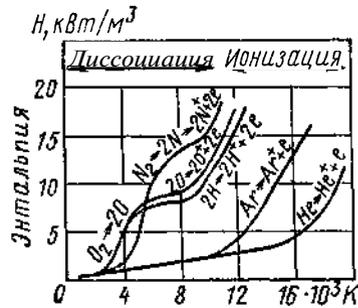


Рис. 166. Зависимость энтальпии различных газов от температуры при диссоциации и ионизации

силе тока $I = 10$ А). Таким образом, при одинаковом значении тока в аргонной дуге выделяется на 1 см длины ее столба меньше энергии IE , чем в азотной или водородной дугах.

Кроме того, энтальпия¹ аргонной плазмы также значительно меньше, чем азотной или водородной (рис. 166). При одной и той же температуре $T = 10\ 000$ К энтальпия аргона равна 3, азота — 16 и водорода — 12 кВт/м³.

В инженерной практике для характеристики плазменной струи вводят обычно понятие о средне-

массовой температуре на срезе сопла плазмотрона, которая может быть определена по энтальпии H плазмообразующего газа (рис. 166):

$$H = G \cdot T$$

где q — эффективная мощность плазменной струи на срезе сопла, Дж/с (кал/с); G — массовый расход плазмообразующего газа, г/с.

Среднемассовая температура плазменной струи T_d всегда меньше максимальной температуры на оси струи T_{max} .

Резка пламенной струей. В процессе резки плазменной струей разрезаемый материал не включается в электрическую цепь дуги; дуга образуется и горит между вольфрамовым электродом и внутренней стенкой или торцом медного, охлаждаемого водой, наконечника плазмотрона.

Плазменная струя применяется для резки тонкого металла и небольших толщин неметаллических (неэлектропроводных) материалов.

В плазменных головках с дугой косвенного действия дуга может образоваться и гореть между вольфрамовым электродом и изолиро-

¹ Энтальпией называется объемное теплосодержание газа, нагретого до определенной температуры.

ванным от корпуса плазмотрона кольцевым медным водоохлаждаемым электродом (рис. 167, а). В данном случае длина дуги изменяется, независимо от других параметров режима, путем осевого перемещения кольцевого электрода. Большее распространение в технике получили плазменные головки, у которых кольцевой электрод совмещен с дуговым каналом корпуса плазмотрона (рис. 167, б и в). При этом длина дуги зависит от расхода и состава газа, силы тока, формы и размеров дуговой камеры и других параметров режима работы плазменного генератора.

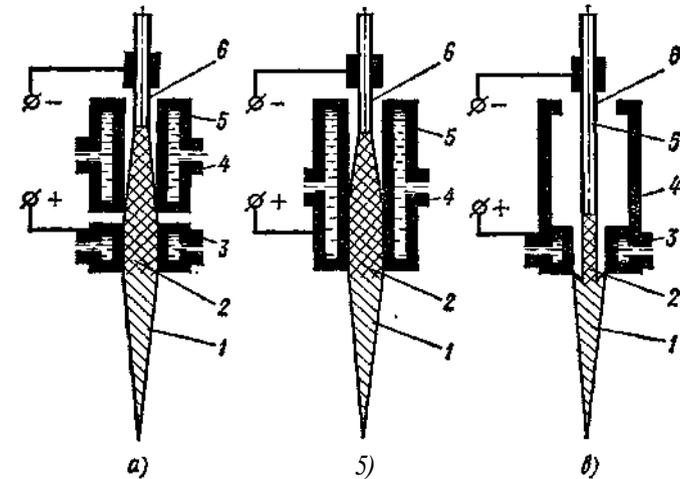


Рис. 167. Плазменные режущие головки с дугой косвенного действия:

1 — струя плазмы; 2 — плазмогенерирующая дуга; 3 — формирующее сопло; 4 — канал; 5 — вольфрамовый электрод; 6 — поток газа

Во всех случаях вольфрамовый электрод располагают соосно с соплом плазмотрона, а рабочий газ, протекая сквозь столб дуги, нагревается, ионизируется и приобретает свойства плазмы. Нагреваясь до высоких температур, газ сильно расширяется, и поток его ограниченный стенками канала, с большой скоростью вырывается из сопла. В результате образуется светящаяся струя плазмы. Направленная на поверхность разрезаемого металла плазменная струя оказывает на него не только тепловое воздействие, но и механическое, интенсивно удаляя из разреза расплавленный металл и шлаки.

При резке плазменной струей можно применять любые газы. Однако в связи с хорошим защитным действием наибольшее распространение получил аргон и смеси его с азотом.

Струя плазмы имеет, обычно, форму вытянутого конуса, сечение которого на выходе соответствует сечению сопла.

Энергия плазмогенерирующей дуги распределяется между ее столбом, вольфрамовым электродом и наконечником. В плазменной струе реализуется только энергия столба дуги, причем часть этой энергии передается плазмой формирующему наконечнику.

Перемещаясь с большой скоростью, частицы струи обладают определенной кинетической энергией, зависящей от массы и скорости частиц, и потенциальной энергией, зависящей от потенциала ионизации и возбуждения атомов, от величины работы выхода электронов, а также от теплосодержания мельчайших частиц материала электродов.

Процесс резки плазменной струей заключается в выплавлении материала по линии реза и удалении давлением струи расплавленного или перегретого до испарения материала. Механизм плазменного нагрева основан на теплообмене между «горячими» частицами плазмы и относительно холодным материалом. Так же как и при газовом пламени, нагрев плазменной струей осуществляется за счет теплопроводности, лучеиспускания и конвекции. Однако в отличие от газопламенного, плазменный нагрев разрезаемого материала, помимо энергии движения частиц, сообщает энергию, ранее затраченную на диссоциацию и ионизацию.

Скорость резки плазменной струей зависит от характера передачи ею теплоты разрезаемому материалу и от параметров режима резки — силы тока, напряжения, расхода газа, диаметра и длины канала сопла и расстояния от острия электрода до горлового сечения сопла.

С увеличением силы тока эффективная мощность плазменной струи возрастает, увеличение напряжения в значительно меньшей степени влияет на эффективную мощность и скорость резки. На оба параметра резки сильно влияет мощность плазменной струи. Чем выше электрическая мощность дуги, диаметр сопла и расход плазмообразующего газа, тем выше эффективная тепловая мощность струи и скорость резки.

Длина дуги слабо влияет на эффективную мощность плазменной струи. Состав газа оказывает очень большое влияние на повышение скорости резки. Так, например, добавка к аргону 20% азота способствует значительному повышению эффективности резки. Существенное влияние на эффективность резки оказывает также расстояние от сопла плазмотрона до разрезаемого материала.

Сравнительно небольшие скорости резки плазменной струей средних толщин металла позволяют рекомендовать этот способ главным образом для резки малых толщин (менее 5 мм) высоколегированной стали и алюминиевых сплавов, которые при больших толщинах производительнее режутся плазменной проникающей дугой.

Главная же область применения плазменной струи в процессах резки — резка различных неметаллических материалов небольших толщин, огнеупоров, керамики и пр.

Резка плазменной проникающей дугой. При этом способе резки дуга связана с разрезаемым металлом, который включается в цепь дуги по схеме рис. 168. Сжатую связанную дугу принято называть проникающей, так как под действием высокой температуры анодного пятна и направленного соосно с столбом дуги потока высокотемпературного ионизированного газа (плазмы) происходит интенсивное плавление и вынос расплавленного металла с непрерывным заглублением (прониканием) дуги в разрезаемый металл (рис. 169)."

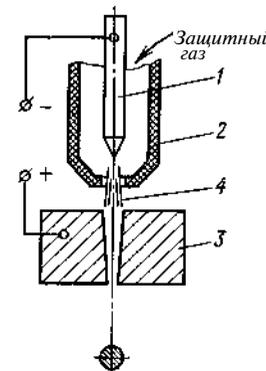


Рис. 168. Схема резки плазменной проникающей дугой:

1 — электрод; 2 — наконечник; 3 — разрезаемый металл; 4 — плазменный факел вспомогательной дуги

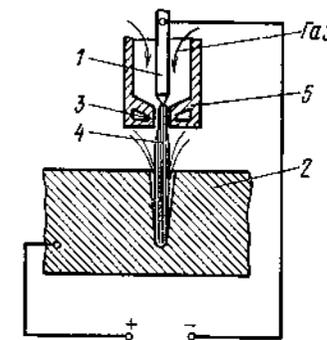


Рис. 169. Схема формирования проникающей дуги:

1 — электрод; 2 — разрезаемый металл; 3 — столб дуги; 4 — поток газа; 5 — формирующее сопло

Интенсивность выплавления металла проникающей дугой, также как и интенсивность выплавления металла другими способами газодуговой резки (например, воздушно-дуговой), может быть определена по формуле

$$g = \frac{0,24\eta IU - q_m}{c_{пл}T_{пл} - c_0T_0 + a}, \quad (14)$$

где 0,24 — тепловой эквивалент электрической энергии, кал/Дж; I — рабочая сила тока, А; U — напряжение дуги, В; η — эффективный к. п. д. нагрева металла электрической дугой; $\eta = \frac{q_m}{0,24IU}$; q_m — количество теплоты, отводимое в массу металла, Дж/с (кал/с); $T_{пл}$ и T_0 — температуры плавления и холодного металла, К (°С); $c_{пл}$ и c_0 — теплоемкости при этих температурах, Дж/(г · К) (кал/(г · К)); a — теплота плавления металла Дж/г (кал/г).

Исходя из формулы (14) линейная скорость резки проникающей дугой может быть выражена

$$v = \frac{0,24\eta IU - q_m}{\delta b (c_{пл}T_{пл} - c_0T_0 + a)}, \quad (15)$$

где ρ — плотность металла, г/см³; δ — толщина разрезаемого металла, см; B — ширина реза, см.

Интенсивность выплавления металла данной толщины с заданными физическими свойствами зависит от электрической мощности дуги, а количество теплоты q_m отводимой в разрезаемый металл, — главным образом от скорости резки $q_m = f(v)$. С учетом сказанного формула (15) может быть представлена в виде

$$g = \frac{\eta q_d - q_m}{\Delta S_m}, \quad (16)$$

где ΔS_m — теплосодержание расплавленного металла, Дж/г (кал/г).

Из формулы (16) видно, что на эффективность выплавления металла g , зависящую от эффективной мощности дуги, влияет изменение любого из двух параметров режима (силы тока и напряжения).

В настоящее время сформировались два направления в применении плазменной проникающей дуги для резки: 1) дуги, питаемой от источника тока сравнительно невысокого напряжения (порядка 90—130 В) и 2) дуги, питаемой от источника тока высокого напряжения до 300 В и выше. Первое — применяемое в основном для ручной резки металла сравнительно малых толщин: высоколегированной стали до 60 мм, алюминия до 100 мм. Второе — требующее применения блокирующих устройств для защиты резчика от поражения током, исключительно механизированной резки и металла больших толщин: высоколегированной стали до 300 мм, алюминия — до 400 мм.

В зависимости от скорости резки, а также от скорости истечения газовой струи, ее кинетической энергии плазменная проникающая дуга может отклоняться от вертикального направления. Так, при неподвижной дуге (при пробивке начального отверстия) или очень малой скорости резки кольцевой поток газа препятствует перебрасыванию на стенки образуемого отверстия или на переднюю грань реза анодного пятна дуги, которое смещается к нижним краям реза и вытягивает дугу в вертикальном направлении (рис. 170, а).

При среднем (оптимальном) значении скорости резки анодное пятно поднимается по передней грани реза вверх, выплавляет средние слои металла и, несколько искривляя переднюю грань реза, вызывает отклонение столба дуги и потока ионизированного газа (плазмы) от вертикали (рис. 170, б). Величина отставания в этом случае имеет небольшие значения и не ухудшает заметно качества кромок реза. Наконец, при чрезмерно большой скорости резки анодное пятно дуги смещается в верхнюю часть передней грани реза, выплавляет верхние слои металла, сильно искривляет столб дуги и поток плазмы, вызывая недопустимо большое отставание (рис. 170, в).

Помимо скорости резки, на положение анодного пятна, степень отклонения столба дуги и потока плазмы от вертикали вли-

яет также скорость истечения газа из сопла плазматрона. Чем больше скорость газового потока и его жесткость, тем больше растягивается дуга и меньше отклоняется от вертикали, т. е. меньше отставание в процессе резки.

Характер газового потока сильно влияет также на величину напряжения дуги, возрастающую при удлинении ее при применении двухатомных газов, требующих дополнительной энергии на диссоциацию.

Защитные и рабочие газы. В качестве защитного газа наибольшее распространение получил аргон. В меньшей степени находят

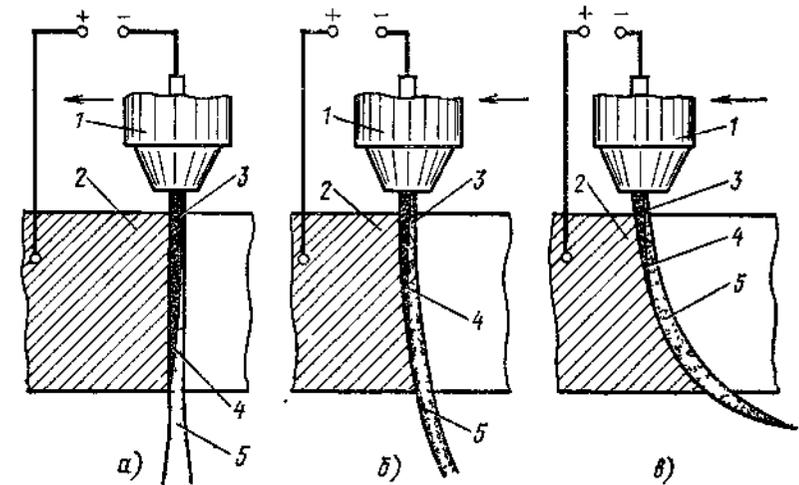


Рис. 170. Положение активного (анодного) пятна дуги в зависимости от скорости резки:

а — резка с низкой скоростью, б — резка с оптимальной скоростью, в — резка с недопустимо большой скоростью
1 — плазматрон, 2 — разрезаемый металл, 3 — столб дуги, 4 — анодное пятно, 5 — плазменный факел

применение азот, водород и, значительно реже, — дорогой и дефицитный гелий. В качестве же рабочих газов используют азот, кислород, водород и аргон.

Защитный газ поступает в плазматрон соосно с вольфрамовым электродом, омывает его и защищает от окисления. В некоторых же случаях, главным образом, когда защитный газ выполняет функции и рабочего газа, применяют так называемую вихревую стабилизацию, при которой газ в формирующий канал наконечника подается тангенциально (рис. 171), создает вихревой поток, отжимая наиболее нагретые слои плазмы к центру и предупреждая оплавление и износ формирующего канала наконечника. Рабочий газ может подаваться соосно с электродом, выполняя в этом случае функции и защитного газа, или тангенциально, осуществляя вихревую стабилизацию.

Если в качестве рабочего газа применяют химически активный газ, например кислород, подача его может осуществляться отдельно от защитного газа (рис. 172).

Применяемые при плазменно-дуговой резке одноатомные газы — аргон и гелий, могут играть роль только защитных, плазмообразующих газов. Такие же газы, как водород и азот, оказывают защитное действие и, кроме того, являются хорошими теплоносителями, передающими при последовательной диссоциации и рекомбинации значительное количество теплоты от дуги разрезаемому металлу и тем повышающими тепловую эффективность процесса резки. Кислород же при резке стали, помимо функции теплоноси-

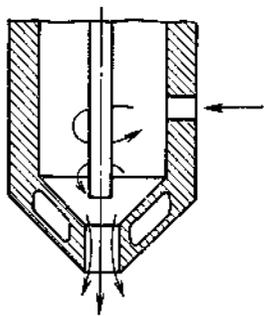


Рис. 171. Схема вихревой стабилизации дуги

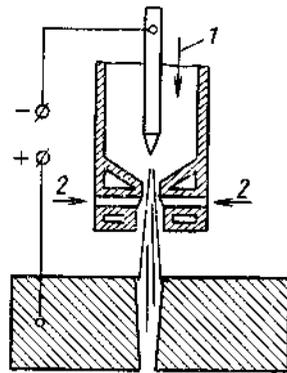


Рис. 172. Схема раздельной подачи газов:

1 — защитного; 2 — рабочего

теля, выполняет роль окислителя, переводя железо стали в шлак и тем самым приближая процесс плазменно-дуговой резки к газовой резке стали.

Оборудование для резки плазменной дугой. Оборудование для плазменно-дуговой резки включает пульт управления, предусматривающий автоматическое переключение; источник питания напряжением 90—130 или 250—300 В, рассчитанный на рабочую силу тока 250—500 А; источник питания дуги газом и плазменно-дуговой резак.

Работа установки происходит следующим образом (рис. 173). После включения источника питания нажатием специальной кнопки на резак включается осциллятор, цепь вспомогательной дуги и подача защитного газа. При наличии ионизирующей искры осциллятора вспомогательная слаботочная дуга образуется между вольфрамовым электродом и стенкой медного охлаждаемого водой наконечника. Дуга горит в потоке защитного газа, например аргона или азота.

Факел дуги выносится потоком газа из наконечника плазматрона, образуя ярко светящийся язык плазмы длиной до 15 мм. После соприкосновения факела дуги с поверхностью разрезаемого металла в результате срабатывания системы реле и в том числе реле тока происходит автоматическое отключение цепи вспомогательной дуги и цепи осциллятора с образованием основной, режущей дуги между электродом и изделием с одновременным включением рабочего газа.

По окончании процесса резки размыканием с помощью кнопки контактов на резаке схема полностью выключается.

По приведенной блок-схеме работают все применяемые в промышленности плазменно-дуговые режущие установки. В качестве источника питания током при плазменно-дуговой резке применяют либо обычные сварочные генераторы, например генераторы типа ПС-500 (один или два, соединяемые последовательно), либо трансформаторы с выпрямителями при питании дуги высоким напряжением.

Питание резака газами осуществляют обычно от баллонов, устанавливая давление газов редукторами по манометрам.

Плазменно-дуговые резаки могут быть ручные и машинные. Ручной резак имеет горизонтально расположенную рукоятку и каретку для равномерного (с соблюдением постоянного расстояния от сопла до металла) перемещения его по поверхности металла. Машинный резак, как правило, имеет цилиндрический вертикально расположенный корпус, закрепленный в суппорте режущей стационарной или переносной машины.

В зависимости от способа резки плазменной проникающей дугой в качестве электродов применяют вольфрамовый лантанированный стержень при использовании аргона, азота, водорода и кислорода или медный водоохлаждаемый электрод с циркониевой вставкой при использовании в качестве рабочего газа сжатого воздуха. Цирконий при воздействии на него при высокой температуре дуги сжатого воздуха образует на поверхности тугоплавкую окисную пленку, в дальнейшем предохраняющую электрод от эрозии в процессе резки. Однако медленное разрушение таких вставок все же происходит, ограничивая срок их службы до 2—3 ч непрерывной работы.

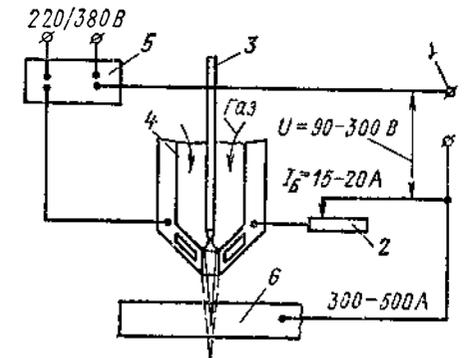


Рис. 173. Блок-схема установки для резки проникающей дугой:

1 — источник тока; 2 — балластное сопротивление в цепи вспомогательной дуги; 3 — электрод; 4 — наконечник; 5 — осциллятор; 6 — разрезаемый металл

Формирующие сопла. Наконечники плазмотронов изготавливают обычно из меди — металла, обладающего высокой теплопроводностью, что очень важно при наличии водяного охлаждения наконечника. Возможно применение также наконечников из бронзы, окиси кремния и других материалов. Однако степень износа этих наконечников больше, чем медных. Несмотря на интенсивное водяное охлаждение медных формирующих сопел, износ их из-за высокой температуры плазмы в столбе дуги (достигающей 10 000 °С и более) исключительно велик.

В большой мере износ сопла зависит от его диаметра, увеличиваясь с уменьшением диаметра сопла. В связи с этим, несмотря на некоторое повышение производительности резки соплами малых диаметров, обеспечивающих к тому же меньшую ширину реза, применять сопла слишком малых диаметров вряд ли целесообразно. Диаметр режущего сопла плазмотрона при заданном напряжении источника тока, зависит от силы тока и примерно соответствует диаметру вольфрамового электрода.

При резке проникающей дугой металла сравнительно небольших толщин, когда питание дуги осуществляют от источника тока сравнительно низкого напряжения (порядка до 130 В), диаметр сопла наконечника при силе тока 250 А составляет 3 мм, а при силе тока 300—400 А равен 4 мм. При резке металла большой толщины (200—300 мм), когда питание дуги осуществляют от источника напряжением 250—300 В, диаметр сопла наконечника может составлять до 6—8 мм при силе тока до 600—1000 А.

Износ сопла наконечника плазмотрона может быть значительно снижен применением вихревой стабилизации разряда.

Весьма эффективное средство повышения срока службы наконечника плазмотрона — применение медных сменных сопловых вставок. Срок службы одной вставки при напряженном режиме работы составляет обычно не более 7—8 ч, т. е. по продолжительности — не более одной смены, однако срок службы наконечника в целом значительно удлиняется. Помимо регулярного износа сопла в процессе эксплуатации, возможен его износ за счет аномальных условий работы: несоответствия между отдельными параметрами режима (диаметра электрода, силы тока, диаметра сопла, расхода газа и пр.); плохой центровки электрода с соплом или слишком большой скорости резки, вызывающих односторонний износ стенок сопла; аварийного износа стенок сопла из-за образования так называемой прямой дуги, возникающей между электродом и наконечником, при рабочих режимах тока, или из-за двойного дугообразования, так же выплавляющего стенки сопла.

Прямая дуга может образовываться главным образом при ручной резке, когда резчик по неосторожности коснется наконечником резака поверхности разрезаемого металла. В этом случае анодное пятно переходит с передней грани реза на внутреннюю стенку наконечника и оплавляет его.

Двойная дуга образуется вследствие распада столба разряда на две части: электрод — наконечник и наконечник — разрезаемый металл, происходящего в результате смещения дуги от оси вольфрамового электрода (рис. 174). При двойной дуге на внутренней поверхности наконечника возникают анодные пятна, дуга теряет проникающие свойства, и прорезание металла прекращается. Длина дуги резко уменьшается, сила тока возрастает и сопло наконечника, оплавляясь, выходит из строя.

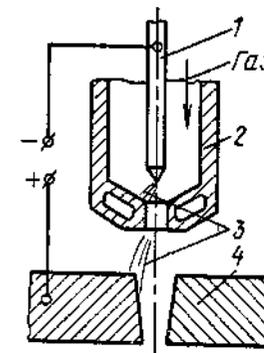


Рис. 174. Схема образования двойной дуги:

1 — электрод; 2 — наконечник; 3 — двойная дуга; 4 — разрезаемый металл

Резка высоколегированных коррозионно-стойких сталей. Резка коррозионно-стойких сталей проникающей дугой — весьма эффективный и производительный процесс. На листовых сталях производительность этого способа намного выше производительности широко применяемой кислородно-флюсовой резки и уступает последней при ручном ведении процесса лишь при толщине стали свыше 80 мм, а при машинной резке — при толщине свыше 150 мм.

Из табл. 20 видно, что наибольшее влияние на производительность (скорость) резки проникающей дугой оказывают применяемые при резке газы. Наибольшая производительность резки стали относительно малой толщины достигается при резке проникающей дугой в кислородосодержащих средах, где защитным газом является азот, а рабочим — кислород, не контактирующий с вольфрамовым электродом.

Таблица 20

Ориентировочные режимы резки высоколегированных сталей плазменной проникающей дугой, питаемой от источника тока низкого напряжения (до 130 В)

| Толщина разрезаемой стали, мм | Диаметр сопла, мм | Сила тока, А | Расход газов, м ³ /ч | | | | | Скорость резки, м/ч |
|-------------------------------|-------------------|--------------|---------------------------------|-------|----------|---------|-----------|---------------------|
| | | | аргона | азота | водорода | воздуха | кислорода | |
| 10 | 4 | 350 | 0,5 | — | 2,5 | — | — | 80 |
| 10 | 3 | 300 | — | — | — | 4 | — | 180 |
| 10 | 5 | 500 | — | 1 | — | — | 3 | 280 |
| 20 | 4 | 350 | 0,5 | — | 2,5 | — | — | 50 |
| 20 | 5 | 500 | — | 1 | — | — | 3 | 100 |
| 30 | 4 | 350 | 0,5 | — | 2,5 | — | — | 30 |
| 50 | 4 | 350 | 0,5 | — | 2,5 | — | — | 15 |
| 100 | 4 | 350 | 0,5 | — | 2,5 | — | — | 6 |

Сравнение данных табл. 20 и 21 показывает, что резкое различие в производительности процессов резки стали проникающей дугой, питаемой от источников низкого (до 130 В) и высокого (250—300 В) напряжения, наступает уже при толщине стали около 25—30 мм и по мере увеличения толщины металла возрастает еще больше.

Резка алюминия и его сплавов. До разработки способов плазменно-дуговой резки алюминий никаким другим способом термической резки не подвергался.

Таблица 21

Скорость резки высоколегированных сталей при питании дуги от источника высокого напряжения (250—300 В)

| Толщина разрезаемой стали, мм | Рабочая сила тока, А | Скорость резки, м/ч |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|
| 10 | 500 | 250 |
| 20 | 600 | 130 |
| 40 | 700 | 50 |
| 70 | 700 | 30 |
| 100 | 700 | 17 |
| 150 | 700 | 11,5 |
| 200 | 700 | 5,5 |
| 250 | 700 | 3,5 |
| 300 | 700 | 3 |

Примечания 1. Приведены значения скорости резки максимально допустимые; в производственной практике скорость резки ниже.

2. Данные таблицы справедливы для резки проникающей дугой, горящей в среде аргоно-водородной смеси.

плазменно-дуговой способ резки, при котором температура плазменной дуги достигает 10 000 °С и более, вызывает мгновенное плавление и частичное испарение металла и дает вполне удовлетворительные результаты. Производительность процесса исключительно высокая при хорошем качестве кромок и малой ширине реза.

Резка меди и ее сплавов. Преимущество резки меди и ее сплавов проникающей дугой перед кислородно-флюсовой резкой состоит в мгновенном локальном нагреве и плавлении металла высокотемпературной плазменной дугой, при которой высокая теплопроводность сплавов меди, препятствующая обычно концентрированному нагреву, в полной мере не проявляется. Плазменную резку меди и ее сплавов практически применяют для металла толщиной до 200 мм; однако, в принципе, при увеличении мощности источника тока возможна резка чистых и зашлакованных медных сплавов больших толщин.

Способ резки проникающей дугой высокого напряжения находит применение главным образом в стационарных условиях работы и из-за опасности поражения током почти неприменим в монтажных условиях. В то же время и резка проникающей дугой низкого напряжения — весьма производительный процесс, намного превосходящий по производительности кислородно-флюсовую резку листовых металлов.

Дальнейшее развитие способов плазменно-дуговой резки идет по пути применения дешевых и недефицитных сред, таких как воздух, азот, водяной пар. Весьма перспективен способ плазменно-воздушной резки высоколегированной и низкоуглеродистой листовых сталей.

Особенностью этого процесса является высокое напряжение источника тока (300 В и более) и применение циркониевых вставок на медном охлаждаемом водой катодом. Перспективно также применение в качестве рабочих газов смесей, богатых кислородом, обеспечивающих высокую производительность процесса и хорошее качество кромок.

Раздел **четвертый**
ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ
И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

ГЛАВА XXI

ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ СВАРКИ
И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

1. НОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Норма времени включает следующие составные части:

- 1) подготовительно-заключительное время, устанавливаемое на партию изделий с учетом времени на получение задания, инструктаж, ознакомление с работой, подготовку приспособления, рабочего места, инструмента и сдачи работы;
- 2) основное время, необходимое для изготовления детали или выполнения 1 м шва; оно включает время, затрачиваемое на процесс сварки с учетом времени первоначального разогрева металла;
- 3) вспомогательное время, включающее время на замер и осмотр шва, очистку кромок, очистку шва от шлака и брызг, установку и уборку изделия, клеймение шва, переходы сварщика с одного места сварки на другое;
- 4) время на обслуживание рабочего места — раскладку и уборку инструмента, установку и смену баллонов, подключение шлангов, регулирование давления газов, включение, регулирование и охлаждение горелки;
- 5) время на отдых.

Таблица 22

Основное время при сварке стали

| Односторонние стыковые соединения | Основное время (мин) за 1 м шва при толщине листов (мм) | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 6 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| Без скоса кромок . . . | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | — | — | — |
| С углом скоса 70° . . . | — | — | — | — | 20 | 25 | 30 | 50 |

Основное время зависит от вида и толщины свариваемого металла, мощности пламени, способа сварки, положения шва в пространстве и квалификации сварщика.

Средние значения основного времени для ручной сварки стали различной толщины приведены в табл. 22 и относятся к левой сварке низкоуглеродистой стали в нижнем положении.

Для ориентировочных подсчетов можно пользоваться графиком нарис. 175.

При сварке других металлов данные табл. 22 следует умножать на поправочные коэффициенты, приводимые ниже.

| Металл и условия сварки | Коэффициент | Металл и условия сварки | Коэффициент |
|----------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| Легированные стали | 1,20 | Алюминий и его сплавы | 0,60 |
| Чугун | 0,77 | Вертикальный шов | 1,20 |
| Мель | 0,85 | Поголочный шов | 1,60 |
| Латунь и бронза | 0,70 | Правая сварка | 0,85 |

Для определения общего времени сварки сначала находят основное время сварки, к которому прибавляют 10—40% от основного на дополнительные затраты времени, перечисленные выше. Чем лучше организация труда и рабочего места, тем меньше эти дополнительные затраты времени и выше производительность труда.

Устаревшие нормы времени подвергаются периодическому пересмотру с учетом непрерывного улучшения организации труда, совершенствования технологии сварки и внедрения достижений науки и техники. Пересмотр норм повышает производительность труда и снижает себестоимость продукции, повышает рентабельность производства. При этом также возрастает и реальная заработная плата трудящихся.

Среднепрогрессивные нормы поднимают производительность труда всех рабочих до уровня передовых. Внедрение среднепрогрессивных норм требует проведения соответствующих организационно-технических мероприятий, повышения квалификации сварщиков, правильной организации рабочего места, применения современных высокопроизводительных видов оборудования, приспособлений и пр.

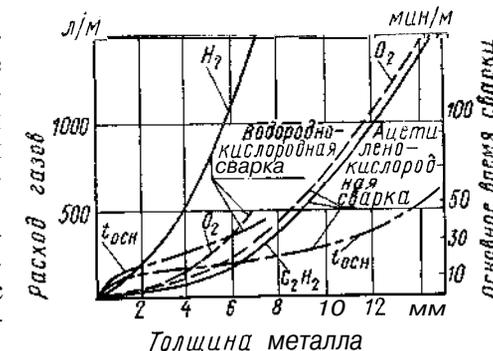


Рис. 175. Зависимость расхода газов и основного времени сварки от толщины свариваемого металла

Расход газов определяют по мощности наконечника и времени сварки:

$$Q_a = 1,05 \frac{q_a}{60} t;$$

$$Q_k = 1,05 \frac{q_k}{60} t,$$

где Q_a и Q_k — расход ацетилена и кислорода, м³/м шва; q_a и q_k — расход ацетилена и кислорода наконечником, м³/ч; t — основное время сварки, мин; 1,05 — коэффициент, учитывающий дополнительный расход газов на зажигание и регулирование горелки, прихватки и пр.

Расход присадочной проволоки определяют по массе наплавленного металла (G г/м шва) (табл. 23).

$$G = C\delta^2,$$

где δ — толщина металла, мм.

Таблица 23

Значения коэффициента C

| Металл | Толщина, мм | Подготовка кромок | Коэффициент C |
|----------|-------------|-------------------|-----------------|
| Сталь | До 5 | Без скоса | 12,0 |
| | | Скос 45° | 10,0 |
| | Свыше 5 | » 35° | 8,0 |
| | | » 30° | 7,0 |
| Медь | До 4 | Без скоса | 18,0 |
| | Свыше 4 | Скос 45° | 14,0 |
| Латунь | До 4 | Без скоса | 16,0 |
| | Свыше 4 | Скос 45° | 13,0 |
| Алюминий | До 4 | Без скоса | 6,5 |
| | Свыше 4 | Скос 45° | 4,5 |

Для определения расхода присадочной проволоки полученное значение увеличивают в 1,1—1,15 раза для учета потерь от угара, разбрызгивания и огарков. Для средних условий сварки и приближенных расчетов можно пользоваться следующими зависимостями: расход ацетилена $Q_a = 8,6$ л/м шва; расход кислорода $Q_k = 9,56$ л/м шва; расход проволоки $G_{пр} = 10,6$ г/м шва (при скосе кромок 45°).

2. НОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ

Газовую прямолинейную и фасонную резку листовой низкоуглеродистой стали осуществляют с применением в качестве горючих — ацетилена, пропано-бутановой смеси, природного газа и керосина.

Удельный расход кислорода $V_{у.к}$ и горючего газа $V_{у.г}$ на 1 пог. м реза устанавливают по формулам

$$V_{у.к} = \frac{V_{к.об} \cdot 100}{60\omega}$$

и

$$V_{у.г} = \frac{V_r \cdot 1000}{60\omega},$$

где $V_{к.об}$ — общий расход кислорода, м³/ч; ω — скорость резки, мм/мин; V_r — расход горючего газа, м³/ч.

Общий расход кислорода V_k определяется как сумма расходов режущего кислорода $V_{к.р}$ и кислорода подогревающего пламени $V_{к.п}$:

$$V_k = V_{к.р} + V_{к.п}.$$

Расход режущего кислорода (м³/ч) определяют по формуле

$$V_{к.р} = k'_2 k'_п k'_м k_{рл} \delta^{0,8}$$

где k'_2 — коэффициент для резки холодного проката толщиной до 160 мм при высоких требованиях к качеству реза, равный 0,3; при резке листовой стали с максимально возможной скоростью коэффициент k'_2 увеличивают в 2 раза, т. е. до 0,6; $k'_п$ — коэффициент, учитывающий положение реза в пространстве: для вертикального направления струи $k'_п = 1$; для горизонтального направления $k'_п = 1,2$; $k'_м$ — коэффициент металла (табл. 24); δ — толщина разрезаемой стали, мм; $k_{рл}$ — коэффициент расстояния (табл. 25).

Таблица 24

Значения коэффициента $k'_м$

| Степень легирования стали | Суммарное содержание в стали легирующих элементов, % | Характер выплавки стали | $k'_м$ | |
|---------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|--------|--------|
| | | | Литье | Прокат |
| Низколегированная | До 2,5 | Спокойная и кипящая | — | 1,00 |
| То же | До 2,5 | Спокойная | 0,85 | — |
| » » | До 2,5 | Кипящая | 0,70 | — |
| Среднелегированная | 2,5—10 | Спокойная | 0,75 | 0,90 |
| Высоколегированная | 10—20 | » | 0,70 | 0,85 |
| То же | Более 20 | » | 0,05 | 0,75 |

Расход подогревающего кислорода $V_{к.п}$ устанавливают по формуле

$$V_{к.п} = \beta_0 V_r$$

где V_r — расход горючего газа, м³/ч; β_0 — соотношение между кислородом и горючим газом $\left(\frac{V_{O_2}}{V_r}\right)$ в горючей смеси.

Таблица 25

| Значения коэффициента k_p | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Расстояние от сопла до металла, мм | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| k_p | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 |

Расход горючего газа V_r находят по формуле

$$V_r = \varepsilon 10^{-3} \psi k_n k_p k_T k_c^{-1} (\delta + 100),$$

где ε — коэффициент, равный при машинной чистой резке 2,0, при ручной резке проката 2—3,5 и при резке литья и горячего металла 8,5; k_T — коэффициент температуры металла, характеризующий влияние температуры разрезаемого металла на скорость резки и расход газов (табл. 26), ψ — коэффициент замены ацетилена.

Таблица 26

| Толщина стали, мм | Температура стали, °C | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| До 100 | 1,0 | 1,20 | 1,40 | 1,60 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,40 | 2,60 | 2,8 | 3,00 |
| 100—200 | 1,0 | 1,15 | 1,35 | 1,50 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,30 | 2,50 | 2,65 | 2,85 |
| 200—300 | 1,0 | 1,10 | 1,25 | 1,40 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,15 | 2,35 | 2,50 | 2,70 |
| 300—400 | 1,0 | 1,00 | 1,15 | 1,30 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,00 | 2,10 | 2,30 | 2,50 |

Примечание Для толщины стали 500—1000 мм коэффициент k_T независимо от температуры принимается разным единице

Скорость резки (мм/мин) может быть определена по следующим эмпирическим формулам:

при резке стали толщиной до 300 мм

$$v_0 = k_p k_c k_T k_n (1000 - 350 \lg 6);$$

при резке стали толщиной свыше 300 мм

$$v_0 = k_p' k_c k_T k_n k_c \delta^{-0,4},$$

где k_p' — коэффициент, имеющий постоянное значение для всех толщин стали, при прочих постоянных параметрах и одинаковых требованиях к качеству поверхности реза; при резке холодного проката из низкоуглеродистой стали в нижнем положении кислородом чистой 99,5% при качестве реза по IV классу чистоты он может быть принят равным 1500; k_c — коэффициент чистоты кислорода, характеризующий влияние чистоты кислорода на скорость резки (табл. 27); k_c — коэффициент сечения заготовки, зависящий от ширины заготовки листа; так, при ширине заготовки

100—300 мм $k_c = 0,3$, а при ширине свыше 300 мм $k_c = 1$; k_k — коэффициент качества поверхности реза (табл. 28).

Таблица 27

| Значения коэффициента k_c | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Чистота кислорода, об. % | 99,8 | 99,5 | 99,2 | 99,0 | 98,5 | 98,0 |
| k_c | 1,09 | 1,00 | 0,94 | 0,90 | 0,84 | 0,80 |

Приведенный в табл. 28 коэффициент k_o — коэффициент допустимого отставания линии реза:

$$k = \Delta$$

где Δ — наибольшее допустимое отставание линии реза для данного класса и данной толщины стали.

Таблица 28

| Операции | Значения коэффициентов | | Л, мм при 6 мм | |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|----------------|------------|
| | k_o | k_k | 25 | 100 |
| | Чистовая вырезка фигурных деталей | 0,20 0,25 | 0,65 0,70 | 1,5 2,0 |
| Чистовая вырезка деталей с прямыми кромками | 0,25 0,40 | 0,70 0,80 | 3,0 | 4 |
| Резка деталей, не требующих высокого качества поверхности реза | 0,40 0,70 | 0,80 0,90 | 5,0 | 6 |
| Вырезка деталей с припусками на механическую обработку | 0,70 1,00 | 0,90 1,00 | 7,5 | 10 |
| Заготовительная резка | 1,00 2,00 | 1,00 1,20 | 15,0 | 15 30 |

Норму штучного времени можно рассчитать по элементарным нормам или по укрупненным нормам неполного штучного времени. При нормировании по элементарным нормам штучное время на операцию (мин) рассчитывают по формуле

$$T_{ш} = [(T_o k_o + t_{вп}) L T_o' + t_{в.н}] k,$$

где T_o — основное время резки на 1 пог. м реза, мин: $T_o = \frac{1000}{v}$; k_o — коэффициент, учитывающий чистоту кислорода, род горючего

газа и состав разрезаемой стали; $t_{в.р}$ — вспомогательное время, зависящее от длины реза; L — расчетная длина реза, м; T'_o — время на подогрев металла в начале резки на одну деталь, мин; $t_{в.и}$ — вспомогательное время, связанное с изделием и оборудованием; k — коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места и на отдых.

При нормировании по укрупненным нормам неполного штучного времени

$$T_{шт} = T_{в.р} + L + t_{в.и}$$

или

$$T_{шт} = T_{н.шт} k_o + t_{в.и} k,$$

где $T_{н.шт}$ — неполное штучное время на 1 пог. м реза.

Норму времени на одну деталь с учетом подготовительно-заключительной (штучного калькуляционного) времени определяют по формуле

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n},$$

где n — число деталей в партии; $T_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время, включающее затраты времени на следующие операции: получение задания, ознакомление с работой, получение инструментов и приспособлений, подготовку резака к работе, установку давления газов, сдачу выполненной работы и т. п.

3. НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ И СТОИМОСТЬ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВОЙ РЕЗКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Нормы расхода кислорода и горючего газа при кислородно-флюсовой резке высоколегированной стали те же, что и при газовой резке низкоуглеродистой стали. Удельный расход дополнительных компонентов флюса (г/пог. м) и флюсоподающего газа (м³/пог. м) устанавливают по формулам

$$V_{з.ф} = \frac{V_{ф} 1000}{\omega};$$

$$V_{у.ф.г} = \frac{V_{ф.г} 1000}{60\omega},$$

где $V_{ф}$ — расход флюса (железного порошка), г/мин; $V_{ф.г}$ — расход флюсоподающего газа, м³/ч.

Нормы расхода флюса и флюсоподающего газа в зависимости от толщины разрезаемой стали и содержания в ней легирующих элементов могут быть определены по следующим эмпирическим формулам (см. табл. 24):

$$V_{ф} = (0,38^t + 90) k_m^{-1}$$

и

$$V_{ф.г} = (0,038^{t_{10}} + 90) k_m^{-1} 10^{-2},$$

Стоимость кислородно-флюсовой резки 1 пог. м листовой высоколегированной стали определяют по формуле

$$A_{об} = A_p + A_n + A_r + A_{г} + A_{ф}$$

где A_p — стоимость рабочей силы; A_n — накладные расходы (цеховые и общезаводские); A_r — стоимость газов ($A_k + A_a$ — стоимость кислорода и ацетилена); $A_{ф}$ — стоимость флюса.

Составляющие стоимости определяют по формулам

$$A_p = \frac{(\tau_o + \tau_d) a_p}{\omega},$$

где $\tau_o = \frac{1000}{\omega}$ — основное время резки, мин/пог. м реза; τ_d — дополнительное время резки, мин/пог. м реза; a_p — стоимость 1 ч работы газорезчика.

$$A_n = k_n a_p,$$

где k_n — коэффициент накладных расходов в долях от стоимости затрат рабочего времени.

$$A_r = V_r a,$$

где V_r — расход газов, м³/ч; a_r — стоимость 1 м³ газа (кислорода и горючего).

$$A_{ф} = V_{у.ф} a_{ф},$$

где $a_{ф}$ — стоимость 1 г флюса.

Для приближенных расчетов дополнительное время принимают равным 30% общего, а коэффициент накладных расходов $k_n = 2,5$.

Зная разряд рабочей сетки газорезчика и прейскурантные цены на кислород, горючий газ и флюс после подстановки цифровых значений стоимости рабочей силы и материалов в приведенные выше формулы, нетрудно подсчитать стоимость резки 1 пог. м стали данной толщины.

4. НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕЗКЕ ПЛАЗМЕННОЙ ПРОНИКАЮЩЕЙ ДУГОЙ

Нормы расхода материалов устанавливают в зависимости от рода разрезаемого металла, его толщины, ширины реза, величины рабочего тока, диаметра сопла, часовых расходов газов и вольфрамовых электродов, скорости резки и мощности режущей дуги, которую во всех расчетах приводимых норм принимают равной 40 кВт, кроме резки в аргопо-водородной смеси с дополнительной стабилизацией дуги сжатым воздухом, когда мощность дуги принимали равной 80 кВт.

Машинные нормы расхода вольфрамовых электродов и плазмообразующих газов на 1 пог. м реза, не учитывающие неизбежных потерь и отходов, определяют по формулам

$$V = \frac{V_{э.м}}{\omega} + V_{г.з}$$

где $V_{э.м}$ — расход электродов, г/пог. м реза; $V_{г.з}$ — расход газов, м³/пог. м реза; $V_{ч.э}$ — часовой расход электродов, г/ч; $V_{ч.г}$ — часовой расход газов, м³/ч.

Скорости резки (м/ч) разных металлов определяют по следующим эмпирическим формулам:

для высоколегированной стали

$$\omega = \frac{5,03k' \omega}{6(0,5 + 0,05\delta)};$$

для алюминия

$$\omega = \frac{0,95k'' \omega}{6(0,5 + 0,05\delta)};$$

для меди и латуни

$$\omega = \frac{2,49k''' \omega}{6(0,5 + 0,05\delta)};$$

где k'' — условный коэффициент, учитывающий возможность перегрева металла и уточняющий энергетические потери дуги, коэффициент k''' устанавливают из опыта (табл. 29).

Таблица 29

Усредненные значения условного коэффициента k'''

| Разрезаемый металл | Плазмообразующие газы | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| | Азот | Азот — водород | Азот — кислород | Азот — аргон | Аргон — водород | Аргон — водород и воздух |
| Алюминий и его сплавы . . . | 0,85 | 0,6 | — | — | 0,75 | — |
| Медь | 0,42 | — | — | — | 0,20 | 0,55 |
| Латунь | 0,56 | — | — | — | — | — |
| Высоколегированная сталь . . . | 1,40 | 1,5 | 3,5 | 1,5 | 1,45 | 1,83 |
| Низкоуглеродистая сталь . . . | 1,30 | — | 1,7 | — | — | — |

Приведенные выше формулы для расчета норм расхода вольфрамовых электродов и газов с учетом коэффициента отходов и потерь принимают вид

$$V_{э.м} = V_{э.м} k_{э.п};$$

$$V_{г.з} = V_{г.з} k_{г.п} + V_{г.з}$$

где $k_{э.п}$ — коэффициент неизбежных потерь (огарки) вольфрамовых электродов, для регулируемого электрода средней длины 100 мм при длине огарка 25 мм $k_{э.п}$ принимают равным 1,25; $k_{г.п}$ —

коэффициент неизбежных потерь газа (при продувке и регулировке), при индивидуальном производстве $k_{г.п} = 1,1$, при серийном производстве $k_{г.п} = 1,05$, $V_{г.з}$ — расход газа при зажигании дуги в процессе резки 1 пог. м, определяется исходя из числа зажигания по формуле

$$V_{г.з} = V_{г.з} n,$$

где $V_{г.з}$ — расход газа на одно зажигание дуги, м³, n — число зажигания.

Таблица 30

Расход электроэнергии на 1 пог. м реза, кВт/ч

| Металл | Толщина разрезаемого металла, мм | | | |
|--------------------|----------------------------------|------|-------|------|
| | 35 | 50 | 70 | 100 |
| Алюминий | 0,45 | 0,91 | 1,63 | 3,7 |
| Сталь | 1,50 | 2,90 | 3,90 | 9,0 |
| Медь | 1,92 | 3,00 | 10,00 | 40,0 |

Примечание. Данные скорости резки плазменной дугой относятся и к низкоуглеродистой и высоколегированной сталям.

В нормах расхода материалов отсутствуют данные о расходе электроэнергии при резке плазменной дугой, при питании дуги от источника высокого напряжения (250—300 В) и применении большой силы тока (порядка 700 А) в качестве последних можно использовать данные табл. 30 для резки алюминия, стали и меди толщиной 35—100 мм.

ГЛАВА XXII

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

Газопламенная обработка связана с использованием горючих взрывоопасных газов, баллонов, работающих под высоким давлением, ацетиленовых генераторов, кислородной аппаратуры, высокотемпературного пламени. Все это требует строгого соблюдения правил и норм по технике безопасности, установленных для данных процессов, с целью предупреждения возможных пожаров, взрывов, аварий и несчастных случаев.

К выполнению сварочных работ допускаются только рабочие, сдавшие минимум по правилам техники безопасности.

Запрещается производить работы по газопламенной обработке в непосредственной близости от огнеопасных, легковоспламеняющихся материалов (бензина, керосина, пакли, стружки и пр.).

Сварку внутри резервуаров и котлов, в тесных закрытых пространствах следует вести с систематическими перерывами и выходами рабочих на свежий воздух. Снаружи резервуара должен

неотлучно находиться второй человек, наблюдающий и способный оказать помощь в случае необходимости. Для искусственного освещения применяют лампы напряжением 12 В.

Сварочные и газопламенные работы, выполняемые систематически и не носящие временного характера, производят в отдельных помещениях, оборудованных вентиляцией, площадью не менее 4 м² на сварочный пост с проходами между постами не менее 0,8 м.

Операторы по газопламенной обработке (сварщики, резчики) должны работать в защитных очках закрытого типа со стеклами Г-1, Г-2 и Г-3, имеющими плотность светофильтров по ГОСТ 9497—60: при расходе ацетилена до 2500 л/ч — ГС-7, свыше 2500 л/ч — ГС-12. Вспомогательные рабочие могут пользоваться защитными очками со стеклами В-1, В-2 и В-3.

В помещениях, где производят газопламенную обработку, должна быть обеспечена общеобменная вентиляция, рассчитанная на подачу 2500—3000 м³ воздуха на 1 м³ сжигаемого ацетилена. В помещениях малых объемов (сосудах, цистернах, отсеках и пр.) эта величина должна составлять 4000—5000 м³ воздуха на 1 м³ сжигаемого ацетилена. Кроме того, в необходимых случаях предусматривают местные отсосы от постоянных постов обработки мелких деталей, рассчитанные на стосс 1700—2500 м³/ч воздуха. При машинной резке отсос должен быть равен 3000 м³/ч на 1 м² площади секции стола; при кислородно-флюсовой резке и резке высокомарганцовистых сталей — 250—500 м³/ч на 1 мм толщины резки. При работе внутри закрытых и не полностью закрытых помещений (отсеков и секций судов, резервуаров и др.), кроме общеобменной вентиляции, в цехе должна быть вентиляция с помощью местных отсосов от стационарных или передвижных установок. Для особо тяжелых условий по загазованности и высокому тепловыделению в помещениях, где производится сварка и резка, можно пользоваться шланговыми противогазами типа ПШ-1 с выкидным шлангом длиной 40 м без подкачки или типа ПШ-2 со шлангом и ручной или электрической подкачкой воздуха в зону дыхания работающего.

При горячей сварке устраивают вытяжные зонты для удаления продуктов сгорания топлива из подогревательных ям и горнов.

Сварку цинка, латуни, свинца и резку цветных металлов необходимо вести в масках (респираторах) для защиты работающего от вдыхания окислов и паров цинка, меди, свинца. При сварке латуни газообразным флюсом БМ-1 и проволокой с кремнием в качестве раскислителя процесс происходит без выделения окислов, и применения респираторов не требуется.

При работах с высоким тепловым излучением резчик и сварщик должны быть обеспечены спецодеждой из огнестойкой асбестовой ткани, подобной применяемой в доменных цехах. При резке больших толщин следует применять резаки с удлиненными трубками для уменьшения влияния теплоты на резчика.

Выполнение газопламенных работ и применение открытого огня допускается на расстоянии не менее 10 м от перепускных рамп

и передвижных ацетиленовых генераторов и 5 м от отдельных баллонов с кислородом и горючими газами; от трубопроводов горючих газов, а также от газоразборных постов, размещенных в металлических шкафах, минимальное расстояние должно быть равно (по горизонтали): при ручных работах 3 м, при механизированных — 1,5 м.

1. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Ацетиленовый генератор может быть установлен только в вентилируемом помещении, имеющем объем не менее 60 м³. Температура помещения должна быть не ниже 5°С во избежание замерзания воды в аппаратах.

Водяной затвор должен всегда быть заполнен водой до установленного уровня, что необходимо периодически проверять с помощью пробного крана. После впуска воды в реторту с карбидом кальция ее следует продуть первыми порциями газа, выпуская их наружу в вентиляционную систему. Работать с невключенным или неисправным водяным затвором запрещается.

Не следует переполнять карбидом кальция секции загрузочных коробок генератора или применять карбид не той грануляции, которая указана в паспорте генератора.

2. БАЛЛОНЫ

Баллоны, находящиеся в эксплуатации, должны отвечать требованиям правил Госгортехнадзора.

Во время перевозки баллонов с газом на них необходимо навернуть защитные колпаки для предохранения вентилей от повреждения и загрязнений. Переносить наполненные баллоны следует на носилках или перевозить на специальных тележках. Запрещается переносить баллоны на плечах. При погрузке и выгрузке баллонов должны приниматься меры против их падения и ударов друг о друга. Можно перемещать баллоны на небольшие расстояния кантовкой их в слегка наклонном положении.

Наполненные баллоны следует хранить в вертикальном положении, закрепленными от падения. Порожние баллоны можно складывать в штабели высотой не более четырех рядов. На месте сварки хранить кислородные баллоны допускается только при строительных и монтажных работах. На каждом посту разрешается иметь только два кислородных баллона: один, находящийся в работе, второй — запасной. Баллоны следует устанавливать не ближе 5 м от работающей горелки или резака. Запрещается устанавливать баллоны около печей, отопительных приборов и других источников теплоты. Для хранения партии наполненных баллонов на стройплощадках должен быть построен временный склад из огнестойкого материала или листовой стали.

Кислородные баллоны и их вентили необходимо предохранять от попадания масел, тонкие пленки которых способны самовоспламеняться при контакте со сжатым кислородом, что в некоторых случаях может вызвать загорание деталей вентиля (клапана, прокладок и др.) и тяжелую аварию (пожар, взрыв баллона). Особенно опасно по этой причине попадание в кислородный баллон масла и горючих газов, образующих с кислородом взрывчатые смеси большой разрушительной силы.

Наиболее вероятной причиной взрывов кислородных баллонов, имевших место во время работ по газопламенной обработке металлов (кислородной резке), следует считать образование в них взрывчатой смеси кислород — горючий газ. При давлении кислорода в баллоне ниже пределов рабочего, на которое установлен редуктор, может происходить перетекание через резак горючего газа в кислородный баллон и образование в нем взрывчатой смеси. Это более вероятно при резке на газах-заменителях ацетилена, так как канал инжектора в резаках для них имеет больший диаметр, чем в резаках для ацетилена.

Поэтому категорически запрещается работа с кислородным баллоном, давление кислорода в котором ниже предела рабочего давления, установленного редуктором данного баллона.

В целях большей безопасности работ целесообразно на кислородном шланге резака устанавливать обратный клапан, подобно тому, как это делается в керосинорезах; такой клапан предупреждает перетекание горючего газа в баллон с кислородом при различных нарушениях правил его эксплуатации.

3. АППАРАТУРА ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ

При сварке и резке можно применять только редукторы с исправными манометрами, не пропускающими газ через клапан (не имеющие «самотека»). Кислородные редукторы следует предохранять от попадания на них масел. Кислород в редуктор необходимо впускать постепенно, сначала слегка открывая вентиль баллона, при полностью ослабленной регулировочной пружине редуктора. При пуске газа в редуктор нельзя стоять перед редуктором. Необходимо следить за герметичностью всех соединений редуктора, устраняя обнаруженные утечки газа до начала работы. Ремонтировать редукторы следует в специальных мастерских.

При использовании аппаратуры для газопламенной обработки запрещается присоединять к шлангам вилки, тройники и тому подобные устройства для одновременного питания газом нескольких горелок (резаков).

Перед зажиганием пламени сначала продувают ацетиленовый шланг, соединяющий горелку или резак с водяным затвором. При тушении пламени или обратном ударе или хлопке быстро закрывают сначала ацетиленовый вентиль горелки, а затем кислородный. При работе пламя должно быть расположено так, чтобы оно не

могло задеть другого рабочего, шланги, баллон или горючий материал. Пламя всегда должно быть направлено в сторону, противоположную источнику питания горелки или резака газами. Если это требование по условиям работ трудно выполнимо, то источник питания необходимо оградить металлическим (стальным) щитом.

При обнаружении утечки горючего газа или кислорода все работы с открытым огнем должны быть остановлены и прекращены, утечки устранены, а помещение тщательно проветрено.

4. ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВ-ЗАМЕНИТЕЛЕЙ

При использовании горючих — заменителей ацетилена необходимо соблюдать следующие основные меры предосторожности.

В качестве заменителей ацетилена можно применять горючие и сжиженные газы с низшей теплотворной способностью 16720 кДж/м^3 (4000 ккал/м^3), содержащие не более 20% балласта (негорючих составляющих: CO_2 , азота), а также использовать водород, керосин. Применение одного бензина не рекомендуется. В случае технологической необходимости можно использовать только бензин А-66 в горелках, специально сконструированных для работы на бензине, например в установках для подводной резки БУПР, в горелках для пайки, при резке в условиях низких температур (ниже — 15°C) и др.

Сложные по составу газы-заменители, содержащие токсичные составляющие (коксовый газ, сланцевый газ и пр.), можно применять только по согласованию с органами санитарного и технического надзора.

При давлении газа до $0,15 \text{ МПа}$ ($1,5 \text{ кгс/см}^2$) между газопроводом и горелкой или резаком необходимо устанавливать предохранительный затвор закрытого типа (жидкостный или сухой) или обратный клапан, рассчитанный на соответствующие расход и давление газа и защищающий газопровод от перетекания в него кислорода через горелку или резак. Можно применять затворы закрытого типа, предназначенные для ацетилена.

При давлении газа-заменителя свыше $0,15 \text{ МПа}$ ($1,5 \text{ кгс/см}^2$) каждый пост должен иметь постовой редуктор (регулятор давления) для снижения давления и защиты от перетекания кислорода в газопровод.

Баллоны для газов-заменителей (кроме водородных) окрашивают в красный цвет и эксплуатируют в соответствии с действующими правилами для баллонов со сжатыми и сжиженными газами, не допускается утечка газа и нагревание баллона, перед присоединением баллона его вентиль продувают, газ расходуют до остаточного давления не ниже $0,05 \text{ МПа}$ ($0,5 \text{ кгс/см}^2$). После окончания работы баллоны с газами-заменителями не разрешается хранить на рабочем месте, их следует убирать в специально отведенное помещение. Не реже одного раза в смену необходимо

регулярно контролировать состояние и герметичность арматуры, шлангов и газопроводов. При обнаружении утечки газа работы с открытым огнем в помещении следует немедленно прекратить и возобновить их можно только после устранения утечки и полного проветривания помещения.

Газопроводы в помещении для газов-заменителей окрашивают: для водорода — в зеленый цвет, прочих горючих газов (кроме ацетилена) — в красный. В те же цвета окрашивают предохранительные затворы, клапаны, редукторы и концы шлангов на длине 0,5 м. Запрещается применять для кислорода шланги, ранее использовавшиеся для горючих газов.

Применение керосина, бензина и их смесей на стапельных работах, на строящихся и ремонтируемых судах и в замкнутых помещениях (отсеках, котлах, цистернах) запрещается. Газопламенные работы с использованием жидких горючих разрешается производить только в помещениях цехов и на открытых площадках. Применение этилированного бензина при газопламенной обработке запрещается во всех случаях.

Бачки для горючего должны иметь манометр, быть испытанными на прочность гидравлическим давлением 1 МПа (10 кгс/см²), а на плотность — пневматическим давлением 0,5 МПа (5 кгс/см²). Сальник запорного вентиля бачка и обратный клапан насоса не должны пропускать горючее при давлении 0,5 МПа (5 кгс/см²). Наливать горючее в бачок разрешается не более чем на $\frac{3}{4}$ его емкости. Заправку горючим следует вести в особых помещениях, соответственно оборудованных и безопасных в пожарном отношении. Разлитый керосин необходимо немедленно удалять.

При работе на жидких горючих разрешается пользоваться только бензомаслостойкими шлангами по ГОСТ 9356—60 с внутренним диаметром 6 мм и длиной не менее 5 м. Присоединение шлангов к резаку должно быть плотным, установка соединительных ниппелей на рукавах для жидких горючих не допускается.

Бачок с горючим необходимо устанавливать на расстоянии 5 м от баллонов с кислородом и от источников открытого огня и не ближе 3 м от рабочего места резчика; не допускается попадание пламени и искр на бачок в процессе работы. Запрещается подходить к бачку с зажженным резаком для подкачки воздуха в него. Давление в бачке с горючим должно быть ниже давления кислорода, указываемого манометром на редукторе, во избежание протекания при обратном ударе пламени или попадании керосина в кислородный шланг и разрыва последнего.

Резак зажигают следующим образом: сначала пускают горючее, подогревающий кислород и зажигают пламя, затем после прогрева испарителя пламя регулируют и пускают режущий кислород. При тушении резака сначала закрывают вентиль подачи горючего, а затем вентиль подачи кислорода; этим предохраняется кислородный шланг от попадания в него керосина. Запрещается работать с испарителем, перегретым до вишневого цвета.

При обратном ударе пламени резак немедленно гасят, для чего ^{закрывают} сначала вентиль подачи кислорода на резаке, затем прекращают подачу кислорода от баллона или кислородопровода, закрывают вентиль подачи горючего на резаке и вентиль на бачке.

5. ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА И НАПЫЛЕНИЕ

При обслуживании электрических устройств для плазменной и плазменно-дуговой обработки необходимо руководствоваться требованиями: «Правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах» от 8 января 1960 г., с добавлениями от 7 февраля 1963 г., а также требованиями Госгортехнадзора СССР и ЦК Профсоюза рабочих машиностроения.

В качестве дополнительных мер по технике безопасности при плазменно-дуговой обработке Институт гигиены им. Эрисмана рекомендует применять рациональную систему вытяжной вентиляции с целью снижения концентрации пыли и вредных газов в воздухе помещений, в частности при машинной автоматической, полуавтоматической и ручной резке использовать раскроечные столы с нижними секционными отсосами, разработанные Ленинградским институтом охраны труда совместно с Институтом технологии судостроения. Из одной секции такого стола размером 1500 X X 1500 мм отсос воздуха составляет при резке титанового сплава 4500 м³/ч, при резке сплава АМг—6000 м³/ч. Скорость на входе у источника выделения вредных примесей должна быть не менее 3 м/с, для чего верхняя плоскость стола должна раскрываться не более чем на 25% ее площади.

Для снижения уровня шума вентиляторы и источники питания установок током необходимо размещать в отдельных, изолированных от рабочих мест, помещениях.

Спецодежду, обувь и средства индивидуальной защиты применяют те же, что и при дуговой сварке. Брезентовые рукавицы должны доходить до локтевого сгиба.

Для защиты от высокочастотного шума при плазменном напылении применяют наружные антифоны ПН-2К и ВЦНИОТ-2. При плазменно-дуговой резке уши защищают от шума ультратонкой ватой в виде тампонов или применяют противозумные тампоны типа ПГФПП-15 (ВТУ 2-813-62-002).

Для защиты глаз служат щитки и шлемы со светофильтрами по ГОСТ 9497—60 и очки шоферского типа с защитными стеклами В-2 или В-3. Эти очки можно использовать в качестве дополнительной защиты при зажигании вспомогательной дуги. К нижней части маски необходимо пристегивать фартук из мягкой кожи для защиты шеи и груди от действия ультрафиолетовых лучей.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ ГОСТЫ НА ГАЗОПЛАМЕННУЮ ОБРАБОТКУ МЕТАЛЛОВ

| ГОСТ | Название |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8856-72 | Аппаратура для газопламенной обработки. Давление горючих газов |
| 11966-66 | Аппараты для нанесения покрытий по способу газотермического напыления. Типы и основные параметры |
| 12221-71 | Аппаратура для плазменно-дуговой резки металлов. Типы и основные параметры |
| 5457-60 | Ацетилен растворенный технический |
| 5948-60 | Баллоны ацетиленовые с пористой массой и ацетоном. Технические требования |
| 15860-70 | Баллоны стальные сварные для сжиженных газов |
| 949-73 | Баллоны стальные для газов на $P_y \leq 200$ кгс.см ² |
| 1012-72 | Бензины авиационные |
| 699-59 | Вентиль кислородного баллона $P_y = 200$ кгс.см ² |
| 1638-42 | Вентиль малолитражного баллона. Технические условия |
| 5190-67 | Генераторы ацетиленового низкого и среднего давления |
| 17356-71 | Горелки газовые Термины и определения |
| 1077-69 | Горелки однопламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева |
| 8766-58 | Затворы предохранительные для ацетилена |
| 1460-56 | Карбид кальция |
| 5583-68 | Кислород газообразный технический и медицинский |
| 9833-73 | Кольца резиновые круглого сечения для гидравлических и пневматических устройств |
| 5614-74 | Машины для кислородной и плазменно-дуговой резки металлов. Типы и основные параметры |
| 1078-71 | Ниппели к резиновым рукавам аппаратуры для газопламенной обработки металлов |
| 9849-74 | Порошок железный |
| 1499-70 | Припой оловянно-свинцовые |
| 8190-56 | Припой серебряные |
| 16130-70 | Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные |
| 7871-63 | Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов |
| 2246-70 | Проволока стальная сварочная |
| 2671-70 | Прутки чулочные для сварки и наплавки |
| 13861-68 | Редукторы баллонные для газопламенной обработки. Присоединительные размеры и технические требования |
| 6268-68 | Редукторы для газопламенной обработки. Типы и основные параметры |
| 18205-72 | Редукторы рамповые для газопламенной обработки |
| 10796-64 | Резаки для воздушно-дуговой резки металлов угольным электродом. Основные параметры |
| 5191-69 | Резаки инжекторные для ручной кислородной резки. Технические требования |
| 8318-57 | Рукава резино-гканевые напорные |
| 9356-60 | Рукава резиновые для газовой сварки и резки металлов |
| 16152-70 | Соединения ниппельно-муфтовые для газорезущих машин |
| 11545-65 | Сормайт. Сплав наплавочный прутковый и порошкообразный |

1. Асиновская Г. А., Любалин П. М., Колычев В. И. Газовая сварка и наплавка цветных металлов и сплавов. М., «Машиностроение», 1974.
2. Быков В. В., Файзулина Т. С. Газовые резаки. М., «Машиностроение», 1974.
3. Быков В. В., Файзулина Т. С. Газопламенные горелки. М., «Машиностроение», 1974.
4. Ковальский В. А. Ацетиленовые генераторы. М., «Машиностроение», 1974.
5. Коровин А. И. Газопитание сварочных участков. М., «Машиностроение», 1974.
6. Крикунова И. И., Некрасов Ю. И. Газовая сварка пластмасс. М., «Машиностроение», 1974.
7. Миллер С. А. Ацетилен, его свойства, получение и применение. М., «Химия», 1968.
8. Некрасов Ю. И. Газы — заменители ацетилена. М., «Машиностроение», 1974.
9. Спектор О. Ш. Кислородно-флюсовая резка. М., «Машиностроение», 1974.
10. Трофимов А. А., Сухинин Г. К. Машинная кислородная резка. М., «Машиностроение», 1974.
11. Трофимов А. А., Сухинин Г. К. Ручная кислородная резка. М., «Машиностроение», 1974.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А
Алюминий ч его сплавы 37—88, 120—123, 290
Ацетилен
очистка 43—44
получение 23—24, 33—39
процесс горения 69—71
свойства 20—23
хранение и транспортировка 24—26
Ацетон 25

Б
Балансы материальный и тепловой при
резке 191—193
Баллоны 12—14, 25—26, 303—304
Бетон и железобетон 246—247, 254—255,
269—275
Бензин см Керосин и бензин

В
Включения шлаковые см Дефекты сварных
соединений
Влияние примесей на процесс резки 187—
189
—свариваемость 81—84
Водород 29
Воздушно дуговая резка угольным элект-
родом 275
Выход ацетилена из карбида 23—24
Газы започнители
водород 29, 285
коксовый и сланцевый 31
пирролизный и нефтяной 31
природный 30
пропан и пропано бутановая смесь 30
газификационные установки см Установки
газификационные
Генераторы ацетиленовые, системы 32—
39, 303
Горелки
безинжекторные 62—63
инжекторные 61
камерно андревые 63
накопительные 62
специальные 63—64
ГОСТ 493—54 118
ГОСТ 494—69 52
ГОСТ 517—72 5°
ГОСТ 851—66 113
ГОСТ 1460—56 23
ГОСТ 2216—70 100—102, 104—106
ГОСТ 2671—70 108, 110
ГОСТ 3262—62 273

ГОСТ 4753—68 31
ГОСТ 5017—49 118
ГОСТ 5190—67 32
ГОСТ 5457—60 25
ГОСТ 5542—50 31
ГОСТ 5583—68 19
ГОСТ 5614—74 199, 211
ГОСТ 6268—68 44
ГОСТ 6331—68 19
ГОСТ 7871—63 121
ГОСТ 8732—70 52—53
ГОСТ 8734—58 52—53
ГОСТ 9356—60 54 306
ГОСТ 9497—60 302, 307
ГОСТ 10196—62 30
ГОСТ 10704—63 52
ГОСТ 10705—63 52
ГОСТ 10706—63 52
ГОСТ 16130—70 115
ГОСТ 17327—71 143

Д
Дефекты сварных соединений;
включения шлаковые 92
непровар 90—91
перегрев 91
пережог 91
подрез 91
пористость шва 91
трещины 92
Деформации при резке 231—238
Диафрагмы измерительные 58
Дуга плазменная проникающая 283—285

З
Закалка поверхностная
аппаратура 152—154
сушность процесса 148—152
технологические рекомендации 154—
155
Затворы предохранительные 64—67

К
Карбид кальция 22—24 33—39
керосин и бензин 31
керосинорезы 193—198
Кислород 9—10
газообразный 9—14
жидкий 15—19
получение 10
свойства 9—10
требования к качеству 19 182
хранение и транспортировка 11—12
Кислородно дуговая резка плавящимся
электродом 277—278

Кислородно флюсовая резка 242—246
Копирование
масштабное и дистанционное 206
механическое 202—203
фотокопирование 205—206
электромагнитное 204
Копье кислородное 266—269
— порошково кислородное 269—275
Кот сварная резка 276—275
Коэффициент замены ацетилена 29

М

Магний и его сплавы 124—125
Машины для разделительной резки
переносные 199—201, 217
с дистанционным управлением 213—217
специализированные 217—221
стационарные 201—202
Медь и ее сплавы 83—84, 86, 112—120,
246, 254, 290—291
Металлизация
аппаратура 156—159
нанесение покрытия 159—160
подготовка поверхности 159
Механизм окисления железа 173—174
Мощность пламени тепловая
при резке 177—178
при сварке 75—76

Н

Наплавка металлов твердых 141—142
—цветных 138—140
Напыление плазменное 162—166
—пластмасс и эмалей 1,1—162
Начало резки 222—223
Непровар см Дефекты сварных соединений
Никель и его сплавы 125—126
Нормирование газовой резки 294—298
—сварки 292—294
Нормы расхода материалов 298—301

О

Обработка газопламенная, классифика-
ция 6—7
Обратный удар пламени 64—С7
Отставание в процессе резки 174—176
Очистка ацетилена химическая 43—44
—поверхности металла 166—168

П

Пайка металлов
аппаратура 143
конструкции соединений 147
подготовка деталей 147
припой 144—146
флюсы 146—147
Пакетная резка 225—927
Плазменно дуговая резка 275—291, 307
Пламя
взаимодействие с металлом 75—80
состав 71—74
строение 68
температура 74—75
тепловая мощность 75—76, 177—178
Перегрев см Дефекты сварных соединений
Пережог см Дефекты сварных соединений
Поверхностная резка 210—242, 255—256
Подготовка изделия к сварке 96—97
Подрезы см Дефекты сварных соединений
Положение резака в процессе резки 223—
221
—шов в пространстве 93—94
Пористость шва см Дефекты сварных сое-
динений

Присадочный материал для сварки
алюминия 121
Магниевого станова 125
Медь и ее сплавов 8, 4, ПО
никеля и его сплавов 126
свинца 127
стали 101—106
чугуна 83, 109
Присадочный материал для сварки
свариваемых деталей 97
Программное управление 207—213
Процесс горения 67—71

Р

Разрезаемость металлов 182—186
Рампы перепускные 55—57
Регуляторы давления 50—51
Редукторы
принцип действия 41—45
характеристики 46—47
эксплуатация 49—50
Режимы газовой сварки 97—100
—резки 224—225, 267, 239, 251, 253,
255—256, 277, 289
Резаки машинные 199
—ручные
для разделительной резки 195
инжекторные 191—195
керосинорезы 195—198
с внутрисондовым смешением 195
специализированные 198
Резка кислородная, классификация 170—
171
—сушность 172—173
Резка алюминия и его сплавов 290
—медь и ее сплавов 246—247, 290—291
—неметаллических материалов 246—247
254—255, 269—275
—сталей 225, 227, 238 247—252, 255—
256, 268, 270—271, 275—278 289—290
—титановых сплавов 238—239
—чугуна 245, 252—254 268, 270
Ректификация 10
Ротаметры 57—58

С

Свариваемость стали 81—83
Сварка в различных пространственных
положениях 95—96
—газопрессовая
оборудование 131—134
сушность процесса 129—130
технологические рекомендации 134—
135
Сварка алюминия и его сплавов 120—123
—магниевого сплавов 123
—медь и ее сплавов 112—120
—никеля и его сплавов 125
—свинца 126—127
Сварка пластмасс 127—129
Сварка сталей
высокоуглеродистых 101—102
низкоуглеродистых конструкционных
102—103
низкоуглеродистых 100—101
средне и высокоуглеродистых 103—
106
Сварка чугуна 106—109
низкотемпературная заварка дефекта
110—112
основные затруднения 107—108
пайка сварка латуною 110
прутки для сварки 83, 109
состав флюсов 86—87, 110
состав флюсов 86—87, 110
Свинец 126—127
Сопла подогревающие, форма 178
—режущие 179—181
—формирующие 288—289

Состав пламени 71—74
Способы сварки правый и левый 94—95
Сталь 81 101—100 243—245
Станции ацетиленовые 42—43
Строение пламени 68
Структурные превращения в сварном шве
88—90
Струя плазменная 280—282

Т

Температура пламени 74
Теплотворная способность ацетилена 21
— — газовых смесей 27—29
Техника безопасности 301—307
Техника резки 221—225
Типы сварных соединений 93
Титановые сплавы 238—239
Трещины 92
Трубопроводы для ацетилена 53—54
— — кислорода 52—53

У

Угол наклона мундштука 98
Упругость диссоциации окислов 84
Установки ацетиленовые автоматизиро-
ванные 39—42
— газификационные 17—19
— для резки 256—266

Ф

Флюсопитатели 256—257
Флюсы для пайки 146
— — резки
высоколегированных сталей 243—245
меди и медных сплавов 246
неметаллических материалов 246—247
чугуна 245
— — сварки
алюминия и его сплавов 87—88 121—
122
магниевого сплава 124
меди и ее сплавов 86 115—116 119
никеля и его сплавов 126
свинца 127
чугуна 86—87 ПО

Ц

Чугун 83 86—87 106—112 245 252—254,
268 270

Ш

Шланги резиновые 54

Э

Энергия зажигания газовых смесей 22
Эффективность процесса проплавления 76—
77

Георгий Борисович Евсеев и Дмитрий Львович Глизманенко

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Редактор издательства *Т. Е. Черешнева*
Технический редактор *Н. Ф. Демкина*
Корректор *А. А. Снастина*
Перепечат художника *А. С. Мунтяна*

Сдано в набор 28/1 1974 г. Подписано к печати 23/III 1974 г. Т 14107. Формат 60×90¹/₈
Бумага типографская № 3. Усл. печ. л. 19 б. Уч. изд. л. 20 б. Тираж 40 000 экз. Заказ 1243
Цена 93 коп.

Издательство «Машиностроение» 107885 Москва Б 78 1 й Басманный пер. д. 3

Орден Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 197100 Ленинград П 136 Гатчинская ул. 26

93 коп.

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»



ГАЗОПЛАМЕННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ