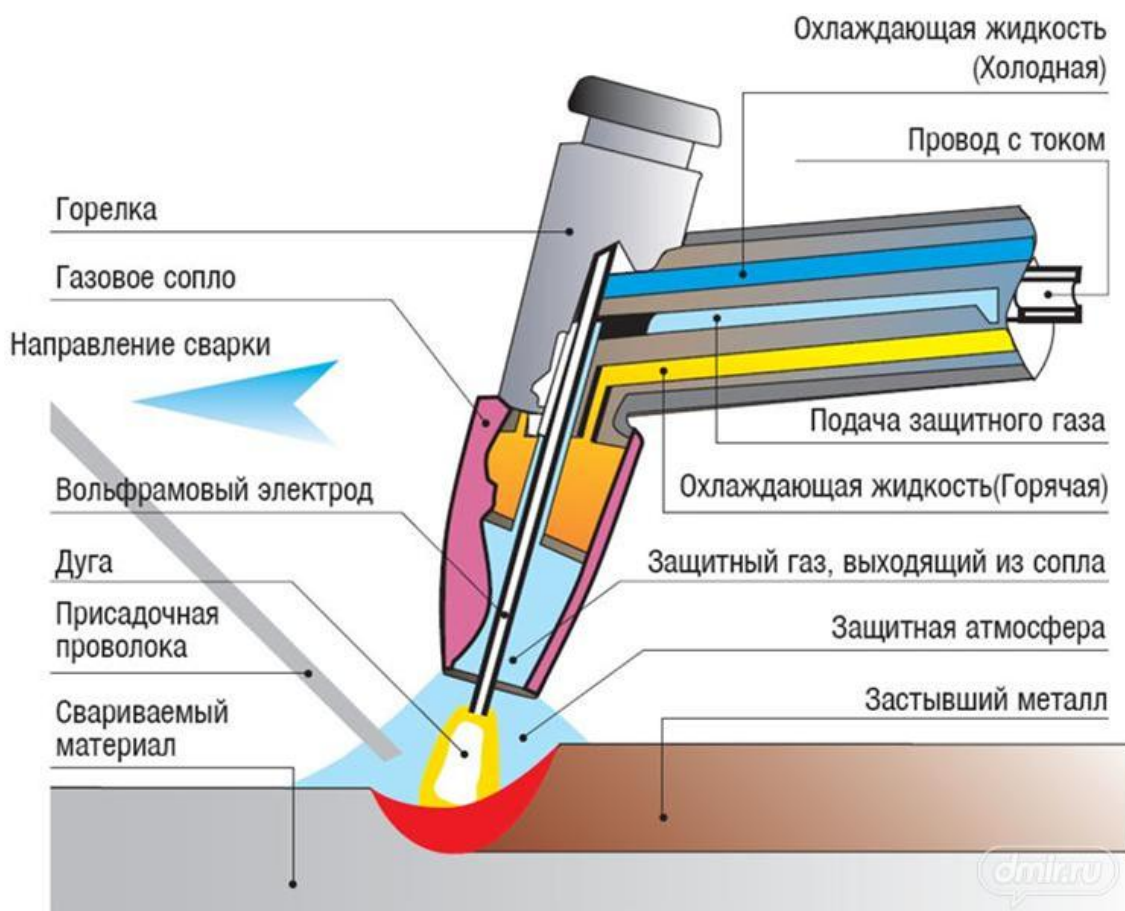


А. Н. Марков

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА СВАРОЧНОЕ ДЕЛО

Учебно-методическое пособие



**Санкт-Петербург
2026**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики

А. Н. Марков

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА **СВАРОЧНОЕ ДЕЛО**

Учебно-методическое пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2026

УДК 683.3 (075.32)

ББК 34.671я722

М 89

Рецензенты:

генеральный директор ООО «Проммонтажсервис НТ»

А. А. Таразанов;

кандидат технических наук, доцент Высшей школы технологии и энергетики
Санкт-Петербургского государственного университета промышленных
технологий и дизайна

И. Д. Соколова

Марков, А. Н.

М 89 Учебная практика. Сварочное дело: учебно-методическое пособие /
А. Н. Марков. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2026. — 137 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программе и учебному плану учебной практики для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Учебно-методическое пособие содержит информацию, позволяющую сформировать основной объем знаний и компетенций для изучения физических основ ручной, а также частично механизированной сварки, изучить технологическое оборудование и оснастку сварочных процессов.

Пособие предназначено для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения, а также может быть полезно при подготовке кадров в системе СПО и ДПО.

УДК 683.3 (075.32)

ББК 34.671я722

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2026

© Марков А. Н., 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКИ СТАЛЕЙ, ЧУГУНОВ, ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. СОРТАМЕНТ ИЗДЕЛИЙ	5
Классификация и маркировка сталей.....	5
Классификация и маркировка чугунов	14
Классификация и маркировка некоторых цветных металлов и сплавов на их основе	16
Сортамент и назначение прокатных изделий.....	19
Задание.....	25
Контрольные вопросы.....	25
2. СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ.....	25
Задание.....	30
Контрольные вопросы.....	31
3. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	31
Сварочные проволоки	31
Электроды	38
Инертные и защитные газы	49
Задание.....	51
Контрольные вопросы.....	52
4. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ	52
Требования к источникам питания сварочной дуги	58
Задание.....	61
Контрольные вопросы.....	61
5. ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПОСТА.....	61
Задание.....	65
Контрольные вопросы.....	65
6. СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ.....	66
Задание.....	77
Контрольные вопросы.....	77
7. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ РУЧНОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ В АРГОНЕ.....	77
Задание.....	99
Контрольные вопросы.....	99
8. ГАЗОВАЯ СВАРКА.....	99
Задание.....	108
Контрольные вопросы.....	108
9. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ, ИХ ОБОЗНАЧЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ.....	108
Задание.....	124
Контрольные вопросы.....	124
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ	126

ВВЕДЕНИЕ

Сварка является одним из ведущих технологических процессов в машиностроении. Она универсальна: этим способом могут соединяться металлы в изделиях различных размеров при толщине соединяемого металла от сотых долей миллиметра до метров, при массе изделия от долей грамма до сотен и тысяч тонн. Размеры сварных изделий могут быть от долей миллиметра (приборы электроники) до гигантских размеров (пролетные конструкции железнодорожных и шоссейных мостов, корпуса лайнеров, трубопроводы длиной в тысячи километров).

Освоение сварки требует от студента знаний по материаловедению, машиностроению, электротехнике, физике и химии. Основываясь на теоретических аспектах сварочного дела при изучении специальных дисциплин, студент-механик в процессе учебных практик на первом и втором курсах обучения знакомится с различными видами сварки.

Учебно-методическое пособие состоит из девяти глав. В них представлены физические основы ручной и частично механизированной сварки. Также приведены сведения о технологическом оборудовании и оснастке сварочных процессов. После каждой главы приведены задания и контрольные вопросы.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКИ СТАЛЕЙ, ЧУГУНОВ, ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. СОРТАМЕНТ ИЗДЕЛИЙ

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

Сталью называют сплав железа с углеродом и другими элементами с содержанием углерода до 2,14 %. Стали классифицируют по следующим признакам: химическому составу, способу производства, содержанию вредных примесей, структуре, области применения. Основным признаком, по которому классифицируют стали, является их химический состав. Он определяет марку и название стали.

По химическому составу стали подразделяют на углеродистые и легированные.

По способу производства стали бывают: конвертерные, мартеновские, электростали и стали особых методов выплавки.

По степени раскисления стали производят кипящие, спокойные и полуспокойные.

По качеству, которое формируется в основном на стадии выплавки и определяется содержанием таких вредных примесей, как сера и фосфор, стали бывают:

- 1) обыкновенного качества (массовая доля серы не более 0,05 % и фосфора – до 0,04 %);
- 2) качественные (массовая доля серы до 0,04 % и фосфора – до 0,035 %);
- 3) высококачественные (массовая доля серы до 0,025 % и фосфора – до 0,025 %);
- 4) особо высококачественные (массовая доля серы до 0,015 % и фосфора – до 0,025 %).

По прочности стали делят на три группы:

- 1) обычной прочности (от до 290 МПа (Н/мм²));
- 2) стали повышенной прочности (от 290 до 390 МПа);
- 3) стали высокой прочности (от 440 МПа и выше).

По областям применения стали делят на строительные, арматурные, подшипниковые, котельные и т. д.

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Углеродистыми называют стали, в которых отсутствуют специальные добавки легирующих элементов, но имеется небольшое количество примесей, обусловленное технологией выплавки. При этом допускаются примеси марганца и кремния в пределах 0,8–1 %, которые практически не оказывают влияния на механические свойства стали.

В зависимости от содержания углерода углеродистые стали бывают:

- низкоуглеродистые (до 0,25 %);
- среднеуглеродистые (0,3–0,6 %);
- высокоуглеродистые (> 0,6 %).

По назначению углеродистые стали делят на конструкционные и инструментальные. Они имеют разное обозначение.

Углеродистые конструкционные стали

Конструкционные стали применяются для изготовления конструкций и сооружений, деталей машин и механизмов. Содержание углерода в конструкционных сталях не превышает 0,5–0,6 %. Конструкционные стали должны иметь высокие механические свойства, определяемые при стандартных испытаниях (σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , КСЧ, НВ, НRC) и конструктивную прочность, т. е. прочность, которая находится в наибольшем соответствии со служебными свойствами данного изделия.

Углеродистые конструкционные стали производят *обыкновенного качества и качественные*.

Углеродистые стали обыкновенного качества являются основным металлическим материалом, применяемым в машиностроении и в строительных металлоконструкциях.

В соответствии с ГОСТ 380-2005 углеродистую сталь обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Буквы Ст обозначают «Сталь», цифры – условный номер марки, буквы «кп», «пс», «сп» – степень раскисления («кп» – кипящая, «пс» – полуспокойная, «сп» – спокойная); буква «Г» свидетельствует о повышенном содержании марганца (до 0,8–1,2 %). Условный номер марки соответствует определенному содержанию углерода в стали. Эти стали содержат не более 0,05 % S и 0,04% P. Структура стали обыкновенного качества в состоянии поставки обычно феррит + перлит. Чем выше условный номер марки, тем больше в стали углерода и перлита, тем выше ее прочность, но меньше вязкость и пластичность.

Примеры маркировки углеродистых сталей обыкновенного качества:

- Ст4кп – сталь углеродистая обыкновенного качества № марки 4, кипящая;
- Ст2пс – сталь углеродистая обыкновенного качества № марки 2, полуспокойная;
- Ст3Гсп – сталь углеродистая обыкновенного качества № марки 3 с повышенным содержанием марганца в пределах (0,8–1,2 %), спокойная.

Качественные углеродистые стали в соответствии с ГОСТ 1050-2013 выпускаются следующих марок: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60; 05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 11кп, 15кп, 15пс, 18кп, 20кп и 20пс.

В обозначении качественных углеродистых сталей слово «Сталь» или «Ст» в марке стали не пишется, а ставятся двузначные числа, показывающие содержание углерода в сотых долях процента. При этом допускается слово «Сталь» перед маркой для пояснения. По степени раскисления сталь обозначают: кипящую – «кп», полуспокойную – «пс», спокойную – без индекса.

Эти стали содержат не более 0,04 % и 0,035 % Р. Их структура в термоупрочненном состоянии – феррит и перлит.

В соответствии с ГОСТ 977-88, если сталь предназначена для изготовления отливок, к марке углеродистой качественной конструкционной стали добавляется буква «Л», которая ставится в конце марки. Предусмотрены следующие марки литейной углеродистой стали: 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л.

Примеры маркировки качественных углеродистых сталей:

08кп – сталь углеродистая качественная, кипящая, содержит 0,08 % углерода;

20пс – сталь углеродистая качественная, полуспокойная, содержит 0,20 % углерода;

60Г – сталь углеродистая качественная с повышенным содержанием марганца в пределах (0,8–1,2 %), спокойная, содержит 0,60 % углерода;

Сталь 45 – сталь углеродистая качественная, спокойная, содержит 0,45 % углерода.

Углеродистые инструментальные стали

Инструментальные стали применяют для изготовления режущего и измерительного инструмента, а также инструментов, применяемых при обработке давлением (штампов, бойков и т. д.). Содержание углерода в них от 0,7 до 1,5 %. Сталь для режущего инструмента должна обладать высокими твердостью, износостойкостью, теплостойкостью.

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой У с цифрой, обозначающей среднее содержание углерода, выраженное в десятых долях процента (ГОСТ 1435-99). Стали выпускают качественные и высококачественные. Для высококачественных сталей в конце марки ставят букву А. Например, стали У8, У10 – качественные, У8А, У10А – высококачественные. Исходная структура – зернистый перлит. Для получения высокой твердости (HRC 62-63) стали закаливают с последующим отпуском. Из сталей У7, У8, У8А изготавливают зубила, штамповую оснастку, молотки, ножи, метчики, отвертки и другие изделия, которые подвергаются ударным нагрузкам. Из сталей с более высоким содержанием углерода (У10, У11, У10А, У12А, У13А) изготавливают напильники, надфили, фрезы, развертки, плашки, ножовочные полотна (для ручных пил), рашпили и шаберы. Примеры маркировки углеродистых инструментальных сталей:

У7 – углеродистая, инструментальная, качественная сталь, спокойная, содержащая 0,7 % углерода:

У10А – углеродистая, инструментальная, высококачественная сталь, спокойная, содержащая 1 % углерода;

У11 – углеродистая, инструментальная, качественная сталь, спокойная, содержащая 1,1 % углерода;

У8Г – углеродистая, инструментальная, качественная сталь с повышенным содержанием марганца (0,8–1,2 %), спокойная, содержащая 0,8 % углерода.

ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Легированные стали подразделяют на:

- а) низколегированные, содержание легирующих элементов до 2,5 %;
- б) среднелегированные, в их состав входят от 2,5 до 10 % легирующих элементов;
- в) высоколегированные, которые содержат свыше 10 % легирующих элементов.

Низколегированные конструкционные стали

Производство низколегированных конструкционных сталей регламентирует ГОСТ 19281-89. В зависимости от основного назначения низколегированная конструкционная сталь разделяется на группы:

А – сталь для металлических конструкций:

- марганцовистая – 14Г, 19Г, 09Г2, 14Г2, 18Г2;
- кремнемарганцовая – 12ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 10Г2С1;
- марганцовованадиевая – 15ГФ;
- хромокремнемарганцовая – 14ХГС;
- хромокремненикелевая с медью – 15ХСНД, 10ХСНД.

Б – сталь для армирования железобетонных конструкций:

- кремнемарганцовая – 35ГС, 18Г2С, 25Г2С;
- хромомарганцовая с цирконием – 20ХГ2Ц;
- кремнистая – 80С.

Такие сплавы стоят немного дороже углеродистых нелегированных, но обладают, по сравнению с ними, рядом преимуществ. Среди них повышенный предел текучести, хладостойкость, коррозионная стойкость, износостойкость, пониженная склонность к механическому старению.

В маркировке низколегированных сталей указывают цифры, которые означают содержание углерода в сотых долях процента, и буквы, показывающие, какие легирующие элементы использовались в сплаве в процентах.

Производство низколегированных сталей, применяемых при производстве сортового, толстого листового, полосового, фасонного, трубного проката повышенной прочности, регламентируется ГОСТ 19281-89. Из такой металлопродукции создают сварные, клепаные, болтовые конструкции или изготавливают изделия, которые не нуждаются в последующей термообработке.

Механические свойства низколегированных сталей улучшают путем снижения содержания серы и фосфора. Такой прокат обладает хорошей ударной вязкостью и низким порогом хладноломкости, при условии малого содержания углерода – хорошей свариваемостью. Прочностные характеристики низколегированных сталей повышают изготовлением проката по технологии регулируемой прокатки. Прочность стальных сплавов также повышают микролегированием титаном, ванадием, ниобием.

Высокие эксплуатационные характеристики сталей с легирующими добавками обеспечивают их использование в следующих областях:

- устройство трубопроводных систем различного назначения;

- изготовление сварных конструкций в вагоно-, станко-, автомобилестроении, тяжелом машиностроении;
- нефтяное аппаратостроение;
- строительство инженерных сооружений, которые эксплуатируются при переменных динамических нагрузках, в условиях суточных и сезонных значительных температурных перепадов;
- производство паровых турбин.

Примеры маркировки низколегированных конструкционных сталей:

14Г2 – низколегированная конструкционная сталь со средним содержанием марганца в пределах 2 % и углерода 0,14 %;

18Г2С – низколегированная конструкционная сталь со средним содержанием марганца в пределах 2 %, кремния 1 % и углерода 0,18 %.

Среднелегированные и высоколегированные стали

По назначению эти стали делят на конструкционные, инструментальные и стали специального назначения.

Легированные конструкционные стали

Конструкционные легированные стали применяют в строительстве, машиностроении, приборостроении и т. д. По сравнению с углеродистыми легированные стали обладают благоприятным сочетанием прочности, пластичности и вязкости, а также высокой хладостойкостью. Из них производят рамы машин и вагонов, металлоконструкции промышленных зданий, пролеты мостов и эстакад, магистральные нефте- и газопроводы.

В машиностроении из легированных сталей изготавливают детали ответственного назначения – шестерни, толкатели, оси, плунжеры, гайки, болты, червяки, кулачки, звездочки, рессоры, пружины, сварные конструкции в самолетостроении, шпиндели, валы и т. д.

Легированные конструкционные стали маркируются цифрами и буквами в соответствии с ГОСТ 4543-2016, например, 15Х, 10Г2СД, 20Х2Н4А и т. д. Двухзначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Буквы русского алфавита обозначают легирующий элемент: Б – ниобий (Nb), Н – никель (Ni), Ф – ванадий (V), В – вольфрам (W), М – молибден (Mo), Х – хром (Cr), Г – марганец (Mn), П – фосфор (P), Ц – цирконий (Zr), Д – медь (Cu), Р – бор (B), Ч – редкоземельный металл, Е – селен (Se), С – кремний (Si), Ю – алюминий (Al), К – кобальт (Co), Т – титан (Ti), А – азот (N) только в середине обозначения марки.

Цифры после букв указывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие цифры указывает, что содержание легирующего элемента составляет среднее в пределах 1 % (максимум до 1,5 %).

Основная масса легированных конструкционных сталей выплавляется качественными (например, 30ХГС). Высококачественные легированные стали обозначаются буквой «А», помещенной в конце марки (например, 30ХГСА). Особо высококачественная сталь обозначается буквой «Ш» (или «ш»),

располагаемой в конце марки (например, 30ХГС-Ш, 30ХГСА-Ш). Если буква «А» расположена в середине марки (например, 16Г2АФ), то сталь легирована азотом.

При обозначении литейной легированной стали к марке конструкционной легированной стали добавляется буква «Л», которая ставится в конце обозначения, например, 15ГЛ, 40ХНЛ и т. д.

Примеры маркировки легированных конструкционных сталей:

15Х – легированная конструкционная качественная сталь, спокойная, с содержанием хрома в среднем в пределах 1 %, со средним содержанием углерода 0,15 %;

10Г2СД – легированная конструкционная качественная сталь, спокойная, со средним содержанием марганца в пределах 2 %, кремния в пределах 1 %, меди в пределах 1 %, со средним содержанием углерода 0,10 %;

30ХГС-Ш – легированная конструкционная особо высококачественная сталь, спокойная, со средним содержанием хрома в пределах 1 %, марганца в пределах 1 %, кремния в пределах 1 %, со средним содержанием углерода 0,30 %.

Легированные инструментальные стали

В марках легированных инструментальных сталей, например, 9ХФ, 7ХЗ, 3Х2В8Ф и др., цифра в начале марки указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента, если его содержание менее 1 % (ГОСТ 5950-2000). При содержании углерода в сталях более 1 % цифру не пишут. Расшифровка марок инструментальных сталей по содержанию легирующих элементов такая же, как для конструкционных сталей. Все инструментальные легированные стали всегда высококачественные и поэтому в обозначениях этих сталей буква «А» не ставится.

Инструментальные легированные стали используют для изготовления:

а) режущего и измерительного инструмента (7ХФ, 9ХФ, 9ХС, 9ХВГ, 9Х5ВФ, Р6М5, Р9, Р12, Р18, Р6МЗ, Р9К5, Р9К10, Р18К5Ф2 и др.). Буква «Р» в сталях обозначает «режущая, быстрорежущая», цифра, стоящая после буквы «Р», указывает на содержание вольфрама в процентах (от 8 до 19 %);

б) штампов холодного и горячего деформирования и накатного инструмента (Х6ВФ, 9Х1, Х12Ф1, ХВГ, 3Х2В8Ф, 4Х8В2,5ХНВС, 4ХС, 6Х6ВЗМФС, 8Х4ВЗМЗФ2 и др.).

Примеры маркировки легированных инструментальных сталей:

7ХЗ – легированная инструментальная высококачественная сталь, со средним содержанием хрома в пределах 3 %, углерода в пределах 0,7 %;

Р18 – быстрорежущая сталь, содержащая 18,0 % вольфрама, с содержанием углерода в среднем около 1 %;

Р6М5К5 – быстрорежущая сталь, содержащая 6,0 % вольфрама, 5,0 % молибдена, 5,0 % кобальта, с содержанием углерода в среднем около 1 %.

Легированные стали специального назначения

Стали специального назначения – это стали, обладающие специальными свойствами, например, жаропрочные, жаростойкие, коррозионностойкие и т. д.

Например, для изготовления различного рода высокотемпературных установок, деталей печей и газовых турбин применяют жаростойкие стали 12Х17, 15Х25Т, 20Х23Н13, 36Х18Н25С2 и др. Содержание углерода и легирующих элементов в марках этих сталей определяют так же, как и в марках конструкционных сталей.

При обозначении литейной стали со специальными свойствами к марке стали добавляется буква «Л», которая ставится в конце марки, например, 20Х23Н13Л и т. д.

ОБОЗНАЧЕНИЕ СТАЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Строительные стали

В строительстве для изготовления металлоконструкций используют преимущественно различные виды стального проката: листовой, фасонный (уголки, двутавры, швеллеры), универсальный широкополосный прокат, гнутые профили из тонколистового проката, трубы и др. При выборе сталей для строительных металлических конструкций уровень прочностных свойств является определяющим, поскольку размеры поперечных сечений многих элементов металлоконструкций, а, следовательно, и их масса, определяются расчетом, непосредственно учитывающим прочностные свойства материала – предел текучести σ_t и временное сопротивление разрыву при растяжении σ_b . Поэтому обозначение строительной стали, в отличие от марки стали, отражает не химический состав, а назначение стали и основную характеристику для расчета металлоконструкции на прочность – предел текучести σ_t – и называется «наименованием» стали или «классом прочности».

Прокат из строительных сталей поставляют по ГОСТ 27772-2015, в соответствии с которым прокат изготавливают следующих наименований: С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375, С390, С390К, С440, С440Д, С590, С590К. Буква «С» в наименовании означает сталь строительную, цифры обозначают предел текучести σ_t в Н/мм² (МПа) для минимальной толщины проката. В конце наименования могут стоять буквы «К», «Т» или «Д», обозначающие:

К – отличие химического состава стали от состава стали того же класса прочности (наименования), например, С345К отличается от С345 наличием 0,08–0,15 % алюминия;

Т – упрочнение проката углеродистой стали термической обработкой;

Д – введение в сталь 0,15–0,30 % Си для повышения сопротивления атмосферной коррозии.

Каждому наименованию стали соответствуют одна или несколько марок углеродистой стали обыкновенного качества или низколегированной стали. Например, наименованию стали С285 соответствуют марки Ст3пс, Ст3Гпс, Ст3Гсп, а наименованию С590 – марка низколегированной стали 12Г2СМФ.

При этом только наименования С345 и С375 имеют 4 категории по хладостойкости, которые определяются гарантированными значениями ударной вязкости КСЧ при разных расчетных температурах. Номер категории указывается в конце наименования, например: С345-1, С375-4, С345Д-3.

Арматурные стали

Для армирования обычных и предварительно напряжённых железобетонных конструкций применяют специальные арматурные стали, которые поставляются в виде стержней и проволоки. Их изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей.

Стержневая арматура подразделяется на горячекатаную (ГОСТ 5781-82) и термомеханически упрочнённую (ГОСТ 10884-94). В зависимости от показателей прочности арматура разделяется на классы. Ведущим показателем каждого класса является минимальное значение предела текучести, которое считается нормативным сопротивлением арматуры.

Горячекатаная арматура имеет следующие классы: А-I(A240), А-II(A300), Ас-II(A300), А-III(A400), А-IV(A600), А-V(A800) и А-VI(A1000).

Термомеханически упрочнённая арматура имеет следующие классы прочности: Ат400С, Ат500С, Ат600, Ат600С, Ат600К, Ат800, Ат800К, Ат1000, Ат1000К, Ат1200. Буква «А» в обозначении указывает, что сталь арматурная, буква «т» – термомеханически упрочнённая, цифры обозначают предел текучести σ_t в Н/мм², буква «с» – сталь специальная (отличающаяся по профилю и размерам от основной арматуры). Римская цифра в обозначении горячекатаной арматуры указывает номер класса прочности арматуры. В конце наименования могут стоять буквы «К» или «С», обозначающие:

К – сталь с повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию под напряжением;

С – сталь свариваемая.

Проволочная арматура производится в соответствии с ГОСТ 6727-80 только одного класса Вр-I (буква «р» обозначает наличие периодического профиля). Римская цифра I указывает класс прочности арматуры.

Каждому классу прочности арматурной стали соответствуют одна или несколько марок углеродистой стали обыкновенного качества или низколегированной стали. Например, классу прочности горячекатаной арматуры А-I (А240) соответствуют марки углеродистой стали Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, а классу прочности термомеханически упрочнённой арматуры Ат1000 – марки низколегированной стали 20ГС, 20ГС2, 25С2Р.

Котельные стали

Для изготовления деталей и частей котлов, сосудов и арматуры, работающих под давлением при комнатной, повышенной и пониженной температурах, применяют листовую горячекатаную углеродистую, низколегированную и легированную сталь, пригодную для сварки, толщиной от 4 до 160 мм. Характеристики данной стали определяет ГОСТ 5520-2017. Листы изготавливают из стали следующих марок: 12К, 15К, 16К, 18К, 29К, 22К –

углеродистые котельные стали, 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 09Г2СД, 10Г2С1Д, 17ГС и 17Г1С – низколегированные, 12ХМ, 10Х2М и 12Х1МФ – легированные стали. В обозначении котельной углеродистой стали двузначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Буква «К» указывает, что сталь котельная. Обозначения низколегированной и легированной стали расшифровывают так же, как и марки конструкционной легированной стали.

Автоматные стали

Автоматные стали – группа железоуглеродистых сплавов, разработанная специально для обработки на станках-автоматах, которая находит применение в крупносерийном и массовом производстве шпилек, гаек, болтов и других металлоизделий, не запланированных для восприятия серьезных нагрузок. Автоматные стали обладают хорошей обрабатываемостью резанием. Характерной особенностью автоматных сталей является повышенное содержание серы (до 0,3 %) и фосфора (до 0,15 %). Обрабатываемость улучшают также легированием стали небольшим количеством свинца, селена и других элементов. В соответствии с ГОСТ 1414-75 автоматные стали маркируют буквой А (автоматная); присутствие свинца обозначают буквой С, селена – Е, кальция – Ц, двузначная цифра после букв А, АС или АЦ – это среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Автоматные сернистые стали А11, А20, А30, А35, А40Г являются углеродистыми, содержат 0,08–0,30 % S и 0,05–0,15 % P. Для того чтобы не проявлялась красноломкость, в них увеличено содержание марганца (0,70–1,55 %).

Автоматные свинцовосодержащие (0,15–0,35 % Pb) стали подразделяют на углеродистые с повышенным содержанием серы (АС14, АС40, АС35Г2, АС45Г2) и легированные, среди которых имеются низкоуглеродистые (АС12ХН, АС14ХГН, АС20ХГНМ) и среднеуглеродистые (АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХГНМ). По обрабатываемости эти стали заметно превосходят сернистые.

Автоматные селеносодержащие стали подразделяют на углеродистые (А35Е, А45Е) и хромистую (А40ХЕ). Они содержат 0,04–0,10 % Se и 0,06–0,12 % S. Применение селеносодержащих сталей позволяет в 2 раза снизить расход инструмента и до 30 % повысить производительность обработки.

Автоматные кальцийсодержащие (0,002–0,008 % Ca) стали (АЦ20, АЦ30, АЦ40Х и др.) с добавлением свинца и теллура предназначены для изготовления термически упроченных деталей, обрабатываемых твердосплавным инструментом при высоких (100 м/мин и более) скоростях резания. Автоматные стали, содержащие кальций, производят по техническим условиям.

Примеры маркировки автоматных сталей:

А12 – автоматная сталь, содержащая 0,12 % углерода (все автоматные стали имеют повышенное содержание серы и фосфора);

А40Г – автоматная сталь с 0,40 % углерода и повышенным до 1,5 % содержанием марганца.

Подшипниковые стали

Стали для изготовления деталей подшипников (колец, шариков, роликов) считаются конструкционными, но по составу и свойствам относятся к инструментальным.

Стали поставляются по ГОСТ 801-2022 марок ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС и ШХ20ГС. В обозначении марок буква Ш означает подшипниковую сталь; Х – наличие хрома; число – его содержание в десятых долях процента (0,4; 1,5; 2,0, соответственно); Г и С; – легирование марганцем (до 1,7 %) и кремнием (до 0,85 %).

Примеры маркировки подшипниковых сталей:

ШХ6 – шарикоподшипниковая сталь, содержащая 0,6 % хрома;

ШХ15ГС – шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5 % хрома и от 0,8 до 1,5 % марганца и кремния.

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЧУГУНОВ

Чугунами называют сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % углерода. Они содержат те же примеси, что и сталь, но в большем количестве. В структуре чугуна присутствует ледебурит или графит, поэтому чугуны хрупкие и не поддаются ковке, используются для получения литых изделий. В зависимости от формы выделения углерода различают следующие чугуны:

- белый чугун, в котором весь углерод находится в виде цементита; в изломе чугун белого цвета, идет на переработку в сталь; называется перекальным;
- серый чугун, в котором весь углерод в свободном состоянии имеет форму пластинчатого графита (рис. 1);
- высокопрочный чугун, содержит графит шаровидной формы;
- ковкий чугун, в котором углерод имеет форму хлопьев.

Микроструктура чугуна состоит из металлической стальной основы и включений графита. От металлической основы чугуна зависит его твердость, она может состоять из перлита, феррита и перлита или из феррита. Графит имеет низкую прочность, места его залегания в структуре ослабляют металлическую основу чугуна.

Серый чугун характеризуется низкими механическими свойствами при растяжении, хорошей жидкотекучестью, легко обрабатывается резанием, обладает хорошими антифрикционными свойствами, гасит вибрации и колебания. Для получения серого чугуна в жидкий чугун добавляют кремний (1,2–3,5 %). При затвердевании чугуна кремний способствует выделению из жидкости углерода в виде графита. Серый чугун содержит графит пластинчатой формы. Пластинки графита делают стружку ломкой, облегчая обработку.

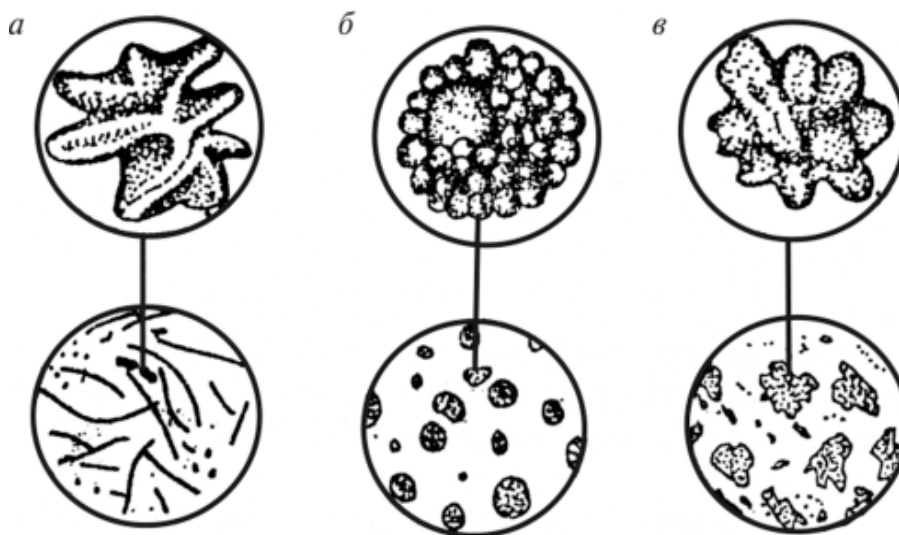


Рисунок 1. Структура чугуна с графитом различной формы: *а* – пластинчатый графит в сером чугуне; *б* – шаровидный графит в высокопрочном чугуне; *в* – хлопьевидный графит в ковком чугуне.

Графит, являясь смазкой, впитывает смазку, что снижает коэффициент трения и повышает износостойкость, но разрыхляет металлическую основу и резко уменьшает ее прочность. Чем больше графита и чем крупнее его включения, тем ниже механические свойства чугуна, так как пластинки графита, имея малую прочность, являются как бы готовыми трещинами в металлической основе. Измельчение графита увеличивает прочность чугуна, но пластическое удлинение при растяжении все равно мало. Для измельчения графита к жидкому чугуну добавляют модификаторы – ферросилиций и др.

Чугун называется модифицированным, он более прочный и износостойкий. Серые чугуны маркируют буквами СЧ и числом (ГОСТ 1412-85), показывающим предел прочности при испытаниях на растяжение: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. Например, СЧ10 – серый чугун, предел прочности при растяжении 100 МПа.

Серые чугуны находят широкое применение в производстве дизельных и холодильных установок РПС (блоки и головки цилиндров, картеры дизелей и компрессоров; корпуса масляных фильтров; поршневые кольца и др.); при производстве насосов систем отопления пассажирских вагонов, в электромашиностроении, для изготовления корпусов и крышек тормозных цилиндров вагонов. Для этих целей используют чугуны марок СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25.

Высокопрочный чугун получают путем модифицирования серого чугуна, перед разливкой вводят в него магний в количестве до 0,5 %. Магний увеличивает поверхностное натяжение графита с образованием пузырьков пара, в которые диффундирует углерод. После затвердевания графит приобретает округлую форму. Высокие механические свойства этого чугуна обусловлены

тем, что шаровидный графит меньше разобцает металлическую основу чугуна, благодаря чему высокопрочный чугун имеет высокую прочность при достаточной пластичности и вязкости.

Высокопрочный чугун обладает жаростойкостью, хорошими антифрикционными и литейными свойствами, достаточной износостойкостью. Маркируют высокопрочный чугун буквами ВЧ и числом, характеризующим величину предела прочности при растяжении, например, ВЧ35, ВЧ40 (ГОСТ 7293-85). Из высокопрочных чугунов изготавливают ответственные детали: зубчатые колеса, коленчатые валы дизелей тепловозов, ступицы, кронштейны, шатуны, поршневые кольца, картерные детали.

Ковкий чугун – это условное название мягкого и вязкого чугуна, изделия из него получают литьем, методы пластической деформации не применяют. Ковкий чугун получают из белого путем графитизирующего отжига. После отжига свободный углерод имеет форму хлопьевидного графита. Прочность ковкого чугуна в 2,5–3 раза больше прочности серого, он обладает высокой пластичностью по сравнению с серым чугуном. Его можно подвергать ударным нагрузкам. Недостатком чугуна является его высокая стоимость из-за продолжительного дорогостоящего отжига (25–30 ч).

Согласно ГОСТ 1215-79 ковкий чугун обозначают буквами КЧ и двумя числами: первое обозначает предел прочности при растяжении, а второе – относительное удлинение в процентах. Например, КЧ50-5.

Из ковок чугунов изготавливают головки и наконечники соединительных рукавов воздушной тормозной магистрали и крышки бруса вагонов, ряд деталей электрических машин и др. Отливки из ковкого чугуна применяют в сельскохозяйственном машиностроении (шестерни, рычаги, звенья цепей, ступицы), вагоно- и судостроении (кронштейны, детали тормозной системы, подшипники), в электропромышленности.

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА НЕКОТОРЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Алюминий и его сплавы

Алюминий. В зависимости от чистоты различают алюминий особой чистоты: А999 (99,999 % Al); высокой чистоты: А995 (99,995 % Al), А99 (99,99 % Al), А97 (99,97 % Al), А95 (99,95 % Al) и технической чистоты: А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99,0 % Al) (ГОСТ 4784-97).

Технический алюминий изготавливают в виде листов, профилей, прутков, проволоки и других полуфабрикатов и маркируют АД0 и АД1. В качестве примесей в алюминии присутствуют Fe, Si, Cu, Mn, Zn.

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления, способности к упрочнению термической обработкой и свойствам.

К деформируемым алюминиевым сплавам (ГОСТ 4784-97) относят сплавы систем: Al–Mn; Al–Mg; Al–Cu–Mg; Al–Cu–Mn; Al–Mg–Si и Al–Zn–Mg.

Наиболее широко применяются сплавы алюминия с марганцем и магнием: АМц (1,0–1,6 % марганца) и сплавы АМг2, АМг5 (соответственно 1,8–2,6 и 4,8–5,8 % магния и 0,2–0,6 и 0,3–0,8 % марганца).

Сплавы систем Al–Cu–Mg, Al–Cu–Mn и Al–Mg–Si называют дюралюмины и авиали. Дюралюмины – сплавы системы Al–Cu–Mg и системы Al–Cu–Mn. Наиболее известны сплав Д18, содержащий 2,2–3,0 % меди и 0,2–0,5 % магния, и сплав Д16, содержащий 3,8–4,6 % меди, 1,2–1,8 % магния и 0,3–0,9 % марганца.

Сплавы авиаль (АВ и др.) – многокомпонентные сплавы системы Al–Mg–Si, содержащие, кроме основных компонентов (алюминия, марганца и кремния), в небольших количествах (не более 0,5 %) железо, медь, титан и др. элементы. Высокопрочными алюминиевыми сплавами являются сплавы типа В95, содержащие 1,4–2,0 % меди, 1,8–2,8 % магния, 0,2–0,6 % марганца, 5,0–7,0 % цинка и 0,1–0,25 % хрома.

Известен и ряд других сложных деформируемых сплавов дляковки, штамповки и работы при повышенных температурах: АК4, АК6, АК8, АК4-1.

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 1583-93) принято маркировать буквами и цифрами, где первая буква «А», а последующие буквы обозначают другие компоненты сплава с содержанием более 1 %. Цифра, стоящая после обозначения компонентов сплава (кроме алюминия), указывает их содержание в округленных целых процентах. Например, в марке АК12 12 % кремния, остальное – алюминий, в марке АК5М2 5 % кремния и 2 % меди, остальное – алюминий. Все литейные алюминиевые сплавы делят на пять групп, из которых наибольшей известностью пользуются силумины – сплавы алюминия с кремнием и сплавы алюминия с медью. Типичным силумином является сплав АК12, содержащий 10–13 % кремния. В конце марок литейных алюминиевых сплавов могут стоять дополнительные обозначения: ч – чистый; пч – повышенной чистоты; оч – особой чистоты; л – литейные сплавы; с – селективный, например, АМг10ч.

Порошковые алюминиевые сплавы – сплавы, получаемые спеканием порошка алюминия с порошками других металлов и неметаллов. Например, САП (спеченная алюминиевая пудра) – спеченные сплавы на основе Al–Al₂O₃, и САС (спеченные алюминиевые сплавы) – спеченные сплавы на основе алюминия, содержащие кремний и никель.

Алюминий имеет малую плотность, высокие электропроводность, теплопроводность и коррозионную стойкость, что определяет его широкое применение. Алюминий и его сплавы применяют в электротехнике, авиации, машиностроении, пищевой промышленности, строительстве и многих других отраслях производства.

Медь и медные сплавы

Медь. В зависимости от чистоты медь изготавливают следующих марок: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,97 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,50 % Cu), М4 (99,0 % Cu), М0б бескислородная (99,97 % Cu), медь

вакуумная (99,99 % Cu) (ГОСТ 859-2001). Присутствующие в меди примеси оказывают большое влияние на ее свойства.

Медные сплавы. Различают две основные группы медных сплавов:

- 1) латуни – сплавы меди с цинком;
- 2) бронзы – сплавы меди с другими элементами, в числе которых может быть и цинк, но только наряду с другими элементами.

Латуни. Медно-цинковые деформируемые латуни выпускают восьми марок: Л96, Л90, Л85, Л80, Л70, Л68, Л63, Л60, где буква «Л» – латунь, число указывает среднее содержание меди.

В обозначениях марок латуней более сложного состава после буквы Л следует сокращенное обозначение легирующих элементов: А – алюминий; Б – бериллий; Мц – марганец; Су – сурьма; К – кремний; Н – никель; Ж – железо; С – свинец; Мг – магний; Ср – серебро; Мш – мышьяк; Т – титан; Кд – кадмий; О – олово; Ф – фосфор; Х – хром; Ц – цинк.

Цифры и числа, стоящие после обозначения легирующих элементов, указывают содержание меди и этих элементов. Например: ЛС-59-1 означает латунь свинцовистая, содержащая 59 % меди и 1 % свинца; ЛМцА-57-3-1 – латунь марганцовисто-алюминиевая, содержащая 57 % меди, 3 % марганца и 1 % алюминия. Содержание цинка определяется по разности от 100 % (ГОСТ 15527-2004).

В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, его обозначающей. Например, латунь ЛЦ40Мц3А содержит 40 % цинка, 3 % марганца и 1 % алюминия.

В группу латуней входят также томпак (90 % и более меди, остальное – цинк, если эти сплавы содержат до 86 % меди, их называют полутомпаками) и много других, не только двойных, но и более сложных сплавов.

Бронзы. Бронзы маркируют русскими буквами Бр, за которыми ставятся буквы и числа.

В марках деформируемых бронз сначала помещают буквы – символы легирующих элементов: О – олово, А – алюминий, Ж – железо, Ф – фосфор, Т – титан, Ц – цинк и др., а затем числа, указывающие их содержание. Например, бронза БрОЦ4-3 содержит в среднем 4 % олова, 3 % цинка, остальное – медь.

В марках литейных бронз после каждой буквы легирующего элемента указывается его среднее содержание. Например, БрО6Ц6С3 содержит 6 % олова, 6 % цинка, 3 % свинца, остальное – медь.

Титан и титановые сплавы

Титан. Технически чистый титан (ГОСТ 19807-91) маркируют в зависимости от содержания примесей ВТ1-00 (сумма примесей $\leq 0,10$ %), ВТ1-0 (сумма примесей $\leq 0,30$ %). Титан с содержанием примесей $\leq 0,093$ % называется иодидным титаном.

Титановые сплавы. Титановые сплавы классифицируют по технологии изготовления на деформируемые и литейные; по механическим свойствам – на сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и повышенной пластичности; по способности упрочняться с помощью термической обработки – на упрочняемые и неупрочняемые термообработкой.

В литейных титановых сплавах в конце марки указывается буква «Л», например, ВТ20Л, ВТ3-1Л и т. д.

Отличительными особенностями титана и его сплавов являются хорошие механические свойства, малая плотность, высокая удельная прочность, хорошие технологические свойства и отличная коррозионная стойкость, что определяет их широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении, химической и других отраслях промышленности.

Магний и его сплавы

Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью (1700 кг/м³). Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии, при повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. Он обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал чистый магний не используется. Для повышения химико-механических свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки.

Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые (ГОСТ 14957-76) и литейные (ГОСТ 2856-79). Первые маркируются буквами «МА», вторые «МЛ». После букв указывается порядковый номер сплава в соответствующем ГОСТе.

Примеры маркировки магниевых сплавов:

МА1 – деформируемый магниевый сплав № 1;

МЛ19 – литейный магниевый сплав № 19.

СОРТАМЕНТ И НАЗНАЧЕНИЕ ПРОКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Форма поперечного сечения прокатываемой полосы называется профилем, который по длине изделия может быть постоянным или переменным (периодическим). Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой на данном стане или группе станов, называется сортаментом.

В Российской Федерации все изделия, изготавливаемые прокаткой, стандартизированы ГОСТами. Различают стандарты на сортамент проката и на технические условия его поставки.

В стандартах на сортамент проката приведены размеры, площадь поперечного сечения, масса 1 м длины профиля и допускаемые отклонения от номинальных размеров. В стандартах на профили (балки, швеллеры и др.), применяемые для изготовления различных конструкций, кроме указанных данных, приведены также справочные величины: момент сопротивления, момент инерции, радиус инерции и др. Во всех стандартах на сортамент проката приведены также данные о длине поставляемых полос, допускаемых отклонениях по длине и др.

В стандартах на технические условия содержатся требования, предъявляемые к химическому составу стали, механическим свойствам, термической обработке, макро- и микроструктуре стали, поверхности прокатанного металла и другим качественным показателям прокатной продукции, а также указаны правила приемки, методы испытания, маркировки и прочее.

Все прокатные изделия в зависимости от формы можно разделить на четыре основных группы: 1) сортовую сталь; 2) листовую сталь; 3) трубы; 4) прочие виды проката.

Сортовая сталь – один из важнейших видов проката, сортамент которого является наиболее обширным. Она находит применение в различных отраслях народного хозяйства для изготовления деталей машин, станков, строительных и железобетонных конструкциях и т. д.

В зависимости от назначения сортовую сталь делят на профили простой геометрической формы (рис. 2), к которым относятся круглые, квадратные, овальные, шестигранные, полосовые и др., и фасонные профили общего, отраслевого и специального назначения.

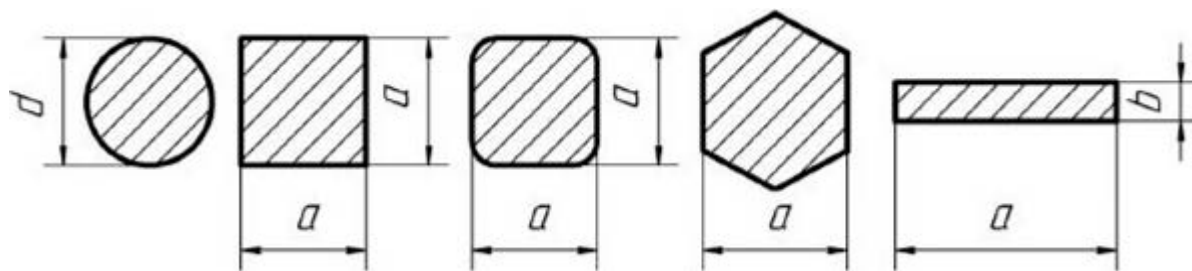


Рисунок 2. Примеры сортовой стали общего назначения с простой геометрической формой

К фасонным профилям общего назначения относят угловую равнобокую и неравнобокую стали, швеллеры, балки и зетовый профиль (рис. 3а). Эти профили широко применяют при изготовлении стальных конструкций, различных машин, промышленных сооружений, транспортных средств и т. д.

Большая часть профилей общего назначения не удовлетворяет требованиям отдельных отраслей промышленности, поэтому в каждом конкретном случае разрабатывают такие профили, применение которых позволяет упростить конструкцию, уменьшить массу, сократить время и затраты на их изготовление.

К профилям отраслевого назначения относят рельсы для железнодорожного транспорта и профили, применяемые в автомобильной промышленности, тракторостроении, вагоностроении, строительстве и гидротехнических сооружениях, судостроении, сельскохозяйственном, химическом и нефтяном машиностроении, в энергетике и электротехнической промышленности и других отраслях. Примеры таких профилей приведены на рисунке 3б.

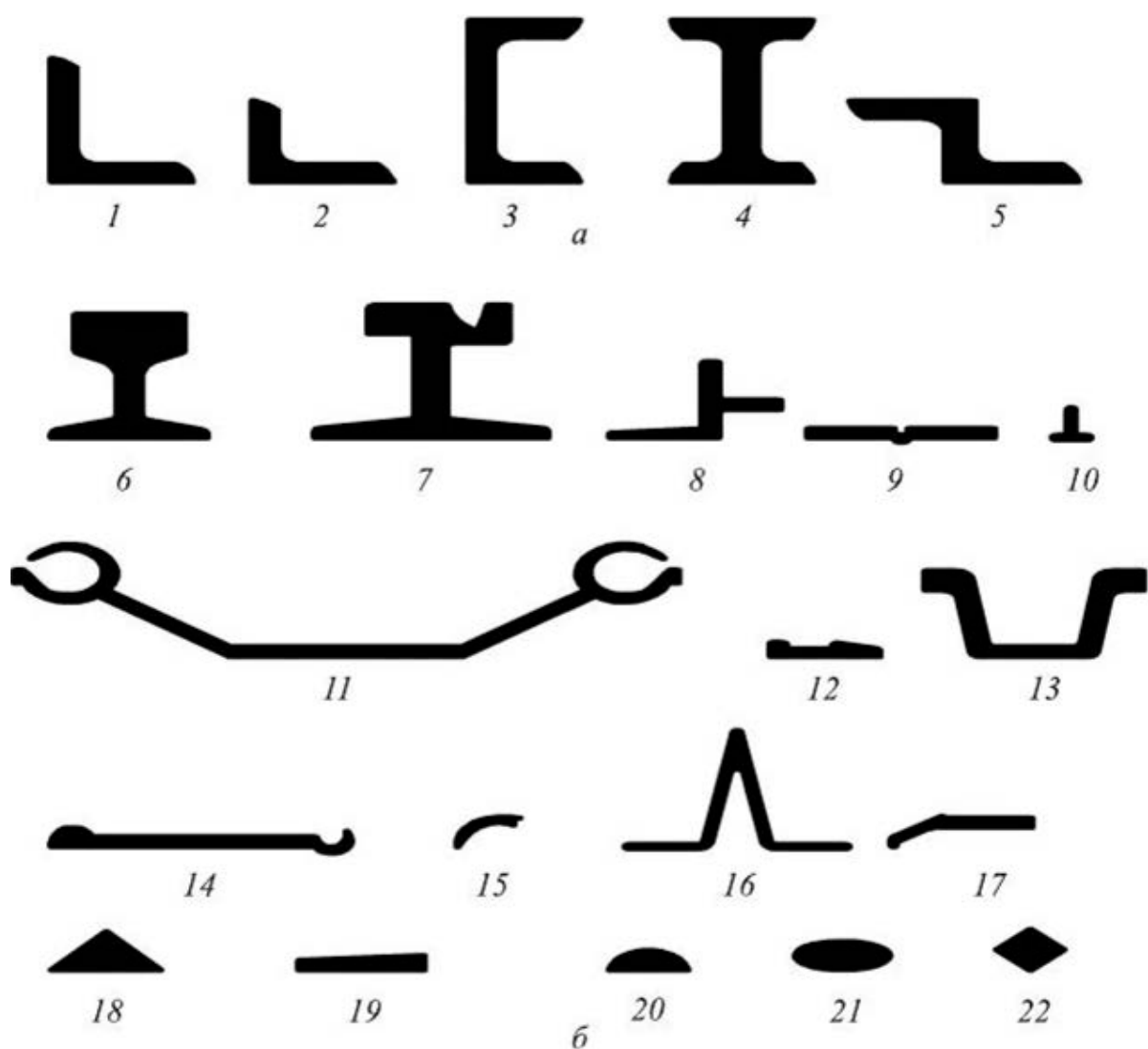


Рисунок 3. Сортамент сортовой стали:

a – фасонная общего назначения, *б* – специального назначения; 1 – равнобокая угловая; 2 – неравнобокая угловая; 3 – швеллер; 4 – балка; 5 – зетовая; 6 – рельс железнодорожный; 7 – рельс трамвайный; 8 – зетобразный профиль; 9 – рессорный желобчатый; 10 – оконно-рамный; 11 – шпунтовая свая; 12 – для колосниковых решеток; 13 – для шахтных креплений; 14 – для автомобильных ободов; 15 – для бортовых колец автомобилей; 16 – для тракторных шпор; 17 – для подбичников; 18 – трехгранный профиль; 19 – клиновидный; 20 – сегментный; 21 – овальный; 22 – ромбический

Листовую сталь в зависимости от толщины делят на две основные группы: толщиной более 4 мм относят к толстолистовой, а менее 4 мм – к тонколистовой стали.

Толстолистовую сталь толщиной от 4 до 160 мм из различных видов сталей и сплавов поставляют в горячекатаном состоянии для различных отраслей машиностроения, судостроения, предприятий авиационной промышленности, котлостроения, мостостроения, для железнодорожного транспорта и целого ряда других отраслей народного хозяйства. Ширина

листов колеблется от 600 до 4000 мм. В некоторых случаях ширина листов может достигать 5200 мм при длине до 50 м.

Размеры холоднокатаной тонколистовой стали, регламентированные стандартом, отличаются от горячекатаных и изменяются по толщине от 0,2 до 4,0 мм. В стандарте также оговорены ширина и длина листов, а также допускаемые отклонения по толщине, ширине и длине листов. Современными станами для горячей и холодной прокатки тонколистовой стали являются непрерывные станы. Толстолистовую сталь прокатывают на толстолистовых станах. Характерной особенностью листопрокатного производства является непрерывное увеличение доли холоднокатаной листовой стали в общем выпуске листовой стали.

Назначение тонколистовой стали весьма разнообразно. Возросла потребность в холоднокатаной конструкционной тонколистовой стали толщиной 0,5–3,0 мм для автомобильной и тракторной промышленности. Эта листовая сталь подвергается глубокой вытяжке, поэтому она должна иметь бездефектную поверхность и достаточную ударную вязкость. Наряду с общим увеличением производства листовой стали возрастает производство листовой нержавеющей стали, жести, трансформаторной стали и двухслойных сталей. Расширение производства и применение двухслойной коррозионностойкой листовой стали позволяет увеличить общий объем выпуска листовой стали без дополнительного расхода дорогостоящих легирующих компонентов. Применение таких сталей обеспечивает их экономию в среднем на 70 %. Значительно расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовыми покрытиями.

Трубы

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Доля труб в общем выпуске проката увеличивается с каждым годом; особенно быстро растет производство сварных и холоднокатаных труб диаметром 650 мм с толщиной стенки 2,5–75 мм. Горячекатаные трубы диаметром до 17 мм изготавливают на современных редуционных многовалковых станах с натяжением, а трубы диаметром до 820 мм и выше – на станах-расширителях.

Волочением и холодной прокаткой изготавливают трубы диаметром 0,3–200 мм с толщиной стенки 0,2–12 мм. Основной сортament труб, который охватывает холодноотянутые и холоднокатаные трубы из углеродистой и легированной стали, используется для трубопроводов и деталей конструкций разного назначения.

Сварные трубы диаметром 5–2500 мм с толщиной стенки 0,5–35 мм получают из углеродистых и низколегированных сталей.

Трубы водогазопроводные (газовые) диаметром 6–168 мм из низкоуглеродистой стали изготавливают в основном печной сваркой встык, а также контактной и индукционной электрической сваркой. Эти трубы применяют для водо-, воздухо- и газопроводов, а также для систем отопления и деталей конструкций.

Трубы электросварные большого диаметра изготавливают дуговой сваркой под слоем флюса из углеродистых и легированных сталей. Эти трубы используют для магистральных трубопроводов газа, нефти, воды и других жидкостей.

Бесшовные трубы диаметром до 216 мм и толщиной стенки до 25 мм изготавливают на продольно-винтовых станах горячей прокатки. Эти трубы используются при бурении нефтегазовых скважин, в опорных конструкциях различных сооружений и в других отраслях промышленности.

В трубный сортамент входят также фасонные трубы (рис. 4) и трубы переменного сечения (переменными размерами по длине трубы могут быть диаметр и толщина стенки – отдельно и одновременно).

Гнутые профили, изготавливаемые из листов и ленты толщиной от 0,2 до 20 мм, широко применяют в разных отраслях промышленности и для бытовых целей (например, для элементов строительных конструкций и машин, для оконных переплетов, дверей, витрин и др.). По сравнению с горячекатаными профилями гнутые профили обеспечивают большую точность, имея меньшую толщину, могут иметь закрытую форму, не выполняемую при прокатке (рис. 5).

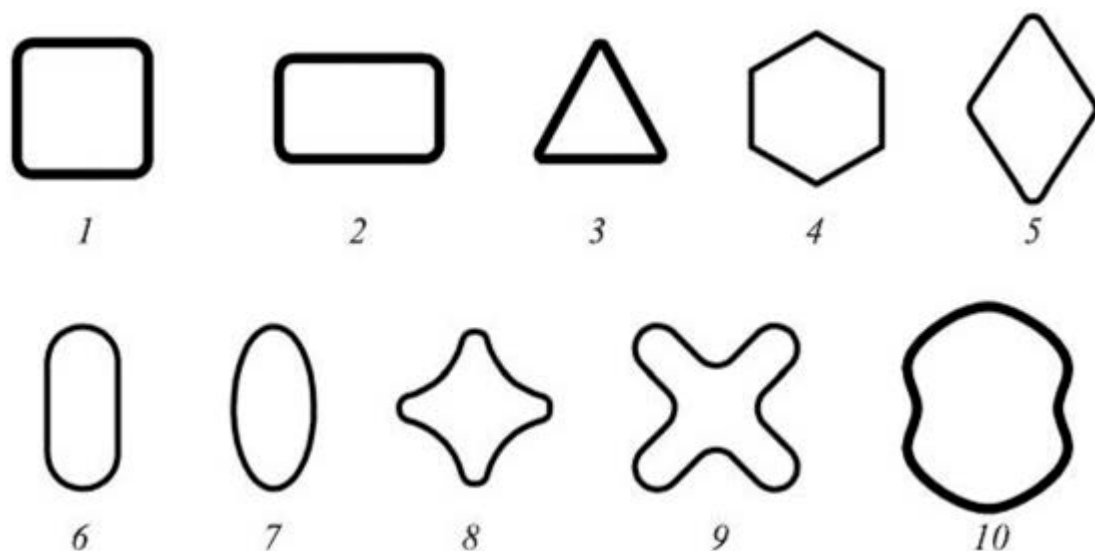


Рисунок 4. Примеры фасонных профилей:

- 1 – квадратный; 2 – прямоугольный; 3 – треугольный; 4 – шестигранный;
5 – ромбический; 6 – плоскоовальный для линий электропередачи;
7 – овальный для самолетостроения; 8-10 – специальные

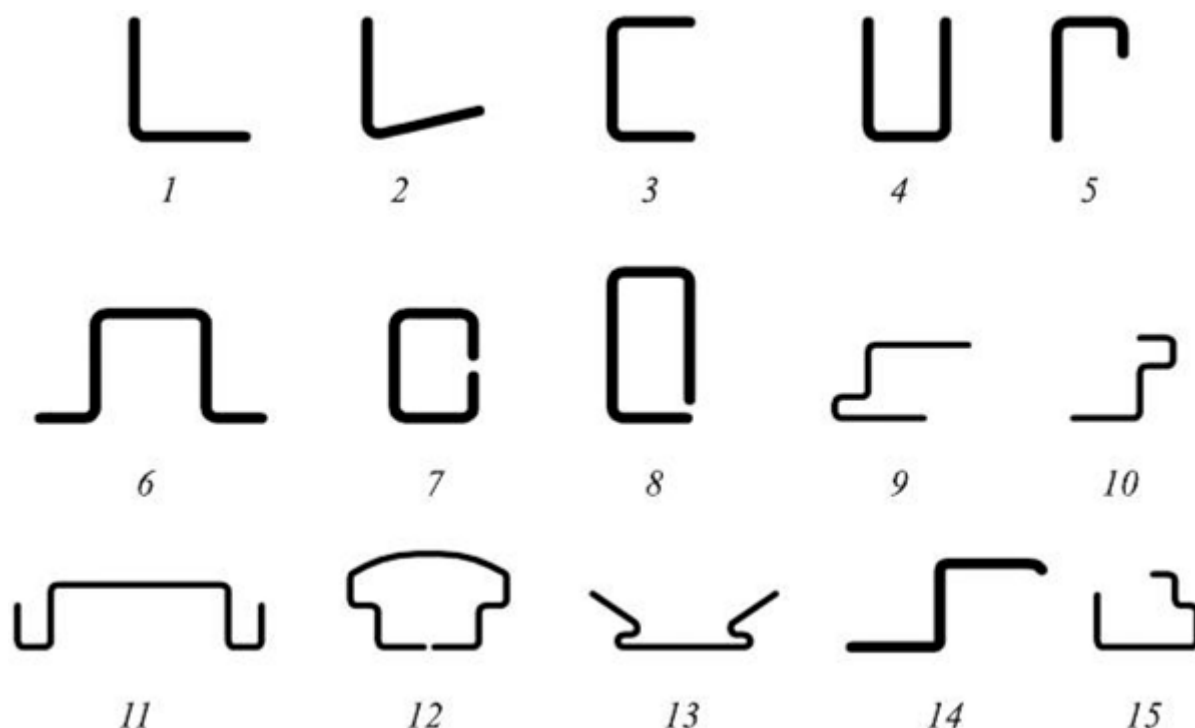


Рисунок 5. Примеры гнутых профилей:

- 1 – равнобокая угловая сталь; 2 – специальная угловая сталь; 3 – швеллер;
 4 – U-образный профиль; 5 – Г-образный профиль; 6 – корытообразный
 профиль; 7 – С-образный профиль; 8 – полный прямоугольный профиль;
 9 – дверной профиль; 10 – профиль для ворот; 11 – оконно-рамный профиль;
 12 – профиль для ограждения; 13 – профиль для металлической мебели;
 14, 15 – профили для транспортного машиностроения

Значительно возросла потребность в арматурной стали. Увеличение потребности в этой стали обеспечивается изготовлением арматуры из сталей, обладающих более высокими механическими свойствами и повышенным сцеплением металла с бетоном. Применение периодических профилей для железобетонной арматуры сокращает расход металла на 40 %.

На рисунке 6 представлена сталь горячекатаная периодического профиля для армирования железобетонных конструкций как сборных (колонны, балки, фермы, плиты перекрытий и др.), так и монолитных (гидросооружения, крупные фундаменты и др.). Эта сталь периодического профиля представляет собой круглые стержни с выступами, идущими по трехзаходной винтовой линии, с двумя продольными ребрами.

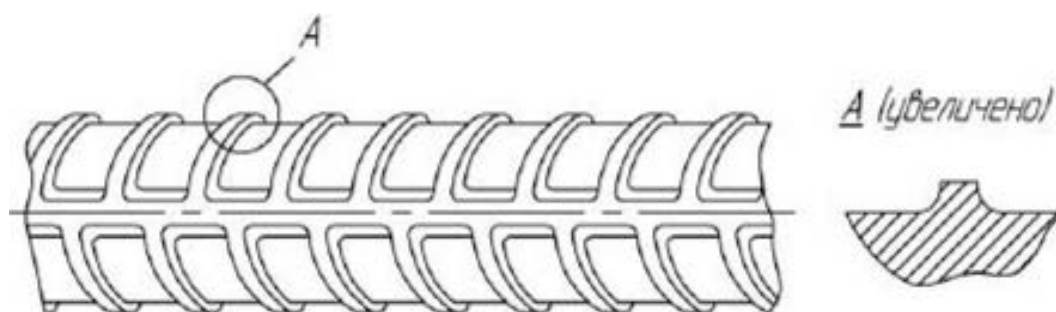


Рисунок 6. Сталь горячекатаная периодического профиля для арматуры железобетонных конструкций

ЗАДАНИЕ

Расшифровать марки сталей, чугунов, цветных металлов, сплавов, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Индивидуальные задания для расшифровки марок сталей, чугунов, цветных металлов

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4	Вариант № 5	Вариант № 6
Стали					
Ст1кп	Ст1пс	Ст3сп	Ст4кп	Ст5Гпс	Ст3кп
Сталь 25	Сталь 45	Сталь 60Г	У7	У8	ШХ15ГС
40ХГТР	ХВГ	У9А	А12	30ХГС-III	35ХГСА
Чугуны					
СЧ10	ВЧ70	КЧ35	СЧ15	ВЧ60	СЧ20
Цветные металлы и сплавы					
БрА9Мц2Л	ЛС-59-1	АК12	ВТ4	АК5М2	Л90

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Для какой цели маркируют стали, чугуны и цветные металлы?
2. Для какой цели легируют сталь?
3. Почему не применяют белый чугун в машиностроении?
4. Чем отличается бронза от латуни?
5. На какие группы разделяют алюминиевые сплавы?

2. СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ

Свариваемостью называют способность однородных и разнородных материалов образовывать сварное соединение, которое может работать при заданных условиях эксплуатации (нагрузка, окружающая среда, температура и т. п.). Под хорошей свариваемостью низкоуглеродистых сталей, предназначенных для сварки конструкций, которые работают при статических нагрузках, понимают возможность получения при обычной технологии

сварного соединения, равнопрочного с основным материалом, без трещин в металле шва и без снижения пластичности в околошовной зоне. При сварке легированных сталей под свариваемостью, кроме указанных выше свойств, подразумевают также стойкость против образования трещин и закалочных структур в околошовной зоне и обеспечение специальных свойств (коррозионной стойкости, прочности при высоких и низких температурах и т. п.) металла шва и в целом сварного соединения. При сварке плавлением хорошо свариваются металлы, имеющие взаимную растворимость (например, сталь со сталью, чугун с чугуном, медь с медью и т. п.).

Углерод является наиболее важным элементом в составе стали, определяющим почти все основные ее свойства в процессе обработки, в том числе и свариваемость.

Низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали свариваются хорошо. Стали, содержащие $C > 0,35 \%$, свариваются хуже. С увеличением содержания углерода свариваемость стали ухудшается. В околошовных зонах появляются закалочные структуры и трещины, а шов получается пористым.

Марганца в стали содержится обычно $0,3\text{--}0,8 \%$, что не затрудняет сварку стали. Однако при повышенном содержании марганца ($1,8\text{--}2,5 \%$) прочность, твердость и закаливаемость стали возрастают, и это способствует образованию трещин. При сварке высокомарганцовистых сталей ($11\text{--}16 \%$ Mn) происходит выгорание марганца, если не принять меры по его восполнению через электродное покрытие, флюсы и др.

Хром увеличивает прочность стали, повышает ее устойчивость против коррозии и длительного воздействия высоких температур. Однако с увеличением содержания хрома возрастает закаливаемость сталей и ухудшается их свариваемость.

Никель повышает прочность, пластичность и коррозионную стойкость стали, улучшает свариваемость. Однако при сварке требуется защита от воздействия кислорода воздуха во избежание выгорания никеля.

Титан повышает прочность, ударную вязкость стали, улучшает ее свариваемость, способствует измельчению зерен при кристаллизации металла. При сварке связывает углерод, препятствуя образованию карбидов хрома по границам зерен и возникновению межкристаллитной коррозии металла сварного соединения хромосодержащих сталей.

Кремний содержится в обычной углеродистой стали в пределах $0,02\text{--}0,3 \%$ и существенного влияния на свариваемость не оказывает. При повышенном содержании ($0,8\text{--}1,5 \%$) кремний затрудняет сварку, так как придает стали жидкотекучесть и образует тугоплавкие окислы и шлаки.

Сера является самой вредной примесью стали. Содержание серы в стали допускается не более $0,05 \%$. Сера образует в металле сернистое железо, которое имеет более низкую температуру плавления, чем сталь, и плохо растворяется в расплавленной стали. При кристаллизации стали сернистое железо располагается между кристаллами металла шва и способствует образованию трещин.

Фосфор является также вредной примесью стали. Содержание фосфора в стали доходит до 0,05 %. Фосфор ухудшает свариваемость стали, так как образует хрупкое фосфористое железо, придает стали хладноломкость.

Металлы при сварке плавлением могут образовывать сварные соединения того или иного качества. Разница между металлами, обладающими хорошей и плохой свариваемостью, заключается в том, что при сварке последних необходима более сложная технология (строгое соблюдение параметров режима, предварительный подогрев, термическая обработка и т. д.).

Усложнение технологии в ряде случаев делает процесс изготовления сварных конструкций из плохо свариваемых материалов экономически нецелесообразными.

Оценку свариваемости материалов производят по совокупности характеристик, определяемых различными способами по результатам испытаний сварных соединений. При этом оценивают стойкость к образованию горячих и холодных трещин, склонность к старению, стойкость против перехода в хрупкое разрушение, а также прочность, пластичность и вязкость в условиях эксплуатации, стойкость против коррозии и т. п.

По признаку свариваемости все стали можно условно разделить на четыре группы:

1. Хорошо сваривающиеся, у которых $C_{\text{ЭКВ}}$ не более 0,25. Эти стали не дают трещин при сварке обычным способом, т. е. без предварительного и сопутствующего подогрева и последующей термообработки.

2. Удовлетворительно сваривающиеся, у которых $C_{\text{ЭКВ}}$ в пределах 0,25–0,35; они допускают сварку без появления трещин только в нормальных производственных условиях, т. е. при окружающей температуре выше 0 °С, отсутствии ветра и пр.

К этой же группе относят стали, нуждающиеся в предварительном подогреве или предварительной и последующей термообработке для предупреждения образования трещин при сварке в условиях, отличающихся от нормальных (при температуре ниже 0 °С, ветре и др.).

3. Ограниченно сваривающиеся, у которых $C_{\text{ЭКВ}}$ в пределах 0,35–0,45; они склонны к образованию трещин при сварке в обычных условиях. При сварке таких сталей необходима предварительная термообработка и подогрев. Большинство сталей этой группы подвергают термообработке и после сварки.

4. Плохо сваривающиеся, у которых $C_{\text{ЭКВ}}$ выше 0,45; такие стали склонны к образованию трещин при сварке.

Их можно соединять только с предварительной термообработкой, подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой.

Оценку свариваемости металлов, как правило, производят не в абсолютных величинах, а по сравнению со свойствами основного металла или ранее применявшихся материалов. Наиболее простым способом оценки свариваемости сталей является оценка их склонности к образованию горячих трещин по расчету показателя UCS (Units of Crack Susceptibilite) – единицы

склонности к горячим трещинам (по EN 1011-2, на основе процентного содержания в них легирующих элементов).

Для всех углеродистых и легированных сталей расчет ведут по формуле:

$$UCS = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1,$$

где C, S, P, Nb, Si, Mn – химические элементы.

При $UCS < 10$ сталь имеет высокую сопротивляемость образованию трещин, при $UCS 10-30$ – среднюю, а при $UCS > 30$ – низкую.

На практике одним из основных и зачастую трудно определимым дефектом сварного шва являются холодные трещины. Поэтому наиболее популярной и основной оценкой свариваемости стали является ее определение по эквиваленту углерода $C_{э\text{кв}}$ (%) (ГОСТ 27772-2015).

Для оценки склонности низколегированных сталей к образованию холодных трещин можно использовать расчет $C_{э\text{кв}}$ (%) по соотношению:

$$C_{э\text{кв}} = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + \\ + Mo/4 + V/14 + Cu/13 + P/2.$$

Медь и фосфор учитывают, если их концентрации превышают следующие значения: Cu более 0,5 %, P более 0,05 %.

Стали, у которых $C_{э\text{кв}}$ более 0,35 %, считают потенциально склонными к образованию холодных трещин. Увеличение толщины свариваемого материала ухудшает его свариваемость и в ряде случаев это надо учитывать.

Для углеродистых сталей:

$$C_{э\text{кв}} = C + Mn/6 + 0,0025S \leq 0,5\%.$$

Для легированных сталей:

$$C_{э\text{кв}} = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10 + 0,0025S \leq 0,45\%.$$

Если полученная величина $C_{э\text{кв}}$ выше указанных значений, то при сварке стали следует производить ее предварительный подогрев, температуру которого определяют по соотношению:

$$T_{\text{под}} = 350\sqrt{C_{э\text{кв}} - 0,25}.$$

Углеродистые стали по свариваемости можно условно подразделить на следующие группы: хорошо сваривающиеся стали Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 (ГОСТ 380-2005); 08, 10, 15, 20, 25 (ГОСТ 1050-2013); удовлетворительно сваривающиеся стали Ст5 (ГОСТ 380-2005); 30, 35 (ГОСТ 1050-2013); ограниченно сваривающиеся стали Ст6, Ст7 (ГОСТ 380-2005); 40, 45, 50 (ГОСТ 1050-2013); плохо сваривающиеся стали 60Г, 65Г, 70Г, 70, 75, 80, 85.

Примеры расчета свариваемости сталей

Пример № 1. Требуется произвести оценку свариваемости стали Ст2кп. Для оценки свариваемости стали Ст2кп необходимо иметь данные о ее химическом составе. Эти данные можно получить из ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества». Для удобства расчетов химический состав стали Ст2кп представлен в виде таблицы (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав стали Ст2кп

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	Углерода C	Марганца Mn	Кремния Si	Фосфора P	Серы S	Хрома Cr	Никеля Ni	Меди Cu	Мышььяка As
	Не более								
Ст2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	Не более 0,07	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,08

Некоторые химические элементы, входящие в состав стали Ст2кп, указаны в таблице 2 с нижним и верхним пределами массовой доли. К таким элементам относится углерод $C = 0,09-0,15$ %, марганец $Mn = 0,25-0,50$ %. Для дальнейших расчетов можно использовать их средние показатели: $C = 0,12$ %, $Mn = 0,37$ %.

$$UCS = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb - 12,3 \cdot Si - 5,4 \cdot Mn - 1 = 230 \cdot 0,12 + 190 \cdot 0,05 + 75 \cdot 0,04 + 45 \cdot 0 - 12,3 \cdot 0,07 - 5,4 \cdot 0,37 - 1 = 36,34$$

$$C_{э\kappa\beta} = C + Mn/6 + 0,0025 \cdot S = 0,12 + 0,37/6 + 0,0025 \cdot 0,05 = 0,18 \%$$

Вывод. Значение показателя $UCS > 30$, следовательно, сталь имеет склонность к образованию горячих трещин; значение показателя $C_{э\kappa\beta} < 0,35$ %, поэтому сталь не имеет склонности к образованию холодных трещин, а также не требует дополнительного подогрева. Свариваемость стали хорошая.

Пример № 2. Требуется провести оценку свариваемости стали 14Г. Справочные данные о химическом составе стали 14Г получаем из ГОСТ 19281-89 «Сталь низколегированная конструкционная» (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав стали 14Г

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	Углерода C	Марганца Mn	Кремния Si	Фосфора P	Серы S	Хрома Cr	Никеля Ni	Меди Cu
	Не более							
14Г	0,12-0,18	0,70-1,00	0,17-0,37	0,035	0,040	0,30	0,30	0,30

Для дальнейших расчетов принимаем средние значения углерода $C = 0,15$ %, марганца $Mn = 0,85$ %, кремния $Si = 0,27$ %.

$$UCS = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb - 12,3 \cdot Si - 5,4 \cdot Mn - 1 = 230 \cdot 0,15 + 190 \cdot 0,040 + 75 \cdot 0,035 + 45 \cdot 0 - 12,3 \cdot 0,27 - 5,4 \cdot 0,85 - 1 = 35,81$$

$$C_{э\kappa\beta} = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Mo/4 + V/14 + Cu/13 + P/2 = 0,15 + 0,85/6 + 0,27/24 + 0,30/5 + 0,30/40 + 0/4 + 0/14 + 0,30/13 + 0,035/2 = 0,40 \%$$

Вывод. Полученное значение показателя $UCS > 30$ указывает на то, что при сварке сталь имеет склонность к образованию горячих трещин; полученное

значение показателя $C_{\text{экв}}$ находится в пределах значений от 0,36 до 0,45 % и указывает на то, что сталь имеет склонности к образованию холодных трещин. Свариваемость стали ограниченная.

Пример № 3. Требуется провести оценку свариваемости стали 35ХГСА. Справочные данные о химическом составе стали 35ХГСА получаем из ГОСТ 4543-2016 «Металлопродукция из конструкционной легированной стали» (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав стали 35ХГСА

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	Углерода C	Марганца Mn	Кремния Si	Хрома Cr	Фосфора P	Серы S	Никеля Ni	Меди Cu
	Не более							
35ХГСА	0,32-0,39	0,80-1,10	1,1-1,4	1,1-1,4	0,025	0,025	0,30	0,30

Для дальнейших расчетов принимаем средние значения концентрации углерода $C = 0,35$ %, марганца $Mn = 0,95$ %, кремния $Si = 1,25$ %, хрома $Cr = 1,25$ %.

$$UCS = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb - 12,3 \cdot Si - 5,4 \cdot Mn - 1 = 230 \cdot 0,35 + 190 \cdot 0,025 + 75 \cdot 0,025 + 45 \cdot 0 - 12,3 \cdot 1,25 - 5,4 \cdot 0,95 - 1 = 65,62$$

$$C_{\text{экв}} = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10 + 0,0025 \cdot S = 0,35 + 0,95/20 + 0,30/15 + (1,25 + 0 + 0)/10 + 0,0025 \cdot 0,025 = 0,53 \%$$

Вывод. Полученное значение показателя $UCS > 30$ указывает на то, что при сварке сталь имеет склонность к образованию горячих трещин; полученное значение $C_{\text{экв}} > 0,45$ % указывает, на то, что сталь имеет склонности к образованию холодных трещин. Свариваемость стали плохая.

Перед сваркой требуется предварительный подогрев, температура которого рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{под}} = 350 \sqrt{C_{\text{экв}} - 0,25} = 350 \sqrt{0,53 - 0,25} = 185^{\circ} C$$

ЗАДАНИЕ

Для сталей, представленных в таблице 5, произвести оценку свариваемости.

Таблица 5. Индивидуальные задания для расчета свариваемости сталей

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4	Вариант № 5	Вариант № 6
Сталь					
СТ1кп	СТЗпс	15	45	14Г2	40ХГТР

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Почему низкоуглеродистые стали хорошо свариваются?
2. Какое влияние оказывает углерод на свариваемость деталей?
3. Почему введение легирующих элементов в сталь ухудшает свариваемость деталей?
4. В чем разница между хорошей и плохой свариваемостью?
5. Назовите способы оценки свариваемости сталей?

3. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К сварочным материалам относятся:

- сварочные проволоки;
- электроды;
- инертные и активные защитные газы.

СВАРОЧНЫЕ ПРОВОЛОКИ

Сварочная проволока используется для различных видов сварки: ручной дуговой, полуавтоматической, автоматической, газовой, аргонодуговой и прочих. Выпускается большое количество разных марок изделия, но все они поддаются определенной классификации.

Назначение

По назначению сварочная проволока делится на изделия общего и специального назначения. Проволока общего назначения используется для проведения сварочных (маркируется Св) или наплавочных (Нп) работ для всех видов сталей, а также изготовления электродов (Э). Проволока специального назначения в большинстве случаев изготавливается из того же материала, что и свариваемое изделие, с некоторыми добавками:

- для полуавтоматической или автоматической сварки алюминия или его сплавов применяется проволока из этого же материала или с добавками магния и кремния;
- для работы с нержавеющей стали или жаропрочными сплавами применяется высоколегированная жаропрочная сварочная проволока. В ее состав входят кремний для обеспечения качества шва и углерод для предотвращения межкристаллической коррозии;
- работа с медью ведется медной проволокой под слоем флюса;
- для сварки никеля применяется проволока из этого же материала с добавками марганца (до 2 %), кремния (до 0,8 %), титана (до 0,1 %) и магния (до 0,3 %);
- сварка чугуна ведется проволокой, в состав которой входят железо, никель, медь, марганец, кремний и углерод;
- для сварки титана применяется аргонодуговая сварка с использованием титановой порошковой проволоки.

Вид поверхности

По виду поверхности сварочная проволока делится на омедненную (маркируется буквой О) и не омедненную. Оба вида изделий позволяют получить аккуратный, прочный и надежный сварочный шов. Они обеспечивают непрерывную работу при небольших расходах присадочных материалов и стабильном горении дуги.

При сварке в защитном газе от сварочной проволоки зависят свойства металла шва и его легирование. При этом важно состояние поверхности электрода. Для его защиты от коррозии применяется медное покрытие. Дополнительно оно позволяет уменьшить усилие проталкивания проволоки и снизить разбрызгивание металла по сравнению с коррозированными образцами на 30–40 %. Этот вид изделий применяется для работы с низколегированными и углеродистыми сталями.

Структура

По структуре различают три вида проволоки:

1. Сплошная. Используется при автоматической или полуавтоматической сварке, изготовлении электродов. Она может быть стальной, медной или алюминиевой.

2. Порошковая. Представляет собой металлическую оболочку, заполненную порошкообразными веществами (рис. 7). В состав смеси входят минералы, руды, ферросплавы и металлические порошки, предназначенные для газшлаковой защиты расплавленного металла, раскисления, легирования и стабилизации дугового разряда. Наполнитель стальной оболочки выполняет те же функции, что и покрытие плавящегося электрода. По конструкции порошковые проволоки могут быть классифицированы на бесшовные (рис. 7а) и шовные (рис. 7б-е), с одним и двумя загибами (рис. 7г, д), а также двухслойные (рис. 7е). Загибы металлической оболочки создаются для того, чтобы проволока обладала необходимой степенью жесткости. Помимо этого загибы предотвращают несанкционированное высыпание порошка в процессе сдвигания материала подающими роликами сварочного полуавтомата.

Проволоки простых трубчатых конструкций (рис. 7а-в) обычно используют для сварки в углекислом газе. Проволоки сложных конструкций – с одним и двумя загибами кромок (рис. 7г, д), а также двухслойные (рис. 7е) применяются без дополнительной защиты.

3. Активированная проволока похожа на порошковую, но содержит значительно меньше флюса. Ее основу составляет стальная проволока Св08Г2С. Применяется для полуавтоматической сварки низколегированных сталей в среде углекислого газа.

Химический состав

Химический состав и сортамент выпускаемых электродных проволок для производства сварочных и наплавочных работ регламентирован государственными стандартами:

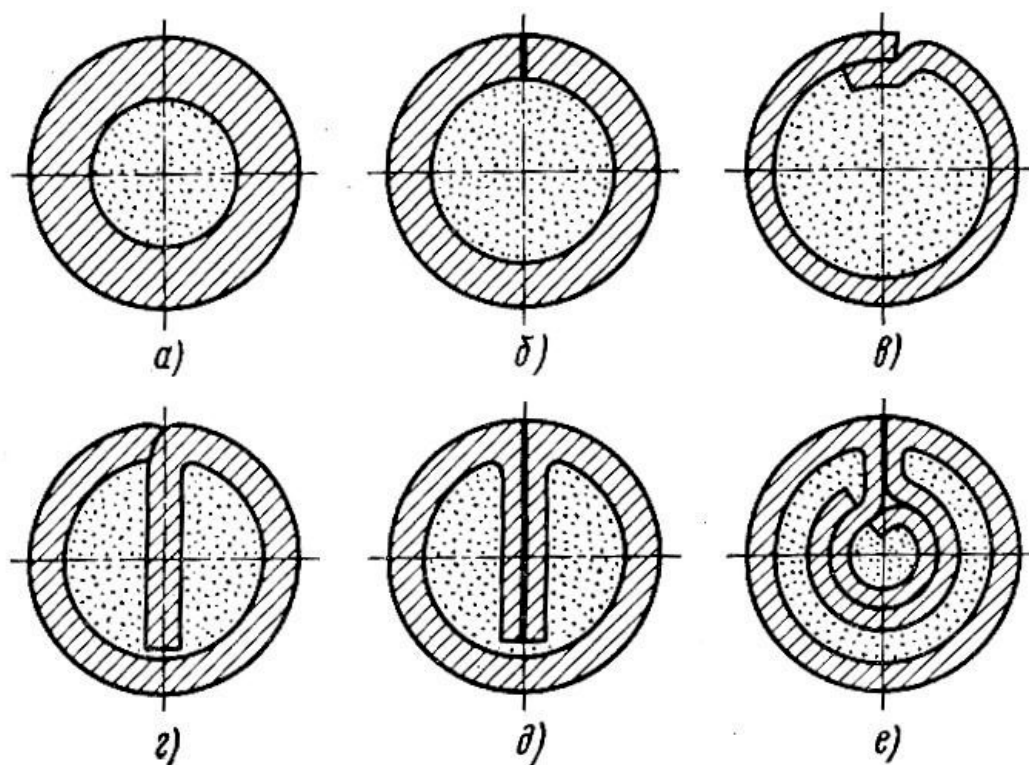


Рисунок 7. Конструкция порошковой проволоки:

a-в – простые трубчатые; *г* – с одним загибом оболочки; *д* – с двумя загибами оболочки; *е* – двухслойная

- ГОСТ Р 2246-2020. Проволока стальная сварочная;
- ГОСТ 10543-98. Проволока стальная наплавочная;
- ГОСТ 7871-2019. Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов;
- ГОСТ 16130-90. Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные;
- ГОСТ 26271-84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей.

Проволока стальная сварочная

Стальная сварочная проволока по ГОСТ Р 2246-2020 изготавливается следующих марок:

- *низкоуглеродистая* Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2;

- *легированная* Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮЦА (ЭП-439), Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-08МХ, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХНМ, Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-08ХГ2С, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМФА, Св-04Х2МА, Св-13Х2МФТ, Св-08Х3Г2СМ, Св-08ХМНФБА, Св-08ХН2М, Св-10ХН2ГМТ (ЭИ-984), Св-08ХН2ГМТА (ЭП-111), Св-08ХН2ГМЮ, Св-08ХН2Г2СМЮ, Св-06НЗ, Св-10Х5М;

- *высоколегированная* Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-08Х14ГНТ, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Х16Н8М2 (ЭП-377), Св-08Х18Н8Г2Б (ЭП-307), Св-07Х18Н9ТЮ, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н9С2, Св-08Х19Н9Ф2С2, Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-07Х19Н10Б, Св-08Х19Н10Г2Б (ЭИ-898), Св-06Х19Н10М3Т, Св-08Х19Н10М3Б (ЭИ-902), Св-04Х19Н11М3, Св-05Х20Н9ФБС (ЭИ-649), Св-06Х20Н11М3ТБ (ЭП-89), Св-10Х20Н15, Св-07Х25Н12Г2Т (ЭП-75), Св-06Х25Н12ТЮ (ЭП-87), Св-07Х25Н13, Св-08Х25Н13БТЮ (ЭП-389), Св-13Х25Н18, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-08Х21Н10Г6, Св-30Х25Н16Г7, Св-10Х16Н25АМ6, Св-09Х16Н25М6АФ (ЭИ-981А), Св-01Х23Н28М3Д3Т (ЭП-516), Св-30Х15Н35В3Б3Т, Св-08Н50 и Св-06Х15Н60М15 (ЭП-367).

По сортаменту стальная сварочная проволока выпускается следующих номинальных диаметров (мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0. Проволока поставляется в мотках диаметром 150–750 мм, массой от 1,5 до 40 кг, а также намотанной на катушки и кассеты.

Проволока стальная наплавочная

Проволока стальная наплавочная по ГОСТ10543-98 должна изготавливаться следующих марок:

- *углеродистая* Нп-30, Нп-45, Нп-50, Нп-85;
- *легированная* Нп-40Г, Нп-50Г, Нп-65Г, Нп-30ХГСА, Нп-30Х5, Нп-40Х3Г2МФ, Нп-40Х2Г2М, Нп-50ХНМ, Нп-50Х6ФМС, Нп-ХФА, Нп-105Х;
- *высоколегированная* Нп-20Х14, Нп-30Х13, Нп-30Х10Г10Т, Нп-40Х13, Нп-45Х4В3ГФ, Нп-Х2В8Г, Нп-60Х3В10Ф, Нп-Г13А, Нп-Х15Н60, Нп-Х20Н80Т, Нп-03Х15Н35Г7М6Б.

По сортаменту стальная наплавочная проволока выпускается следующих номинальных диаметров (мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0. Проволока поставляется в мотках диаметром 150–750 мм, массой от 2 до 30 кг, а также намотанной на катушки и кассеты.

Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов

Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов по ГОСТ7871-2019 выпускается следующих марок: СвА99, СвА97, СвА85Т, СвА5, СвАМц, СвАМг3, СвАМг5, Св1557, СвАМг6, СвАМг63, СвАМг61, СвАК5, СвАК10, Св1201.

По сортаменту сварочная проволока выпускается следующих номинальных диаметров (мм): 0,80; 0,90; 1,00; 1,12; 1,25; 1,40; 1,60; 1,80; 2,00; 2,24; 2,50; 2,80; 3,15; 3,55; 4,50; 5,00; 5,60; 6,30; 7,10; 8,00; 9,00; 10,00 11,20; и 12,50. Проволока поставляется в бухтах диаметром 500 мм до 1050 мм, вес которых не должен превышать 25 кг, а также намотанной на катушки.

Сварочные проволока и прутки из меди и ее сплавов

Сварочная проволока из меди и ее сплавов по ГОСТ16130-90 выпускается следующих марок:

- *медь и медные сплавы* М1, М1р, МСр1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2;

- *бронзы* БрКМц3-1, БрАМц9-2, БрХ0,7, БрХНТ, БрНЦр, БрАЖМц10-3-1,5, БрОЦ4-3, БрОФ6,5-0,15;

- *латуни* Л63, ЛО60-1, ЛКБО62-0,2-0,04-0,5, ЛК62-0,5.

Сварочные прутки из меди и ее сплавов по ГОСТ16130-90 выпускают следующих марок:

- *медь* М1р, М2р;

- *латунь* ЛМц58-2, ЛЖМц59-1-1, ЛОК59-1-0,3.

По сортаменту сварочная проволока выпускается следующих номинальных диаметров (мм): 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0.

По сортаменту сварочные прутки выпускают следующих номинальных диаметров (мм): 6,0; 8,0.

Проволока поставляется в мотках, катушках, барабанах, сердечниках массой от 3 кг до 20 кг.

Прутки поставляются длиной от 1 до 5 метров в пачках, вес которой не должен превышать 80 кг.

Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей

Марки порошковых проволок по ГОСТ 26271-84 не регламентированы, поэтому сварщики руководствуются рекомендациями нормативно-технической документации завода-изготовителя для каждой марки проволоки.

Для сварки открытой дугой углеродистых и легированных сталей применяют порошковые проволоки: ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН6 и т. д.

При сварке в углекислом газе применяют проволоки: ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-АН9.

Преимуществом порошковой проволоки является возможность за счет наполнителя в широких пределах регулировать химический состав шва, что используется при наплавке. Ими можно наплавлять изделия под флюсом, в защитных газах и открытой дугой. Разработаны порошковые проволоки: ПП-АН120, ПП-АН121, ПП-АН122 – для наплавки под флюсом деталей машин из углеродистых сталей; ПП-АН105 – для наплавки высокомарганцовистых сталей; ПП-АН170 – для наплавки высокохромистых сталей.

По сортаменту порошковая стальная сварочная проволока выпускается следующих номинальных диаметров (мм): 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,6; 4,0; 5,0; 6,0. Проволока поставляется в мотках диаметром 150-600 мм, массой от 3,0 до 80,0 кг, а также намотанной на катушки и кассеты.

Маркировка

Маркировка сплошных проволок

Маркировка сварочной проволоки применяется для понимания, с какими материалами придется иметь дело сварщику. Для примера разберем подробно как маркируется и расшифровывается стальная сварочная проволока по ГОСТ Р 2246-2020 (старый ГОСТ 2246-70).



Рисунок 8. Расшифровка сварочной проволоки

Первая цифра или две цифры маркировки обозначают диаметр, измеряемый в миллиметрах. Потом идут две определенные буквы, которые указывают назначение изделий (Св – сварочная, Нп – наплавочная). Дальнейший указатель показывает содержание углерода в сварочной проволоке, измеряется в сотых долях от процента. Далее находятся буквы, указывающие наличие определенных легирующих компонентов (Х – хром и т. д.) При содержании данных элементов более 1 % их указатель располагается после буквы. Если после буквенного обозначения элементов не содержится цифр (чисел), это означает, что содержание этих элементов в среднем составляет в пределах 1 %. Обозначение букв А или же АА означает чистоту относительно вредных примесей. Сварочная проволоочная продукция для создания электродов в обозначении имеет букву Э, тогда как омедненная проволока маркируется буквой О.

Выбор марок электродных проволок необходимо производить строго в соответствии с химическим составом свариваемых изделий (табл. 6).

Таблица 6. Применение марок проволоки для сварки сталей различных марок

Марка	Применение
Св-08ГС	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей на токах 300–400 А
Св-08Г2С	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей на токах 600–750 А
Св-10ХГ2С	Для сварки низколегированных сталей повышенной прочности
Св-08ХГ2СМ	Для сварки теплоустойчивых сталей типа 15ХМА
Св-08ХГСМФ	Для сварки теплоустойчивых сталей типа 20ХМФ
Св-08Х3Г2СМ	Для сварки стали 30ХГСА
Св-08Х14ГТ; Св-10Х17Т	Для сварки хромистых сталей типа Х13, Х17
Св-06Х19Н9Т	Для сварки коррозионностойких сталей марок 0Х18Н10, 0Х18Н9
Св-08Х19Н10Б	0Х18Н9Т и 0Х18Н10Т

Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов, а также сварочная проволока и прутки из меди и ее сплавов маркируются по аналогии с соответствующими марками этих материалов.

Маркировка порошковых проволок

ГОСТ 26271-84 определяет общие технические условия и распространяется на порошковую проволоку для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 900 МПа.

Условное обозначение марки проволоки должно состоять из индексов:

- ПП – порошковая проволока;
- буквенных или цифровых обозначений, указывающих шифр регистрации проволоки, принятой в отрасли организации-разработчика.

Полное обозначение порошковой проволоки для сварки включает:

- марку проволоки;
- диаметр, мм;
- условия применения порошковой проволоки;
- индекс допустимых положений сварки и условий формирования сварного шва;
- индекс типа проволоки (по величине предела текучести металла шва);
- индекс уровня проволоки по ударной вязкости металла шва;
- индекс категории порошковой проволоки по химическому составу наплавленного металла;
- обозначение стандарта.

Условное обозначение порошковой проволоки ГОСТ 26271-84

Марка проволоки

Диаметр

Условия применения

Предел текучести

Категория химсостава

Индекс ударной вязкости

Индекс при сварке

ПП - АН30С

2,3

ПС

54

-

А

3

УП

ГОСТ 26271

ПП

Газозащитная

ПС

Самозащитная

Индекс	С	С	Р
А	0,15	0,03	0,03
В	0,20	0,04	0,03
С	0,15	0,03	0,03

Индекс	σ _в МПа	σ _т МПа	δ %	Инк- двкс	Т _с при КСУ≥35дж/см ²	КСУ при Т=20°С
Д	-	-	-	В	-	-
34	400-450	340	16	А	20	35
39	450-600	390	22	В	20	50
49	500-650	440	20	С	10	50
54	550-700	490	20	1	-10	60
59	500-650	540	18	2	-20	60
64	650-800	590	18	3	-30	80
69	750-900	640	14	4	-40	100
69	750-900	690	10	6	-60	120

Н	Нижнее
П	Нижнее, горизонтальное
У	Нижнее, горизонтальное, вертикальное
Т	Все положения
ГП	Горизонтальное с принудительным формированием
ВП	Вертикальное с принудительным формированием
УП	Все положения с принудительным формированием

Рисунок 9. Расшифровка марок порошковой проволоки

ЭЛЕКТРОДЫ

Электроды, применяемые для работы с ручной дуговой сваркой, разделяются на плавящиеся и неплавящиеся. Полная классификация электродов представлена на рисунке 10.

Неплавящиеся электроды для сварки изготавливают из различных тугоплавких материалов – графит, вольфрам или уголь. Их изготавливают диаметром от 6 до 30 мм и длиной до 300 мм. Служат они для розжига и удержания дуги, а заполнение шва присадками выполняется с помощью ручной подачи плавкого материала. Неплавящиеся электроды применяют в основном для аргонодуговой сварки.

При аргоновой сварке используют электроды из тугоплавкого вольфрама, с добавками редкоземельных элементов. Электроды, изготовленные из вольфрама без добавок, обладают низкой износостойкостью, поэтому их применяют ограниченно в сварочном процессе. Наличие добавок позволяет облегчить работу с рядом металлов и сплавов. Наличие добавок маркируется соответствующим цветом на наконечник электрода.

Вольфрамовые электроды классифицируются и производятся в соответствии с международным стандартом DIN EN 26848 и отечественным стандартом ГОСТ 23949-80. Маркировка вольфрамовых электродов представлена в таблице 7. В соответствии с этими стандартами длина электрода может быть 50, 75, 150 и 175 мм. Наиболее распространенная длина – 175 мм. Диаметр может быть от 0,5 до 10 мм. Наиболее часто используемые диаметры – 1,6; 2,0; 2,5; 3,2 и 4 мм. Диаметр электрода определяется величиной сварочного тока. При этом электрод диаметром в 1 мм может применяться при сварочных токах до 50 А, диаметром в 1,6 мм – до 100 А, диаметром в 2 мм – до 200 А, диаметром в 3,2 мм – до 300 А, а диаметром в 4 мм – свыше 300 А. Вольфрам имеет высокую температуру плавления, поэтому электроды из него производят методами порошковой металлургии (спеканием, сжатием и упрочнением). При этом перед спеканием в вольфрам могут добавляться от 0,4 до 4 % оксидов тория (Th), циркония (Zr), лантана (La), иттрия (Y) или церия (Ce). По сравнению с электродами из чистого вольфрама у оксидосодержащих электродов есть преимущества: меньший нагрев; лучшая зажигаемость дуги; больший ток нагрузки; повышенная стойкость. Маркировка отражает характеристики электрода – состав материала и его длину. При этом для электрода из вольфрама первый символ в маркировке – буква «W», что обозначает вольфрам. Второй символ обозначает тип металла добавки. Первое число обозначает содержание добавок на 1000 долей W. То есть число 20 обозначает 2 % примесей. Второе число обозначает длину электрода.

Плавящиеся электроды для ручной дуговой сварки состоят из внутреннего стержня и внешнего слоя. Согласно требованиям Госстандарта, при создании плавящихся электродов сварочных используются разнообразные стали: углеродистые, с большим или малым числом примесей, также применяют медь, алюминий, никель и другие цветные сплавы. Состав стержня обусловлен свариваемым материалом, так как оба металла должны подходить

друг другу. Исключение составляет чугун, который может свариваться как стальными, так и электродами из меди и железа.

Плавящийся электрод для ручной дуговой сварки представляет собой стержень из сварочной проволоки, на который нанесено электродное покрытие (обмазка). Промышленность выпускает достаточно большое число марок сварочной проволоки диаметром от 1,6 до 12 мм для изготовления электродов. Длина электродов составляет 150–450 мм. Наиболее часто используют электроды длиной 350, 400 и 450 мм и диаметром 3, 4 и 5 мм. Металл электрода и элементы электродного покрытия участвуют в формировании сварного шва.

Таблица 7. Маркировка вольфрамовых электродов

Марка (цветовой код)		Содержание легирующих элементов	Содержа- ние вольфрама (W), %	Ток	Назначение
ISO 6848	ГОСТ23 949-80				
WP	ЭВЧ	0%	≥ 99,95	АС	Сварка магния, алюминия и сплавов
Зеленый					
WL-15	ЭВЛ	1,4–1,6 % La ₂ O ₃ (оксид лантана)	≥ 97,80	АС/ DC	Сварка легированной и нержавеющей стали
Золотистый					
WL-20	ЭВЛ-2	1,8–2,2 % La ₂ O ₃ (оксид лантана)	≥97,30	АС/ DC	Сварка нержавеющей стали
Синий					
WT-20	ВТ-15	1,8–2,2 % ThO ₂ (оксид тория)	≥97,30	DC	Сварка углеродистой и низколегирован- ной сталей, а также нержавеющей стали
Красный					
WC-20	-	1,8–2,2 % CeO ₂ (диоксид церия)	≥97,80	АС/ DC	Сварка любых марок стали
Серый					
WY-20	ЭВИ-1	1,8–2,2 % Y ₂ O ₃ (диоксид иттрия)	≥97,80	DC	Сварка меди, нержавеющих сталей, углеродистых и низколегирован- ных сталей
Темно-синий					
WZ-8	-	0,7–0,9 % ZrO ₂ (оксид циркония)	≥99,10	АС	Для алюминия и магния
Белый					

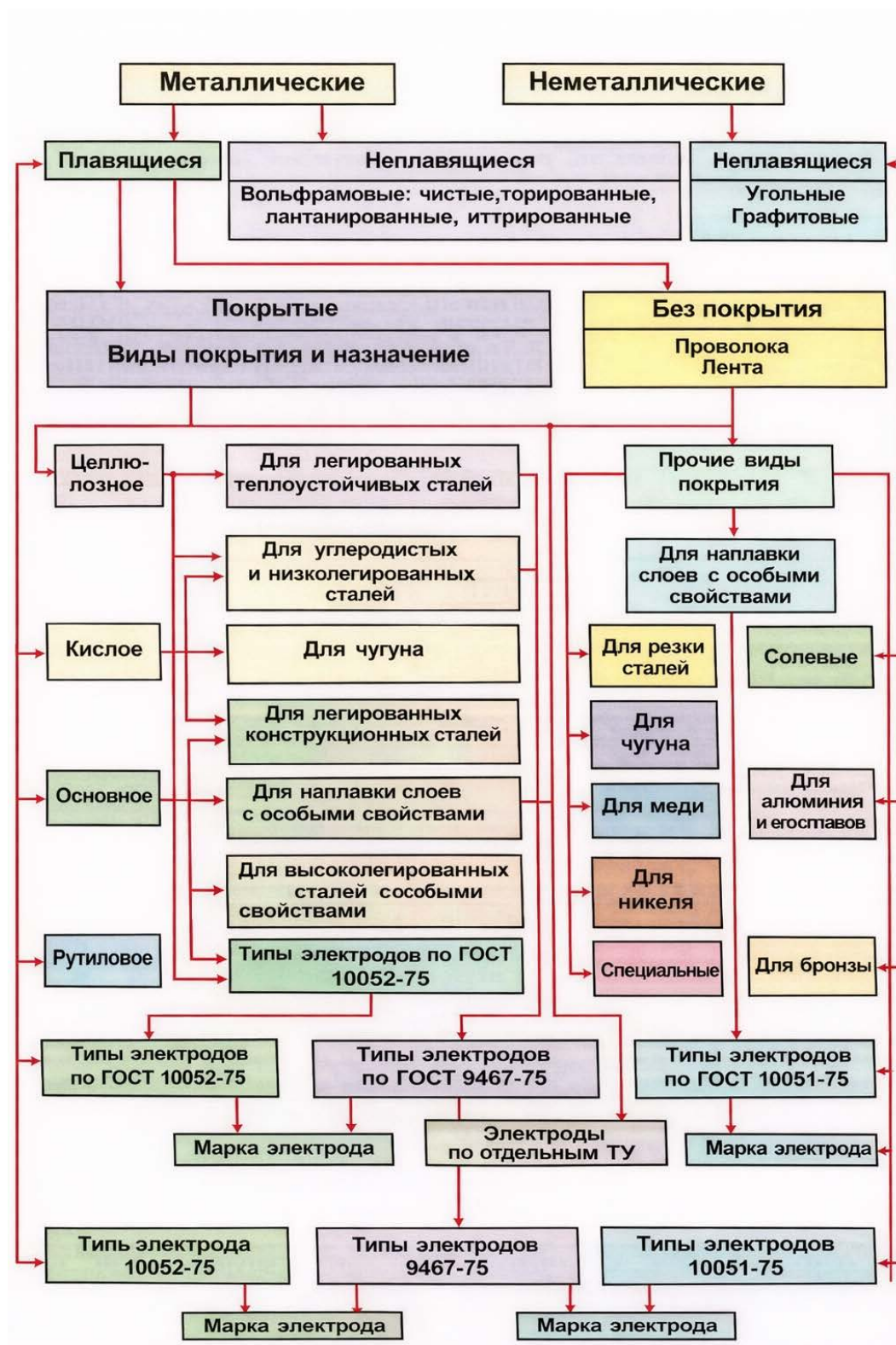


Рисунок 10. Классификация электродов

Электродные обмазки применяют двух типов – тонкие и толстые. Тонкие обмазки электродов (обычно мел и жидкое стекло) составляют 1–5 % от массы электродного стержня и предназначены только для устойчивого горения дуги, их применяют для сварки малоответственных деталей из углеродистых сталей. Для сварки ответственных деталей применяют электроды с толстой

обмазкой (покрытием). Толщина слоя покрытия обычно составляет около 1–3 мм, при относительной массе покрытия около 15–35 % от массы электродного стержня. Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик сварного соединения необходимо, чтобы химический состав сварного шва был близок к химическому составу свариваемой стали. Покрытие служит для поддержания устойчивого горения дуги; защиты зоны сварочной дуги от воздействия кислорода и азота воздуха; образования на поверхности сварочной ванны и металле шва слоя шлака, который защищает сварочную ванну от доступа воздуха и замедляет охлаждение шва; раскисления и легирования металла шва.

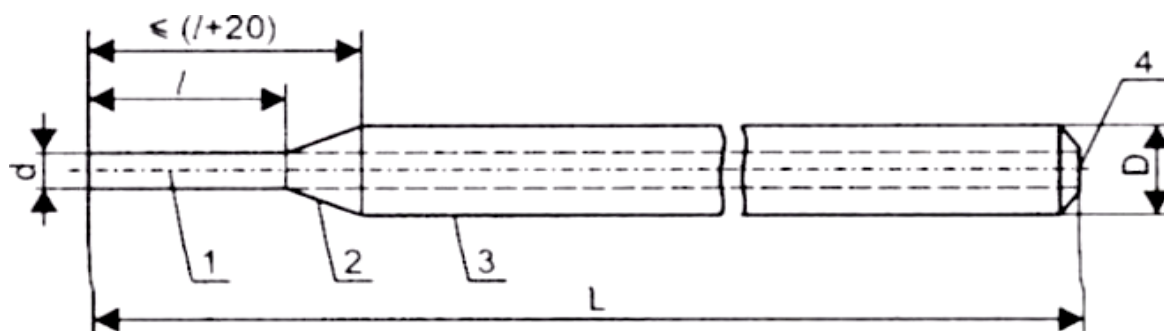


Рисунок 11. Схема сварочного электрода:

1 – стержень; 2 – участок перехода; 3 – покрытие; 4 – контактный торец без покрытия; L – длина электрода; D – диаметр покрытия; d – номинальный диаметр стержня; l – длина зачищенного от покрытия конца

В состав электродных покрытий входят следующие компоненты: стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие.

Стабилизирующие (ионизирующие) – способствующие легкому зажиганию и устойчивому горению дуги. Это достигается применением веществ, содержащих различные соединения калия, как, например, поташ (K_2CO_3 , ГОСТ 10690-73), селитра (KNO_3), хромат (K_2CrO_4) и др. Хорошим стабилизирующим действием обладают: двуокись титана (TiO_2), карбонат кальция ($CaCO_3$) и карбонат бария ($BaCO_3$), древесный уголь и др.

Газообразующие – древесная мука, хлопчатобумажная пряжа, крахмал, пищевая мука, декстрин, целлюлоза, мрамор, магнезит и др. Они при сгорании создают газовую защиту, предохраняя тем самым зону сварочной дуги от попадания кислорода и азота из воздуха.

Шлакообразующие – компоненты защищают расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха и частично рафинируют (очищают) его. Они образуют шлаковые оболочки вокруг каплей электродного металла, проходящих через дуговой промежуток, и шлаковый покров на поверхности металла шва, шлакообразующие составляющие уменьшают скорость охлаждения металла и способствуют выделению из него неметаллических

включений. Шлакообразующие компоненты могут включать титановый концентрат, марганцевую руду, полевой шпат, каолин, мел, мрамор, кварцевый песок, доломит.

Раскисляющие – кремний, марганец, а также титан, алюминий, графит и др. Это, прежде всего, элементы, которые имеют большее сродство с кислородом, чем железо. Находясь в расплавленном металле шва, легко вступают в химическое соединение с кислородом и в виде окислов всплывают на поверхность сварочной ванны, переходя затем в шлак. Раскислители чаще всего вводят в покрытие в виде ферросплавов: ферросилиция, ферромарганца, ферротитана и др.

Легирующие – хром, никель, молибден, вольфрам, титан, марганец, кремний и др. Выводятся в покрытие также в виде тонко измельченных ферросплавов для получения высококачественного наплавленного металла, чаще для повышения механических свойств, износостойкости, жаростойкости, сопротивления коррозии.

Связующие – водные растворы силиката натрия и калия, называемые жидким стеклом, декстрин. Связующие придают компонентам вид пасты и прочно удерживают покрытие на стержне.

Формовочные добавки – бетонит, каолин, декстрин, слюда и др. Эти вещества придают покрытию лучшие пластические свойства.

С целью повышения производительности сварки в покрытие добавляют железный порошок, содержание которого может составлять до 60 % массы покрытия.

Электродное покрытие образуется из хорошо размолотых и перемешанных материалов, связанных жидким стеклом. Его наносят на сварочную проволоку, предварительно нарезанную на куски длиной от 350 до 450 мм. На один из концов куска покрытие не наносят. Он служит для закрепления электродов при их сушке, а при сварке – для помещения в электрододержатель. Стальные электроды для дуговой сварки классифицируют в соответствии с ГОСТ 9466-75 и ГОСТ 9467-75.

Электродные покрытия (ГОСТ 9466-75) по виду составов подразделяются на кислые (А), рутиловые (Р), основные (Б), целлюлозные (Ц) и прочие (П). Все нижеперечисленные электроды применимы для сварки углеродистых и низколегированных сталей.

Кислые покрытия (АНО-2, СМ-5 и др.) состоят в основном из окислов железа и марганца (обычно в виде руд), кремнезема, ферромарганца.

Газовую защиту расплавленного металла обеспечивают разложением органических составляющих покрытия (целлюлозы, древесной муки, декстрина, крахмала). Металл, наплавленный электродами с кислым покрытием, по своему составу чаще всего соответствует кипящей стали и содержит от 0,12 % С, 0,10 % Si, 0,6–0,9 % Mn до 0,05 % S и P каждого.

Электроды этой группы пригодны для сварки во всех пространственных положениях переменным и постоянным током и характеризуются достаточно большой скоростью расплавления. Их не рекомендуется применять для сварки

сталей, которые имеют повышенное содержание серы и углерода, так как металл шва, выполненный этими электродами, чувствителен к образованию кристаллизационных трещин. Электродами с кислым покрытием можно сваривать металл с ржавыми кромками, окалиной (при значительном напряжении дуги), получая при этом плотные швы. Поры в швах при сварке электродами с кислым покрытием образуются:

- из-за высокого содержания марганца в покрытии;
- при применении ферромарганца с большим содержанием углерода и кремния;
- при сварке металла с высоким содержанием кремния.

Электроды этой группы позволяют получать металл шва с временным сопротивлением свыше 42 кгс/мм², относительным удлинением не менее 18 % и ударной вязкостью более 8 кгс-м/мм². По механическим свойствам сварных соединений и металла шва электроды с кислым покрытием относятся к типу Э-38 и Э-42 по ГОСТ 9467-75. Недостатками этих электродов являются пониженная стойкость против образования кристаллизационных трещин, повышенное разбрызгивание металла и выделение в процессе сварки марганцовистых соединений, вредно влияющих на организм человека.

Основные покрытия (УОНИИ-13/45, УП-1/45, ОЗС-2, ДСК-50 и др.) не содержат окислов железа и марганца. Основное покрытие электродов состоит из карбонатов кальция, магния (мрамор, мел, доломит, магнезит), плавикового шпата, ферросплавов (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.). Расплавленный металл защищается углекислым газом и окисью углерода, которые образуются вследствие диссоциации карбонатов. Электроды с основным покрытием по ГОСТ 9467-75 относятся к типам Э-42А – Э-50А и применяются преимущественно при сварке постоянным током обратной полярности во всех пространственных положениях. Металл, наплавленный такими электродами, чаще всего соответствует спокойной стали и содержит незначительное количество кислорода, водорода и азота. Содержание серы и фосфора в нем обычно не превышает 0,035 % каждого, содержание марганца и кремния зависит от назначения электродов (от 0,5 до 1,5 % Mn и от 0,3 до 0,6 % Si). Металл шва, стойкий против образования кристаллизационных трещин, старения, имеет достаточно высокие показатели ударной вязкости как при положительных, так и при отрицательных температурах. Электроды с основным покрытием применяют для сварки металлов большой толщины, для изделий, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях или транспортирующих газы, а также для сварки литых углеродистых, низколегированных высокопрочных сталей и сталей с повышенным содержанием серы и углерода. Электроды с основным покрытием весьма чувствительны к образованию пор во время сварки, если кромки свариваемых изделий покрыты окалиной, ржавчиной, маслом, а также если электродное покрытие увлажнено и поддерживается большая длина дуги. Механические свойства металла шва регулируют введением в покрытие хрома, молибдена, ферромарганца и ферросилиция.

Рутиловые покрытия (АНО-3, АНО-4, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, МР-3, МР-4 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила (TiO_2). Например, покрытие электрода марки МР-3 состоит из рутила (50 %), талька, мрамора, каолина, ферромарганца, целлюлозы и жидкого стекла. Стойкость металла шва против образования кристаллизационных трещин такая же, как у электродов с кислым покрытием. Электроды этой группы при сварке мало склонны к образованию пор при изменении длины дуги или по окисленным поверхностям, а также по металлу, наплавленному ранее электродами со стабилизирующим покрытием. В процессе сварки рутитовое покрытие обеспечивает устойчивое горение дуги, хорошее формирование шва, а также минимальное разбрызгивание металла. Выделение вредных газов при сварке небольшое. Электроды с рутитовым покрытием в соответствии с ГОСТ 9467-75 относятся к типам Э42 и Э46. Этими электродами можно сваривать изделия во всех пространственных положениях, как переменным, так и постоянным током. Металл, наплавленный электродами с рутитовым покрытием, содержит до 0,12 % С; 0,4–0,7 % Мn; 0,1–0,3 % Si; 0,04 % S и Р (каждого).

Целлюлозные покрытия (ВСД-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и других, которые в процессе разложения обеспечивают в дуге газовую защиту расплавленного металла.

Шлакообразующими являются рутил, титановый концентрат, марганцевая руда и силикаты, а раскислителем – ферромарганец. Эти электроды обеспечивают небольшое разбрызгивание металла и малое количество шлака. Они соответствуют по ГОСТ 9467-75 типам электродов Э-42, Э-46, Э-50 и пригодны для сварки во всех пространственных положениях как переменным, так и постоянным током.

Электроды с покрытиями смешанного типа:

- рутило-карбонатное (электроды АНО-3, АНО-4, АНО-5);
- рутило-карбонатно-фтористое (электроды ОЗЛ-9);
- ильменитовое (электроды АНО-6);
- рутиловое с железным порошком (электроды АНО-1);
- пластмассовое (электроды ВСП-1).

Электроды с рутило-карбонатным покрытием обладают высокими сварочно-технологическими свойствами. При сварке этими электродами обеспечиваются хорошее формирование металла шва во всех пространственных положениях, легкая отделимость шлаковой корки, устойчивое горение дуги при сварке переменным и постоянным током любой полярности. Они имеют малые потери металла от разбрызгивания и в этом отношении значительно превосходят электроды СМ-5. По механическим свойствам металла шва и сварного соединения данные электроды относятся к электродам типа Э-46, ГОСТ 9467-75. Электроды с рутило-карбонатным покрытием обеспечивают высокую ударную вязкость металла шва при положительных и отрицательных температурах непосредственно после сварки и после старения. Значение ударной вязкости металла шва, выполненного электродами АНО-3 и АНО-4, АНО-5, значительно выше, чем для электродов СМ-5.

Электроды с рутило-карбонатно-фтористым покрытием применяются при сварке жаростойких сталей, работающих при температуре до 1050 °С, и когда к металлу шва предъявляются требования повышенной стойкости против охрупчивания.

Электроды с ильменитовым покрытием отличаются легким возбуждением дуги. При сварке электродами АНО-6, имеющими ильменитовое покрытие, выделяется меньше пыли, дыма и газов, чем при сварке электродами СМ-5.

Электроды, имеющие рутиловое покрытие с железным порошком, обладают высокой производительностью за счет наличия в покрытии железного порошка. Сварка выполняется в основном в нижнем положении. При сварке выделяется небольшое количество токсических соединений марганца. Эти электроды имеют типичный коэффициент наплавки 15 г/А ч. Склонность металла шва к образованию пор незначительная, так как наличие ржавчины и масла, как правило, не вызывает образования пор.

Электроды с пластмассовым покрытием также содержат железный порошок, этими электродами легко заваривают зазоры. Покрытие негигроскопично. Сварка возможна во всех пространственных положениях на постоянном и переменном токе.

Классификация покрытых электродов

Сварочные электроды классифицируют по назначению:

- сплавы с малой долей примесей и углеродистые сплавы;
- материал с большим числом легатур (легирующих элементов);
- сплавы усиленной прочности и с уникальными свойствами;
- наплавочные электроды с уникальными свойствами.

Тип – значение конечного шва, характеризующееся прочностью на разрыв, временное или точечное механическое воздействие.

Марки сварочных электродов – уникальное значение, присваиваемое изготовителем для внутренней классификации изделий. Именно поэтому маркировка электродов для сварки одинаковых по параметрам, но от различных изготовителей может быть разной.

Толщина внешнего слоя – исходя из соотношений толщины, к размеру центрального прутка классифицируют внешний слой на тонкие, средней толщины, толстые и самые толстые.

Род тока – электроды постоянного тока, переменного с прямым или обратным подключением.

Состав покрытия – есть разделение на сварочный электрод с кислотным, основным, целлюлозным, рутиловым, слоем с увеличенной концентрацией железа, напыленные, состоящие из различных слоев.

По допустимым положениям стержни разделяют на изделия, допустимые к работе в любых положениях; всех за исключением вертикального, направленного вниз; нижнее и вертикальное, направленное кверху; нижнее (рис. 12).

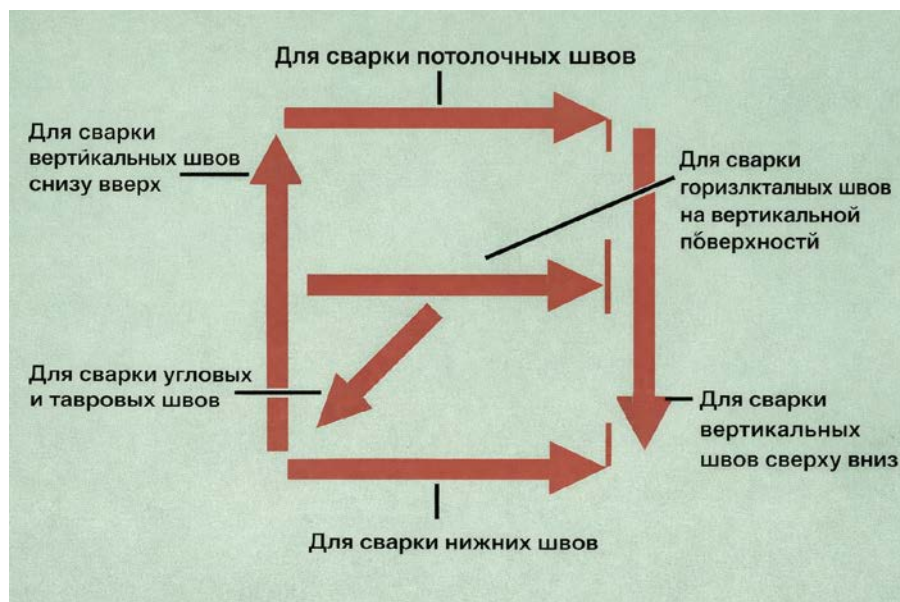


Рисунок 12. Схема пространственных положений сварки

По качеству или по состоянию шва после работы со стержнями электроды разделяют на три группы. Изделия лучшего качества относятся к первой группе. Толщина – параметр, указывающий на диаметр стальной основы, может быть в пределах от 1,6 до 12 мм.

Маркировка сварочных электродов и их расшифровка

Чтобы разобраться, какие электроды представлены перед вами, следует изучить их маркировку. Каждая упаковка содержит информацию о 9 основных характеристиках по ГОСТ 9467-75.

1. Типы покрытых электродов для сварки

Высокопрочные стали, с большой долей углерода, высокими или низкими процентами легированных элементов, варятся электродами с маркировкой, начинающейся с символа Э – электрод, затем идут цифры, указывающие на предельно допустимые нагрузки при растяжении (кгс/мм^2), в конце стоит индекс А – обозначающий повышенную устойчивость шва к пластичным и ударным нагрузкам. Например: Э-42, Э-50, Э-46А, Э-60 и т. д. Термостойкие и высоколегированные стали: символа Э, цифр после тире, указывающих на количество углерода, следом идут буквы и цифры, указывающие на конкретный химический элемент (А – азот, М – молибден, Ф – ванадий и т. д.) и его количество в сотых долях. Химические составляющие расположены в порядке убывания их количества в изделии. Например: Э-09М; Э-10Х3М1БФ; Э-30Г2ХМ и т. д.

2. Марки электродов для сварки

Марки – параметр индивидуальный и зависит исключительно от производителя.

3. Диаметр

Толщина внутренней части покрытого электрода колеблется в пределах от 1,6 до 12 мм, в быту чаще всего используются толщины 3–5 мм.

4. Назначение:

- изготовленные для работы с углеродистыми сталями и с низким числом примесей, а также прочностью до 60 кгс/м², электроды маркируются буквой У;
- легированные конструкционные стали с пределом прочности выше 60 кгс/м² сваривают изделиями с маркировкой Л;
- продукцию для сталей с низким коэффициентом теплопроводимости маркируют буквой Т;
- металлы с большой долей примесей и уникальными свойствами можно сваривать изделиями с маркировкой В;
- наплавочные слои с уникальными характеристиками производятся изделиями с маркировкой Н.

Выбор диаметра электрода в зависимости от толщины металла

При выборе следует учитывать зависимость диаметра электрода от толщины свариваемого металла изделий и элементов. Чем толще последний, тем, соответственно, больше и диаметр стержня электрода. Так, при толщине свариваемых элементов 1,5–2,5 мм диаметр электрода будет составлять 2–2,5 мм; при толщине 3 мм – 2,5–3 мм; при толщине 4–5 мм – 3–4 мм; при 6–10 мм – 4–5 мм.

Выбор силы сварочного тока

Выбор силы сварочного тока напрямую влияет на качество сварки и получаемого результата. Если он подобран неправильно, заготовка при сварке может просто прожечься или, напротив, металл не оплавится на нужную глубину. Для правильного подбора существуют ГОСТы и рекомендуемые настройки, проверенные годами практики. Одно из ключевых правил – зависимость силы тока от диаметра электрода. Важную роль также играют: толщина заготовки; пространственное положение сварки; длина дуги; количество слоев шва.

Наиболее удобно при определении силы сварочного тока при сварке электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали пользоваться формулой:

$$I = K_{\Pi} \cdot K \cdot d_{\text{э}},$$

где I – величина сварочного тока, А;

K_{Π} – коэффициент, учитывающий пространственное положение сварки;

K – коэффициент, зависящий от диаметра электрода, А/мм (табл. 8);

d – диаметр электрода, мм.

Таблица 8. Значения коэффициента K в зависимости от диаметра электрода

$d_{\text{э}}, \text{ мм}$	2	3	4	5	6
$K, \text{ А/мм}$	25–30	30–45	35–50	40–55	45–60

Коэффициент, учитывающий пространственное положение сварки, имеет следующие значения: $K_{\Pi} = 0,8$ – при сварке потолочных швов; $K_{\Pi} = 0,9$ – при

сварке вертикальных и горизонтальных швов; $K_{\text{п}} = 1,0$ – при сварке в нижнем положении. Если сварочный процесс производится электродом из легированной стали, полученное значение силы сварочного тока следует уменьшить на 20 %.

Выбор электродов для сварки труб магистрального газа

Каким электродом варить трубу, если планируется вводить через нее подачу магистрального газа? Обычно рекомендуются электроды марки ОК-46, ЛБ-52 или УОНИ-13/55. У всех перечисленных марок подходящий состав, они могут быть сделаны с применением марганца, фосфора, серы или кремния. А электроды ОК-46 с рутиловым покрытием и вовсе считаются универсальными. Ими особенно удобно варить детали с широким зазором. Также на рынке есть марка ЛБ-52U с основным покрытием. Такие электроды содержат незначительное количество водорода, поэтому шов получается очень качественным. При этом дуга стабильна, легко зажигается, полностью проваривает металл. Если предстоит сварка особо ответственных узлов (например, поворотных), при этом труба сделана из углеродистой или низколегированной стали, то мы рекомендуем электроды для сварки труб марки МТГ-01К. Дуга горит стабильно, шлак удаляется легко и быстро, при этом разбрызгивание металла незначительное.

Выбор электродов для сварки труб отопления

Если нужно качественно варить трубы отопления, то рекомендуем следующие марки электродов: Э-42А, УОНИ 13/45 (диаметр 3 мм). У этих стержней толстое покрытие, благодаря которому можно удобно сварить углеродистую сталь. Также для сварки труб отопления подойдут марки Э-09Х1МФ и ЦЛ-20. Они предназначены для формирования прочного шва при сварке теплоустойчивой стали. У таких стержней тоже довольно толстое покрытие. Если нужно сварить нержавеющую, углеродистую или легированную сталь, то воспользуйтесь электродами марки ЦЛ-9 с основным покрытием. Водорода в таких стержнях мало, а это гарантирует отличное качество шва. Если планируется сварка труб, в которых будет осуществляться непрерывная подача горячей воды и может быть повышенное давление, то используйте электроды для труб марки МР-3. Этими же стержнями можно сварить трубу НКТ. Электроды данной марки имеют рутиловое покрытие и изготавливаются из специальной проволоки. Производители предлагают диаметр от 3 до 5 мм. При работе с этой маркой наклоните электрод в сторону наплавления и применяйте короткую дугу. Тогда сварное соединение получится максимально герметичным.

Выбор электродов: как определить качество?

При выборе следует сразу обратить внимание на несколько моментов: срок годности (указан на упаковке) – он не должен быть превышен; качество обмазки – не должно наблюдаться ее крошения с сердечника, покрытие должно

быть нанесено на сердечник равномерно, с одинаковой толщиной слоя. Кроме того, следует сразу исключить риски его отсыревания, поместив электроды в специальные пеналы. Если же все-таки последнее произошло, возможна просушка или прокалка изделий при $t +400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ИНЕРТНЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ ГАЗЫ

Инертные газы

Они не вступают в химическое взаимодействие с металлами и практически не растворяются в металлах:

Аргон (Ar) – бесцветный, без запаха, негорючий, неядовитый газ, почти в 1,5 раза тяжелее воздуха. В металлах нерастворим как в жидком, так и в твердом состояниях. Выпускается (ГОСТ 10157-2016) двух сортов: высшего и первого. В газе высшего сорта содержится 99,993 % аргона, не более 0,006 % азота и не более 0,0007 % кислорода. Рекомендуются для сварки ответственных металлоконструкций из активных и редких металлов и сплавов, цветных металлов. В газе первого сорта содержится 99,98 % аргона, до 0,01 % азота и не более 0,002 % кислорода. Рекомендуются для сварки стали и чистого алюминия.

Гелий (He) – бесцветный газ, без запаха, неядовитый, значительно легче воздуха и аргона. Выпускается (ГОСТ 20461-75) двух сортов: высокой чистоты (до 99,985 %) и технический (99,8 %). Используется реже, чем аргон, из-за его высокой стоимости. Однако при одном и том же значении тока дуга в гелии выделяет в 1,5–2 раза больше энергии, чем в аргоне. Это способствует более глубокому проплавлению металла и значительному увеличению скорости сварки. Гелий применяют при сварке химически чистых и активных материалов, а также сплавов на основе алюминия и магния.

Азот (N_2) – газ без цвета, запаха, неядовитый. Используется только для сварки меди и ее сплавов, по отношению к которым азот является инертным газом. Выпускается (ГОСТ 9293-74) четырех сортов: высшего – 99,9 % азота; 1-го – 99,5 %; 2-го – 99,0 %; 3-го – 97,0 %.

Активные защитные газы

Они защищают зону сварки от воздуха, но сами растворяются в жидком металле либо вступают с ним в химическое взаимодействие.

Кислород (O_2) – газ без цвета, запаха и вкуса. Негорючий, но активно поддерживающий горение. Технический газообразный кислород (ГОСТ 5583-78) выпускается трех сортов: 1-й сорт – 99,7 % кислорода; 2-й – 99,5 %; 3-й – 99,2 %. Применяется только как добавка к инертным и активным газам.

Углекислый газ (CO_2) – бесцветный, со слабым запахом, с резко выраженными окислительными свойствами, хорошо растворяется в воде. Тяжелее воздуха в 1,5 раза, может скапливаться в плохо проветриваемых помещениях, в колодцах, приямах. Выпускается (ГОСТ 8050-85) трех сортов: высший – 99,8 % CO_2 , 1-й – 99,5 % и 2-й – 98,8 %. Диоксид углерода 2-го сорта применять не рекомендуется. Для снижения влажности CO_2 рекомендуется

установить баллон вентилем вниз и через 1–2 ч открыть вентиль на 8–10 с для удаления воды. В углекислом газе сваривают чугун, низко- и среднеуглеродистые, низколегированные конструкционные коррозионностойкие стали.

Газовые смеси

Они служат для улучшения процесса сварки и качества сварного шва.

Смесь аргона и гелия. Оптимальный состав: 50 % + 50 % или 40 % аргона и 60 % гелия. Пригоден для сварки алюминиевых и титановых сплавов.

Смесь аргона и кислорода при содержании кислорода 1–5 % стабилизирует процесс сварки, увеличивает жидкотекучесть сварочной ванны, перенос электродного металла становится мелкокапельным. Смесь рекомендуется для сварки углеродистых и нержавеющей сталей.

Смесь аргона и углекислого газа. Рациональное соотношение – 75–80 % аргона и 20–25 % углекислого газа. При этом обеспечиваются минимальное разбрызгивание, качественное формирование шва, увеличение производительности, хорошие свойства сварного соединения. Используется при сварке низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Смесь углекислого газа и кислорода. Оптимальный состав: 60–80 % углекислого газа и 20–40 % кислорода. Повышает окислительные свойства защитной среды и температуру жидкого металла. При этой смеси используют электродные проволоки с повышенным содержанием раскислителей, например, Св-08Г2СЦ. Смесь применяют для сварки углеродистых, легированных и некоторых высоколегированных конструкционных сталей.

Смесь аргона, углекислого газа и кислорода – трехкомпонентная смесь обеспечивает высокую стабильность процесса и позволяет избежать пористости швов. Оптимальный состав: 75 % аргона, 20 % углекислого газа и 5 % кислорода. Применяется при сварке углеродистых, нержавеющей и высоколегированных конструкционных сталей.

Защитные и инертные газы хранят и перевозят в баллонах в сжатом, сжиженном и растворимом состоянии под давлением и требуют особо прочной и герметичной упаковки. Некоторые газы хранят и перевозят в жидком состоянии при очень низкой температуре.

Баллон из металла – самое простое и экономное решение проблемы хранения газов. Его корпус изготавливается из качественной или легированной стали с толщиной стенки трубы 6–8 мм. Выпускаются емкости из металла с объемом 5, 10, 12, 20, 27, 40 или 50 литров.

Верхняя сферическая часть баллона не окрашивается, на ней набиваются паспортные данные: тип баллона, заводской номер баллона, марка завода-изготовителя, масса баллона, емкость баллона, рабочее и испытательное давление, дата изготовления и следующего испытания, клеймо ОТК и Ростехнадзора.

Баллоны имеют форму цилиндра с конусообразной узкой горловиной и выпуклым наружу днищем. Горловина газового баллона имеет резьбовое отверстие, предназначенное для ввинчивания в него запорной арматуры. В

качестве запорной арматуры применяется вентиль, открытие и закрытие которого регулирует выход газа наружу. Вентили для горючих и кислородных баллонов конструктивно отличаются между собой.

Для предохранения вентиля от несанкционированного открытия, защиты его при транспортировке на вентиль в транспортном положении надевается специальный предохранительный колпак, имеющий резьбу и накручиваемый на специальное, насаженное на горловину баллона кольцо.

Устойчивость баллонов при их вертикальном расположении обеспечивается насаженным на дно баллона металлическим башмаком, имеющим квадратную форму.

В России принята следующая схема окраски и маркировки баллонов со сжатыми газами ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» (табл. 9).

Таблица 9. Система окраски и маркировки баллонов

Наименование газа	Состояние газа в баллоне	Предельное рабочее давление, МПа	Окрас баллона	Цвет надписи	Цвет полосы
Ацетилен	Растворенный	2,5	Белый	Красный	-
Водород	Сжатый	15	Темно-зеленый	Красный	-
Горючий газ	Сжатый	15	Красный	Белый	-
Кислород	Сжатый	15	Голубой	Черный	-
Коксовый газ	Сжатый	15	Красный	Белый	-
Метан	Сжатый	15	Красный	Белый	-
Пропан	Сжиженный	1,6	Красный	Белый	-
Природный газ	Сжатый	15	Серый	Красный	-
Сланцевый газ	Сжатый	15	Красный	Белый	-
Аргон чистый	Сжатый	15	Серый	Зеленый	Зеленый
Аргон технический	Сжатый	15	Черный	Синий	Синий
Азот	Сжатый	15	Черный	Желтый	Коричневый
Гелий	Сжатый	15	Коричневый	Белый	-
Углекислый газ	Сжиженный	7,5	Черный	Желтый	-

ЗАДАНИЕ

Расшифровать марки электродных материалов, представленных в таблице 10.

Таблица 10. Индивидуальные задания для расшифровки марок электродов и электродных проволок

Номер варианта	Наименование электрода
1	$\frac{\text{Э42} - \text{УОНИ} - 13/45 - 4,0 - \text{УД3}}{\text{Е 432(5)} - \text{Б10}}$ ГОСТ9466 – 75, ГОСТ9467 – 75
2	$\frac{\text{Э42} - \text{АНО} - 6 - 4,0 - \text{УД1}}{\text{Е 412(3)} - \text{Р21}}$ ГОСТ9466 – 75, ГОСТ9467 – 75
3	$\frac{\text{Э50А} - \text{УОНИ} - 13/55 - 4,0 - \text{УД}}{\text{Е 514} - \text{Б20}}$ ГОСТ9466 – 75, ГОСТ9467 – 75
4	$\frac{\text{Э46} - \text{МР} - \text{ЗАРС} - 3 - \text{УД}}{\text{Е 432(3)} - \text{Р21}}$ ГОСТ9466 – 75, ГОСТ9467 – 75
5	$\frac{\text{Э10Х25Н13Г2Б} - \text{ЦЛ} - 9 - 5,0 - \text{ВД}}{\text{Е 207(5)} - \text{Б30}}$ ГОСТ9466 – 75, ГОСТ10052 – 75
6	Проволока 1,6Св – 0,8Г2С – О ГОСТ2246 – 70

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Для какой цели омедняют электродную проволоку?
2. Какую роль выполняет обмазка в электродах?
3. Как выбрать диаметр электрода в зависимости от толщины металла?
4. В чем разница между защитным и инертным газом?
5. В каком виде хранятся защитные и инертные газы в баллонах?

4. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Источники питания сварочной дуги классифицируются по многим градациям (рис. 13). В их числе:

- по назначению – для ручной сварки, сварки под флюсом или в среде защитного газа (например, аргонодуговой);
- по числу сварочных постов, которые можно подключить одновременно;
- по способности передвигаться – мобильные и стационарные;
- по способу производства энергии – преобразователи или производители;
- по роду выходного тока;
- по ВАХ (вольт-амперная характеристика).

Основными параметрами сварочного аппарата для сварщика являются назначение данного конкретного агрегата и сварочный ток, который он выдает. Во многих случаях ключевым требованием является подбор нужной вольт-амперной характеристики (ВАХ).

Так, например, для сварки в среде защитных газов требуются устройства с жесткой характеристикой, варящие постоянным током. Для ручной и полуавтоматической сварки под флюсом применяются аппараты переменного и постоянного тока с падающей характеристикой.



Рисунок 13. Классификация источников питания сварочной дуги

Некоторые современные источники питания сварочной дуги универсальны: имеют много режимов работы, в том числе позволяют менять род сварочного тока и изменять его ВАХ. Основное различие между источниками питания сварочной дуги, определяющее их технические характеристики, массу, габариты и сферу применения, – это различия по принципу преобразования электрического тока.

Существуют следующие виды источников: трансформаторы; выпрямители; преобразователи; инверторы.

Сварочные трансформаторы (рис. 14) переменного тока состоят из понижающего трансформатора и специального устройства, создающего падающую внешнюю характеристику и регулирующего сварочный ток.

Сварочный трансформатор имеет магнитопровод, на обоих стержнях которого расположены по две катушки: одна с первичной обмоткой, а вторая со вторичной обмоткой. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно в нижней части сердечника, катушки вторичной обмотки перемещаются по стержням с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. При увеличении

этого расстояния магнитный поток рассеяния возрастает, а сварочный ток уменьшается. По этому принципу изготовлены сварочные аппараты типа ТС, ТСК, ТД с алюминиевыми обмотками.



Рисунок 14. Внешний вид сварочного трансформатора

Сварочные аппараты типа ТСК имеют конденсаторы, которые включены параллельно первичным обмоткам. Они способствуют повышению коэффициента мощности. Трансформатор типа ТД имеет два диапазона сварочных токов: большие токи – при параллельных соединениях катушек первичной (ОП) и вторичной (ОВ) обмоток, и малые токи – при последовательных соединениях обмоток. При этом небольшая часть первичной обмотки отключается, и этим повышают напряжение холостого хода, что обеспечивает устойчивое зажигание и горение дуги при малых токах. Переключение обмоток производится одновременно пакетным переключателем (ПД). В каждом диапазоне сварочный ток плавно регулируют, изменяя расстояние между катушками первичной и вторичной обмоток.

Работа инверторного сварочного аппарата (рис. 15) основана на инверсии – фазовом сдвиге напряжения (отсюда и название «инверторный»), осуществляемое электронным микропроцессором аппарата, с по каскадным увеличением частоты и силы тока на выходе. Сначала обычный сетевой переменный ток с напряжением 220 вольт и частотой 50 Гц преобразуется в постоянный. Потом, на втором преобразователе, ток снова становится переменным, но уже с низким напряжением, большой силой тока и высокой частотой.



Рисунок 15. Инверторный источник питания

Сварочные выпрямители – это статические преобразователи энергии трехфазной сети переменного тока в энергию выпрямленного (пульсирующего постоянного) тока (рис. 16).

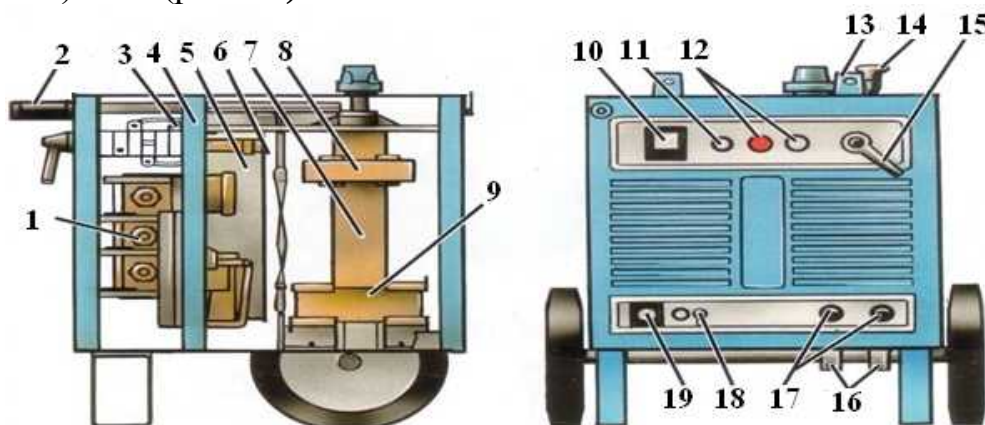


Рисунок 16. Внешний вид сварочного выпрямителя:

- 1 – выпрямительный блок; 2 – выдвижные ручки; 3 – предохранители; 4 – блок аппаратуры; 5 – вентилятор; 6 – ветровое реле; 7 – силовой трансформатор; 8 – вторичная обмотка; 9 – первичная обмотка; 10 – амперметр; 11 – лампа; 12 – кнопки выключателя; 13 – скобы; 14 – рукоятка регулирования тока; 15 – переключатель диапазона тока; 16 – шины заземления обратного провода; 17 – токовые разъемы; 18 – болт заземления; 19 – штепсельный разъем для подключения к сети

В настоящее время разработаны и выпускаются сварочные выпрямители для ручной или механизированной дуговой сварки под флюсом, сварки в защитных газах и др. Они получили широкое применение благодаря их большим конструктивным и технологическим преимуществам:

- высокий КПД и относительно небольшие потери холостого хода;

- высокие динамические свойства при меньшей электромагнитной индукции;
- отсутствие вращающихся частей и бесшумность в работе;
- равномерность нагрузки фаз.

Сварочные выпрямители состоят из двух основных блоков: понижающего трехфазного трансформатора с устройствами для регулирования напряжения или тока и выпрямительного блока. Кроме того, выпрямитель имеет пускорегулирующее и защитное устройства, обеспечивающие нормальную его эксплуатацию. Выпрямление тока производится с помощью свойства полупроводниковых элементов (селеновых или кремниевых вентилей) проводить ток только в одном направлении.

Сварочные выпрямители подразделяются на однопостовые с падающими, жесткими, пологопадающими и универсальными характеристиками и многопостовые с жесткими характеристиками.

Падающая характеристика в выпрямителе создается включением в сварочную цепь реактивной катушки или применением трансформатора с усиленным магнитным рассеянием. У многопостовых сварочных выпрямителей для создания падающей внешней характеристики и регулирования сварочного тока в сварочную цепь каждого поста включают балластный реостат типа РБ (рис. 17).

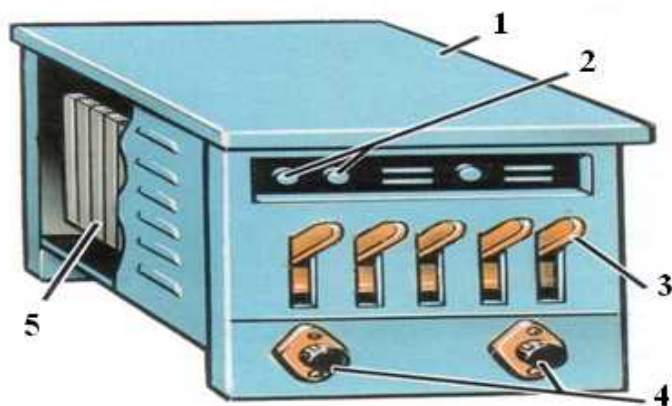


Рисунок 17. Внешний вид балластного реостата:

- 1 – корпус; 2 – тумблер диапазонов; 3 – рубильник секций сопротивления;
4 – клеммы сварочного кабеля; 5 – секции нихромовой проволоки или ленты

Выпрямители типа ВД, предназначенные для ручной и механизированной сварки и наплавки, имеют крутопадающую внешнюю характеристику. Регулирование сварочного тока производят ступенчато (два диапазона) и плавно (в пределах каждого диапазона). Переключатель диапазонов сварочного тока расположен на лицевой панели выпрямителя и производит одновременное переключение первичной и вторичной обмоток со «звезды» (диапазон малых токов) на «треугольник» (диапазон больших токов). Переключение производят только после отключения выпрямителя от силовой сети. При переключении со

«звезды» на «треугольник» пределы изменения тока увеличиваются примерно в три раза. Плавное регулирование тока в пределах каждого диапазона производится изменением расстояния между катушками первичной и вторичной обмоток. Катушки вторичной обмотки закреплены неподвижно у верхнего ярма, а катушки первичной обмотки с помощью ходового винта перемещаются по стержню сердечника трансформатора. Вращая рукоятку ходового винта по часовой стрелке, сближают катушки обмоток, уменьшают индуктивность рассеяния обмоток и, как следствие, увеличивают сварочный ток.

Сварочные выпрямители с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками применяются при сварке плавящимся электродом в углекислом газе, под флюсом, порошковой проволокой. Они различны как конструктивно, так и по электрической схеме.

Сварочные преобразователи (рис. 18) состоят из генератора и электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания. Сварочные генераторы обеспечивают падающую внешнюю характеристику и ограничение тока короткого замыкания. Это специальные генераторы постоянного тока, внешняя характеристика которых позволяет получать устойчивое горение дуги, что достигается изменением магнитного потока генератора в зависимости от сварочного тока.

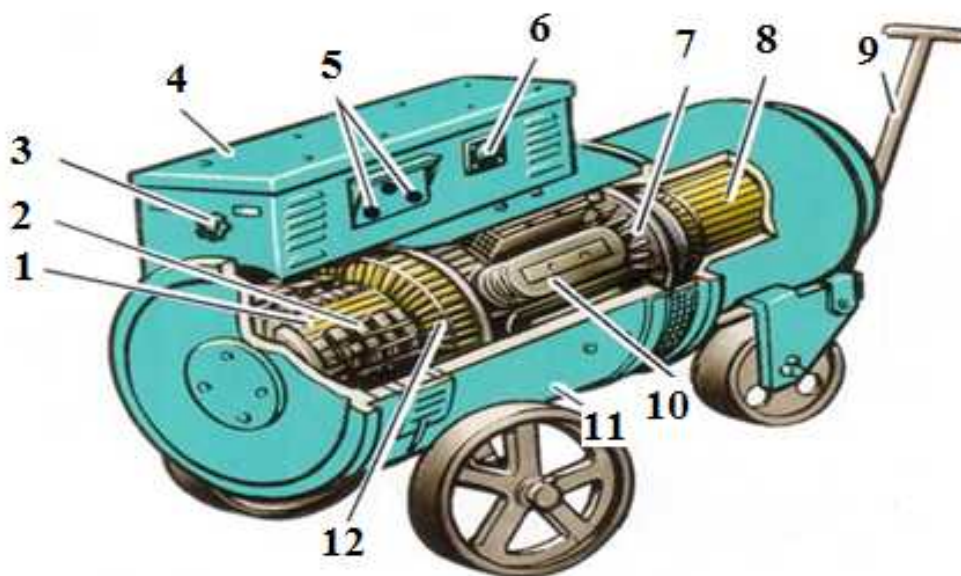


Рисунок 18. Внешний вид сварочного преобразователя:

- 1 – медные пластинки коллектора; 2 – щетки генератора; 3 – регулировочный реостат; 4 – распределительное устройство; 5 – зажимы; 6 – вольтметр;
7 – вентилятор; 8 – трехфазный асинхронный двигатель; 9 – тяга;
10 – магнитные полюсы; 11 – корпус; 12 – якорь

Сварочный генератор постоянного тока состоит из статора с магнитными полюсами и якоря с обмоткой и коллекторами. При работе генератора якорь вращается в магнитном поле, создаваемом полюсами статора. Обмотка якоря

пересекает магнитные линии полюсов генератора, и поэтому в витках обмотки возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. Вращение якоря сварочного генератора обеспечивается в сварочных преобразователях электродвигателем, а в сварочных агрегатах – двигателем внутреннего сгорания. К коллектору прижаты угольные щетки, через которые постоянный ток подводится к зажимам. К этим зажимам присоединяют сварочные провода, идущие к электрододержателю и изделию.

Для выполнения сварочных работ при отсутствии электроэнергии (на новостройках, на монтажных работах в полевых условиях, при сварке газопроводов, нефтепроводов и других работах) применяют подвижные сварочные агрегаты (рис. 19), состоящие из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания.

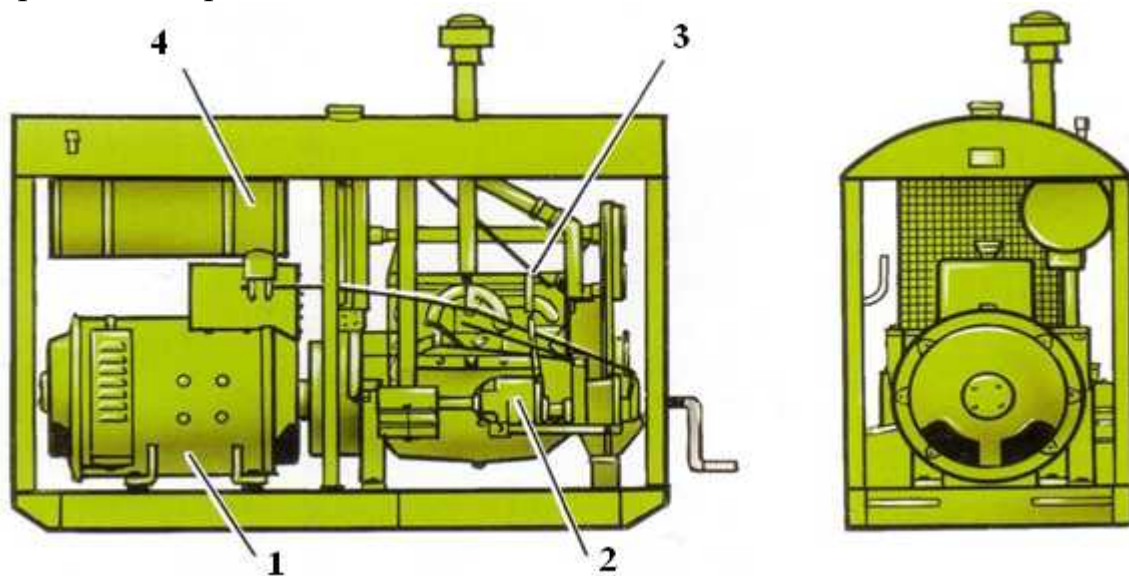


Рисунок 19. Внешний вид сварочного агрегата:
1 – генератор; 2 – двигатель; 3 – регулятор скорости вращения;
4 – бак с горючим

ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

К источникам питания сварочной дуги предъявляются технические требования, связанные со статической характеристикой дуги, процессом плавления и переноса металла при сварке. Эти источники значительно отличаются от электрических аппаратов, применяемых для питания током силовых и осветительных установок, и имеют следующие отличительные особенности:

- сварочные аппараты должны быть оборудованы устройством для регулирования силы сварочного тока, максимальное значение которого ограничивается определенной величиной;

- ток кратковременного короткого замыкания, возникающий в момент касания электродом изделия и при переносе расплавленного металла на изделие, должен быть определенной величины, безопасной для перегрева

аппарата и пережога обмоток и достаточной для быстрого разогрева конца электрода, ионизации дугового пространства и возникновения дуги;

- напряжение холостого хода должно обеспечивать быстрое зажигание дуги, но не создавать опасности поражения сварщика электрическим током, при соблюдении работающим правил безопасности; обычно оно в 1,8–2,5 раза больше рабочего напряжения дуги и находится в пределах 60–80 В. В правилах устройства электроустановок указаны предельные величины напряжения холостого хода аппаратов ручной дуговой сварки – постоянного тока 100 В (средняя величина), переменного 80 В;

- в процессе ручной сварки в зависимости от применяемой марки электродов и мастерства сварщика длина дуги может меняться в пределах 3–5 мм и соответственно будет меняться напряжение дуги, однако при этом лишь незначительно может меняться установленная сила тока, обеспечивающая требуемый тепловой режим сварки.

Все указанные требования учитываются внешней вольт-амперной характеристикой источника питания, которой называется зависимость между величиной сварочного тока и напряжения на выходных клеммах сварочного аппарата. Различают несколько типов внешних характеристик (рис. 20): крутопадающую *I*, пологопадающую *II*, жесткую *III* и возрастающую *IV*. Для ручной дуговой сварки используют источники питания с крутопадающей характеристикой, которая наиболее отвечает требованиям данного процесса: при изменении длины дуги, неизбежном во время ручной сварки, незначительно изменяется напряжение, а сила тока практически остается постоянной. Напряжение холостого хода достаточно высокое для зажигания дуги в начале работы. Источники с крутопадающей характеристикой используют также для сварки в защитном газе неплавящимся электродом и для сварки под флюсом. Источники с другими типами внешних характеристик используют для сварки под флюсом, сварки тонкой проволокой, электрошлаковой сварки и для многопостовых установок.

Кроме указанных внешних характеристик, источники питания дуги должны обладать хорошими динамическими свойствами – должны быстро реагировать на перерывы при коротком замыкании и восстанавливать горение дуги. Для сварочных генераторов Государственным стандартом установлен динамический показатель времени восстановления напряжения от нуля до рабочего (восстановления дуги) не более 0,3 с.

Источники питания для ручной дуговой сварки работают в режиме ПН (продолжительности нагрузки) или ПР (продолжительности работы), что равнозначно. При этих режимах установленная неизменная нагрузка (сварочный ток) чередуется с холостым ходом источника, когда в сварочной электрической цепи ток практически отсутствует.

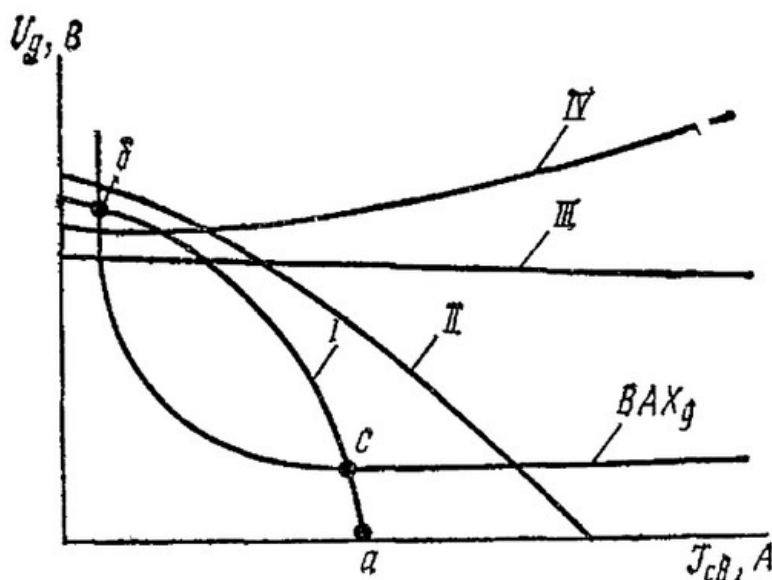


Рисунок 20. Внешние вольт-амперные характеристики источников питания:
 I – крутопадающая; II – пологопадающая; III – жесткая; IV – возрастающая

Продолжительность работы не должна быть настолько длительной, чтобы температура нагрева источника могла достигнуть значения, недопустимого для него. Этот режим определяется отношением времени сварки $t_{св}$ к сумме времени сварки и времени холостого хода источника $t_{хх}$:

$$\text{ПН} = \text{ПР} = 100 \cdot t_{св} / (t_{св} + t_{хх})$$

Величина ПН источников для ручной дуговой сварки обычно равна 60 %, продолжительность цикла $(t_{св} + t_{хх})$ источников переменного тока – трансформаторов 300 с (5 мин), источников постоянного тока – 300 и 600 с (5 и 10 мин). За время $t_{хх}$ происходит охлаждение источника, нагретого во время $t_{св}$.

Если вместо холостого хода в перерывах происходит отключение источника питания (пауза), то такой режим называют повторно-кратковременным (ПВ). Он определяется также в процентах:

$$\text{ПН} = \text{ПР} = 100 \cdot t_{св} / (t_{св} + t_{п})$$

где $t_{п}$ – время паузы, при котором отсутствуют потери энергии, имеющиеся при холостом ходе ($t_{хх}$).

Повторно-кратковременный режим используют при работе сварочными полуавтоматами. Постоянный рабочий режим (ПВ = 100 %) используют для установок автоматизированной сварки или для автоматов.

Сварочный ток, напряжение и мощность, при которых не происходит перегрев источника в максимальном расчетном режиме, называют номинальными.

Основными техническими характеристиками источников питания сварочной дуги являются напряжение холостого хода и номинальная сила сварочного тока. Источники для ручной сварки изготавливают на токи 125–500 А; для механизированной – 315–1000 А; для автоматической – 500–2000 А. Многопостовые источники имеют номинальную силу тока 1000–5000 А. Важным параметром является номинальное напряжение.

Например, однопостовые источники с падающей внешней характеристикой, предназначенные для ручной сварки, имеют номинальное напряжение 25–40 В. В технической документации указаны пределы регулирования силы тока и соответствующие ему пределы регулирования рабочего напряжения. Например, выпрямитель для ручной сварки с номинальной силой тока 315 А и напряжением 22–36 В. Задается также напряжение холостого хода, для источников с падающей характеристикой оно составляет 60–90 В.

ЗАДАНИЕ

Описать преимущества и недостатки источников питания переменного и постоянного тока.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Назовите источники питания переменного тока?
2. Назовите источники питания постоянного тока?
3. Какие требования предъявляются к источникам питания сварочной дуги?
4. Что собой представляет вольт-амперная характеристика источника питания сварочной дуги?
5. Назовите режимы работы источников питания сварочной дуги?

5. ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПОСТА

Рабочее место сварщика – это сварочный пост (рис. 21), который оснащен необходимым инструментом и оборудованием для выполнения работ. Сварочные посты могут быть оборудованы как в производственном помещении, так и на открытой производственной площадке (строительно-монтажные условия работы). В зависимости от условий работы сварочные посты могут быть стационарными или передвижными.

Сварочные посты необходимо размещать в специальных сварочных кабинах. В кабинах в качестве источников питания размещаются наиболее распространенные однопостовые сварочные трансформаторы типа ТДМ для сварки на переменном токе или сварочные выпрямители типа ВД или ВДУ для сварки на постоянном токе. Применяются также и многопостовые источники питания на несколько независимых постов.

Кабина сварочного поста должна иметь размеры: 2 (1,5) или 2 (2) м и высоту не менее 2 м. В кабине устанавливается металлический стол, к верхней части кабины подводится зонд местной вытяжки воздуха от вентиляционной системы. В столе предусматриваются выдвижные ящики для хранения необходимого инструмента и приспособлений.

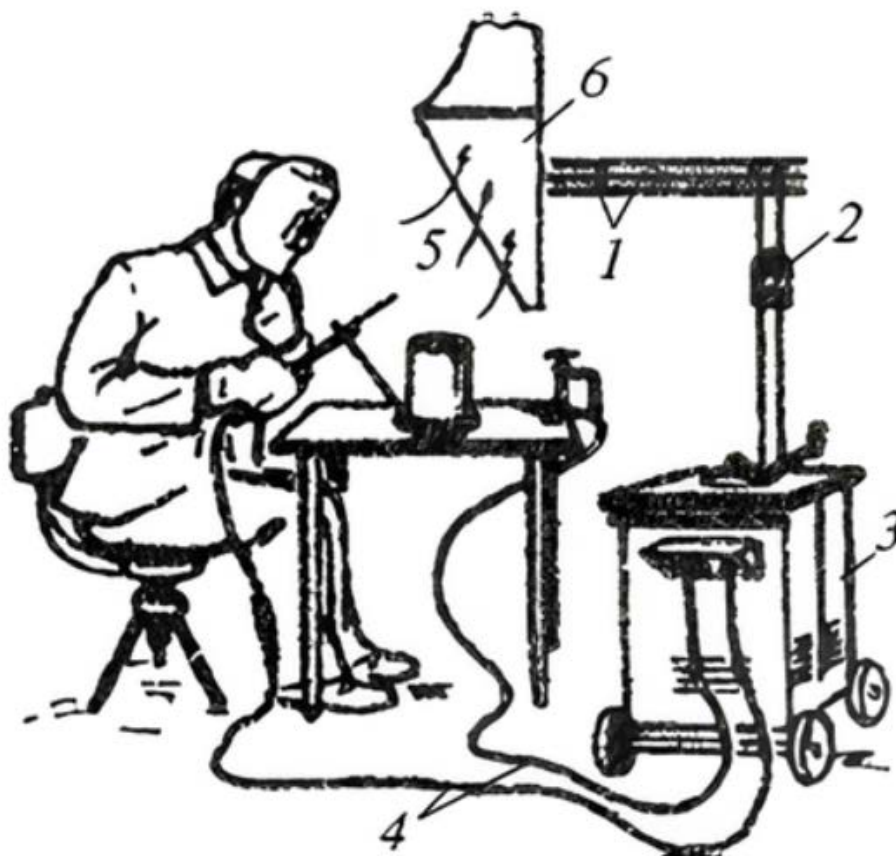


Рисунок 21. Сварочный пост для ручной сварки:

1 – сеть электрического питания; 2 – рубильник или магнитный пускатель;
3 – источник питания; 4 – сварочные провода; 5 – электрододержатель; 6 – зонд
местной вытяжки воздуха

Сварочный пост комплектуется источником питания, электрододержателем, сварочными проводами, зажимами для токонепроводящего провода, сварочным щитком с защитными светофильтрами, различными зачистными и мерительными инструментами. Сварщики обеспечиваются средствами личной защиты и спецодеждой.

Электрододержатель – приспособление для закрепления электрода и подвода к нему тока (рис. 22). Среди всего многообразия применяемых электрододержателей наиболее безопасными являются пружинные, изготавливаемые в соответствии с существующими стандартами: I типа – для тока до 125 А; II типа – для тока 125–315 А; III типа – для тока 315–500 А. Эти электрододержатели выдерживают без ремонта 8 000–10 000 зажимов. Время замены электрода не превышает 3–4 с. По конструкции различаются винтовые, пластинчатые, вилочные и пружинные электрододержатели.

Щитки сварочные изготавливаются двух типов: ручные и головные из легких негорючих материалов. Масса щитка не должна превышать 0,50 кг.

Защитные светофильтры (затемненные стекла), предназначенные для защиты глаз от излучения дуги, брызг металла и шлака, изготавливаются 13 классов или номеров.

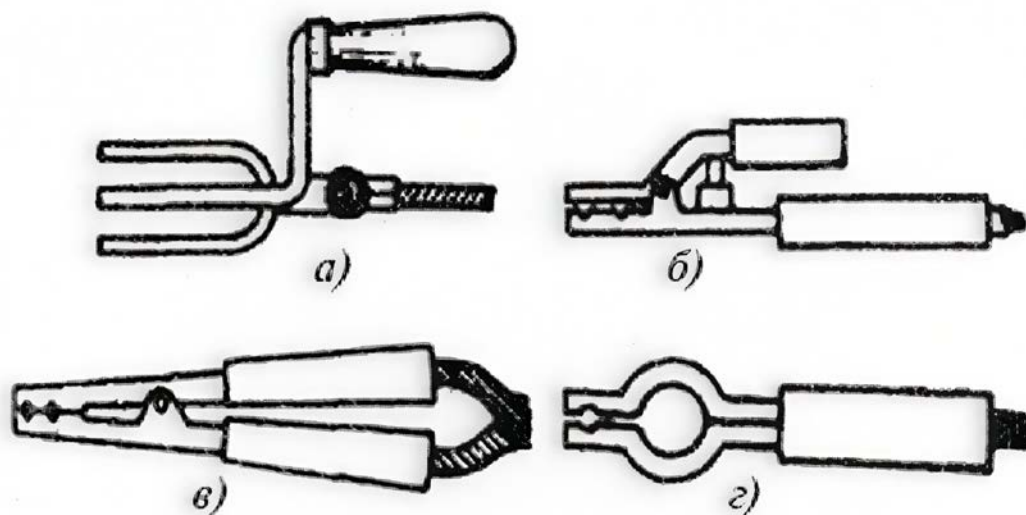


Рисунок 22. Типы электрододержателей:
а – вилочный; *б* – пластинчатый; *в* – завода «Электрик»; *г* – с пружинящим кольцом

Номер светофильтра подбирается в первую очередь в зависимости от индивидуальных особенностей зрения сварщика. Однако следует учитывать некоторые объективные факторы: величину сварочного тока, состав свариваемого металла, вид дуговой сварки, защиту сварочной ванны от воздействия газов воздуха. Размер светофильтра 52 x 102 мм. При сварке покрытыми электродами следует ориентироваться на применение светофильтров различных номеров в зависимости от величины сварочного тока: 100 А – № С5; 200 А – № С6; 300 А – № С7; 400 А – № С8; 500 А – № С9 и т. д.

При сварке плавящимся электродом тяжелых металлов в инертном газе следует пользоваться светофильтром на номер меньше, а легких металлов – на номер больше по сравнению со светофильтром при сварке покрытыми электродами.

При сварке в среде CO_2 применяют следующие светофильтры: до 100 А – № С1; 100–150 А – № С2; 150–250 А – № С3; 250–300 А – № С4; 300–400 А – № С5 и т. д. Светофильтры вставляются в рамку щитка, а снаружи светофильтр защищают обычным стеклом от брызг металла и шлака. Прозрачное стекло периодически заменяют.

Кабели и сварочные провода необходимы для подвода тока от источника питания к электрододержателю и изделию. Кабели изготавливают многожильными (гибкими) по установленным нормативам для электротехнических установок согласно ПУЭ (Правила устройства и эксплуатации электроустановок) из расчета плотности тока до 5 А/мм² при токах до 300 А.

Электрододержатели присоединяются к гибкому (многожильному) медному кабелю марки ПРГД или ПРГДО. Кабель сплетен из большого числа

отожженных медных проволочек диаметром 0,18–0,20 мм. Применять провод длиной более 30 м не рекомендуется, так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи. Рекомендуемые сечения сварочных проводов для подвода тока от сварочной машины или источника питания к электрододержателю и свариваемому изделию приведены в таблице 11.

Таблица 11. Площадь поперечного сечения сварочных проводов

Сила тока, А	Площадь сечения провода, мм ²	
	одинарного	двойного
125	25	-
315	50	2×16
500	70	2×25

Токоподводящий провод соединяется с изделием через *специальные зажимы*. В сварочном поворотном приспособлении должны быть предусмотрены специальные клеммы. Закрепление провода должно быть надежным. Самодельные удлинители токоподводящего провода в виде кусков или обрезков металла не допускаются. Некоторые виды зажимов приведены на рисунке 23.

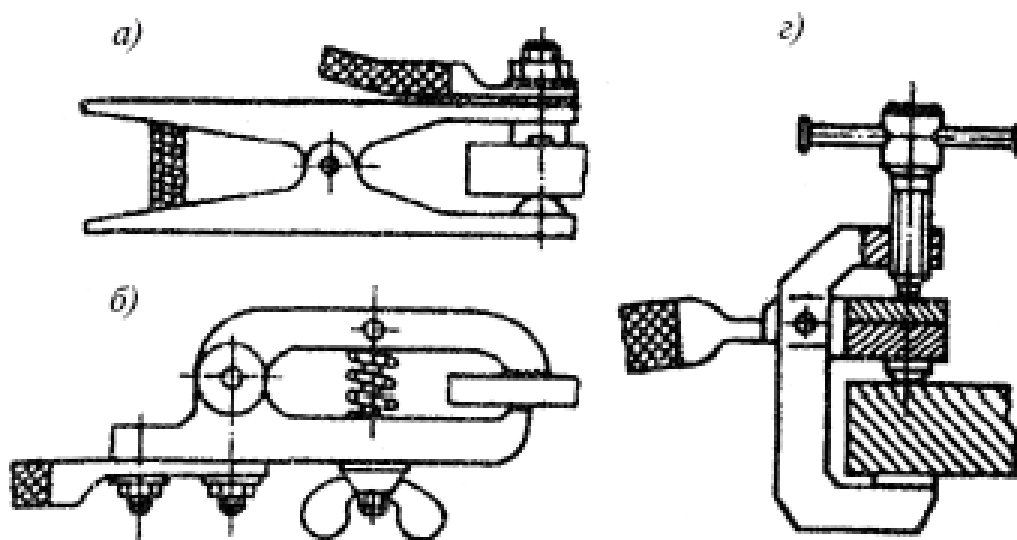


Рисунок 23. Токопроводящие зажимы:

а – быстродействующий с пружинным зажимом; *б* – с винтовым зажимом;
г – с винтовой струбциной

Одежда сварщика изготавливается из различных тканей, которые должны удовлетворять двум основным требованиям:

- наружная поверхность одежды должна быть огнестойкой и термостойкой;
- внутренняя (изнаночная) поверхность одежды должна быть влагопоглощающей.

Исходя из этих требований одежду для сварщиков – куртку и брюки – шьют из брезента, сукна, замши; иногда комбинируют ткани. Ассортимент

тканей и самой спецодежды постоянно расширяется. Зарубежные и отечественные фирмы изготавливают универсальную спецодежду, применяемую сварщиками, автогонщиками, работниками аварийно-спасательной службы. Наиболее совершенные костюмы для сварщиков изготавливает российская компания «Автохимэкс». Куртка и брюки изготовлены из двухлицевой ткани, у которой внешняя сторона – из нити типа кевлар, а внутренняя – из хлопчатобумажной пряжи. Ткань обладает повышенной прочностью, малым удлинением, что обеспечивает сохранение формы костюма (куртка, полукомбинезон или комбинезон). Все сварщики должны пользоваться защитными рукавицами. При выполнении сварочных работ внутри котлов, емкостей, резервуаров и т. д. сварщики должны обеспечиваться резиновыми ковриками, ботами, галошами, особыми наколенниками и подлокотниками, деревянными подложками и др.

При выполнении сварочных работ сварщик пользуется традиционным инструментом: металлической щеткой для зачистки кромок перед сваркой и удаления остатков шлака после сварки; молотком-шлакоотделителем для удаления шлаковой корки; зубилом, шаблонами для проверки размеров швов, личным клеймом, рулеткой металлической, угольником, чертилкой и т. д.

ЗАДАНИЕ

Для сварки встык двух стальных пластин, производимой в нижнем положении, выбрать марку электрода, диаметр электрода, определить род тока (постоянный или переменный), а также его полярность, рассчитать силу сварочного тока (табл. 12).

Таблица 12. Таблица индивидуальных заданий

№ варианта	Материал свариваемых пластин	Толщина свариваемых пластин, мм
1	Ст1	3
2	10Г2СД	3
3	Ст2	4
4	14ХГС	4
5	Ст3	5
6	15ХСНД	5

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Почему сварочный пост размещают в специальных сварочных кабинах?
2. Назовите основные виды электрододержателей и объясните, как в них закрепляется электрод?
3. Для какой цели применяются светофильтры и что они собой представляют?
4. Какую роль выполняют токопроводящие зажимы?
5. Из какого материала изготавливают токопроводящие провода для сварочного процесса?

6. СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Сварку в углекислом газе производят плавящимся электродом с помощью сварочного полуавтомата или автомата. Сварка считается полуавтоматической, когда перемещение горелки вдоль свариваемых кромок осуществляется вручную, а подача электродной проволоки и защитного газа – автоматически. При автоматическом способе перемещение горелки, подача проволоки и газа осуществляются автоматически. Наибольшее распространение получил случай питания сварочной дуги от источников постоянного тока с жесткой или возрастающей внешней характеристикой при обратной полярности, так как в этом случае дуга горит более стабильно, а разбрызгивание металла незначительно.

При сварке плавящимся электродом в атмосфере углекислого газа (рис. 24) дуга горит между электродной проволокой 8, непрерывно подаваемой через сварочную горелку в зону дуги 3, и свариваемым изделием 11. Под действием высоких температур сварочной дуги углекислый газ диссоциирует на оксид углерода и атомарный кислород, при этом свариваемый металл начинает интенсивно окисляться. Для нейтрализации такого явления в электродную проволоку вводят раскислители в виде марганца и кремния. На поверхности шва 1 образуется тонкая шлаковая корка из оксидов раскислителей.

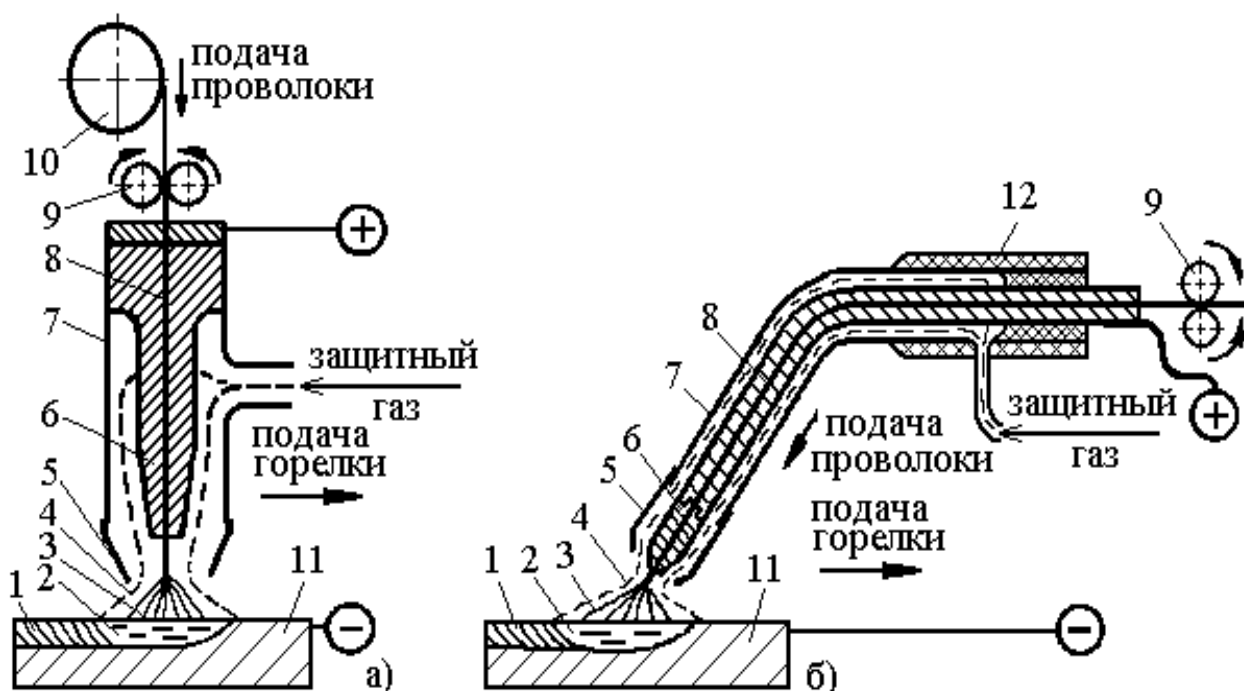


Рисунок 24. Схема сварки в защитных газах плавящимся электродом:
 а – горелка сварочного автомата; б – горелка сварочного полуавтомата;
 1 – сварной шов; 2 – ванна расплавленного металла; 3 – сварочная дуга;
 4 – атмосфера защитного газа; 5 – сопло; 6 – токоподводящий мундштук;
 7 – корпус горелки; 8 – электродная проволока; 9 – механизм подачи проволоки; 10 – кассета с проволокой; 11 – основной металл; 12 – рукоять горелки

Устойчивое горение сварочной дуги и хорошее качество шва при сварке плавящимся электродом на обратной полярности обеспечиваются за счет высокой плотности тока (не менее 100 А/мм²). При этом перенос расплавленного металла с электрода в сварочную ванну становится мелкокапельным или струйным, практически без разбрызгивания. Основным металлом проплавляется на большую глубину, формируется плотный шов с ровной и чистой поверхностью.

Так как плотность тока высока, а диаметр применяемой электродной проволоки не превышает 3 мм, интенсивный ее расход компенсируют большой скоростью подачи. Это возможно обеспечить только механизированной подачей проволоки в зону сварки, что и объясняет применение сварочных автоматов и полуавтоматов.

Основными параметрами режима сварки в углекислом газе является род, полярность и величина тока, напряжение дуги, диаметр и скорость подачи проволоки, расход газа, вылет электрода, скорость сварки. В зависимости от сочетания параметров режима процесса скорость сварки в углекислом газе составляет 20–80 м/ч.

В настоящее время широкое применение получили полуавтоматы для сварки в защитных газах: А-547У, А-929С, А-537У и А-537Р, А-1230 и др. Рассмотрим схему общего вида сварочного поста для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа на примере применения полуавтомата модели А-547У, представленной на рисунке 25.

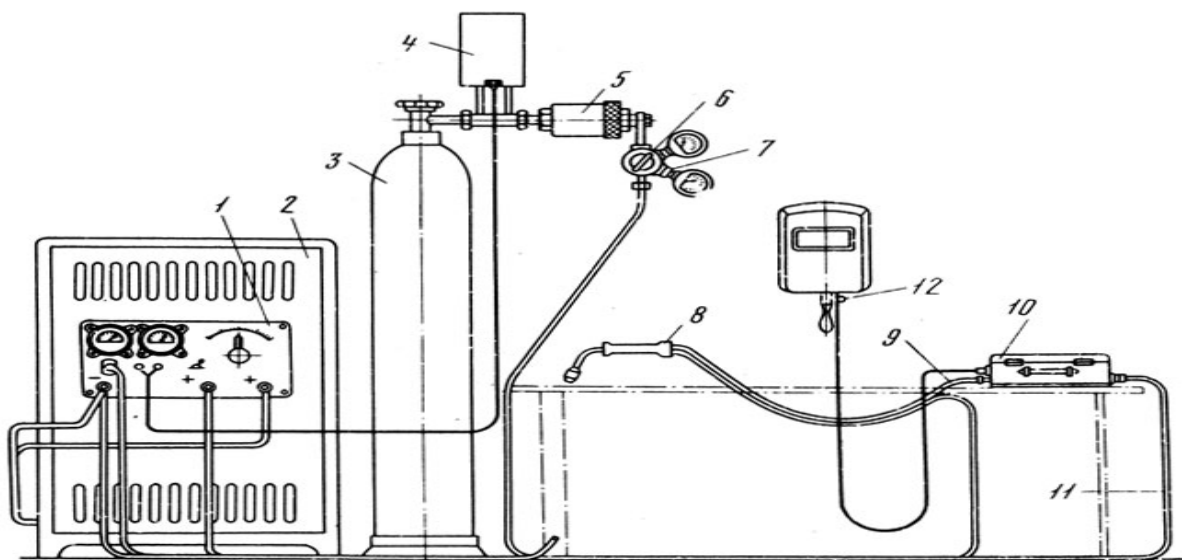


Рисунок 25. Общая схема установки полуавтомата А-547У для сварки в защитном газе:

1 – пульт управления; 2 – источник питания дуги и электромотора полуавтомата; 3 – баллон с газом; 4 – электроподогреватель газа; 5 – осушитель газа; 6 – редуктор; 7 – расходомер; 8 – горелка; 9 – шланг для подачи проволоки; 10 – чемодан с падающим механизмом и катушкой для проволоки; 11 – сварочный провод; 12 – кнопка 'Пуск' для подачи напряжения от источника питания для дуги и мотора полуавтомата, находящаяся на щитке сварщика

Полуавтомат А-547У позволяет сваривать сталь толщиной 0,8 и выше и угловые швы с катетом 1–7 мм в различных пространственных положениях. Он состоит из легкого чемодана с подающим механизмом и катушкой для проволоки и пульта управления, смонтированного вместе с источником питания. Подача проволоки плавно регулируется изменением скорости электродвигателя постоянного тока и сменой подающих роликов. В перечисленных выше моделях полуавтоматов в зависимости от диаметра применяемых электродных проволок применяются подающие механизмы с одной или двумя парами роликов (рис. 26).

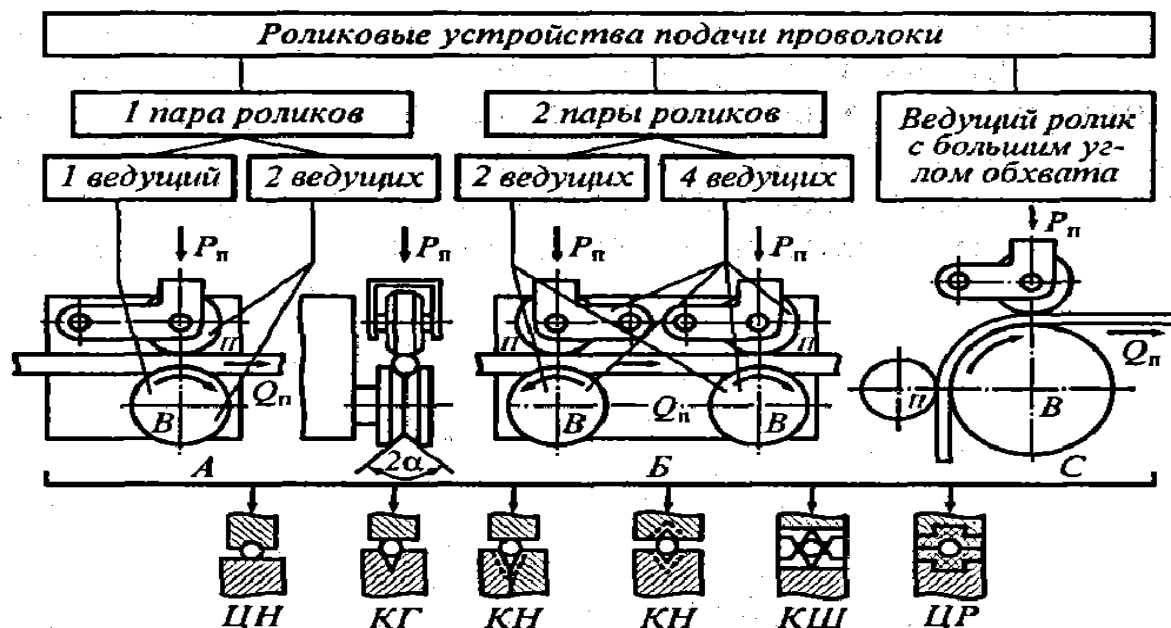
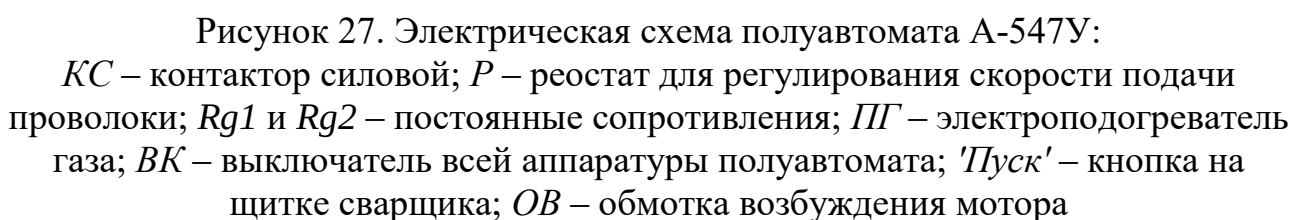


Рисунок 26. Роликовое устройство подачи электродной проволоки:
 P_n – сжимающее усилие; Q_n – усилие подачи; B – ролик ведущий; Π – ролик прижимной; $ЦН$ – ролик цилиндрический с насечкой; $КГ$ – ролик гладкий с канавкой; $КН$ – ролик с одной или двумя канавками, снабженный насечкой; $КШ$ – ролик шестеренчатый с канавкой; $ЦР$ – ролик цилиндрический обрезиненный

Особенностью полуавтомата является питание электродвигателя и других цепей управления (подогреватель газа, контактор) от источника сварочного тока (рис. 27). Перед началом сварки выключателем ВК производится подключение всей аппаратуры полуавтомата. После нажатия кнопки "Пуск", расположенной на щитке сварщика, замыкается цепь катушки силового контактора, срабатывает контактор и на горелку подается сварочное напряжение источника питания; одновременно включается двигатель механизма подачи проволоки, и она начинает подаваться в зону дуги. Процесс сварки продолжается, пока замкнута кнопка "Пуск". При отпускании кнопки "Пуск" процесс сварки прекращается.



69

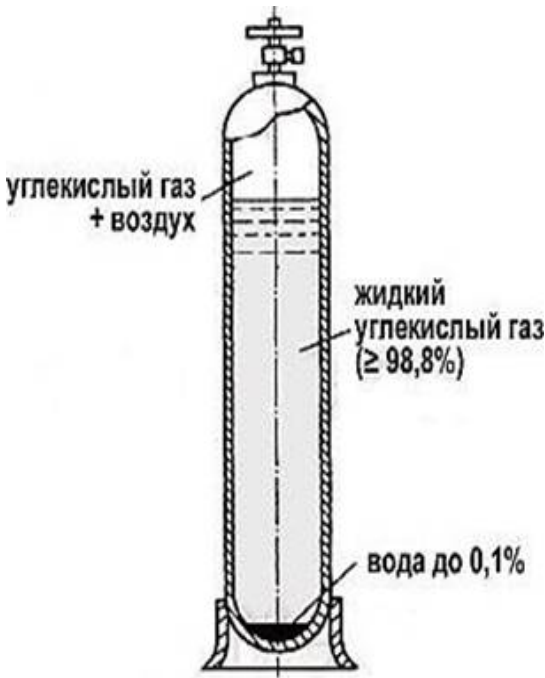
Для сварки применяют углекислоту по ГОСТ 8050-85, поставляемую в баллонах в жидком состоянии. Баллон – это сосуд, имеющий одну или две горловины для установки вентиля, фланцев или штуцеров, предназначенный для транспортировки, хранения и использования сжатых, сжиженных или растворенных под давлением газов. При испарении 1 кг жидкой углекислоты при 0 °С и 760 мм рт. ст. образуется 506,8 л газа. В стандартный баллон емкостью 40 л заливают 25 кг жидкой углекислоты, что составляет 12,67 м³ газа. Вредными примесями в углекислом газе являются азот и влага.

Газовое оборудование

Баллоны для углекислоты (табл. 12) в соответствии с ГОСТ 949-73 производятся из бесшовных труб конструкционных и легированных сталей марок 45 и 30ХГСА. В комплект новых углекислотных емкостей входят следующие детали:

- баллон для хранения углекислого газа;
- вентиль газовый весом 0,5 кг;
- транспортировочное кольцо из резины (2 шт.);
- опорное приспособление (башмак) весом 5,2 кг;
- стальной или волокнитовый колпак безопасности весом 0,5 кг;
- насадка для горловины весом 0,3 кг.

Таблица 12. Техническая характеристика баллона с углекислым газом

Характеристика баллона	Состояние газовых составляющих в баллоне с CO ₂
Цвет баллона: черный	
Цвет надписи: желтый	
Цвет полосы: нет	
Вместимость баллона: 40 л	
Диаметр цилиндра: 219 мм	
Высота баллона: 1755 мм	
Вес пустого баллона: 70 кг	
Количество газа в баллоне: 12,67 м ³	
Номинальное давление: 7,5 МПа	
Рабочее давление: 0,3-0,8 МПа	
Состояние газа: сжиженный	
Срок годности: 20 лет	

Баллоны для углекислоты должны соответствовать следующим эксплуатационным требованиям:

- к эксплуатации допускаются только исправные и освидетельствованные газовые баллоны;

- вентиль газового баллона должен быть плотно ввернут в отверстие горловины или в расходно-наполнительные штуцера у специальных баллонов, не имеющих горловины;

- стенки баллона не должны иметь вмятин, трещин, вздутий, сильной коррозии и иных деформаций;

- баллон должен быть окрашен и маркирован соответственно ГОСТ. Остаточная окраска баллона должна быть не менее 70 %;

- баллон должен иметь остаточное давление не менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²).

- паспорт баллона должен читаться;

- баллон должен быть освидетельствован.

Подогреватель (рис. 29) предназначен для подогрева углекислого газа, поступающего из баллона в редуктор, с целью предотвращения замерзания редуктора. При большом расходе углекислого газа температура газа понижается, что может привести к замерзанию в ней влаги и закупорке каналов в редукторе. Подогреватель используют только при сварке в углекислом газе.

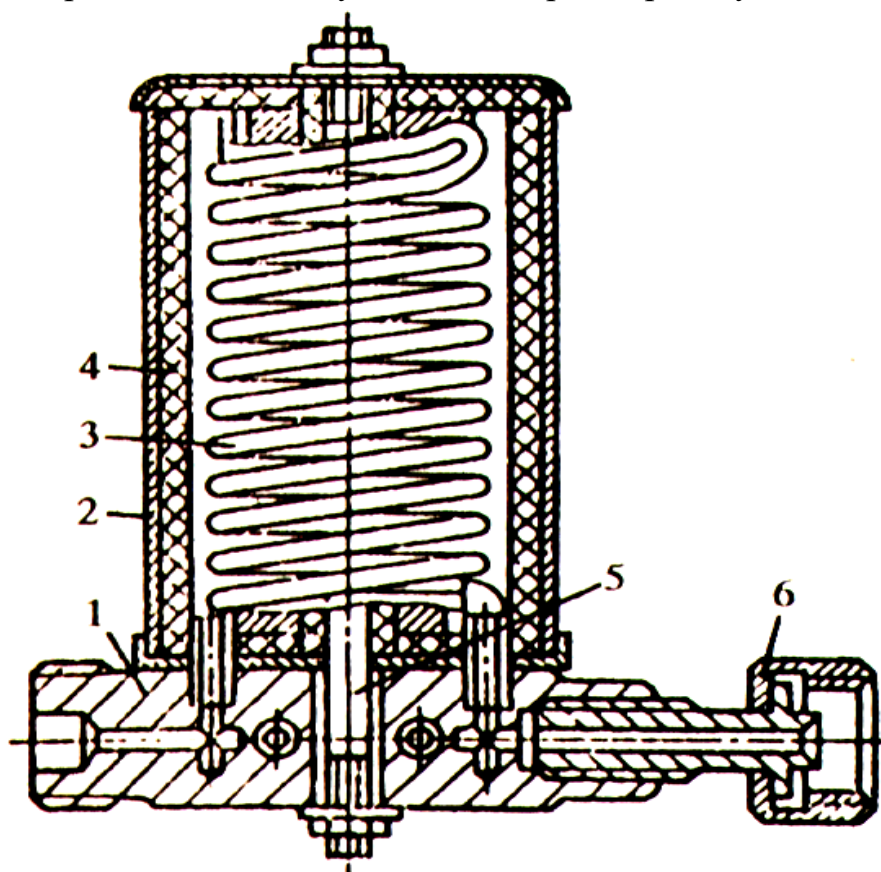


Рисунок 29. Подогреватель углекислого газа:

1 – корпус; 2 – кожух; 3 – трубка-змеевик; 4 – теплоизоляционный слой;
5 – нагревательный элемент; 6 – накидная гайка

Он состоит из корпуса 1, трубки-змеевика 3, по которой проходит углекислый газ, кожуха 2, теплоизоляции 4 и нагревательного элемента 5 из хромоникелевой проволоки, расположенного внутри змеевика. Подогреватель крепят к баллону гайкой 6. Питание его осуществляется постоянным током напряжением в 20 В или переменным током напряжением 36 В.

Для извлечения влаги из CO_2 используются осушители газа (рис. 30). Осушитель представляет собой корпус, заполненный материалом, хорошо впитывающим влагу. В качестве таких материалов используются силикагель, алюмогель или медный купорос, которые перед заправкой в осушитель необходимо прокалить при температуре 250–300 °С в течение 2–2,5 ч. Осушители могут быть высокого давления, устанавливаемые до редуктора, или низкого давления – после редуктора.

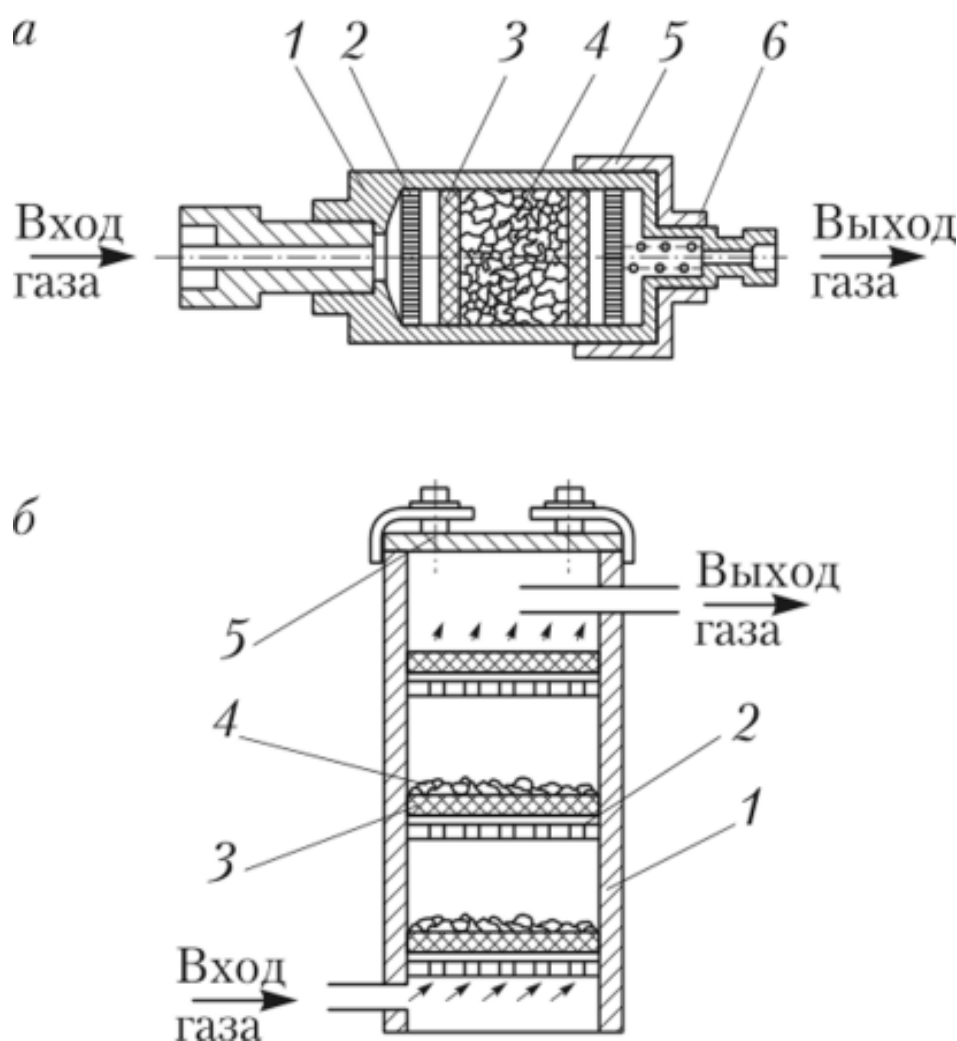


Рисунок 30. Схема осушителей углекислого газа:
а – высокого давления; *б* – низкого давления; 1 – кожух; 2 – решетки;
 3 – фильтр; 4 – влагопоглотитель; 5 – крышка; 6 – пружина

Газовые редукторы, в том числе углекислотные редукторы, служат для понижения давления газа, отбираемого из баллона и автоматического поддержания рабочего давления постоянным, независимо от падения давления в баллоне. Конструктивные исполнения газовых редукторов, типоразмеры и характеристики устройств должны соответствовать требованиям ГОСТ 13861-89, ISO 2503-83 и ГОСТ 12.2.052-81.

Редукторы классифицируются:

- по принципу действия на редукторы прямого и обратного действия;
- по назначению и месту установки – баллонный, рамповый и сетевой;
- по схемам редуцирования – одноступенчатый с механической установкой давления; двухступенчатый с механической установкой давления; одноступенчатый с пневматической установкой давления;
- по роду редуцируемого газа – ацетиленовый, кислородный, пропан-бутановый.

Редукторы отличаются друг от друга цветом окраски корпуса и присоединительными устройствами для крепления их к баллону. Редукторы, за исключением ацетиленовых, присоединяют накидными гайками, резьба которых соответствует резьбе штуцера вентиля. Ацетиленовые редукторы крепят к баллонам хомутом с упорным винтом. Принцип действия редуктора определяется его характеристикой. У редуктора прямого действия имеется падающая характеристика, т. е. рабочее давление по мере расхода газа из баллона несколько снижается; у редукторов обратного действия – возрастающая характеристика, т. е. с уменьшением давления газа в баллоне рабочее давление повышается.

Редукторы различаются по конструкции, однако принцип действия и основные детали одинаковы для каждого редуктора. Наиболее удобны в эксплуатации редукторы обратного действия (рис. 31).

Редуктор обратного действия работает следующим образом. Сжатый газ из баллона поступает в камеру высокого давления 6 и препятствует открыванию клапана 7. Давление перед редуктором определяется по манометру высокого давления 4, а на выходе из редуктора контролируется манометром низкого давления 9. Для подачи газа в горелку или резак необходимо вращать по часовой стрелке регулирующий винт 12. Винт сжимает нажимную пружину 11, которая в свою очередь выгибает гибкую резиновую мембрану 1 вверх. При этом передаточный диск со штоком сжимает обратную пружину 5, поднимая клапан 7, который открывает отверстие для прохода газа в камеру низкого давления 10. Открыванию клапана препятствует не только давление газа в камере высокого давления, но и пружина 5, имеющая меньшую силу, чем пружина 11. Автоматическое поддержание рабочего давления на заданном уровне происходит следующим образом.

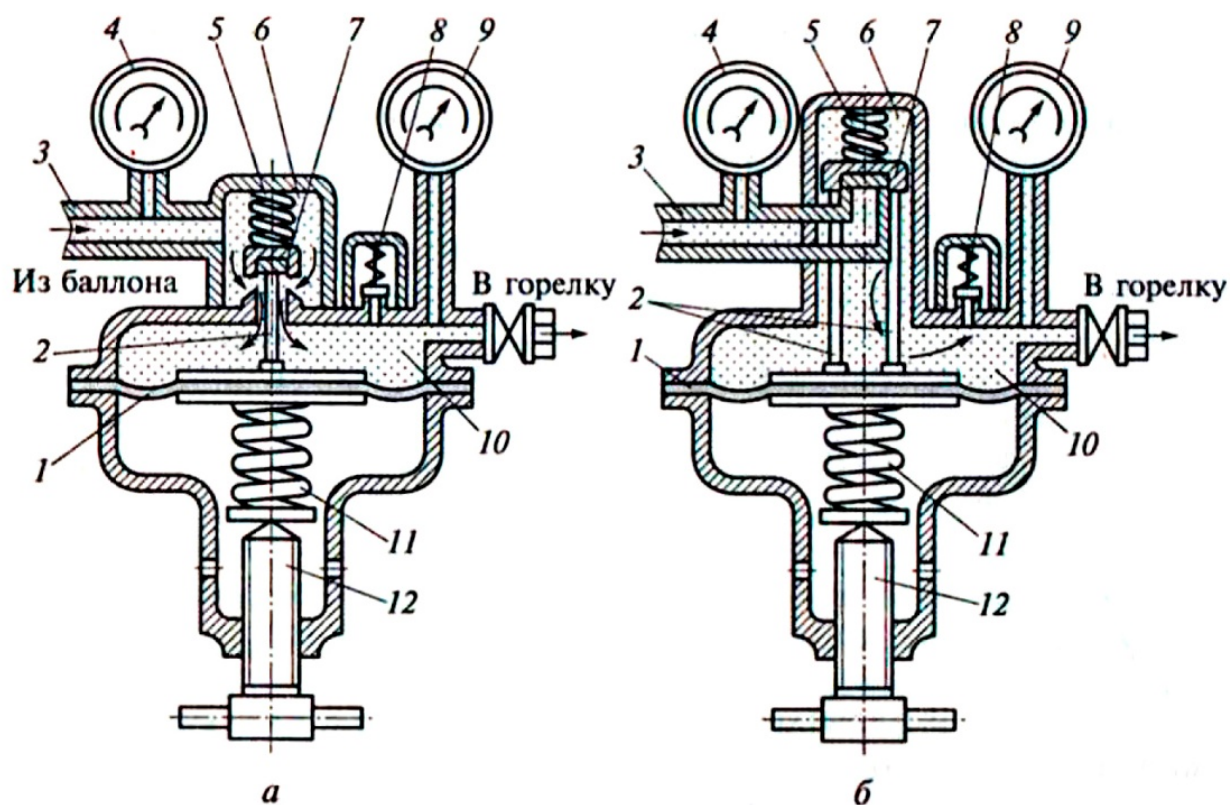


Рисунок 31. Схемы редукторов:

а – обратного действия; *б* – прямого действия; 1 – мембрана; 2 – передаточный диск со штоком; 3 – штуцер; 4 – манометр высокого давления; 5 – обратная пружина; 6 – камера высокого давления; 7 – редуцирующий клапан; 8 – пружинный предохранительный клапан; 9 – манометр низкого давления; 10 – камера низкого давления; 11 – нажимная пружина; 12 – регулирующий винт

Если отбор газа в горелку или резак уменьшится, то давление в камере низкого давления повысится, нажимная пружина 11 сожмется, и мембрана 1 выправится, а передаточный диск со штоком 2 спустится, и редуцирующий клапан 7 под действием пружины 5 прикроет седло клапана, уменьшив подачу газа в камеру низкого давления. Пружинный предохранительный клапан 8 защитит мембрану от разрыва в случае, если редуцирующий клапан 7 начнет пропускать газ.

Помимо однокамерных редукторов применяются двухкамерные, в которых давление газа понижается постепенно в двух камерах редуцирования, расположенных последовательно одна за другой. Двухкамерные редукторы обеспечивают более постоянное рабочее давление и менее склонны к замерзанию, однако они сложнее по конструкции, поэтому двухкамерные редукторы используют тогда, когда необходимо поддержать рабочее давление с повышенной точностью.

Отечественной промышленностью выпускается несколько разновидностей редукторов давления – БУО-5МГ, БУО-5-4, БУО-5 MINI,

УР 5-3 и др., но наиболее компактным и популярным считается редуктор марки УР 6-6.

Для измерения или получения показаний расхода газа применяют *ротаметры – расходомеры непрямого действия* (рис. 32). Они не измеряют расход движущейся среды непосредственно, т. е. на основе принципа положительного накопления. Вместо этого они определяют некоторую физическую величину расхода движущейся среды и преобразуют ее в соответствующий параметр расхода потока.

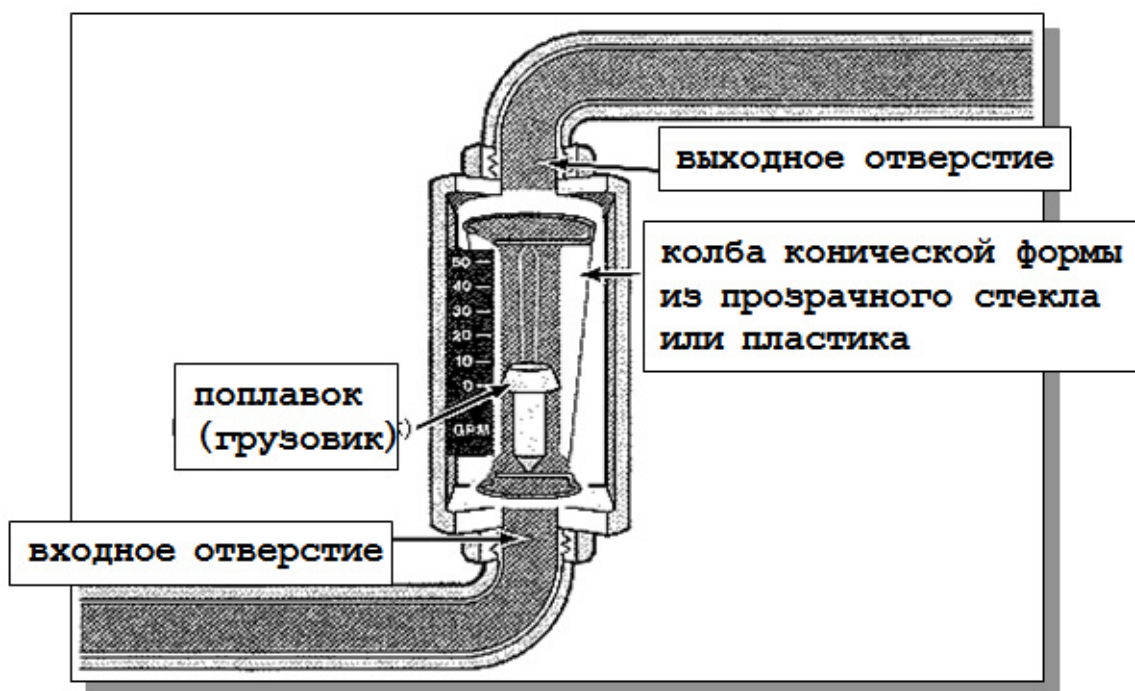


Рисунок 32. Схема ротаметра

Принцип работы ротаметра заключается в том, что газообразная или жидкая среда поступает через входное отверстие в донной части ротаметра, движется вверх через колбу, а затем покидает прибор через выходное отверстие в верхней части. Результатом направленного вверх движения среды в конусообразной колбе является перемещение поплавка. Для того чтобы поплавок перемещался в строго вертикальном направлении: вверх и вниз, монтаж ротаметра должен осуществляться в вертикальном исполнении. Для того чтобы поплавок не выходил из колбы в верхней и донной ее частях, устанавливаются стопорные устройства, такими устройствами могут быть пластмассовые или металлические фиксаторы. В качестве направляющего устройства для поплавка вдоль стенок внутри колбы проходят стеклянные или пластмассовые кромки, или ребра, которые предотвращают отклонение, переворачивание или заклинивание поплавка в колбе.

Обычно у ротаметра имеется шкала для снятия показаний о количестве движущейся среды. Шкала может быть выгравирована на самой колбе или же на какой-нибудь полоске, находящейся рядом с колбой. Шкала откалибрована в единицах измерения расхода потока, в кубических метрах, например.

Фактическое показание изменяется в соответствии с изменением положения поплавка относительно шкалы.

Особенности и режимы сварки в среде углекислого газа

Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа отлично подходит для новичков. Основной особенностью данного метода является применение обратной полярности постоянного тока. Это позволяет удерживать дугу. Если же, наоборот, применить прямую полярность, то увеличивается риск потери дуги, что негативно отразится на качестве спаивания.

Работая на обратной полярности, можно избежать разбрызгивания электрода. Если же нужно наплавить металл, тогда лучше применить прямую, так и КПД будет в 1,5–2 раза выше.

Режимы сварки, которые выставляются в настройках аппарата, зависят от многих факторов. В таблице 13 подробно описаны возможные варианты настроек, отталкиваясь от толщины металла, из которого сделаны заготовки для сваривания.

Таблица 13. Выбор режимов сварки в среде углекислого газа

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/м	Вылет электрода,
1,5	0,8–1,0	95–125	19–20	150–220	6–7	6–10
1,5	1,2	130–150	20–21	150–200	6–7	10–13
2,0	1,2	130–170	21–21,5	150–250	6–7	10–13
3,0	1,2–1,4	200–300	22–25	380–490	8–11	10–13
4,0–5,0	1,2–1,6	200–300	25–30	490–680	11–16	10–20
6,0–8,0 и более	1,2–1,6	200–300	25–30	-	11–16	10–20

В углекислом газе сваривают конструкции из углеродистых, низколегированных и некоторых высоколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т. д.).

Преимущества и недостатки сварки в среде CO₂:

1. Есть возможность соединять тонколистовой металл.
2. Можно сваривать разные типы металлов, с разными характеристиками и температурой плавления.
3. Электрическая дуга отличается высокой стабильностью.
4. Сварная ванна находится под надежной защитой от окисления и воздействия негативных факторов внешней среды.
5. Шов в результате получается очень качественным.
6. Технология полуавтоматической сварки в среде углекислого газа считается самой безопасной, в сравнении с другими методами.

Кроме преимуществ, можно и отметить несколько недостатков:

1. По качеству углекислота немного уступает другим газовым смесям.
2. При работе в стационарных помещениях требуется наличие местной мощной вентиляции.

ЗАДАНИЕ

Опишите назначение элементов газовой аппаратуры для сварки в среде углекислого газа.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В чем принципиальное отличие ручной дуговой сварки от частично механизированной?
2. Для чего при сварке в среде углекислого газа легируют электродную проволоку?
3. В каком виде находится углекислый газ в баллонах и под каким давлением?
4. Почему сварочный процесс производят на постоянном токе обратной полярности?

7. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ РУЧНОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ В АРГОНЕ

Сварка аргоном совмещает в себе признаки электродуговой и газовой сварки. Плавление кромок соединяемых деталей и присадочного материала, при помощи которого и формируется сварной шов, обеспечивается за счет высокой температуры, создаваемой при горении электрической дуги. Газ (в данном случае аргон) выполняет защитные функции.

Ручная электродуговая сварка неплавящимся электродом

Согласно международной классификации, технология и оборудование для аргонодуговой сварки, выполняемой при помощи электрода из вольфрама в защитной среде любого инертного газа, обозначается аббревиатурой TIG (Tungsten Inert Gas), а методы ее применения представлены в таблице 14.

Таблица 14. Методы аргонодуговой сварки TIG

Метод сварки	Род тока	Свариваемый материал		
		углеродистая сталь	нержавеющая сталь	алюминий и его сплавы
TIG Ручная сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного газа	AC	-	-	+
	DC	+	+	-

Схема работы аргонодуговой сварки с подробным указанием всех ее элементов представлена на рисунке 33.

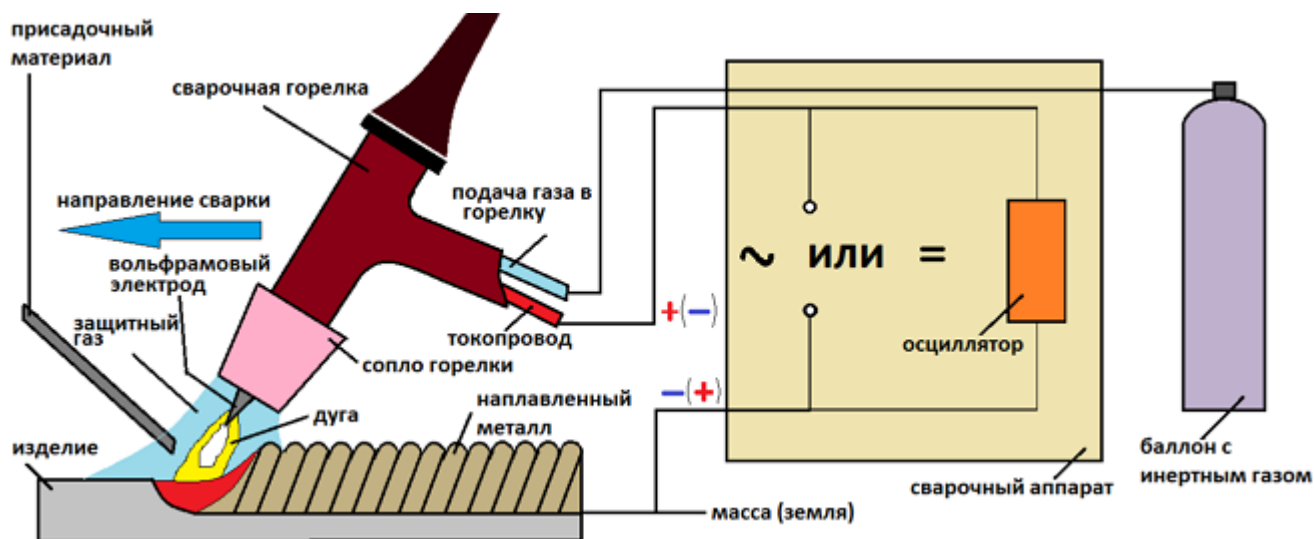


Рисунок 33. Схема работы аргонодуговой сварки

Рассмотрим более подробно конструкцию основных элементов оборудования TIG. Рабочим органом сварочного оборудования, используемого для соединения металлических деталей в среде защитных газов (в том числе и аргона), является горелка, схема и элементы комплектации которой представлены на рисунках 34 и 35.

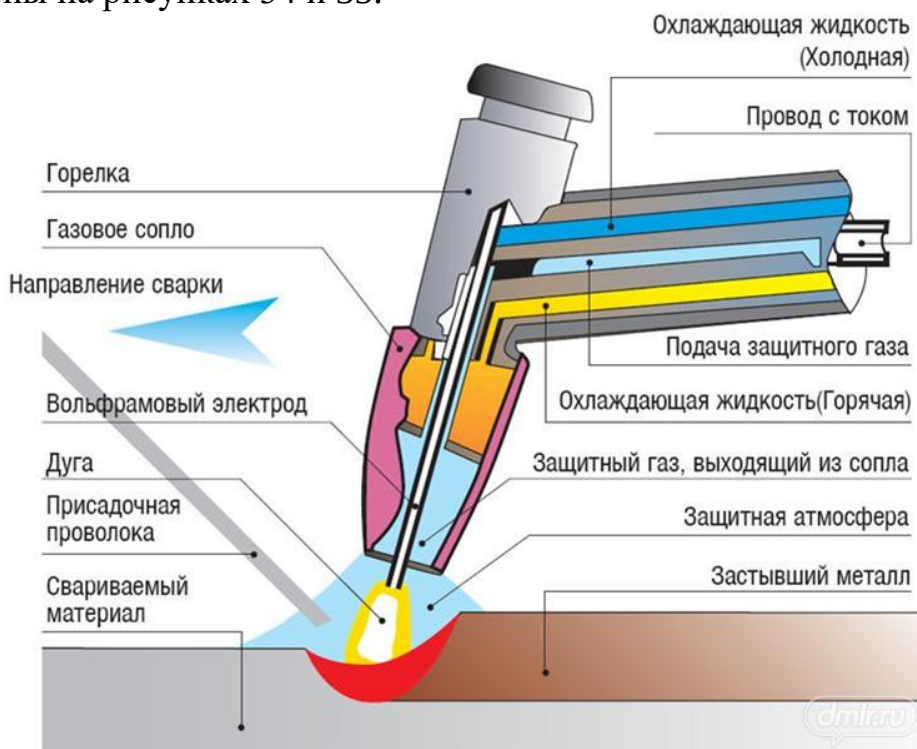


Рисунок 34. Схема работы горелки для сварки TIG



Рисунок 35. Элементы комплектации горелки TIG

Аргоновая горелка, подключается к сварочному аппарату. На электрод подается ток требуемой величины, а сама зона сварки защищена облаком инертного газа аргона от взаимодействия с кислородом воздуха, что предотвращает возможность окисления металла.

На рисунке 35 приведено два варианта комплектации горелки TIG. Самый обычный – это когда в корпус горелки вкручивается цангодержатель, в который вставляется цанга. Цанга зажимает электрод при затягивании заглушки. Поверх цангодержателя накручивается керамическое сопло. Такая горелка подходит для общих промышленных работ и не даст хороших результатов при сварке тонкостенных конструкций или труб, но неплохо справится с алюминием при сварке большим током в режиме АС (переменный ток). Первым шагом на пути к качественным швам будет замена обычного цангодержателя на газовую линзу, поверх которой накручивается специальное сопло. Отличие газовой линзы от обычного цангодержателя в более сложной конструкции, где аргон подается в сопло и равномерно рассеивается через мелкую сетку.

При выполнении аргонодуговой сварки (TIG) характер и скорость движения защитного газа во многом определяют качество полученных швов. При высокой скорости движения аргона, он создает разреженную зону в районе выхода из сопла. Это способствует подсосу кислорода и его попаданию в сварочную зону. К аналогичному результату приводит и слишком низкая скорость подачи аргона. В этом случае в общем потоке газа образуются разрывы, в которые попадает воздух. И в том, и в другом варианте результат получается одинаковый – пористость швов.

Газовая линза (рис. 36) позволяет избежать такой ситуации. Основным ее элементом является пятислойная металлическая решетка из нержавеющей

стали, установленная в латунном корпусе цангового зажима. Используя газовые линзы, можно улучшить качество сварного шва при работе с чувствительными к воздействию воздуха металлами. Именно она устраняет турбулентность и обеспечивает газовому потоку ламинарность (рис. 37), что исключает попадание воздуха в сварочную зону. Газовая линза больше, чем стандартный цанговый зажим. По этой причине при ее установке заменяется и сопло горелки.

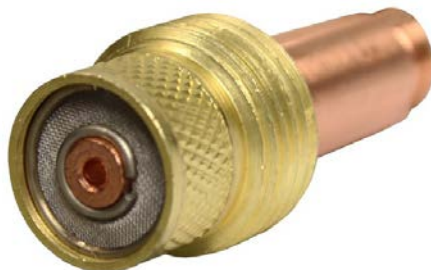


Рисунок 36. Газовая линза



Рисунок 37. Виды движения газового потока

Газовые линзы делятся на два типа:

- первый тип для горелок TS 17, TS 18, TS 26 и все модификации;
- второй тип для горелок TS 9, TS 20, TS 25 и все модификации.

Разница лишь в конструкции газовой линзы, под разные типы горелок используются разные газовые линзы. Газовая линза сконструирована так, что вам не нужно покупать цангодержатель. Цангу и вольфрамовый электрод вставляют непосредственно в газовую линзу, где последний плотно закрепляется. Газовые линзы имеют различные диаметры (так, например, в газовую линзу для горелок TS 17, TS 18, TS 26 можно вставить вольфрамовые электроды диаметром: 1 мм, 1,6 мм, 2,0 мм, 2,4 мм, 3,2 мм, 4,0 мм, а в газовую линзу для горелок TS 9, TS 20, TS 25 можно вставить вольфрамовые электроды диаметром: 1 мм, 1,6 мм, 2,0 мм, 2,4 мм, 3,2 мм). Таким образом, например, 4 мм вольфрамовый электрод подходит только для горелок TS 17, TS 18 и TS 26.

Обратите внимание! При комплектовании горелки газовой линзой понадобится кольцо для газовой линзы. Для горелок TS 17, TS 18, TS 26 – понадобится это кольцо IGK0008, а для TS 9, TS 20, TS 25 – кольцо IGK0006.

Также необходимо выбирать керамические сопла, которые подходят для газовых линз, обычные керамические сопла не получится накрутить на газовую линзу.

При продаже в комплект входит шлейф: шланг для подачи аргона и силовой кабель. В редких случаях горелка поставляется без шлейфа!

Виды аргоновых горелок для ручной сварки TIG

Сварка может производиться вручную, в полуавтоматическом и автоматическом режимах. Соответственно, конструктивное исполнение будет отличаться. Чем более автоматизирован процесс, тем сложнее устройство.

Рассмотрим устройства исключительно для ручной сварки (TIG): какие они бывают, на что обращать внимание при выборе той или иной модели. Основные функции горелки: держать сварочный электрод, создающий дугу, и подавать газ в зону сварки. С этим справляются даже простейшие горелки. Для качественного результата, кроме опыта сварщика, требуется, чтобы было удобно работать и можно было не ожидать подвоха в виде, например, выпадающего электрода или другой неприятной «мелочи».

Аргоновые горелки классифицируют по виду охлаждения: воздушное или жидкостное. Горелки для аргоновой сварки, имеющие воздушное охлаждение, используются для сваривания только коротких швов длиной до 250 мм, а ток не должен превышать 200 ампер. Для длинных швов более 1000 мм используется горелка, оснащенная жидкостным охлаждением, ток не должен быть выше 500 А.

В большинстве моделей горелок TIG предусмотрено воздушное охлаждение. Водяной теплоотвод требует дополнительной оснастки.

По способу подачи газа различают горелки, оборудованные вентилем или кнопкой. Некоторые модели снабжены и тем, и другим.

По типу разъема, подключаемого к сварочному аппарату, классифицировать горелки сложно из-за их многообразия.

Обычно производитель устанавливает разъемы под определенные виды сварочных аппаратов. Разъем должен соответствовать гнезду сварочного аппарата. Здесь могут возникнуть проблемы при покупке горелки, поскольку лишь единичные изготовители указывают в наименовании тип разъема. Например, в горелке FUBAG FB TIG 26 5P – управляющий разъем 5pin, в TORCH 24 WATER 4m M12x1 – разъем M12x1. В крайнем случае, разъем перепаявают. Зато обязательно указана длина шлейфа. Самый распространенный его размер – 4 метра, реже – 8 метров, еще реже – промежуточные значения.

Подготовка электродов перед сваркой TIG

Подготовка электродов перед сваркой TIG заключается в правильной их заточке. При этом необходимо учесть особенности заточки электродов применительно к постоянному и переменному току.

При сварке TIG на постоянном токе угол и направление заточки важно скорректировать так, чтобы кончик электрода стал очень острым. Это необходимо для того, чтобы сварочная дуга была полностью сфокусирована на малом диаметре сварочной ванны. Если электрод не будет заточен, то размер дуги будет слишком большим в диаметре и тепловложение окажется недостаточным. Для сварки металлов на переменном токе электрод тоже нужно заточить. Но в этом случае кончик электрода должен быть немного притуплен. При сварке на переменном токе вольфрамовый электрод сильнее греется и немного подплавляется, что и требуется для получения более рассеянной дуги.

Рассмотрим, при помощи каких средств производится заточка вольфрамовых электродов. В идеале качественную заточку вольфрамового электрода производят при помощи машинки для заточки электродов. Наиболее популярными моделями таких машинок являются: электрические машинки для заточки вольфрамовых электродов марки КЕДР TIG-40, WEG 4,0, пневматическая машинка TECNA SPMD. Самым современным оборудованием, решающим проблему заточки вольфрамовых электродов, является применение шлифовального станка модели Ультра – TIG-230 V. В этом станке заложен принцип мокрого шлифования, что предохраняет процесс заточки электрода от перегрева. На промышленных предприятиях России ввиду высокой стоимости такого оборудования заточку вольфрамовых электродов производят в слесарной мастерской с использованием обычных заточных станков (точил).

Для заточки необходимо применять круги с мелким абразивным зерном (идеальный вариант – это алмазный круг). Целесообразно применять шлифовальные круги с зернистостью 40 и менее (размер абразивных частиц менее 400 мкм), поскольку в данном случае риски от абразива на поверхности будут менее глубокие и в процессе заточки будет стачиваться меньше драгоценного вольфрама. Глубокие канавки от абразива вызывают потери энергии и нестабильное поведение дуги. Желательно на абразивном круге, где производится зачистка, не работать с другими материалами, так как их частички могут осаживаться на поверхность электрода. Заточку вольфрамового электрода необходимо производить в продольном (по оси электрода), а не в поперечном направлении (рис. 38).

Поскольку вольфрамовые электроды в процессе изготовления имеют структуру зерна, которая расположена вдоль оси и заточка в поперечном направлении является шлифованием поперек зерна. Но это является не столь существенным, как тот факт, что электроны текут с большой плотностью по поверхности электрода, и если на нем канавки от заточки расположены поперек – электронам тяжелее их преодолевать. Поскольку дуга ищет места с наименьшим сопротивлением, она может возникнуть не на конце вольфрамового электрода, а в канавках от шлифования и будет вращаться вокруг заостренного конца, что, в свою очередь, вызывает перегрев электрода и его быстрый износ.

правильная заточка



неправильная заточка



Рисунок 38. Схема заточки вольфрамового электрода

Если следы от абразива расположены вдоль – электроны текут равномерно к заостренному концу электрода с меньшим сопротивлением. В данном случае дуга зажигается на конце, является более стабильной и менее нагревает вольфрамовый электрод, что увеличивает срок его службы.

При заточке электродов не допускается их перегрев, в результате которого появляется изменение цвета поверхности и показывает, что на поверхности образовались оксиды, которые имеют большее сопротивление, чем вольфрам, и будут препятствовать зажиганию дуги.

Правильность заточки сварочных электродов (рис. 39) напрямую влияет на качество выполняемых сварочных работ. При обработке прутков важно уделять внимание и углу заточки, и площади притупления, и качеству шлифовки поверхности. Каждый из этих параметров отвечает за отдельные показатели и может существенно улучшить или ухудшить общее состояние получаемого шва.

При обработке электродов важно помнить несколько основных правил:

- чем больше угол, тем уже дуга;
- большие углы увеличивают срок эксплуатации электродов;
- маленькие углы – гаранты стабильности дуги;
- при маленьких углах проще работать на низком токе;
- уменьшение размеров диаметра притупления электрода позволяет увеличить глубину проплавления.

Чистота и гладкость поверхности электрода не должна переступать показателя в 0,5 Ra. Увеличение этого параметра приведет к нестабильности дуги, риску ее возгорания за пределами кончика электрода, уменьшению эксплуатационного срока.

Правила заточки электродов

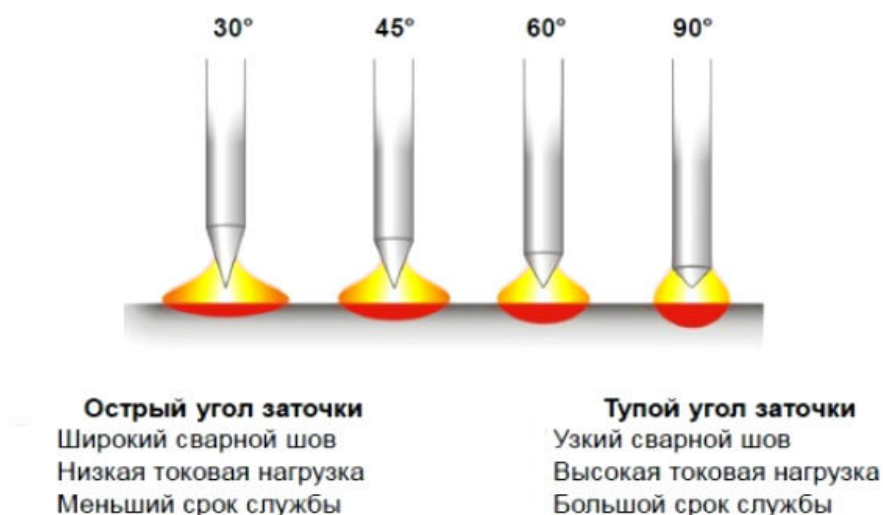


Рисунок 39. Влияние угла заточки электрода на ширину сварного шва

Требуемую температуру в процессе выполнения сварки аргоном создает электрическая дуга. Сварной шов формируется при помощи присадочной проволоки, состав которой должен максимально соответствовать составу обрабатываемого металла.

Выбор сварочного аппарата TIG

При выборе аппарата аргонодуговой сварки следует руководствоваться следующими критериями:

Диапазон силы тока

При выборе сварочного аппарата TIG, диапазону силы тока следует уделять особое внимание. Чем шире диапазон рабочей силы тока, тем лучше. Аппарат с узким диапазоном значительно ограничит возможности сварки различных материалов. Сварочный аппарат с диапазоном силы тока от 5 до 230 А позволит варить нержавеющей сталь толщиной 0,6 мм и алюминий толщиной 6,3 мм. Для сварки деталей из алюминия необходимо больше рабочей силы тока, чем для сварки нержавеющей стали. Сварочный аппарат с диапазоном рабочей силы 200 А ограничит возможность варить алюминиевые листы толщиной от 3,2 до 4,8 мм. Таким образом, чем шире диапазон рабочей силы тока сварочного аппарата, тем больше разных задач он позволяет решать.

Наименьшая рабочая сила тока

При выборе аппарата аргонодуговой сварки следует также уделять внимание стабильности дуги при силе тока менее 10 А. От этого зависит легкость образования дуги и хороший контроль дуги. Сваркой с вольфрамовым

электродом часто варят тонкие листы металла. При этом лучше, если дуга образуется без использования высоких частот или горячего старта.

Некоторые сварочные аппараты оснащены функцией облегченного образования дуги – горячий старт. При горячем старте для запуска дуги на электрод на несколько миллисекунд подается более высокая сила тока. При горячем старте имеется риск прожечь дыру, если вы варите тонкие листы. Кроме того, горячий старт не гарантирует стабильности дуги в процессе сварки и не дает возможности сварщику точно контролировать дугу.

Стабильность сварочной дуги важна не только для образования дуги, но и для качественного процесса сварки в целом. Например, при ремонте пропеллера для лодочного мотора вам нужно сварить угловое соединение. При этом очень важно не прожечь дыру в материале, и работать крайне неудобно, если дуга все время соскакивает. Стабильность сварочной дуги также важна при завершении сварочного шва. При сварке методом TIG на этапе завершения сварки обычно силу тока снижают, чтобы заполнить полость в конце сварочного шва.

При сварке алюминия большая полость в конце сварочного шва может привести к образованию трещин в материале при остывании детали. Хороший контроль сварочной дуги при плавном понижении рабочей силы тока предупреждает образование крупной впадины в конце сварочного шва и способствует более плавному остыванию сварочной ванны (области расплавленного металла). Некоторые сварочные аппараты аргонодуговой сварки оснащены электроникой, которая обеспечивает стабильный старт сварочной дуги при низкой рабочей силе тока и плавное снижение силы тока при завершении сварочного шва, как при переменном, так и при постоянном токе.

Переменный и постоянный сварочный ток

Если планируется варить не только сталь и нержавейку, сварочный аппарат должен иметь возможность сварки, как переменным, так и постоянным током. Переменный ток используют при сварке самоокисляющихся металлов, таких как алюминий и сплавы магния. Постоянным током варят сталь, нержавеющей сталь и медь. При сварке переменным током ток постоянно меняется с положительного на отрицательный. Когда варят алюминий, положительным током поверхность металла очищается от оксидов, а отрицательным осуществляется плавление.

При выборе сварочного аппарата TIG следует обратить внимание на возможность регулировать баланс положительного и отрицательного рабочего тока. Это позволит менять время сварки током определенной полярности. Другими словами, это позволит контролировать время чистки от оксидов и время плавления. Далеко не все аппараты позволяют контролировать этот параметр.

Простота использования

Аргонодуговая сварка требует достаточно высокой квалификации сварщика. Хороший сварочный аппарат отличается простотой использования и

понятными органами управления. Износостойкая, металлическая педаль контроля силы рабочего тока значительно облегчает процесс сварки и позволяет достаточно точно повышать или понижать рабочую силу тока по мере необходимости. Регулирующая силу тока педаль – это обязательный аксессуар для сварки алюминия. Для сварки холодного алюминия необходимо больше ампер. Однако алюминий достаточно быстро нагревается в процессе сварки. Ножная педаль позволяет снижать силу тока по мере того, как алюминий нагревается. Это дает возможность поддерживать хорошую скорость проведения электрода и позволяет получать качественный сварной шов с постоянным профилем. Педаль позволяет плавно снизить силу тока в конце сварного шва, что обеспечивает правильное заполнение полости в конце сварки. На рынке существуют и ручные регуляторы силы рабочего тока. Однако пользоваться ими также удобно, как автомобилем без педали газа.

Следует также обратить внимание при выборе сварочного аппарата на систему его охлаждения. Сварочные аппараты TIG для охлаждения оснащены вентиляторами. При этом вентилятор может работать постоянно или включаться по датчику температуры, когда электроника нагревается. Постоянно работающий вентилятор затягивает пыль и грязь, что сокращает срок службы сварочного аппарата. В свою очередь, вентилятор, который включается при нагреве, меняет температуру внутренней среды прибора с горячей на холодную, что также является стрессом для электронных компонентов. В идеале, вентилятор должен охлаждать платы лишь тогда, когда это крайне необходимо.

Некоторые сварочные аппараты включают вентилятор, когда образуется сварочная дуга и вентилятор работает в течение нескольких минут после завершения сварки. Это сокращает количество всасываемой пыли, так как вентилятор включается, когда это необходимо. В то же время такая система не сильно меняет температуру внутри прибора.

Рейтинг лучших сварочных аппаратов для сварки в аргоне представлен в *Приложении 1*.

Комплектация установки для сварки TIG

Комплектацию установки для сварки TIG можно произвести двумя способами:

- приобрести все необходимое оборудование в специализированных магазинах для сварки;
- закупить все необходимое оборудование самостоятельно, без посредников, через интернет-магазины.

Используя последний вариант, можно значительно сэкономить материальные ресурсы для комплектации установки для сварки TIG. Поэтому подробно рассмотрим этот вариант комплектации сварки TIG.

Оборудование и оснащение для сварки TIG аргонном

Вариант оснащения оборудованием для сварки TIG аргонном представлен на рисунке 40.

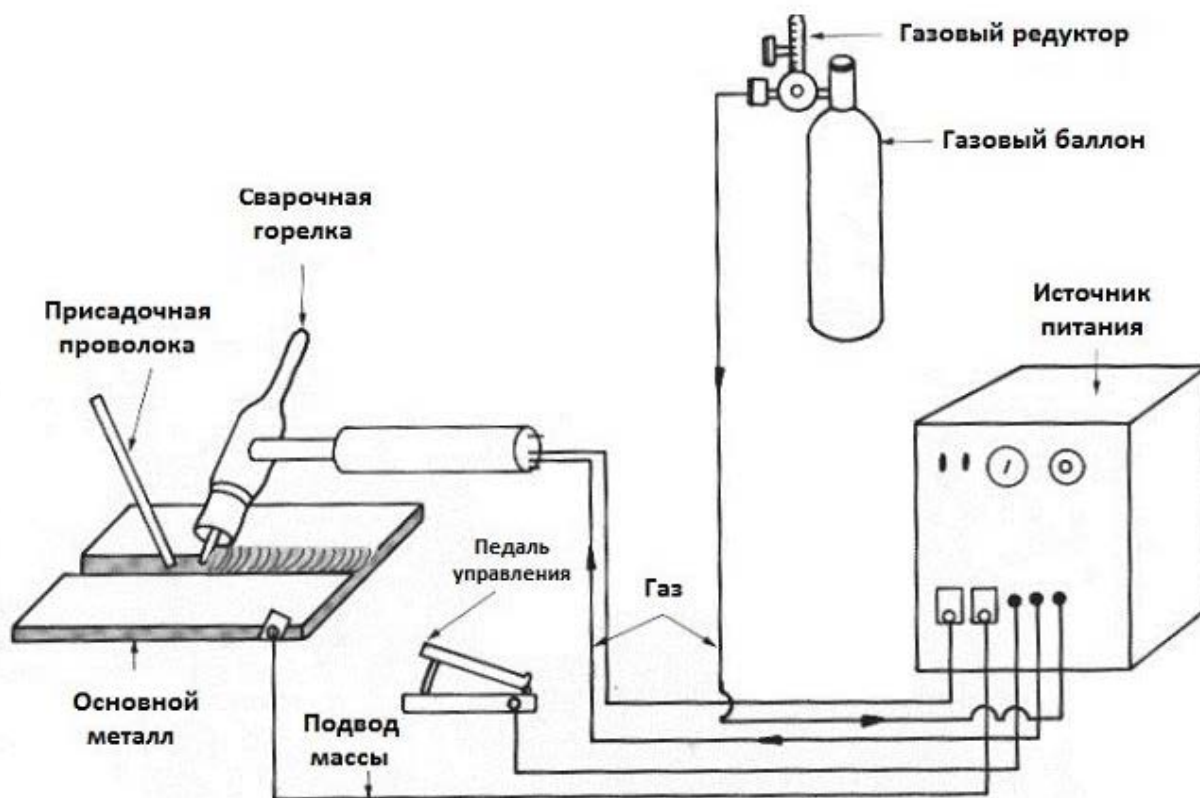


Рисунок 40. Схема сварочного оборудования для осуществления сварки в среде аргона

Для выполнения сварки аргоном недостаточно наличия стандартного сварочного аппарата, в качестве которого может выступать инвертор или трансформатор. Данная технология требует использования такого оборудования и специального оснащения, как:

- инвертор или обычный сварочный трансформатор, мощности которого должно хватать для выполнения подобного технологического процесса (в частности, для этих целей можно использовать трансформатор, мощность холостого хода которого находится в интервале 60–70 В);
- силовой контактор, через который на сварочную горелку будет подаваться требуемое сварочное напряжение;
- осциллятор, о назначении которого было сказано выше;
- специальный регулятор, который будет отвечать за время обдува сварочной зоны аргоном (поскольку защитный газ должен начать подаваться за несколько секунд до начала сварки, а его подачу необходимо перекрывать спустя несколько секунд после ее окончания);
- специальная горелка с керамическим соплом и зажимом для фиксации вольфрамового электрода;
- газовый баллон и редуктор, который регулирует уровень давления аргона, подаваемого в зону сварки;
- электроды из вольфрама и присадочные прутки требуемого диаметра;

- дополнительный трансформатор, отвечающий за подачу напряжения к коммутирующим устройствам;
- выпрямитель, вырабатывающий постоянный электрический ток с напряжением 24 В, который подается на коммутирующие устройства;
- реле, которое отвечает за включение и отключение таких устройств, как осциллятор и контактор;
- электрогазовый клапан, работающий от напряжения 24 или 220 В;
- фильтр индуктивно-емкостного типа, обеспечивающий защиту сварочного аппарата от негативного воздействия высоковольтных импульсов;
- амперметр, используемый для измерения величины сварочного тока;
- рабочий автомобильный аккумулятор емкостью 55–75 Ач, который необходим для того, чтобы снизить постоянную составляющую сварочного тока, обязательно возникающую при выполнении процесса на переменном токе (такой аккумулятор подключается к сварочной электрической цепи последовательно);
- сварочные очки, которые необходимо использовать в качестве основного элемента защиты сварщика.

Основные этапы выполнения сварки TIG

Перед сваркой проводится тщательная очистка поверхностей соединяемых деталей от загрязнений, следов масла и жира, а также от окисной пленки. Такая очистка является обязательной и может выполняться механически способом либо при помощи химических средств. К соединяемым деталям необходимо подключить «массу». Сделать это можно как напрямую (если детали обладают большими габаритами), так и посредством металлической поверхности рабочего стола (если детали не отличаются большими размерами). Присадочная проволока, что важно, не включается в электрическую сварочную цепь, а подается отдельно. На сварочном оборудовании выставляется сила сварочного тока. Данный параметр выбирается в зависимости от характеристик соединяемых заготовок. После включения тока горелку с электродом подносят к свариваемым деталям как можно ближе, не прикасаясь к их поверхности. Оптимальное расстояние, на котором горелку располагают от поверхности соединяемых заготовок (его надо выдерживать в процессе выполнения сварки), 2 мм. Удерживание электрода на таком небольшом расстоянии позволяет хорошо проплавить соединяемый металл, получить красивый и аккуратный сварной шов. Подачу защитного газа включают заранее – за 15–20 секунд до начала сварки. Выключают подачу аргона не сразу после окончания сварки, а чуть позже – спустя 5–10 секунд. Горелку и присадочную проволоку медленно ведут только вдоль формируемого шва, не совершая ими поперечных колебаний. Присадочную проволоку, которая располагается впереди горелки, вводят в зону действия электрической дуги очень плавно, не делая ею резких движений. В противном случае расплавленный металл будет сильно разбрызгиваться.

При выполнении сварки электрическую дугу зажигают, не прикасаясь электродом к соединяемым поверхностям. Придерживаться такого правила

необходимо по нескольким причинам. Во-первых, потенциал ионизации аргона очень высок, что мешает для его понижения эффективно использовать искру от касания электрода. Когда для сварки применяется плавящийся электрод, во время его прикасания к соединяемым деталям возникают пары металла. Потенциал их ионизации значительно ниже, по сравнению с аргоном, что и облегчает процесс зажигания электрической дуги. Во-вторых, если прикасаться вольфрамовым электродом к поверхности соединяемых деталей, она загрязняется, что мешает качественному выполнению сварочных работ.

Возникает естественный вопрос о том, каким образом может быть зажжена электрическая дуга в среде такого газа, как аргон, если потенциал его ионизации слишком большой, а сам электрод не прикасается к поверхности соединяемых деталей. Для этого используется осциллятор, который преобразует поступающий из электрической сети ток с обычными параметрами в высокочастотные импульсы с величиной напряжения 2000–6000 В и частотой тока 150–500 Гц. Именно такие импульсы и дают возможность зажечь электрическую дугу без соприкосновения электрода с соединяемыми деталями.

Полуавтоматическая сварка плавящейся проволокой в среде защитного инертного или активного газа

Согласно международной классификации, технология и оборудование для аргонодуговой сварки, выполняемой при помощи плавящейся проволоки в среде защитного инертного или активного газа, обозначается аббревиатурой MIG/MAG. Данными терминами обозначается тип сварки. MAG – сварка в среде активных газов. MIG – сварка в среде инертных газов. Методы применения сварки MIG/MAG представлены в таблице 15.

Таблица 15. Методы аргонодуговой сварки MIG/MAG

Метод сварки	Род тока	Свариваемый материал		
		углеродистая сталь	нержавеющая сталь	алюминий и его сплавы
MIG/MAG полуавтоматическая сварка плавящейся проволокой в среде защитного инертного или активного газа	AC	+	+	-
	DC	+	+	-

Оборудование и оснащение для сварки MIG/MAG

Сварка MIG/MAG существенно отличается от сварки TIG, прежде всего, тем, что при ее реализации используется сварочная проволока, которая автоматически подается в зону сварки (рис. 41). Сварка MIG/MAG отличается

повышенной производительностью и непрерывными соединениями. Качество шва зависит от характеристик аппарата и навыков сварщика, но горелка сварочного полуавтомата тоже влияет на удобство выполнения процесса, поэтому должна быть правильно подобрана. Обсудим устройство и разновидности горелок для сварочных полуавтоматов.

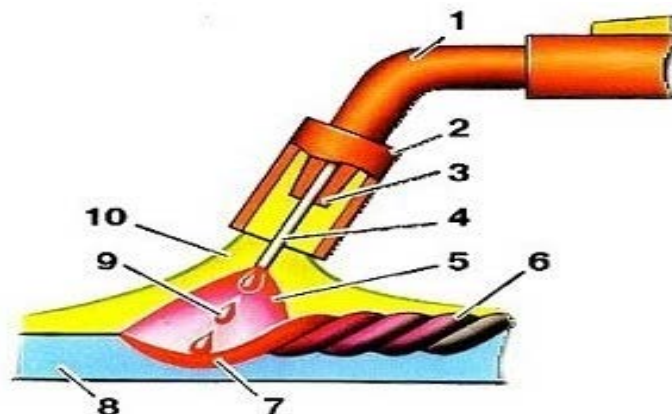


Рисунок 41. Схема процесса полуавтоматической сварки MIG/MAG:

1 – горелка; 2 – сопло; 3 – токоподводящий наконечник; 4 – электродная проволока; 5 – сварочная дуга; 6 – сварочный шов; 7 – сварочная ванна; 8 – основной материал; 9 – капли электродного материала; 10 – газовая защита

Устройство газовой горелки для полуавтомата в сборе с рукавом представлено на рисунках 42 и 43.

Чтобы разобраться в выборе комплектующих, рассмотрим устройство горелки для полуавтомата, которое поможет понять, на какие элементы приходится больше всего нагрузка при эксплуатации.



Рисунок 42. Устройство газовой горелки для полуавтомата в сборе с рукавом:

1 – сопло коническое; 2 – токовый наконечник; 3 – держатель наконечника; 4 – распределитель газа; 5 – мундштук; 6 – кнопка; 7 – рукоятка; 8 – соединительная пружина; 9 – коаксиальный кабель; 10 – соединительная пружина; 11 – коробка для охлаждения воздуха; 12 – винт; 13 – центральный коллектор; 14 – гайка

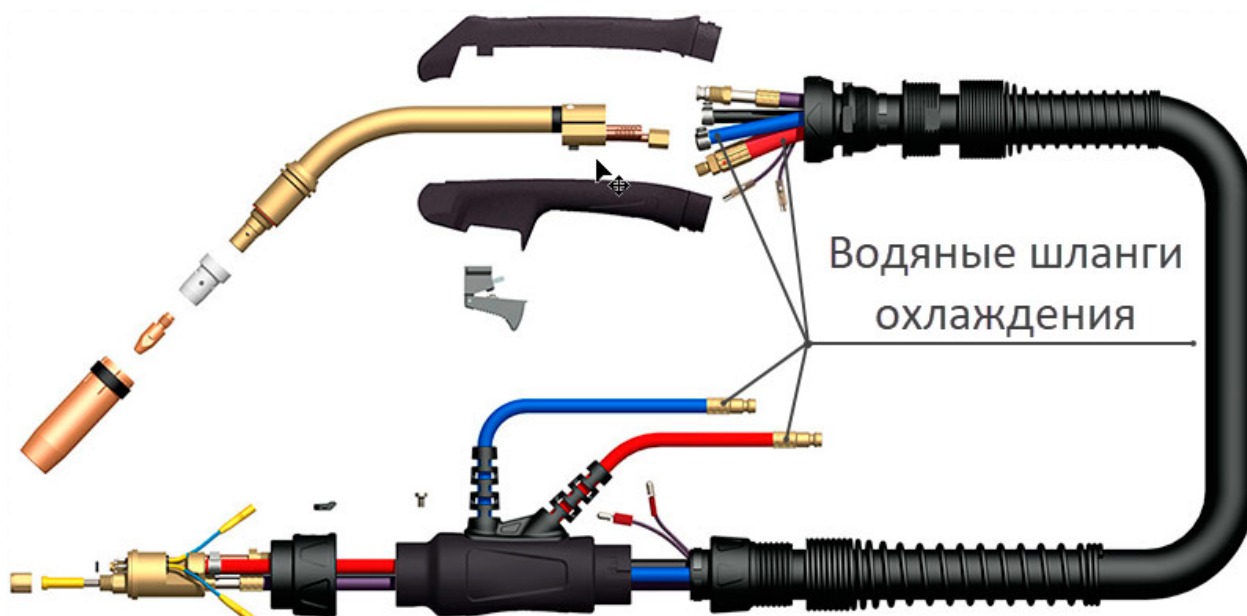


Рисунок 43. Устройство горелки с водяным охлаждением

Разновидности сварочных горелок

Горелки для полуавтомата отличаются, прежде всего, по разрешенной максимальной силе тока. От этого зависит, какую толщину металла получится ими сваривать (в сочетании с мощностью полуавтомата). Есть бытовые горелки и полупрофессиональные с силой тока 150–180 А. Далее идут аксессуары на 200–250 А. На производствах применяют горелки, выдерживающие сварку на токе 300–400 А. Еще бывают горелки для работы за сварочным столом (сварочный рукав для полуавтомата короткий – 2–3 м) и горелки для сборки объемных конструкций в цеху (длина шланг-пакета 4–5 м), рисунок 44.



Рисунок 44. Шланг-пакет для сварочной горелки

Последнее различие составляет вид охлаждения, который бывает воздушным и жидкостным. В первом случае тепло уходит в воздух, а изнутри дополнительно выполняется продувка газом. Во втором случае в горелке предусмотрен канал подачи и обратки для циркуляции жидкости, которая осуществляется от помпы (рис. 45).



Рисунок 45. Горелка с водяным охлаждением

Выбор газовой горелки и сварочного рукава для полуавтомата

При выборе модели, учитывайте следующие шесть факторов.

Предел максимального сварочного тока. Этот параметр должен соответствовать характеристикам аппарата. Если полуавтомат выдает 300 А, то и показатель горелки должен быть не меньше. В случае, когда сварка всегда ведется на малых токах (100–120 А), можно использовать горелку, рассчитанную на такую величину, но это ограничит возможности аппарата.

Длина рукава. Длина рукава бывает от 2 до 8 м. Чем шланг-пакет больше, тем маневреннее сварщик. Но в таком случае требуется надежный четырехроликовый механизм подачи (рис. 46).

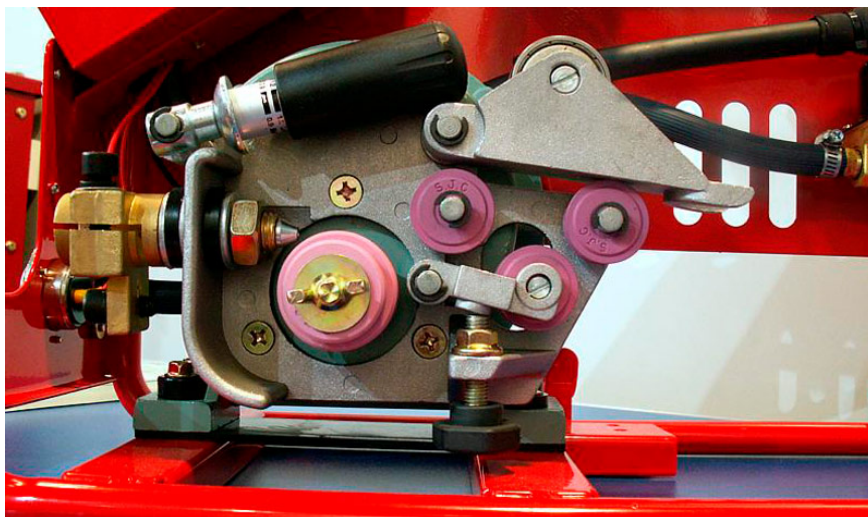


Рисунок 46. Четырехроликовый механизм подачи проволоки полуавтомата

Еще важно следить, чтобы канал не закручивался, иначе проволока начнет «буксовать». Для работы в гараже или во дворе частного дома хватит 2–3 м. В цеху желательно иметь запас в 4–5 м.

Метод охлаждения. Если вы собираете каркасы теплиц, беседки, двери, ворота, то много времени уходит на подготовку деталей, зачистку, обрезку.

Длина швов в таких конструкциях не превышает 10 см. Здесь достаточно горелки с воздушным типом охлаждения, которая будет успевать остывать, пока ведутся другие работы. При непрерывной сварке с длинными швами, нужно водяное охлаждение, иначе будет страдать производительность.

Разъем для подключения горелки. Бывают невстраиваемые горелки, которые невозможно отсоединить от аппарата. В случае отдельного исполнения используется чаще всего разъем EURO (рис. 47), который маркируют также KZ-2. Если полуавтомат с таким входом, то подойдет любая горелка с Евро-штекером.



Рисунок 47. Евро-разъем для подключения горелки к полуавтомату

На некоторых моделях встречается разъем PDG-309 (рис. 48). Тогда необходимо искать именно такое обозначение для замены оснастки.



Рисунок 48. Разъем PDG 309 для подключения горелки к полуавтомату

Тип и размер канала для проволоки. Тип канала бывает стальной и тефлоновый. Первый используется для цельной и полый проволоки при сварке нержавеющей стали и черного металла. Второй подходит для заправки алюминиевой проволоки и сварки алюминия и его сплавов. Диаметр канала подбирается исходя из сечения проволоки и бывает 0,6–1,6 мм.

Эргономика. Чем естественней горелка ложится в руку, тем меньше сварщик будет уставать при продолжительной работе. Для этого на рукоятке должны быть вырезы, кнопка пуска должна располагаться снизу и точно под

указательным пальцем, расширение спереди предназначено для предотвращения выскальзывания. Резиновые вставки содействуют прочному обхвату.

Правила эксплуатации и обслуживания

Чтобы горелкой было удобно варить, ее канал не должен перекручиваться или собираться в петли. Это затрудняет прохождение проволоки. Токоотъемный мундштук выбирается по диаметру подающейся с катушки присадки. Со временем его внутреннее отверстие разрабатывается, и проволока начинает «гулять», из-за чего труднее контролировать формирование шва. В таком случае мундштук меняется на новый.

Сопло горелки направляет защитный газ точно в зону сварки. Постепенно оно обрастает внутри окалинами, которые нужно чистить. Брызги металла прилипают и снаружи, поэтому рекомендовано наносить жирные спреи, уменьшающие адгезию (создают пленку на поверхности гусака и сопла). Кабель-канал склонен к накоплению мусора и технической смазки от проволоки, поэтому раз в год его требуется прочищать, для чего выпускают специальные приспособления.

Сварка в защитных газах выполняется с помощью полуавтомата. Полуавтоматом называют как отдельный сварочный аппарат, так и комплекс всего оборудования, в том числе баллона с газом. Работа может выполняться на специальном сварочном poste, станке или без поста. Ниже изображен стандартный комплект сварочного оборудования для MIG/MAG сварки (рис. 49).

Один из главных расходных материалов сварочного полуавтомата – это сварочная проволока. Сварка проводится в атмосфере инертных газов во избежание нежелательного окисления материала стыков и шва. Сварочный агрегат нагнетает газ (чаще всего, аргон) к месту сварки под небольшим избыточным давлением, вытесняя, таким образом, кислород воздуха из рабочей зоны. В качестве электрода используется тонкая проволока, хранящаяся на барабане внутри сварочного аппарата. И газ, и проволока подаются в рабочую зону специальным механизмом через армированные трубки и далее через пистолетную рукоятку сварочной горелки. Масса подается на деталь зажимом, как и при обычной электродной ручной сварке. Плюс подается на сварочную проволоку. Сварщик открывает кран подачи газа и регулирует напор, после чего включает механизм подачи на заданную техническими условиями скорость и касается детали кончиком электрода, торчащим из горелки.

Возникает электрическая дуга, электрод плавится и используется в качестве припоя. Края соединяемых деталей разогреваются электрической дугой и свариваются вместе. Инертный газ при этом образует защитную атмосферу, препятствуя нежелательному окислению.

Возможно также использование полуавтомата без газа, для сварки обычного черного металла, для чего применяются специально предназначенные марки сварочной проволоки.

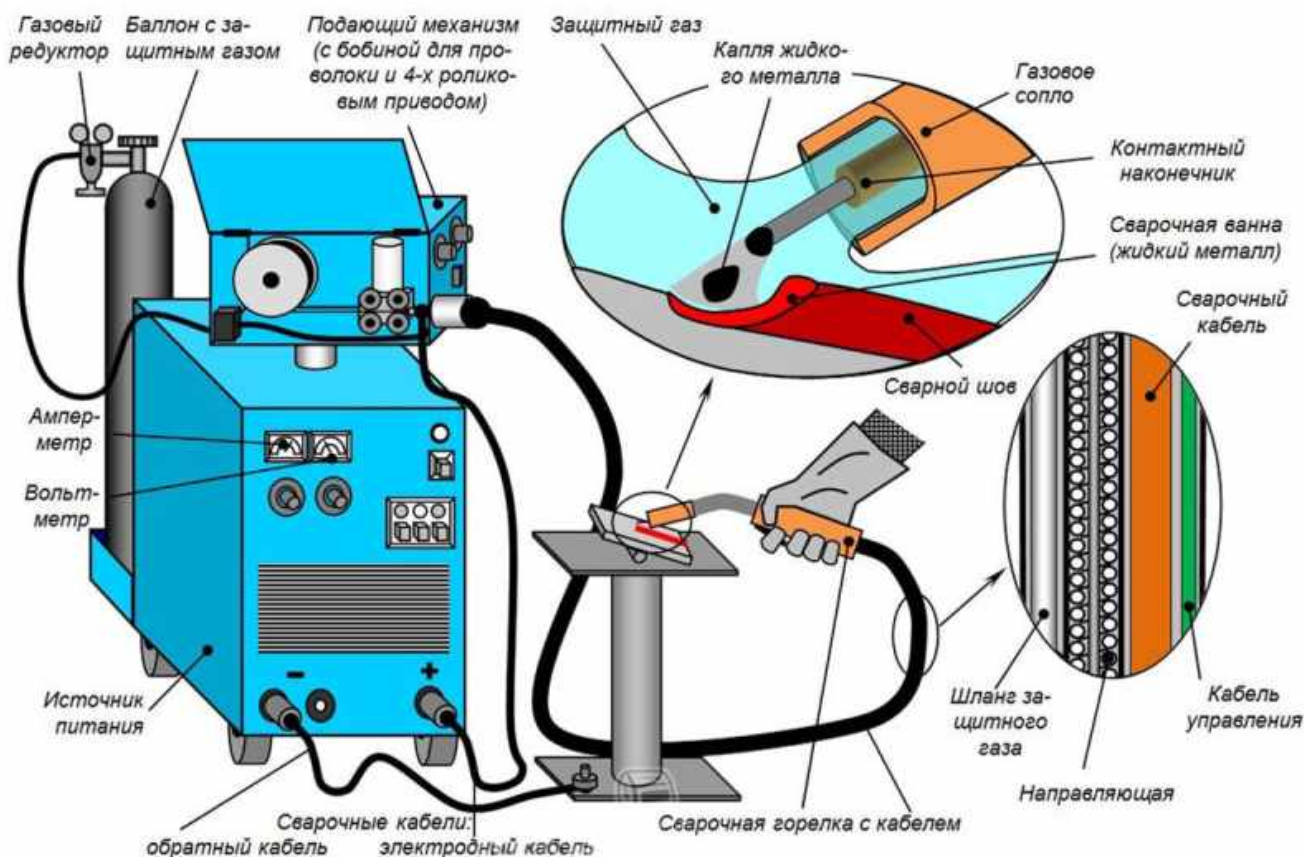


Рисунок 49. Комплектация полуавтомата для сварки MIG/MAG

Основными параметрами автоматизированной дуговой сварки (MAG, MIG) плавящимся электродом в CO_2 , Ar, He и смесях газов являются:

1. Сварочный ток I_c ($\sim 40\text{--}600$ А).
2. Напряжение сварки U_c ($\sim 16\text{--}40$ В).
3. Скорость сварки V_c ($\sim 4\text{--}20$ мм/с), ($\sim 14,4\text{--}72$ м/ч).
4. Диаметр электродной проволоки $D_{пр}$ ($\sim 0,8\text{--}2,5$ мм).
5. Длина вылета электродной проволоки L_v ($\sim 8\text{--}25$ мм).
6. Скорость подачи электродной проволоки $V_{п}$ ($\sim 35\text{--}250$ мм/с).
7. Расход защитного газа Q_r ($\sim 3\text{--}60$ л/мин).

Принцип дуговой сварки в защитных газах определяет основные функции оборудования:

1. Подвод к дуге электрической энергии и ее регулирование (I_c , U_c).
2. Перемещение горелки со скоростью сварки (V_c) и ее регулирование.
3. Подача электродной проволоки ($V_{п}$) в зону сварки и регулирование ее скорости.
4. Подача защитного газа (Q_r) в зону сварки и регулирование его расхода.
5. Установка вылета электродной проволоки (L_v) и корректирующие перемещения горелки.
6. Возбуждение дуги и заварка кратера.
7. Автоматическое слежение по линии сварки и др.

При пуске сварочного аппарата схема управления должна обеспечивать такую последовательность включения частей и механизмов оборудования:

- подачу защитного газа (Q_r), предварительную продувку системы подачи газа;

- включение источника питания дуги (U);

- подачу электродной проволоки (V_n);

- возбуждение дуги (I_c , U_c);

- перемещение аппарата со скоростью сварки (V_c):

$Q_r \blacktriangleright U \blacktriangleright V_n \blacktriangleright I_c U_c \blacktriangleright V_c$.

При окончании сварки последовательность выключения механизмов должна обеспечивать заварку кратера и защиту остывающего шва:

$V_c \blacktriangleright V_n \blacktriangleright I_c \blacktriangleright U_c \blacktriangleright U \blacktriangleright Q_r$.

Сварочный аппарат полуавтомат может иметь различное назначение. Соответственно, аппаратом MIG нельзя выполнить MAG сварку, и наоборот. Для большей универсальности можно приобрести полуавтомат, способный работать и в MIG, и в MAG режиме.

Системы подачи проволоки

Ранее было показано, что при сварке полуавтоматом проволока подается с помощью специального механизма. Он может работать по трем принципам: толкающем, тянуще-толкающем и тянущем. Самая популярная система подачи проволоки – толкающая, она самая недорогая и встречается в большинстве бюджетных полуавтоматов.

Главный недостаток – ограниченная длина газового шланга, который можно использовать. А именно, 5 метров. Если в полуавтомате используется другая система подачи проволоки, то можно использовать шланг длиной от 10 метров и больше. Также можно использовать более толстую проволоку, но нужно учитывать, что такой механизм будет весить намного больше.

Также следует обратить внимание на регулировку скорости подачи проволоки в выбранной модели. Новичкам рекомендуется выбирать механизмы с автоматической регулировкой скорости подачи, а профессионалы зачастую выбирают механизмы с ручной регулировкой, поскольку их опыт позволяет устанавливать индивидуальные настройки для каждого типа работ. Сами механизмы подачи могут быть встроенными в полуавтомат, а могут быть переносными. У переносных гораздо больше возможностей, но они громоздкие и не позволяют варить в труднодоступных местах.

Сменные детали

У полуавтомата есть дополнительные сменные детали, за которыми нужно периодически следить. К таким деталям относится токосъемный наконечник и сопло. Следите, чтобы эти детали были в исправном состоянии, поскольку от них во многом зависит стабильность горения дуги. Рекомендуется сразу приобрести качественные сменные детали, чтобы они не подвели в самый неподходящий момент.

Применяемые комплектующие

Сварка полуавтоматом с газом предполагает использование проволоки и, конечно, защитного газа. Газ, который не рекомендуется применять при полуавтоматической сварке, – водород. При его использовании металл сильно разбрызгивается, и шов получается некачественным.

По ГОСТ 2246-70 допускается использование 77 марок сварочной проволоки. Понятно, что при таком разнообразии трудно давать какие-то общие рекомендации по правильному выбору проволоки. Рекомендуется, например, ориентироваться на марку детали, которую планируется сваривать.

Особенности сварки аргоном черных и цветных металлов

Нержавеющие стали

В состав нержавеющей сталей входит до 20 % хрома, кроме него добавляют никель, марганец, молибден и другие компоненты, которые придают им хорошие эксплуатационные качества. Сложность выполнения соединения нержавейки с использованием аргона связана с ее особыми свойствами.

В отличие от низкоуглеродистых сталей, теплопроводность нержавейки почти в 2 раза меньше. Это плохо отражается на сварочных работах, так как нагрев металла до высоких температур будет сконцентрирован только в рабочей зоне, а отток тепла в другие области происходит медленно. Поэтому в зоне соединения металл может перегреться, последствием чего будет его прожог. Поэтому важно: при проведении аргонодуговой сварки нержавейки необходимо уменьшать величину сварочного тока на 20 % по сравнению с током при сварке других сталей.

Другой особенностью нержавеющей стали является высокий коэффициент линейного расширения. Он дает большую усадку при нагреве. Поэтому при выполнении работ соединяемые детали могут деформироваться и появляются трещины. Чтобы избежать таких последствий, нужно соблюдать правило: зазор при соединении частей сваркой должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить предотвращение деформации и последующее растрескивание.

Нержавеющие стали обладают высоким сопротивлением при пропускании через них тока. Поэтому при использовании электрода также с большим сопротивлением он будет сильно греться, а это создает проблемы при работе.

Особенности нержавеющей стали требуют при проведении сварочных работ соблюдения правильного температурного режима, чтобы она не потеряла антикоррозионных свойств. Объясняется это тем, что при нагреве нержавейки выше 500 °С во время проведения работ структура сплава меняется с образованием на границе зерен карбидов (в основном железа и хрома), это приводит к коррозии металла. Чтобы предотвратить этот процесс, технология сварки нержавейки предполагает защиту металла аргоном. Для хромоникелевых сплавов применяют также быстрое охлаждение зоны шва.

Алюминий

Перед тем как приступить к сварке алюминия аргоном, следует ознакомиться со свойствами этого материала. Алюминий без примесей проводит ток в 4 раза лучше, чем сталь. Теплопроводность алюминия 203,5 Вт/м·К, а, например, стали 12–90 Вт/м·К. Это должно учитываться, когда проводится сварка алюминия аргоном. Часто применяемыми алюминиевыми сплавами являются AlMg5 и AlMg4. Их теплопроводность также выше, чем у стали (130 Вт/см·К).

Технология сварки алюминия аргоном из-за этих особенностей не допускает увеличение скорости проведения процесса. В противном случае уменьшится глубина провара. Быстрая кристаллизация сварочной ванны приводит к неполному газовыделению. Такая особенность сварки аргоном алюминия может стать причиной образования пор в шве. Поэтому требуется большая сила тока, чем для стали.

Способы сварки аргоном алюминия

Сварка аргоном алюминия, технология которой разрабатывалась с использованием разных материалов, бывает нескольких типов. Самыми распространенными из них являются:

- сварка с использованием вольфрамового электрода, которая происходит в инертной газовой среде;
- сварка с автоматизированным расходом проволоки для обработки алюминия аргоном.

Важным условием проведения процесса является пробитие окисной пленки, которая образуется на поверхности заготовки. Для этого сварку алюминия аргоном проводят при использовании переменного или постоянного обратного тока. Процесс нельзя выполнять на постоянном прямом токе. Оксидная пленка при этом не поддастся разрушению, и не произойдет катодное распыление.

Для сварки в среде защитных газов часто применяется такое дополнительное оборудование, как осциллятор. При выполнении сварки с использованием переменного тока он облегчает процесс зажигания сварочной дуги, а когда она загорится, выступает в роли стабилизатора.

В тот момент, когда происходит смена полярности переменного тока, может произойти деионизация (а значит, и затухание) сварочной дуги. Чтобы такого не случилось, осциллятор в моменты смены полярности электрического тока формирует электрические импульсы и подает их на сварочную дугу.

Значение сварочного тока выбирают в зависимости от ряда параметров: свойств обрабатываемого материала, геометрических размеров заготовок, а также размеров используемых электродов. Для выбора данного параметра лучше всего использовать данные, содержащиеся в специальной литературе.

Немаловажным параметром является расход защитного газа аргона, выбираемый в зависимости от того, с какой скоростью выполняется подача присадочного материала и какой скоростью обладают сносящие воздушные

потоки. Минимальным значение данного параметра будет в том случае, если сварка выполняется внутри помещений, в которых отсутствуют сквозняки.

Если же процесс происходит на открытом воздухе, где нередко сильные порывы бокового ветра, необходимо не только увеличить расход аргона, но и использовать для его подачи в зону сварки специальные конфузорные сопла, газ из которых подается через мелкоячеистые сетки.

В защитную газовую смесь, кроме аргона, часто добавляют кислород в небольших количествах (3–5 %). Кислород в данном случае вступает в реакцию с различными вредными примесями, которые могут присутствовать на поверхности соединяемых деталей (влаги, грязи и др.). В результате такого взаимодействия вредные примеси сгорают либо переходят в шлак, всплывающий на поверхность сварного шва.

ЗАДАНИЕ

Опишите, чем принципиально отличается сварка TIG от сварки MIG/MAG.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какую роль в комплектации установки при сварке TIG играет осциллятор?
2. Для какой цели окрашивают вольфрамовые электроды?
3. Как правильно подобрать диаметр вольфрамового электрода при сварке TIG?
4. Для какой цели заостряют торец вольфрамового электрода?
5. Какие параметры нужно учитывать при выборе сварочного аппарата TIG?
6. Что представляют собой режимы сварки MIG/MAG?

8. ГАЗОВАЯ СВАРКА

Газовая сварка основана на использовании для расплавления металла пламени сжигаемых в специальных горелках горючих газов. Для успешной газовой сварки подавляющего большинства материалов и сплавов температура сварочного пламени должна быть не менее 3000 °С. Из многочисленных горючих газов этому условию удовлетворяет только ацетилен (C_2H_2). Для достижения наивысшей температуры при сгорании ацетилена используется почти чистый кислород (97–98 % кислорода), который получают из атмосферного воздуха на специальных установках и поставляют потребителю в стальных баллонах под давлением 15 МПа (150 кг/см²).

Сварочный пост для газовой сварки металлов (рис. 50) состоит из следующего оборудования и принадлежностей: стола сварщика, ацетиленового генератора (или баллона с ацетиленом), баллона с кислородом, кислородного редуктора, ацетиленового редуктора (при использовании ацетиленового баллона), сварочной горелки, резиновых рукавов для кислорода и ацетилена, инструментов для зачистки свариваемых заготовок перед сваркой и отделки шва после нее (стальная щетка, зубило, молоток и др.).

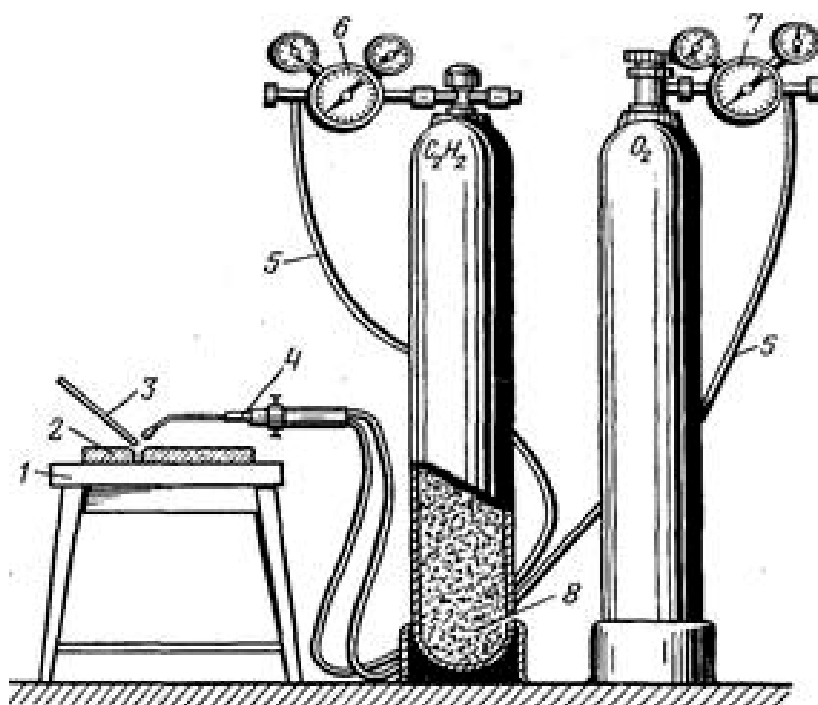


Рисунок 50. Пост газовой сварки:

1 – стол; 2 – свариваемые детали; 3 – присадочный металл; 4 – горелка;
5 – рукав; 6 – ацетиленовый редуктор; 7 – кислородный редуктор; 8 – пористая
масса

Баллоны. Баллоны для хранения и транспортировки сжатых, сжиженных и растворенных газов представляют собой стальные цилиндрические сосуды.

Кислородный баллон вместимостью 40 дм³ рассчитан на рабочее давление 15 МПа. Баллон изготавливается в виде цилиндра высотой 1370 мм и диаметром 219 мм, имеет массу без газа 67 кг, окрашивают в голубой цвет и снабжают черной надписью «Кислород». При обращении с кислородными баллонами необходимо строго выполнять правила техники безопасности.

Ацетиленовые баллоны имеют те же размеры, что и кислородные, но их окрашивают в белый цвет и снабжают красной надписью «Ацетилен». Масса ацетиленового баллона без газа составляет 83 кг. Внутри ацетиленового баллона находится пористая масса с ацетоном. Пористая масса представляет собой зернистый активированный древесный уголь с размером зерен 1–3,5 мм марки БАУ (ГОСТ 6217-74). На 1 л емкости баллона вводится 290–320 г активированного угля. Ацетон вводится в баллон в количестве 225–300 г на 1 л емкости баллона. Он пропитывает пористую массу и при наполнении баллонов ацетиленом хорошо растворяет его. Находящийся в порах массы растворенный в ацетоне ацетилен не взрывоопасен, и его можно хранить в баллоне под давлением 2,5–3 МПа.

Ацетиленовый и кислородный редукторы. Кислородный и ацетиленовый редукторы служат для понижения давления газа, отбираемого из баллона, и автоматического поддержания рабочего давления постоянным, независимо от падения давления в баллоне.

Согласно ГОСТ 13861-89 постовые редукторы выпускают на рабочее давление газа перед горелкой или резаком: для кислорода – от 0,5 до 15 кгс/см², для ацетилена – от 0,01 до 1,5 кгс/см². Несмотря на разнообразие редукторов, все они имеют общий принцип действия и схему устройства, описанные в главе 6. Кислородные редукторы окрашивают в голубой цвет, ацетиленовые в белый. Кислородные редукторы присоединяют к штуцеру вентиля баллона накидными гайками, а ацетиленовые редукторы крепят хомутом с упорным винтом.

Рукава. Рукава, применяемые при газовой сварке и резке металлов, служат для подвода газов к горелке или резаку. Рукава изготавливают из вулканизированной резины, имеющей тканевые прокладки. В зависимости от назначения рукава подразделяют на следующие классы: 1-й – для подачи ацетилена, городского газа (природный газ с добавками других газов), пропана и бутана под давлением до 0,63 МПа; 2-й – для подачи жидкого топлива (бензина, керосина, уайт-спирита или их смеси) под давлением до 0,63 МПа; 3-й – для подачи кислорода под давлением до 2 МПа. Наружный слой рукавов 1-го класса окрашивают в красный цвет, 2-го – в желтый, 3-го – в синий цвет. Длина составных рукавов не должна превышать 30 м.

Сварочная горелка. Сварочная горелка – это устройство для смешения газов, формирования сварочного пламени и регулирования его вида и мощности. Она является основным инструментом газосварщика, от свойств и характеристик которого зависят производительность, качество сварной конструкции и безопасность работ.

Сварочные горелки в соответствии с ГОСТ 1077-91 классифицируют по следующим признакам:

- способу подачи горючего газа и кислорода в смесительную камеру – инжекторные и безинжекторные;
- роду горючего газа – ацетиленовые, водородные, для газов-заменителей и жидких горючих;
- числу факелов – однопламенные и многопламенные;
- назначению – универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка) и специализированные (выполнение одной операции);
- мощности пламени – горелки микромощности (расход ацетилена 5–60 дм³/ч), малой (60–700 дм³/ч), средней (700–2500 дм³/ч) и большой (2500–7000 дм³/ч) мощности;
- способу применения – ручные, машинные.

Наибольшее применение с точки зрения безопасного использования имеют инжекторные горелки, работающие на смеси ацетилена с кислородом. Инжекторная горелка состоит из двух основных частей – ствола и наконечника (рис. 51). Ствол имеет кислородный 1 и ацетиленовый 16 ниппели с трубками 3 и 15, рукоятку 2, корпус 4 с кислородным 5 и ацетиленовым 14 вентилями. С правой стороны горелки (если смотреть по направлению течения газов) находится кислородный вентиль 5, а с левой стороны – ацетиленовый вентиль 14. Вентили служат для пуска, регулирования расхода и прекращения подачи

газа при гашении пламени. Наконечник, состоящий из инжектора 13, смесительной камеры 12 и мундштука 7, присоединяется к корпусу ствола горелки накидной гайкой.

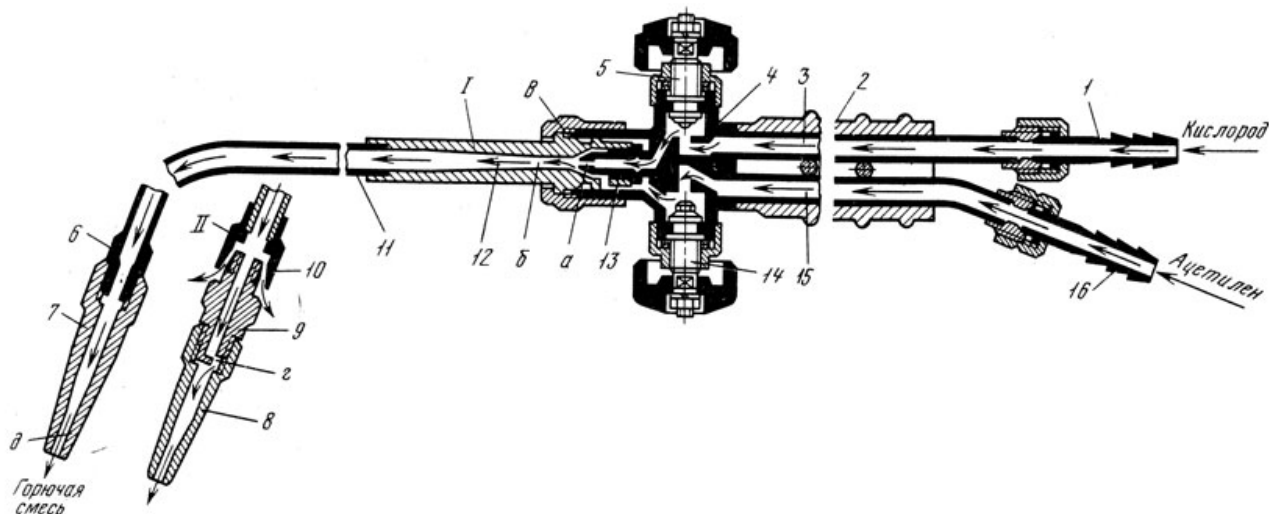


Рисунок 51. Устройство инжекторной горелки:

- 1, 16 – кислородный и ацетиленовый ниппели; 2 – рукоятка;
 3, 15 – кислородная и ацетиленовая трубки; 4 – корпус; 5, 14 – кислородный и ацетиленовый вентили; 6 – ниппель наконечника; 7 – мундштук; 8 – мундштук для пропан-бутан-кислородной смеси; 9 – штуцер; 10 – подогреватель;
 11 – трубка горючей смеси; 12 – смесительная камера; 13 – инжектор;
 а, б – диаметры выходного канала инжектора смесительной камеры; в – размер зазора между инжектором и смесительной камерой; з – боковые отверстия в штуцере 9 для нагрева смеси; д – диаметр отверстия мундштука

Инжектор 13 представляет собой цилиндрическую деталь с центральным каналом малого диаметра – для кислорода и периферийными, радиально расположенными каналами – для ацетилена. Инжектор ввертывается в смесительную камеру наконечника и находится в собранной горелке между смесительной камерой и газоподводящими каналами корпуса горелки. Его назначение состоит в том, чтобы кислородной струей создавать разреженное состояние и засасывать ацетилен, поступающий под давлением не ниже $0,01 \text{ кгс/см}^2$. Разрежение за инжектором достигается благодаря высокой скорости (порядка 300 м/с) кислородной струи. Давление кислорода, поступающего через вентиль 5, составляет от $0,5$ до 4 кгс/см^2 . Инжекторное устройство показано на рисунке 52. В смесительной камере кислород перемешивается с ацетиленом, и смесь поступает в канал мундштука. Горючая смесь, выходящая из мундштука со скоростью $100\text{--}140 \text{ м/с}$, при зажигании горит, образуя ацетилено-кислородное пламя с температурой до $3150 \text{ }^\circ\text{C}$. В комплект горелки входит несколько номеров наконечников. Для каждого номера наконечника установлены размеры каналов инжектора и размеры мундштука. В соответствии с этим изменяется расход кислорода и ацетилена при сварке. Конструкция пропан-бутан-кислородных горелок отличается от

ацетилено-кислородных горелок тем, что перед мундштуком имеется устройство 10 (рис. 51) для подогрева пропан-бутан-кислородной смеси.

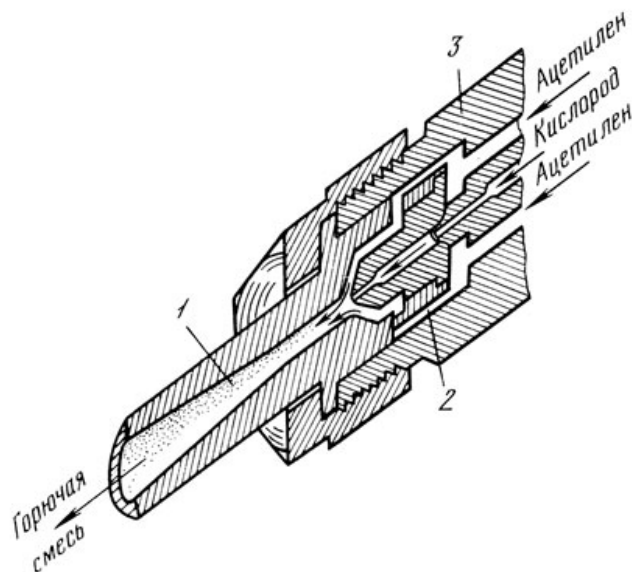


Рисунок 52. Разрез инжекторного устройства: 1 – смесительная камера; 2 – инжектор; 3 – корпус горелки

Дополнительный нагрев необходим для повышения температуры пламени. Обычный мундштук заменяется мундштуком измененной конструкции. В безинжекторных горелках горючий газ и кислород поступают в смеситель под одинаковым давлением. На рисунке 53а представлена схема безинжекторной горелки.

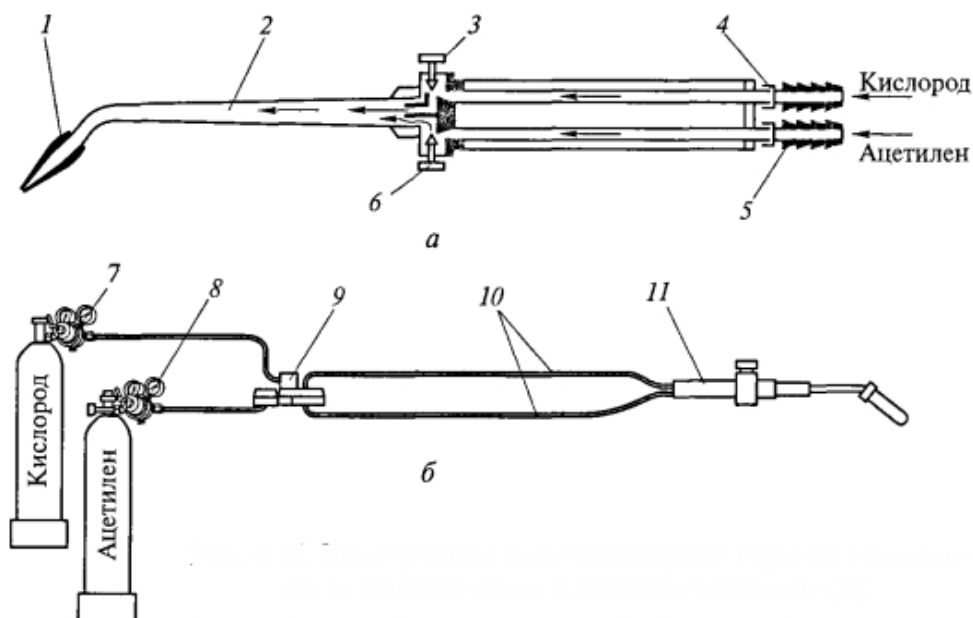


Рисунок 53. Конструкция безинжекторной горелки (а) и схема ее подключения к газовым баллонам (б): 1 – мундштук; 2 – наконечник; 3, 6 – вентили кислорода и ацетилена; 4, 5 – ниппели кислорода и ацетилена; 7, 8 – баллонные редукторы; 9 – редуктор равных давлений; 10 – рукава; 11 – горелка

В ее конструкцию вместо инжектора входит смесительная камера наконечника 2. Кислород через ниппель 4, регулировочный вентиль 3 и специальные дозирующие каналы поступает в смесительную камеру. Аналогично через ниппель 5 и вентиль 6 подается ацетилен. Из смесительной камеры горючая смесь проходит через наконечник 2 и выходит из мундштука 1. Сгорая, горючая смесь образует сварочное пламя. При подключении безинжекторной горелки к газовым баллонам (рис. 53б) применяют редуктор 9, который автоматически поддерживает равенство рабочих давлений кислорода и ацетилена. Строение газового пламени и распределение температур по сечению представлены на рисунке 54. Сварочное пламя имеет три характерных зоны. Первая зона, позиция А, представляет собой ядро. В нем происходит постепенный нагрев газовой смеси до температуры воспламенения, которая поступает из мундштука. Средняя температура в этой зоне составляет 1500 °С. Во второй зоне (позиция Б) происходит сгорание ацетилена за счет первичного кислорода, входящего в состав газовой смеси (по реакции $C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2O$). В результате температура пламени возрастает до 3100 °С, причем продукты сгорания обладают восстановительными свойствами. Эта зона называется сварочной зоной. Зона 3 (позиция В), в которой за счет атмосферного кислорода протекает вторая стадия горения ацетилена, называется факелом (по реакции $2CO + H_2 + 3/2O_2 = 2CO_2 + H_2O$). Температура факела – около 1200 °С. В результате реакции полного сгорания ацетилена образуется углекислый газ и пары воды:

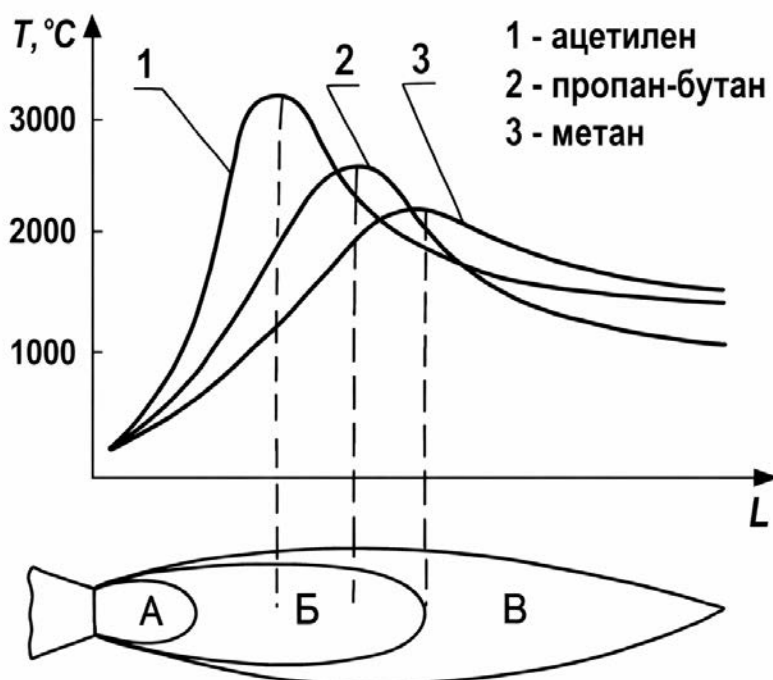
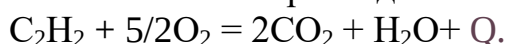


Рисунок 54. Строение газового пламени и распределение температур по его сечению

Газовое пламя может быть нормальным, когда соотношение газов $O_2/C_2H_2 = 1:1$. Нормальным пламенем сваривают большинство сталей. При увеличении содержания кислорода $O_2/C_2H_2 > 1$ пламя приобретает голубоватый оттенок и имеет ядро острой формы. Такое пламя является окислительным и его используют только при сварке латуни, так как при таком характере пламени избыточный кислород образует с цинком тугоплавкие окислы, пленка которых препятствует дальнейшему «испарению» цинка. При избытке ацетилена $C_2H_2/O_2 > 1$ пламя становится коптящим, удлиняется и приобретает красноватый оттенок. Такое пламя называется науглероживающим, и его применяют при сварке чугуна и цветных металлов. Присадочную проволоку для газовой сварки выбирают по ГОСТ 2246-70 в зависимости от состава свариваемого материала.

Существенным отличием газовой сварки от дуговой является более плавный нагрев. Газовую сварку целесообразно применять для соединения сталей толщиной от 0,2 мм до 5 мм, цветных металлов, легкоплавких сплавов, для подварки дефектов чугунного литья для пайки. Газовую сварку можно выполнять в любом пространственном положении, однако, в отличие от дуговой сварки, нагрев металла пламенем замедленный, «мягкий». Для формирования шва используется присадочный пруток.

К несомненным достоинствам газовой сварки относятся:

1. Не требуется сложного, дорогого оборудования и дополнительного источника электроэнергии. Таким образом, сваривать можно даже в чистом поле.

2. Можно в очень широких пределах варьировать мощностью пламени, сваривая металлы с самыми разными температурами плавления.

3. Чугун, медь, свинец и латунь лучше свариваются с помощью газовой сварки.

4. При правильном выборе марки присадочной проволоки, мощности и вида пламени получаются высококачественные швы. Когда подтвердилось высокое качество получаемых швов, газоацетиленовой сварке доверяли самые ответственные производственные участки.

5. Медленный нагрев и остывание свариваемых поверхностей.

6. Сварщик может легко варьировать температурой пламени. Оказывается, при изменении угла наклона пламени к свариваемой поверхности меняется также температура. Если пламя расположено по нормали, то его температура максимальна.

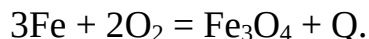
К числу существенных недостатков газовой сварки можно отнести следующие:

1. Низкая технологическая производительность процесса.

2. Значительный разогрев металла вблизи шва, создающий большую зону термического влияния с крупным зерном, что снижает прочностные свойства сварных соединений.

Газовое пламя можно использовать также и при резке металлов. Резка металлов заключается в разделении металлических заготовок и конструкций. Наиболее распространена кислородная резка металлов, сущность которой

заключается в сжигании металла в струе кислорода и удалении этой струей образующихся оксидов. При горении железа в кислороде образуется оксид железа и значительное количество теплоты:



Для начала горения металл подогревают до температуры его воспламенения в кислороде (например, сталь до 1000–1200 °С). На рисунке 55 показан процесс кислородной резки. Металл 3 (заготовка) нагревается в начальной точке реза подогревающим пламенем 2, затем направляется струя режущего кислорода 1, и нагретый металл начинает гореть. Горение металла сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои на всю толщину металла. Образующиеся оксиды 5 расплавляются и выдуваются струей режущего кислорода из зоны реза 4. Конфигурация перемещения струи соответствует заданной форме вырезаемого изделия.

Газокислородная резка может быть ручной и машинной. Для ручной резки применяют универсальный резак типа УР со сменными мундштуками (рис. 56). В резке конструктивно объединены подогревающая и режущая части. Подогревающая часть аналогична таковой у сварочных горелок. Режущая часть состоит из дополнительной трубки 4 для подачи режущего кислорода. В мундштуке находятся два концентрически расположенных отверстия для выхода подогревающего пламени 1 и режущей струи 2. Мундштук резака 3 образует прямой угол со стволом. При замене ацетилена другими горючими газами в резке увеличивают сечения каналов инжектора и смесительной камеры. Обычной кислородной резкой разрезают металлы, толщина которых 5–300 мм. При резке металла толщиной более 300 мм применяют специальные резак.

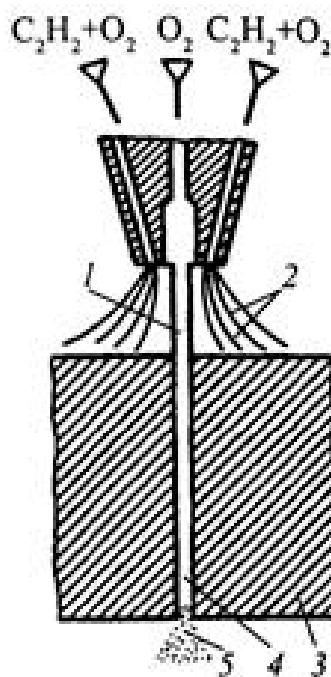


Рисунок 55. Схема кислородной резки

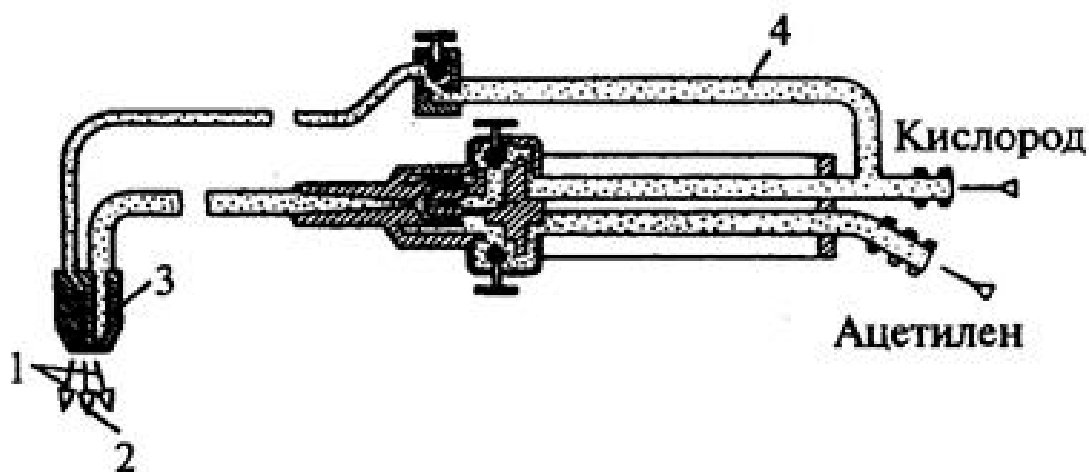


Рисунок 56. Схема газокислородного резака

По характеру и направленности кислородной струи различают несколько способов резки. При разделительной резке режущая струя направлена нормально к поверхности металла и прорезает его на всю толщину. Разделительной резкой раскраивают листовую сталь, разрезают профильный материал, вырезают косынки, круги, фланцы и т. п. При поверхностной резке режущая струя направлена под очень малым углом к поверхности металла (почти параллельно ей) и обеспечивает грубую его строжку или обдирку. Ею удаляют поверхностные дефекты отливок.

Для успешного осуществления кислородной резки необходимы следующие условия:

1. Температура воспламенения металла в кислороде должна быть ниже температуры его плавления. Этому условию удовлетворяют многие марки сталей. Так, например, температура воспламенения низкоуглеродистой стали равна 1150°C , а температура плавления – 1540°C .

2. Второе важное условие кислородной резки – температура плавления металла должна быть выше температуры плавления образующихся в процессе резки окислов, иначе тугоплавкие окислы препятствуют контакту металла с кислородом. Это условие не удовлетворяется при резке алюминия, магния и их сплавов, а также в сталях с большим содержанием хрома и никеля (нержавеющие стали).

3. Количество теплоты, выделяемое при сгорании металла в кислородной струе, должно быть достаточным для поддержания непрерывного процесса резки.

4. Теплопроводность металла не должна быть слишком высокой, в противном случае будет происходить интенсивный отвод теплоты, и процесс резки будет прерываться.

5. Оксиды должны легко выдуваться кислородной струей.

Из рассмотренных условий следует, что лучше всего поддается резке железо и низкоуглеродистая сталь. При содержании углерода выше 0,7 %

процесс газовой резки затруднен, так как повышается температура плавления. Содержание легирующих примесей не должно превышать 5 %.

Чугуны, медные и алюминиевые сплавы, высокохромистые и хромистые стали не поддаются нормальному процессу резки. Чугун имеет температуру воспламенения, равную температуре плавления, а высоколегированные стали и алюминиевые сплавы покрыты тугоплавкой пленкой окислов. Медные сплавы имеют высокую теплопроводность. Все материалы с ограниченной разрезаемостью или неразрезаемые приходится резать с использованием порошково-кислородной (флюсокислородной) резки, заключающейся в том, что вместе с кислородной струей в зону реза подаются порошки, химически взаимодействующие с окислами соответствующих металлов или механически воздействующие на окисную пленку.

ЗАДАНИЕ

Опишите основные преимущества и недостатки газовой сварки по отношению к электродуговой сварке.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В чем принципиальное отличие электродуговой сварки от газовой сварки?
2. В каком виде хранится ацетилен в газовых баллонах?
3. Как регулируется структура газового пламени при газовой сварке?
4. Чем конструктивно отличается газовая горелка от газового резака?
5. Какие материалы плохо режутся газовой резкой? Почему?

9. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ, ИХ ОБОЗНАЧЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ

Сварные конструкции характеризуются широким диапазоном применяемых толщин, форм и размеров соединяемых элементов, а также многообразием взаимного расположения свариваемых деталей. В зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей различают пять типов сварных соединений (согласно ГОСТ 5264-80. Швы сварных соединений, ручная дуговая сварка и ГОСТ 14771-76. Швы сварных соединений, сварка в защитных газах): стыковое – «С», торцевое – не имеет обозначений, нахлесточное – «Н»; тавровое – «Т»; угловое – «У».

В *стыковом* (С) сварном соединении поверхности свариваемых элементов (рис. 57) располагаются в одной плоскости или на одной поверхности, а сварка выполняется по смежным торцам. Стыковое соединение обеспечивает наиболее высокие механические свойства сварной конструкции, поэтому широко используется для ответственных конструкций. Однако оно требует достаточно точной подготовки деталей и сборки.

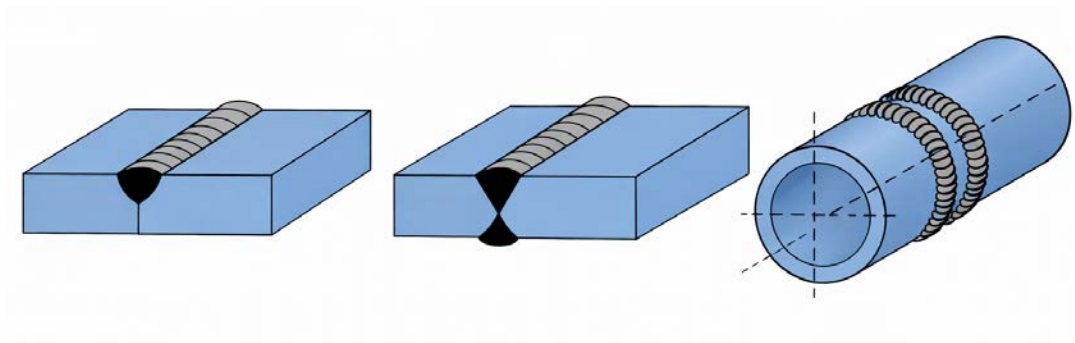


Рисунок 57. Стыковое соединение

Торцовое (-) соединение (рис. 58) сваривается по торцам соединяемых деталей, боковые поверхности которых примыкают друг к другу. Такие соединения используют, как правило, при сварке тонких деталей во избежание прожога.

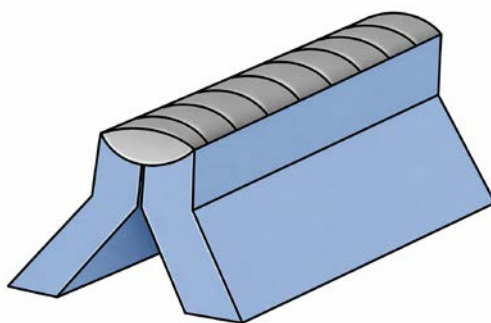


Рисунок 58. Торцовое соединение

В *нахлесточном* (Н) сварном соединении (рис. 59) поверхности свариваемых элементов располагаются параллельно так, чтобы они были смещены и частично перекрывали друг друга. Нахлесточные соединения менее чувствительны к погрешностям при сборке, но хуже, чем стыковые, работают при нагрузках, особенно знакопеременных.

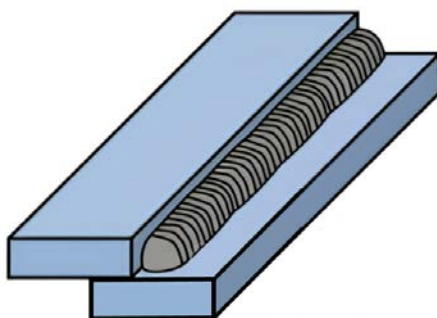


Рисунок 59. Нахлесточное соединение

Тавровое (Т) сварное соединение (рис. 60) получается, когда торец одной детали под прямым или любым другим углом соединяется с поверхностью другой. Тавровые соединения обеспечивают высокую жесткость конструкции, но чувствительны к изгибающим нагрузкам.

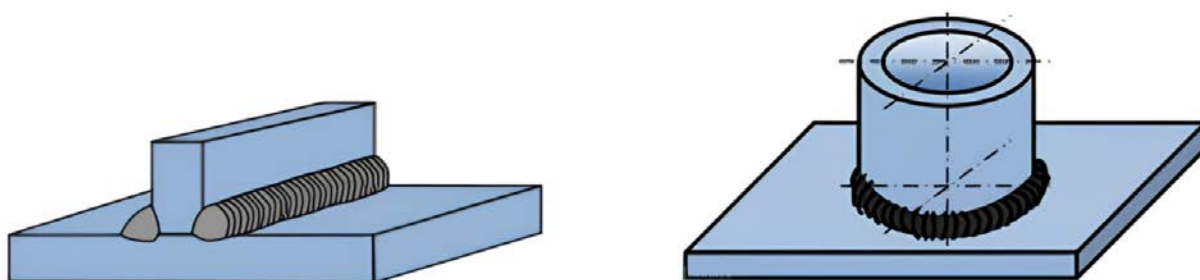


Рисунок 60. Тавровое соединение

Угловым (У) называют соединение (рис. 61), в котором поверхности свариваемых деталей располагаются под прямым, тупым или острым углом и свариваются по торцам.

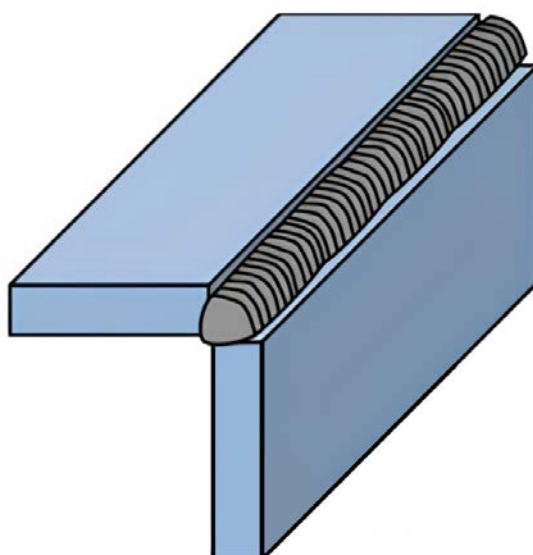


Рисунок 61. Угловое соединение

По способу выполнения сварные швы классифицируют (рис. 62) на:

- двухсторонние – сварка с двух противоположных сторон с удалением корня первой стороны;
- односторонние – выполнение за один «проход», с одним наплавленным валиком;
- многослойные – число слоев равно числу «проходов». Применяются при большой толщине металла.



Рисунок 62. Расположение сварных швов по способу выполнения

По степени выпуклости (рис. 63):

- выпуклые – усиленные;
- вогнутые – ослабленные;
- нормальные – плоские.

На выпуклость шва влияют используемые сварочные материалы, режимы и скорость сварки, ширина разделки кромок.

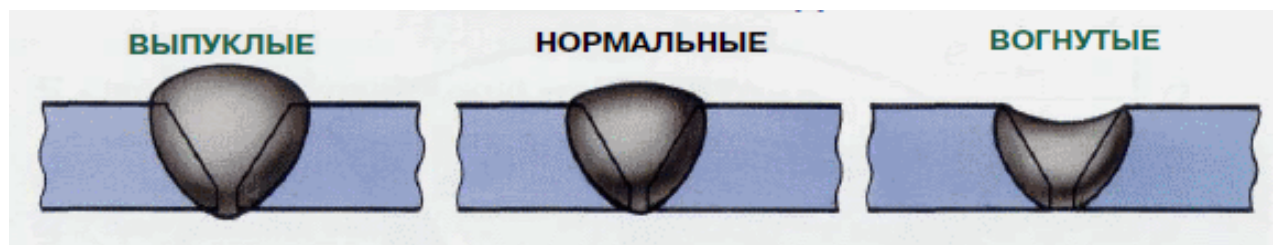


Рисунок 63. Формы сварного шва по степени выпуклости

По положению в пространстве (рис. 64):

- нижние – сварка ведется под углом 0° – наиболее оптимальный вариант, обеспечивает высокие производительность и качество;

- горизонтальные – сварка ведется под углом от 0 до 60°, требуется повышенная квалификация сварщика;
- вертикальные – сварка ведется под углом от 60 до 120°, требуется повышенная квалификация сварщика;
- потолочные – сварка ведется под углом от 120 до 180° – наиболее трудоемкие и небезопасные швы. Требуется специальное обучение сварщиков.

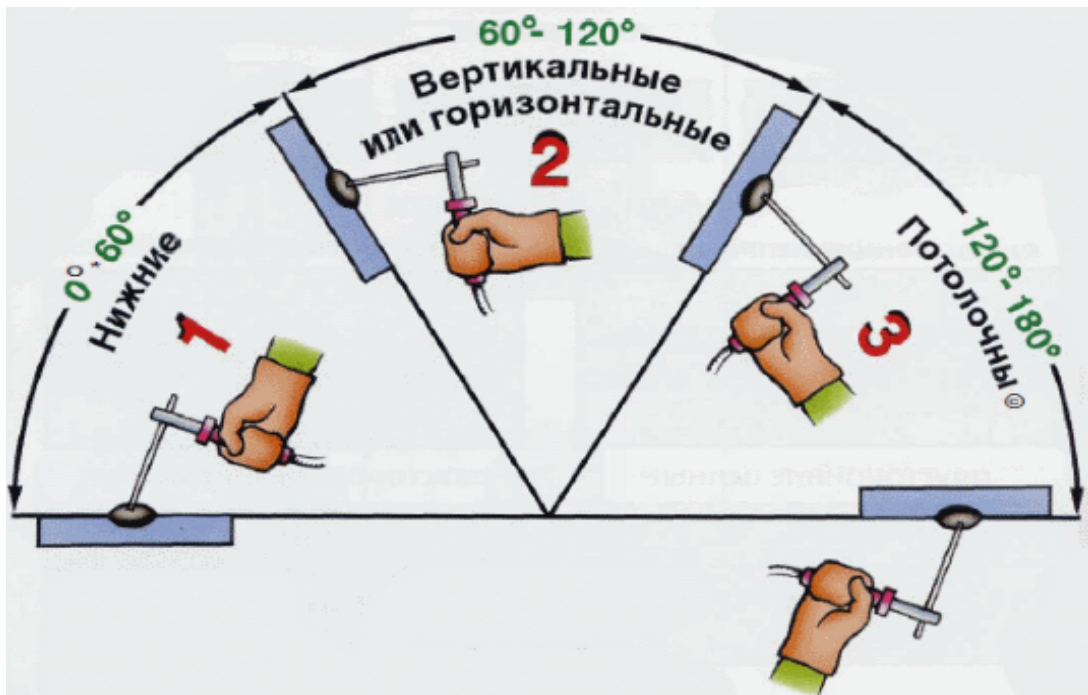


Рисунок 64. Формирование сварного шва по положению в пространстве

По протяженности (рис. 65):

- сплошные – самые распространенные;
- прерывистые – негерметичные по конструкции.

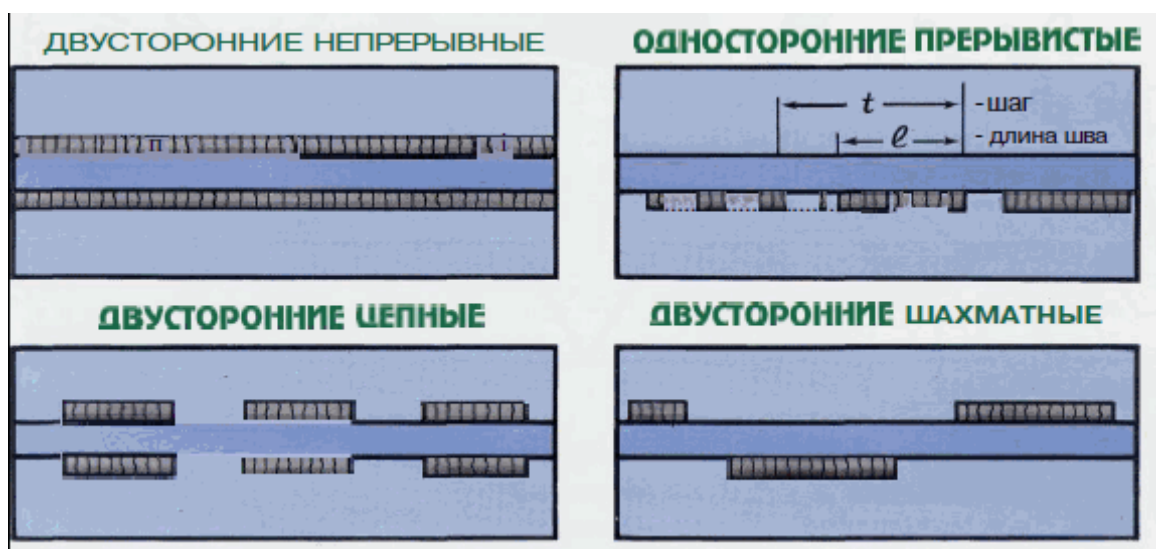


Рисунок 65. Положение сварных швов по протяженности

Виды сварных соединений и швов по взаимному расположению:

- расположены по прямой линии;
- расположены по кривой линии;
- расположены по окружности.

По направлению действующего усилия и вектору действия внешних сил

(рис. 66):

- фланговые – вдоль оси сварного соединения;
- лобовые – поперек оси сварного соединения;
- комбинированные – сочетание фланговых и лобовых;
- косые – под некоторым углом к оси сварного соединения.

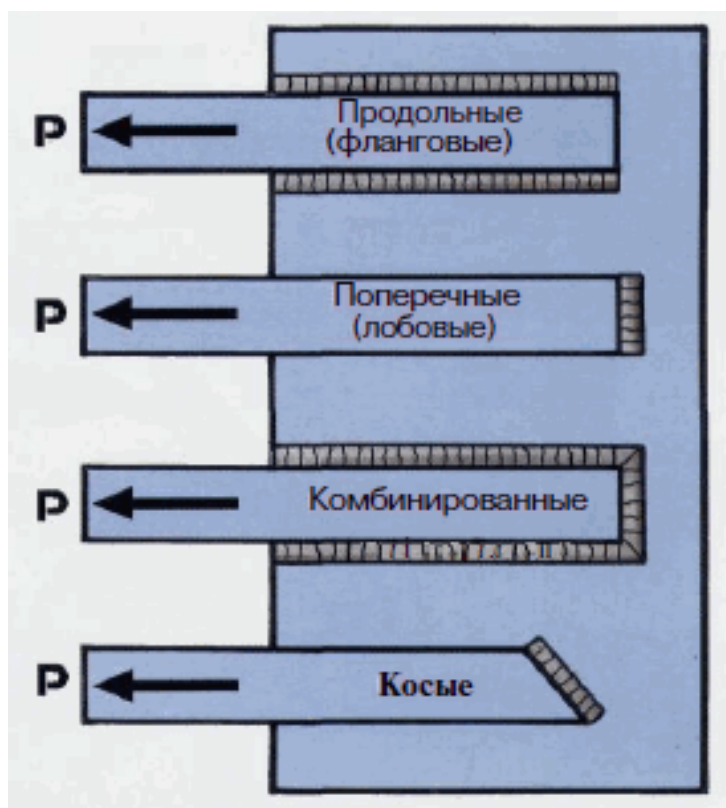


Рисунок 66. Положение сварных швов по направлению действующего усилия и вектору действия внешних сил

Виды сварных швов по форме свариваемых изделий:

- на плоских поверхностях;
- на сферических.

Виды швов зависят также от толщины рабочего материала и от длины самого стыка:

- короткие – > 25 см, при этом сварка производится способом «за один проход»;
- средние – < 100 см, используется обратно-ступенчатый способ сварки, при этом строчка разбивается на малые отрезки длиной в 100–300 мм.

Все протяженные швы обрабатываются обратно-ступенчатым способом, от центра к краям.

Разделка кромок под сварку

Для создания прочного и качественного сварного шва кромки соединяемых изделий проходят необходимую подготовку и им придается определенная форма (V, X, U, I, K, J, Y-образная). Во избежание прожога подготовку кромок можно выполнять при толщине металла не менее 3 мм.

Порядок подготовки кромок:

- очищение краев металла от ржавчины и загрязнений;
- снятие фасок определенного размера – в зависимости от способа сварки.

Величина зазора – в зависимости от типа сварных соединений.

Параметры подготовки кромок (рис. 67, табл. 16):

- угол разделки кромок – α ;
- зазор между кромками – b ;
- притупление кромок – c .

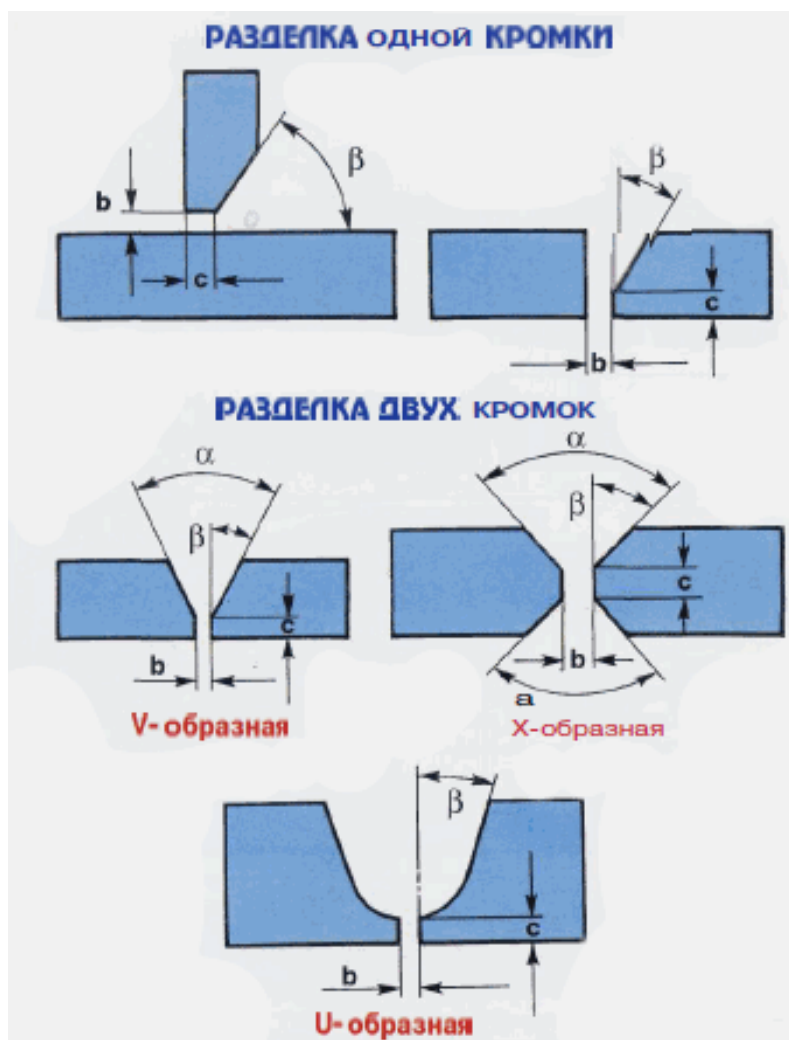


Рисунок 67. Параметры разделки кромок

Таблица 16. Особенности подготовки кромок в зависимости от толщины металла

№ п/п	Толщина металла, мм	Разделка кромки	Угол, α	Зазор b , мм	Притупление кромок c , мм
1	3–25	Односторонняя V-образная	50	-	-
2	12–60	Двухсторонняя X-образная	60	-	-
3	20–60	Односторонняя, двухсторонняя U-образная	-	2	1–2
4	>60	I-образная	-	-	-

Основные геометрические характеристики сварного шва

Основные геометрические характеристики сварного шва показаны на рисунке 68.

Изображение сварных швов на чертежах

Условное изображение сварных швов на чертежах согласно ГОСТ 2.312-72. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений. В соответствии с этим ГОСТом для условного изображения сварного шва независимо от способа сварки используется два типа линий: сплошная, если шов видимый, или штриховая, если шов невидимый (рис. 69).

На линию шва указывает односторонняя стрелка. Стрелка может выполняться с полкой для размещения условного обозначения шва и при необходимости вспомогательных знаков. Условное обозначение размещают над полкой, если стрелка указывает на лицевую сторону сварного шва (т. е. если он видимый), или под полкой, когда шов расположен с обратной стороны (т. е. если шов невидим). При этом за лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку. За лицевую сторону двухстороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва. За лицевую сторону двухстороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

S - толщина свариваемого металла

e - ширина шва

q - выпуклость шва

h - глубина провара

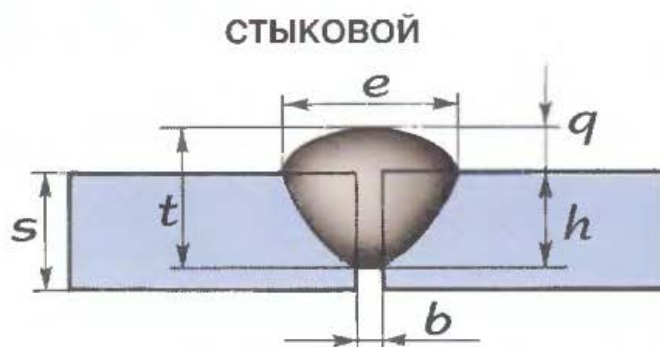
t - толщина шва ($t=q+h$)

b - зазор

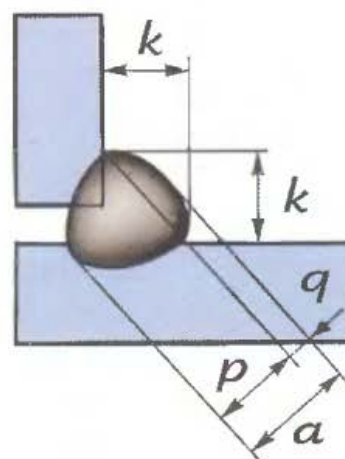
k - катет углового шва

p - расчетная высота углового шва

a - толщина углового шва



УГЛОВОЙ



КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ШВА

$$K_n = \frac{e}{t}$$

Оптимальный $K_n = 1,2 - 2$
(бывает в пределах 0,5 - 4)

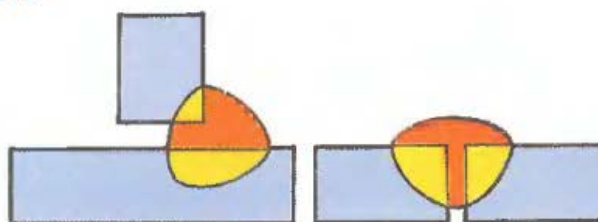
КОЭФФИЦИЕНТ ВЫПУКЛОСТИ ШВА

$$K_y = \frac{e}{q}$$

K_y не должно превышать 7 - 10

 F_0 - площадь сечения расплавленного основного металла

 F_3 - площадь сечения наплавленного электродного металла



КОЭФФИЦИЕНТ ДОЛЕЙ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛЕ ШВА

$$K_o = \frac{F_0}{F_0 + F_3}$$



КОРЕНЬ ШВА - часть шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности

ПОДВАРОЧНЫЙ ШОВ - меньшая часть двустороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов или укладываемая в последнюю очередь в корень шва

Рисунок 68. Основные геометрические характеристики сварного шва

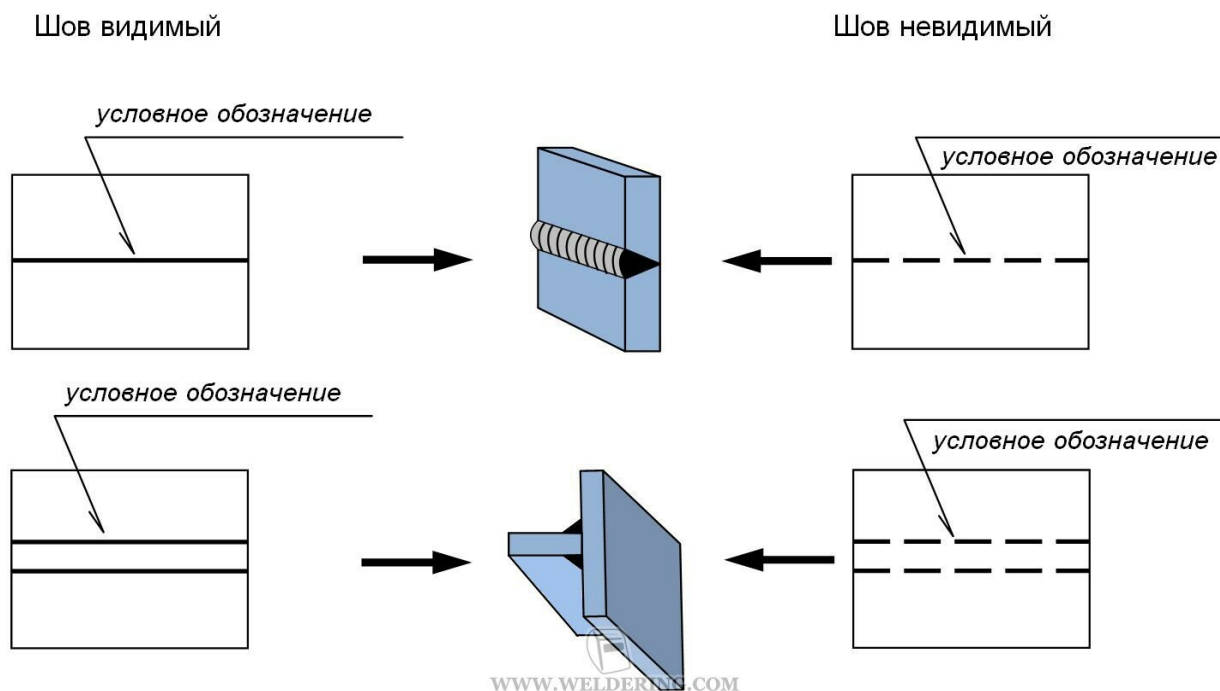


Рисунок 69. Условное обозначение сварных швов на чертежах

Структура обозначения сварного соединения состоит из следующих элементов:

- обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений; например, ГОСТ 5264-80;
- буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы; например, С17 или Т9;
- условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (допускается не указывать);
- знак $\triangle$ и размер катета согласно стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;
- для прерывистого шва – размер длины провариваемого участка, знак / или Z и размер шага;
- вспомогательные знаки.

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов по ГОСТ 2.312-72 представлены на рисунке 70.

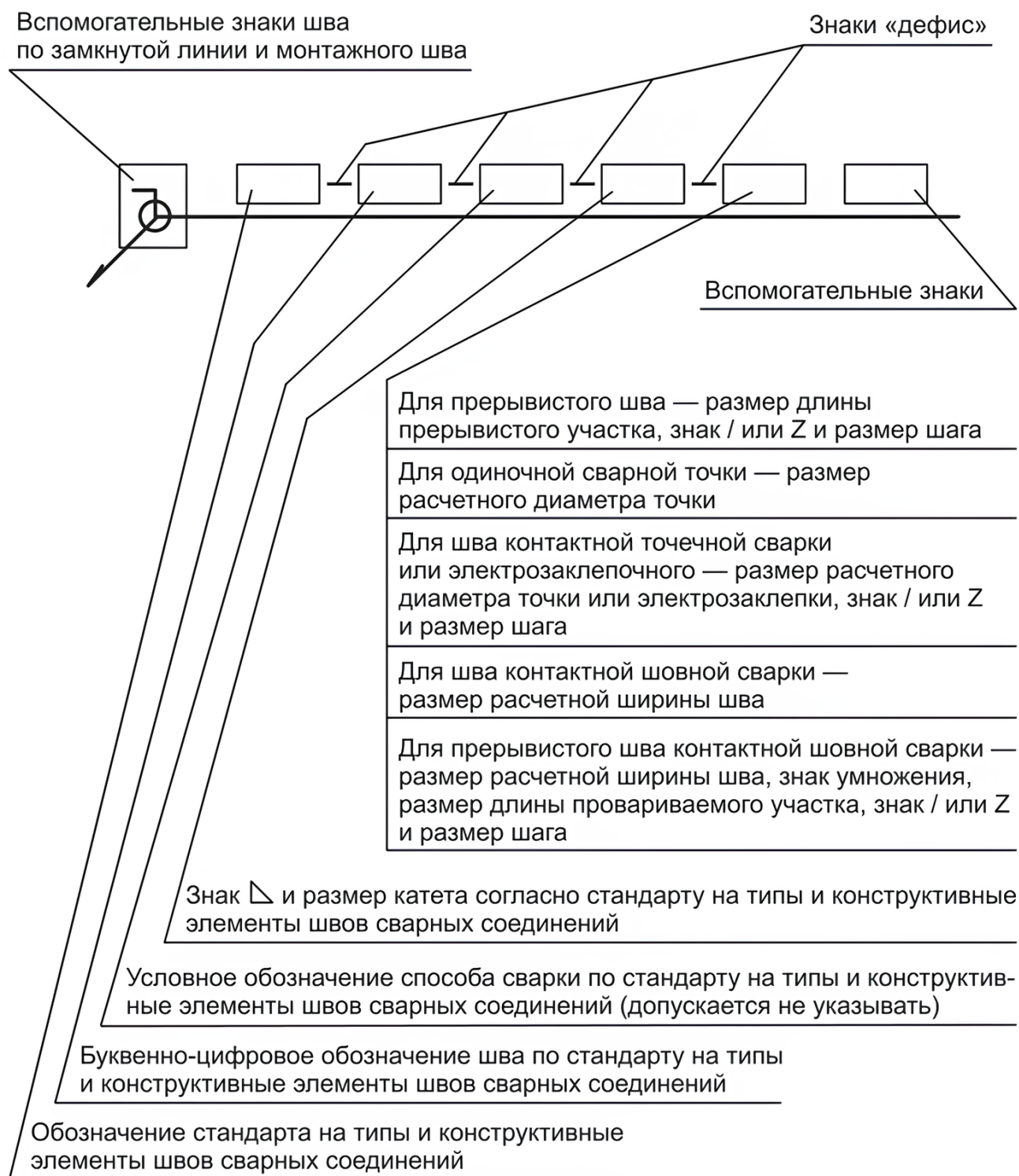


Рисунок 70. Структурная схема расшифровки условного обозначения стандартного сварного шва

Таблица 17. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Знак	Значение знака	Расположение знака	
		С лицевой стороны	С обратной стороны
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов по незамкнутой линии (знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа)		
	Шов по замкнутой линии (диаметр знака – 3...5мм)		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением (угол наклона линии $\approx 60^\circ$)		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		

Буквенно-цифровое обозначение шва по соответствующему стандарту представляет собой комбинацию, состоящую из буквы, определяющей тип сварного соединения, и цифры, указывающей вид соединения и шва, а также форму разделки кромок. Например: С1, Т4, Н3. Условные обозначения швов для некоторых способов сварки представлены в таблице 18.

Таблица 18. Условные обозначения сварных швов для некоторых способов сварки

Государственный стандарт	Соединение	Условное обозначение шва
ГОСТ 5264-80. Швы сварных соединений, ручная дуговая сварка	Стыковое	С1 - С40
	Тавровое	Т1 - Т9
	Нахлесточное	Н1 - Н2
	Угловое	У1 - У10
ГОСТ 14771-76. Швы сварных соединений, сварка в защитных газах	Стыковое	С1 - С27
	Тавровое	Т1 - Т10
	Нахлесточное	Н1 - Н4
	Угловое	У1 - У10

Изображение соединений при разных типах сварки

В зависимости от типа используемой сварочной технологии по-разному изображаются виды сварных швов и соединений, их обозначения на чертежах указаны в таблице 19.

Таблица 19. Условное обозначение способов сварки на чертеже

Способ выполнения сварки	Условное обозначение на чертеже способа сварки
Для изготовления конструкций используется сварка с применением автоматического аппарата. Выполняется под слоем флюса, предварительная проверка стыка не требуется. Подкладки или подушки в работе не используются	А
Сварка под флюсом с помощью автоматической установки с использованием специальной подушки с флюсовой основой	Аф
Соединение деталей должно производиться с использованием инертного газа. Работы производятся вольфрамовым тугоплавким электродом. Технология не требует использования дополнительного присадочного материала	ИН
Элементы соединяются вольфрамовым электродом посредством сварки в инертных газах с применением присадочного материала	ИНп
В среде инертного газа свариваются друг с другом с помощью плавящегося электрода	ИП
Сварочные работы производятся в среде защитного газа, для этого используется углекислый газ	УП
Применять нужно газосварочную технологию	Г
Соединение элементов электродуговым методом	Э
Выполнять работы необходимо с применением защитного газа	З

Примеры обозначения сварных швов

Пример № 1 (рис. 71)

Форма поперечного сечения шва	а) стрелка указывает на лицевую сторону шва	б) стрелка указывает на обратную сторону шва

Рисунок 71. Пример обозначения стыкового шва со скосом кромок

Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, выполняемый дуговой ручной сваркой (С13 по ГОСТ 5264-80) при монтаже изделия (∇). Усиление снято с обеих сторон ($\underline{\Omega}$). Параметр шероховатости поверхности шва: с лицевой стороны – Rz 20 мкм; с обратной стороны – Rz 80 мкм.

Пример № 2 (рис. 72)

Форма поперечного сечения шва	а) стрелка указывает на лицевую сторону шва	б) стрелка указывает на обратную сторону шва

Рисунок 72. Пример обозначения стыкового шва без скоса кромок

Шов стыкового соединения без скоса кромок, односторонний, на остающейся подкладке (С3 по ГОСТ 16310-80), выполняемый сваркой нагретым газом с присадкой (Г по ГОСТ 16310-80).

Пример № 3 (рис. 73)

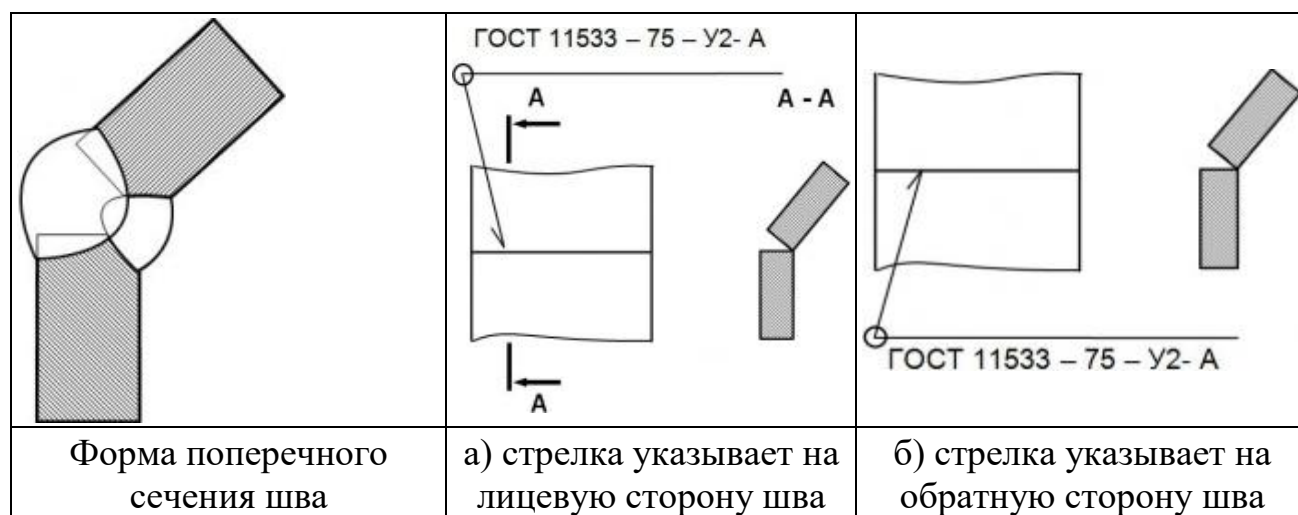


Рисунок 73. Пример обозначения углового шва

Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний (У2 по ГОСТ 11533-75), выполняемый автоматической дуговой сваркой под флюсом (А по ГОСТ 11533-75) по замкнутой линии.

Пример № 4 (рис. 74)

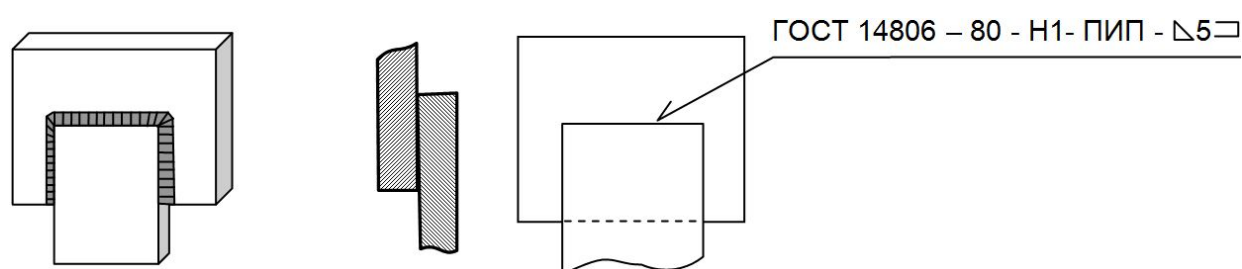


Рисунок 74. Пример обозначения сварного шва в нахлестку

Шов соединения внахлестку без скоса кромок, односторонний (Н1 по ГОСТ 14806-80), выполняемый дуговой сваркой в защитных газах плавящимся электродом (ПИП по ГОСТ 14806-80). Шов по незамкнутой линии (5). Катет шва 5 мм.

Пример № 5 (рис. 75)

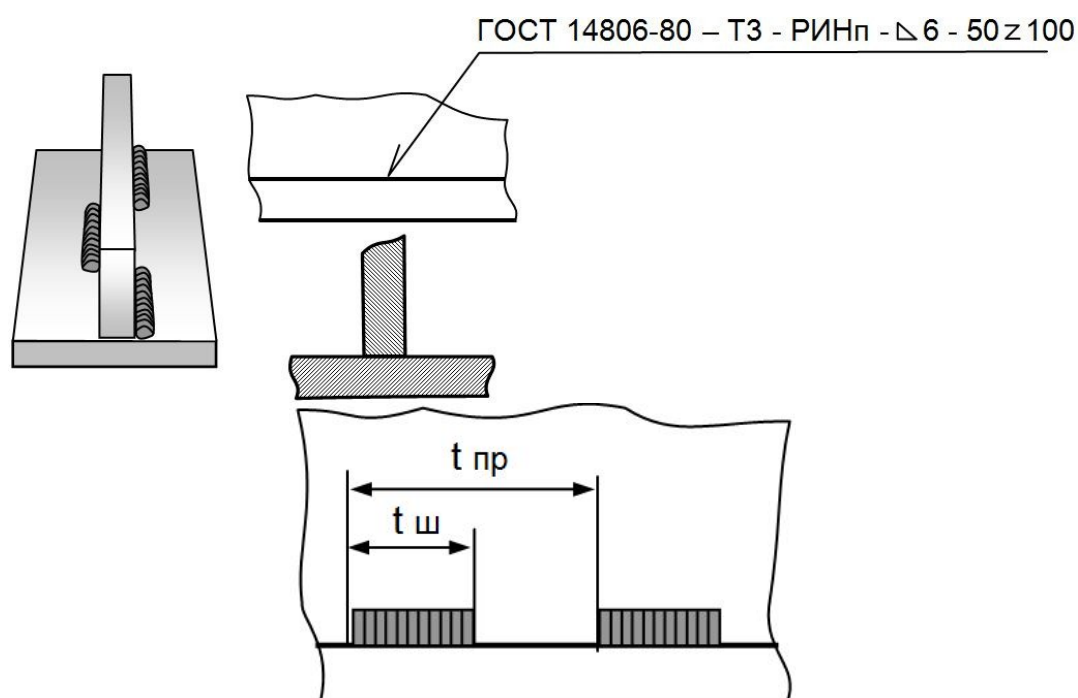


Рисунок 75. Пример обозначения таврового шва:

$t_{ш}$ – длина приваренного участка шва; $t_{пр}$ – протяженность шага прерывистого соединения

Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний прерывистый с шахматным расположением (ТЗ по ГОСТ 14806-80), выполняемый дуговой ручной сваркой в защитных газах неплавящимся металлическим электродом (РИНп по ГОСТ 14806-80). Катет шва 6 мм ($\Delta 6$), длина провариваемого участка 50 мм, шаг 100 мм (обозначается буквой «Z»).

При наличии на чертеже нескольких одинаковых швов условное обозначение шва указывается только у одного из них, а применительно к остальным одинаковым швам указывается только их порядковые номера (на месте, где должно быть расположено условное обозначение шва). При этом на линии выноски, имеющей полку с нанесенным обозначением шва, также допускается указывать количество одинаковых швов (рис. 76).



Рисунок 76. Примеры обозначения одинаковых швов на чертежах

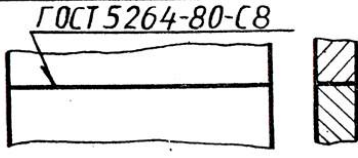
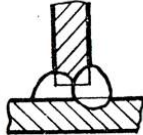
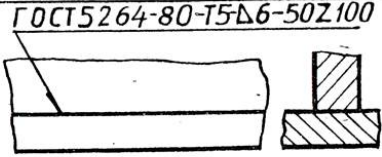
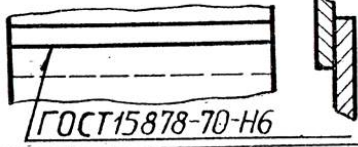
Швы считаются одинаковыми, если:

- одинаковы их типы и размеры конструктивных элементов в поперечном сечении;
- к ним предъявляются одни и те же технические требования.

ЗАДАНИЕ

Расшифровать сварные швы, представленные в таблице 20.

Таблица 20. Таблица индивидуальных заданий по практической работе

Форма поперечного сечения шва	Изображение и обозначение шва	Расшифровка обозначения шва
		
		
		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В чем заключается принцип деления сварных швов по взаимному расположению деталей?
2. Для какой цели делается разделка кромок перед сваркой?
3. Что такое катет сварного шва?
4. Как отличить на чертеже видимый и невидимый сварной шов?
5. Какие упрощения вводятся на чертежах при обозначении одинаковых сварных швов?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов, В. С. Электрическая дуговая сварка: учеб. пособие / В. С. Виноградов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 320 с.
2. Виноградов, В. С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: учеб. для проф. учеб. заведений / В. С. Виноградов – М.: Высш. шк.; Academia, 1997. – 319 с.
3. Овчинников, В. В. Технология ручной дуговой и плазменной сварки и резки металлов / В. В. Овчинников. – М.: Издательский центр «Академия», 2016. – 240 с. ISBN 978-5-4468-4150-9.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ЛУЧШИЕ АРГОНОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

Рассмотрев критерии выбора оборудования для сварки аргоном, перейдем к конкретным моделям, получившим положительные отзывы у сварщиков.

Аппараты для аргонодуговой сварки DC

Чтобы сваривать черные металлы, нержавейку и медь, используют инверторы, выдающие постоянный ток. Рейтинг лучших моделей этой категории:

РЕСАНТА САИ-230 АД (TIG, MMA)

На первом месте инвертор РЕСАНТА САИ-230 (рис. П1). Аргонный аппарат способен работать от сети 170–242 В и выдает постоянный ток 10–230 А.



Рисунок П1. Сварочный аппарат РЕСАНТА САИ-230 АД (TIG, MMA)

На максимальных показателях продолжительность включения составляет 70 %, что разрешает использовать его не только в бытовых нуждах. Кроме TIG сварки, оборудование поддерживает MMA режим, для чего предусмотрен переключатель на фронтальной панели. Это удобно, где требуется чередование аккуратной аргоновой сварки и резки покрытыми электродами. Весит аппарат 11 кг. В комплекте поставляется горелка и кабель массы. Производитель выдает на него гарантию 2 года. Некоторые достоинства и недостатки этого сварочного аппарата приведены в таблице П1.

Таблица П1. Положительные и отрицательные отзывы/характеристики сварочного аппарата РЕСАНТА САИ-230 АД (TIG, MMA)

Плюсы	Минусы
Высокая мощность 230 А для проплавления шва глубиной 6 мм. Плечевой ремень для переноски. Бесконтактный поджиг при использовании горелки с осциллятором (есть разъем для подключения управления с горелки). Сила тока опускается до 10 А для сварки листового материала 0,8 мм. Железный корпус долго выдерживает суровые строительные условия. Привлекательная цена. Надежные разъемы.	Нет дисплея для визуального контроля настроек. Долго разбирать корпус для продувки от пыли. Нет жесткой ручки, чтобы переставлять аппарат по месту. При работе во влажном помещении быстро портятся транзисторы. Не хватает длины кабелей.

Вывод. Этот аппарат для аргонодуговой сварки примечателен наличием второй «крутилки» для регулировки индуктивности дуги. Это позволяет управлять глубиной проплавления и высотой катета шва. Функция пригодится для сварки ответственных конструкций, особенно угловых и тавровых соединений.

СВАРОГ REAL TIG 200 W223

Аппарат (рис. П2) выполнен в железном корпусе и имеет дисплей для точной регулировки силы тока. Разъемы на передней панели рассчитаны на присоединение горелки с кнопочным управлением подачи газа и напряжения. Отдельным тумблером можно выбирать режим MMA или TIG. Инвертор способен работать от сети с пониженным показателем 160 В. Диапазон регулировки сварочного тока 10–200 А. На максимуме ПВ составляет 60 %. Масса аппарата 7 кг, габариты 42x16x31 см. Предусмотрено воздушное охлаждение. Модель поддерживает работу с электродами 1,6–3,2 мм в диаметре.



Рисунок П2. Сварочный аппарат_Сварог REAL TIG 200 W223

Некоторые достоинства и недостатки этого сварочного аппарата приведены в таблице П2.

Таблица П2. Положительные и отрицательные отзывы/характеристики сварочного аппарата Сварог REAL TIG 200 W223

Плюсы	Минусы
Есть цифровой экран для точной установки количества ампер. Металлические углы корпуса закрыты резиной. Рассчитан на присоединение горелки с полноценным кнопчным управлением. Есть ручка для перестановки по месту. Компактные габариты 42x16x31 см упрощают транспортировку и хранение. Невысокая мощность 4,83 кВт разрешает выполнять аргонную сварку от бензогенератора. Безопасное напряжение холостого хода 56 В. Нет брызг при сварке.	Кнопка включения выведена сзади, что удобно не всем сварщикам. Функции «Горячего старта» и «Антиприлипания» в режиме ММА на практике не работают (просто маркетинговый ход). Нет регулировки предварительной подачи газа. Хлипкая на вид горелка.

Вывод. Этот аппарат для аргоннодуговой сварки выделяется наличием регулировки времени продувки газом. Функция пригодится при работе с

чугуном и медью, чтобы обеспечить постепенное остывание и предотвратить реакцию с углеродом, из-за которого возникают поры. Интервал продувки регулируется от 2 до 10 секунд. На этот аппарат производитель выдает гарантию 5 лет, что положительно оценивается пользователями в отзывах.

QUATTRO ELEMENTI B 225 (TIG, MMA)

Этот сварочный аргоновый аппарат (рис. ПЗ) предназначен для соединения металлов, толщиной до 6 мм. Обладает диапазоном рабочего тока 10–225 А. При подключении к сети потребляет мощность 7,8 кВт. Разрешено использование электродов 1,6–5,0 мм. Можно переключиться на режим MMA, который дополнен функциями «Антиприлипания» и «Горячего старта». Продолжительность включения здесь 80 %, но если снизить силу тока с 225 до 180 А, то показатель становится 100 %. Для питания необходимо напряжение 170–260 В.



Рисунок ПЗ. Сварочный аппарат Quattro Elementi B 225 (TIG, MMA)

Некоторые достоинства и недостатки этого сварочного аппарата приведены в таблице ПЗ.

Таблица ПЗ. Положительные и отрицательные отзывы/характеристики сварочного аппарата Quattro Elementi B 225 (TIG, MMA)

Плюсы	Минусы
Есть петли для присоединения плечевого ремня. Два режима MMA. Цифровой экран для точной установки силы тока. Сенсорная кнопка переключения режимов. Ампераж можно понижать до 10 А, чтобы сваривать листовый металл 0,6–1,0 мм. При силе тока 180 А, ПВ составляет 100 %. Если напряжение упадет, то «двоеккой» варить получится все равно. Все параметры соответствуют заявленным.	В аппарат затягивает много пыли. Доступно подключение только вентильных горелок. Кнопка включения расположена сзади.

Аргоновую горелку нужно докупить, так как в комплекте только кабель и держатель для РДС.

Вывод. Несмотря на то, что этот инвертор способен варить аргоном только с вентильной горелкой, но в этом случае создается особенно легкое возбуждение дуги касанием, поскольку напряжение холостого хода 85 В. Аппарат выделяется весом 5,5 кг, благодаря чему он лучше подходит для перемещения на плече при высотных работах или при сварке вдоль длинной конструкции.

ЛУЧШИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ DC/AC

Если периодически требуется сваривать алюминий, то лучше выбирайте аппараты с возможностью переключения постоянного тока на переменный. Такая функция указывается в названии обозначением AC/DC. Лучшие модели этой категории:

AURORA PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE

Модель (рис. П4) питается от однофазной сети и выдает 5–200 А. Оснащается кабелями с сечением DX50. Напряжение холостого хода составляет 44 В. Есть воздушное охлаждение. ПВ на максимуме достигает 60 %. Эксплуатировать аппарат можно при окружающей температуре от -20 до +50 °С. Вся электропроводка выполнена с классом изоляции F. Как опция, доступно подключение пульта д/у.



Рисунок П4. Сварочный аппарат Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE

Некоторые достоинства и недостатки этого сварочного аппарата приведены в таблице П4.

Таблица П4. Положительные и отрицательные отзывы/ характеристики сварочного аппарата Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE

Плюсы	Минусы
Большой корпус с многочисленными отверстиями для охлаждения. Качественная сборка. Хорошо варит нержавейку и медь. Почти не ощущаются просадки сетевого напряжения. Есть две жесткие ручки для транспортировки. Многочисленные настройки возрастания и колебания силы тока. Невысокая нагрузка на сеть 4,5 кВт. Бесконтактный розжиг электрода.	Вес аппарата 20 кг. Не всегда легко найти место для размещения в небольшом помещении. При MMA режиме не работает форсаж. Все дополнительные функции не отображаются на экране (регулировка «вслепую»). В комплекте только один колпачок для горелки. Нет функции заварки кратера.

Вывод. Инвертор для сварки аргоном примечателен наличием режима 4Т. Это позволяет включить сварку и не держать постоянно нажатой кнопку на горелке. Режим практичен при длительных швах во время обварки фланцев или изготовлении емкостей. Производитель предоставляет к аппарату горелку со шлангпакетом 4 м, которая пригодится при создании крупных конструкций. Функция пульса поможет соединять тонкие листы нержавеющей стали и алюминия без коробления.

BRIMA TIG-200P AC/DC

Этот аргоновый аппарат (рис. П5) отличается простотой и надежностью в работе. Инвертор выдает силу тока 10–200 А, потребляя при этом 5 кВт. Подходит для подключения к однофазной сети. ПВ на максимальном токе достигает 60 %. Профессиональная модель оснащена воздушным охлаждением. Холостой ход 56 В. Модель укомплектована горелкой с вольфрамовым электродом и бесконтактным поджигом.



Рисунок П5. Сварочный аппарат BRIMA TIG-200P AC/DC

Некоторые достоинства и недостатки этого сварочного аппарата приведены в таблице П5.

Таблица П5. Положительные и отрицательные отзывы/характеристики сварочного аппарата BRIMA TIG-200P AC/DC

Плюсы	Минусы
Разъемы под профессиональные горелки с бесконтактным поджигом. Жесткие рукоятки. Цифровой дисплей. Защита от перегрузки и перегрева. Поддерживает два режима сварки TIG и MMA. Есть настройки формирования дуги. Невысокая нагрузка на сеть в 5 кВт. Низкий уровень шума.	Вес аппарата 25 кг затрудняет транспортировку. Крупные габаритные размеры 50x35x36 см. Если сработала защита, то аппарат не включится в течение 30 минут (вся работа останавливается). Слабая клемма массы может отгореть после 2-х месяцев активной эксплуатации. «Минусовой» кабель длиной 2 м.

Вывод. В этом инверторе есть широкие возможности по настройке, которые пригодятся профессиональному сварщику в цеху или мастерской. Время предварительной продувки газом устанавливается от 0 до 2 с. Сварщик сам выбирает длину и частоту импульса. При завершении сварки можно выбрать значение снижения силы тока на 10 А, чтобы избежать свища в «замке». Все это подходит для выпуска ответственных конструкций, которые впоследствии даже пройдут контроль дефектоскопом.

Учебное издание

Марков Александр Николаевич

**Учебная практика
Сварочное дело**

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор М. Д. Баранова
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2026 г., поз. 5008

Подписано к печати 23.04.26. Формат 60x84/16. Бумага тип № 1

Печать офсетная. Печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 8,4.
Тираж 50 экз. Изд. № 19 Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.