

В. В. ОВЧИННИКОВ

# ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ И ГАЗСВАРОЧНЫХ РАБОТ

## УЧЕБНИК

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

*Регистрационный номер рецензии 625  
от 10 февраля 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

4-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 621.791.7:621.791.5(075.32)  
ББК 30.61я722  
О-355

Рецензент —  
преподаватель высшей категории ГОУ СПО  
Строительный колледж № 26 г. Москвы *Л. М. Карпухина*

**Овчинников В. В.**

О-355 Технология электросварочных и газосварочных работ :  
учебник для нач. проф. образования / В. В. Овчинников. —  
4-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия»,  
2013. — 272 с.

ISBN 978-5-7695-9696-4

Изложены общие сведения о дуговой и газовой сварке. Описана технология сварки цветных металлов и сплавов. Рассмотрено оборудование, применяемое при проведении электросварочных и газосварочных работ.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02) по профессии 150709.02 «Сварщик».

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.791.7:621.791.5(075.32)  
ББК 30.61я722

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

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

ISBN 978-5-7695-9696-4

## Уважаемый читатель!

Данный учебник является частью учебно-методического комплекта по профессии 150709.02 «Сварщик» (электросварочные и газосварочные работы).

Учебник предназначен для изучения профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02.02).

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

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

Электронный образовательный ресурс «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02.02) находится в стадии разработки и будет выпущен в 2013 году.

Учебно-методический комплект разработан на основании Федерального государственного образовательного стандарта начального профессионального образования с учетом его профиля.

## Предисловие

Сварку широко применяют в основных отраслях производства, потребляющих металлопрокат, так как благодаря сварке резко сокращаются расход металла, сроки выполнения работ и трудоемкость производственных процессов. В настоящее время сварку выполняют даже под водой и в космосе.

Выпуск сварных конструкций и уровень механизации сварочных работ растут из года в год. Получаемая за счет применения сварки ежегодная экономия исчисляется многими сотнями миллионов рублей.

Достигнутые успехи в области автоматизации и механизации сварочных процессов позволили коренным образом изменить технологию изготовления таких важных объектов, как доменные печи, мосты, трубопроводы, суда, химическое оборудование, гидротурбины.

Применение сварки способствует совершенствованию машиностроения и развитию новых отраслей техники — ракетостроения, атомной энергетики, радиоэлектроники, позволяет уменьшить затраты на единицу продукции, сократить длительность производственного цикла, улучшить качество изделий.

В настоящем учебнике описана технология электросварочных и газосварочных работ, изложены основные процессы, протекающие при газовой и дуговой сварке сталей, чугуна и цветных металлов, приведены основные сведения о сварочном пламени и его взаимодействии со сварочной ванной, рассмотрены протекающие в ней процессы и изложены требования к сварочным материалам, даны рекомендации по выбору режима газовой сварки.

В учебнике приведены основные сведения о сварочной дуге и ее взаимодействии с жидким металлом сварочной ванны, сведения о влиянии параметров режима дуговой сварки на формирование шва и качество сварных соединений.

Существенное внимание в учебнике уделено технологии дуговой сварки в защитных газах и применяемому для этой цели оборудованию.

# СВАРОЧНОЕ ПЛАМЯ, ЕГО СТРОЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

## 1.1. ОБРАЗОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПЛАМЕНИ

Реакция горения протекает обычно при соединении твердых, жидких или газообразных веществ с кислородом, однако некоторые металлы могут гореть не только в кислороде. Для газопламенной обработки наибольшее значение имеет процесс горения различных газов в кислороде или на воздухе. Горение любой газовой смеси начинается с ее воспламенения при какой-то определенной температуре, зависящей от условий процесса горения. После того как горение началось, дальнейший нагрев газа внешним источником теплоты становится необязательным, так как теплота газа оказывается достаточной для поддержания горения новых порций горючей смеси.

Устойчивый процесс горения возможен лишь в том случае, если выделяющейся при сгорании горючей смеси теплоты достаточно как для нагрева новых порций газа, так и для компенсации потерь теплоты в окружающую среду. Необходимое условие горения газа в кислороде или в воздухе — содержание горючего газа в смеси в определенных пределах, называемых *пределами воспламенения*. В зависимости от скорости воспламенения горючей смеси (скорости распространения пламени) различают следующие три вида горения:

- спокойное — со скоростью распространения пламени, не превышающей 10... 15 м/с;
- взрывчатое — со скоростью распространения пламени, достигающей нескольких сот метров в секунду;
- детонационное — со скоростью распространения пламени свыше 1 000 м/с.

Скорость воспламенения (скорость распространения пламени) зависит от следующих факторов:

- состав газовой смеси и давление, под которым газовая смесь находится;
- характер и объем пространства, в котором происходит горение;
- термомеханические условия на его границе (например, при горении смеси в трубках основным параметром, определяющим эти условия, является диаметр трубки);
- чистота горючего газа и кислорода (с увеличением содержания в них примесей скорость воспламенения уменьшается).

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

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

## 1.2. СТРОЕНИЕ СВАРОЧНОГО ПЛАМЕНИ

Реакция горения — это реакция соединения горючего вещества с кислородом. Процесс горения горючего газа начинается с воспламенения газа при определенной температуре, зависящей от условий, в которых протекает процесс горения. После начала горения не требуется дальнейшего нагрева газа от внешнего источника, если выделяемой при горении теплоты достаточно для поддержания горения новых порций горючей смеси и для компенсации потерь теплоты в окружающую среду.

В зависимости от хода реакции сгорания ацетилена, сварочное ацетиленокислородное пламя имеет определенную форму (рис. 1.1). Пламя можно разделить на три зоны: ядро 1, средняя зона 2 и факел 3.

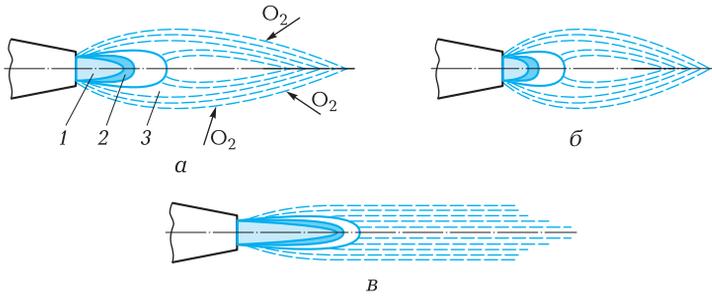


Рис. 1.1. Строение сварочного пламени:

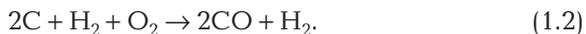
*а* — пламя нормальное; *б* — пламя окислительное (с избытком кислорода); *в* — пламя науглероживающее (с избытком ацетилена); 1 — ядро; 2 — средняя зона; 3 — факел

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



Образующийся углерод представляет собой мельчайшие твердые частицы, окружающие тонким раскаленным слоем ядро пламени, вызывая его свечение. Оболочка ядра является самой яркой частью сварочного пламени. Температура ядра пламени составляет 1450...1500 °С. По внешнему виду ядра визуально определяют состав газовой смеси и исправность сварочной горелки.

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



Теплота, выделяющаяся при этой реакции, способствует подогреву смеси и ускорению протекающих в ней окислительных процессов. Как видно из рис. 1.2, средняя зона 2 характеризуется максимальной температурой. В факеле 3 пламени происходит догорание оксида углерода и водорода при взаимодействии их с кислородом, поступающим из воздуха:



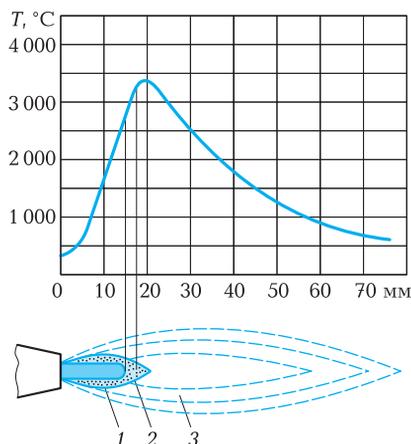


Рис. 1.2. Распределение температуры  $T$  по оси ацетилено-кислородного пламени:  
1 — ядро; 2 — средняя зона; 3 — факел

При этом выделяется большое количество теплоты, однако из-за большого объема зоны факела 3 температура в ней ниже, чем в средней зоне 2.

Для образования *нормального пламени* (см. рис. 1.1, а) и полного сгорания ацетилена необходимо на каждый его объем подводить в горелку такой же объем кислорода, т.е. отношение  $\beta = V_{\text{к}}/V_{\text{а}} = 1$ .

Нормальное пламя получают при  $\beta = 1,1 \dots 1,3$ . При увеличении этого отношения ( $\beta > 1,3$ ) пламя имеет окислительный характер (*окислительное пламя*), так как оно содержит избыточный кислород, окисляющий металл. В этом случае ядро пламени укорачивается, становится заостренным, с менее резкими очертаниями (см. рис. 1.1, б), бледнеет и приобретает синеватую окраску.

При уменьшении количества поступающего кислорода (избыток ацетилена) получается *науглероживающее пламя* (см. рис. 1.1, в). Объем средней зоны при этом увеличивается, ядро становится расплывчатым и за ним появляется «ацетиленовое перо» зеленоватого цвета. При значительном избытке ацетилена частицы углерода появляются и в наружной зоне, пламя становится коптящим, удлинится и приобретает красноватую окраску.

На рис. 1.3 представлена зависимость максимальной температуры пламени от состава газовой смеси (содержания в ней кислорода). Наивысшая температура пламени и наивысшая производи-

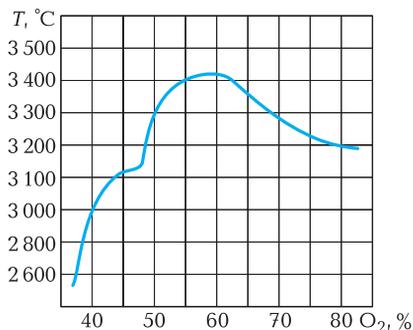


Рис. 1.3. Зависимость максимальной температуры  $T$  пламени от состава газовой смеси [содержания в ней кислорода]

тельность сварки наблюдаются при некотором избытке кислорода в смеси по сравнению с нормальным пламенем. Максимальную температуру для достаточно чистого кислорода и ацетилена можно принять 3100...3200 °C.

Свободный углерод, образующийся в ацетиленовом пламени, может поглощаться расплавленным металлом, поэтому такое пламя и называется науглероживающим. Оно имеет более низкую температуру по сравнению с температурой нормального или окислительного пламени.

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

### 1.3. ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОГО ПЛАМЕНИ

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

Неоднородность состава пламени вдоль его оси и в поперечном сечении вызывает различие температур отдельных его зон. У большинства углеводородных газов наивысшая температура пламени сосредоточена в непосредственной близости к ядру —

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

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

Температура ацетиленокислородного пламени сварочной горелки с расходом ацетилена 250...400 дм<sup>3</sup>/ч при соотношении смеси газов  $\beta = 1,1 \dots 1,2$  на различных расстояниях от внутреннего ядра пламени следующая:

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

Температура пламени существенно изменяется с изменением соотношения смеси, достигая максимальных значений при повышенном содержании кислорода.

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

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

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

$$q_2 = a(T_{\text{п}} - T), \quad (1.4)$$

где  $a$  — коэффициент теплообмена между пламенем и металлом, равный сумме коэффициентов вынужденного конвективного и лучистого теплообмена, кДж/(см<sup>2</sup>·с·К);  $T_{\text{п}}$  — температура потока газов пламени, К;  $T$  — температура поверхности металла, на которую направлен поток пламени, К.

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

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

Эффективная тепловая мощность пламени  $q$  есть количество теплоты, вводимой пламенем в металл за единицу времени. Эта мощность зависит в основном от расхода горючего газа, с увеличением которого она возрастает (рис. 1.4).

Эффективность нагрева металла газовым пламенем оценивается эффективным КПД  $\eta_{\text{и}}$ , представляющим собой отношение эффективной мощности пламени  $q$  к полной тепловой мощности пламени  $q_{\text{и}}$ , подсчитываемой по нижней теплоте сгорания горючего:

$$\eta_{\text{и}} = q/q_{\text{и}}. \quad (1.5)$$

Из графика (рис. 1.5), построенного для различных расходов ацетилена (обеспечиваемых семью номерами наконечников простой сварочной горелки), следует, что с увеличением расхода ацетилена вследствие изменения условий теплообмена пламени с поверхностью металла эффективный КПД пламени  $\eta_{\text{и}}$ , а следовательно, и эффективность нагрева, падают.

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

Полный КПД при газовой сварке невелик. Например, при ацетиленокислородной сварке стали толщиной 3 мм затраты теп-

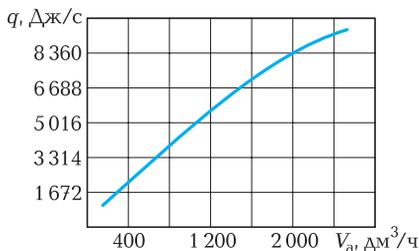


Рис. 1.4. Зависимость эффективной тепловой мощности пламени от расхода ацетилена (скорость сварки 30 м/ч, толщина свариваемых изделий из стали 6 мм)

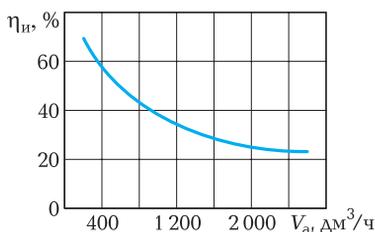


Рис. 1.5. Зависимость эффективного КПД пламени от расхода ацетилена

лоты на нагрев свариваемого металла вокруг расплавляемой зоны (ванны, шва) составляют около 45 %. При увеличении толщины свариваемого металла или его теплопроводности составляющая расхода на его нагрев вне расплавляемой зоны увеличивается.

Для проплавления металла и управления сварочной ванной важно механическое действие пламени, достигающее по оси пламени максимальной величины. В сварочных горелках большой мощности давление газов пламени достигает 0,01 МПа.

Газовая сварка плавлением ввиду ее меньшей производительности, тепловой эффективности и сложности автоматизации по сравнению с дуговой применяется для сварки стали малой толщины, чугуна и некоторых цветных металлов. При большой толщине металла газовая сварка применяется только в тех случаях, когда по каким-либо причинам затруднено применение электросварки. Производительность газовой сварки можно повысить рациональным использованием тепловой мощности пламени, в частности подбором мощности и регулировки, позволяющим получать хорошее качество сварки при увеличении ее скорости, а также использованием в некоторых случаях теплоты отходящих газов факела пламени.

## 1.4. ОБРАЗОВАНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

При нагреве пламенем горелки происходит местное расплавление металла соединяемых деталей. Расплавленный металл кромок вместе с металлом присадки образует сварочную ванну. Сварочная ванна находится в границах, определяемых твердым металлом. Жидкий металл смачивает кромки деталей, удаляет пленку, покрывающую их, и создает возможность проявления сил межатомного взаимодействия.

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

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

## 1.5. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ

Жидкий металл сварочной ванны соприкасается с газами и шлаками, образующимися из-за окисления поверхностных слоев металла. Кислород и азот поступают в сварочную ванну из воздуха. Кислород может также поступать и из газовой смеси, подаваемой горелкой.

Водород попадает в основном из пламени, а также в результате взаимодействия некоторых металлов с влагой при разложении водяного пара или при разложении углеводов, входящих в состав различных загрязнений, оставшихся на кромках деталей при плохой очистке их перед сваркой.

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

При газовой сварке на расплавленный металл сварочной ванны активно воздействует газовый поток средней зоны пламени, содержащей в основном  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  и частично пары воды, а также  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$ . В средней зоне пламени возможно также наличие в незначительном количестве свободного углерода, не успевшего полностью окислиться с образованием  $\text{CO}$  на границе ядра пламени. Характер протекающих в сварочной ванне реакций определяется составом средней зоны пламени, зависящем от соотношения газов в горючей смеси.