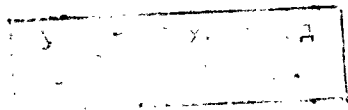


ГАВРИЛОВ П. И.

канд. техн. наук

СВАРКА И РЕЗКА  
МЕТАЛЛОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВ —  
ЗАМЕНТЕЛЕЙ АЦЕТИЛЕНА

39068



Издательство „МАШИНОСТРОЕНИЕ“

Москва 1968

**Сварка и резка металлов с применением газов — заменителей ацетилена. Гаврилов П. И. «Машиностроение». 1968. 180 стр.**

Книга посвящена актуальному для промышленности вопросу — применению газов — заменителей ацетилена: природного сжатого газа (метана); сжиженного газа пропано-бутановых фракций, получаемого из попутных газов и отходов крекинг-заводов, для сварки и резки.

Предлагаемые в данной книге заменители ацетилена экономически более выгодны, в процессе сварки создают лучшие условия для протекания металлургических процессов, кристаллизации, образования структуры сварного шва.

В книге обобщены научно-исследовательские работы и опыт внедрения газов-заменителей ацетилена в производство. Показаны особенности огневой аппаратуры и технологии сварки и резки некоторых металлов.

Книга предназначена для инженеров и техников машиностроительных заводов, а также для работников научно-исследовательских учреждений, специализирующихся в области сварочного производства.

Табл. 36. Илл. 111. Библ. 49 назв.

Рецензент канд. техн. наук Д. Л. Глизманенко

## ВВЕДЕНИЕ

В различных отраслях промышленности находят широкое применение прогрессивные виды обработки металлов — газо-кислородная сварка и резка. При газо-кислородной сварке металлов характерен местный сосредоточенный нагрев, который позволяет создавать или сохранять свойства металла свариваемой детали, удовлетворяющие технологическим и эксплуатационным требованиям, а также снизить производственные затраты на обработку шва после сварки.

В качестве источника сварочного пламени до последнего времени применялись и еще применяются искусственные углеводородные газы, интенсивно горящие в смеси с кислородом, как например, ацетилен.

Смесь ацетилена и кислорода позволяет получать тепловую энергию высокой концентрации и, следовательно, местное расплавление стали, чугуна и других металлов.

Несмотря на целый ряд положительных качеств ацетилено-кислородной сварки (высокая температура пламени, свыше  $3000^{\circ}\text{C}$ , быстрота нагрева свариваемой области и т. д.), она имеет и недостатки, как например, получение структур металла, трудно или совсем не поддающихся механической обработке особенно при сварке чугунов. Во время сварки цветных металлов появляется большая пористость в швах. От высокотемпературного факела ацетиленового пламени в металле возникают напряжения, способствующие образованию трещин в швах. К недостаткам относятся также дефицитность получения ацетилена из карбида кальция, большие расходы электроэнергии на его производство. Поэтому экономически целесообразно заменять ацетилен другими, более дешевыми газами.

Советский Союз имеет богатейшие месторождения природного газа, поэтому использование этого газа при наличии газопроводов и газораздаточных станций для сварочных работ имеет важное народно-хозяйственное значение. Все больше используются жидкие газы, получаемые из попутных газов и отходов при крекинг-процессах на нефтеперегонных заводах. Другие заменители ацетилена — сжиженные газы пропано-бутановых фракций по-

лучают после сепарации попутных нефтяных газов или в виде побочного продукта на крекинг-заводах. Рациональное использование природного и сжиженных газов для сварочных работ позволит заменить дефицитные искусственные газы, а главное — получить плотные и легкообрабатываемые швы.

Исследования в области сварки природным и сжиженными газами были проведены автором на кафедре технологии металлов Саратовского политехнического института. Внедрение разработанного способа на ряде саратовских и других заводов Советского Союза дало значительный экономический эффект. В исследованиях был использован саратовский природный газ, полученный из испарений нефти.

Природный газ саратовского месторождения имеет высокие качества: не содержит сероводорода, в нем мало инертных газов, обладает высокой теплотворной способностью. Состоит он примерно из 97% горючих газов, среди которых 94—95% метана и около 3% других горючих газов, называемых предельными углеводородами, как например, этан, пропан, пентан. Содержание азота и углекислого газа (балласта) не превышает 3,5%.

Сжиженные газы были получены с Саратовского крекинг-завода и с нефтеперерабатывающего завода Башкирской АССР.

---

## ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Газы, выходящие из недр на поверхность, в отличие от различных искусственных газов, получаемых путем промышленной переработки, называются природными. Углеводородные горючие газы бывают двух видов: сухие и жирные. Сухие газы состоят преимущественно из метана (90—98%  $\text{CH}_4$ ) бесцветны, горят слабо светящимся пламенем высокой температуры. Жирные газы сопутствуют нефти и содержат, кроме метана, другие тяжелые углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ). Их легко отличить от сухих газов по нефтяному запаху. Часто природный горючий газ содержит примеси других газов: углекислоты, азота, гелия и сероводорода.

Большое содержание метана в природном газе делает его ценным горючим из-за высокой теплотворной способности. Горючий газ применяется для промышленных, коммунальных и бытовых нужд. Применение природного газа в сварочном производстве дает большую экономию и улучшает металлургический процесс образования расплава шва по сравнению с ацетиленом.

Почти всегда в пластах нефтяных месторождений находятся и горючие природные газы. В природном газе горючая часть состоит, главным образом, из метана и других углеводородов парафинового ряда. Некоторые горючие природные газы содержат 1—5% сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$  — ядовитого и вредно действующего на металл в коррозионном отношении. Эти газы обладают резким запахом. Газы многих месторождений вовсе не содержат сероводорода. Саратовский газ по сравнению с другими газами отечественных месторождений имеет высокие качества: содержит незначительное количество инертных газов, практически не содержит сероводорода, а главное обладает высокой теплотворной способностью.

Саратовский газ состоит из метана 94,0%  $\text{CH}_4$ , этана 1,2%  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; пропана 0,7%  $\text{C}_3\text{H}_8$ ; бутана 0,4%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; пентана 0,2%  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ; азота 3,3%  $\text{N}_2$ . Элементарный весовой состав: 70,97% C; 23,24%  $\text{H}_2$ ; 0,37%  $\text{O}_2$ ; 5,42%  $\text{N}_2$ ; плотность 0,765  $\text{Mz}/\text{M}^3$ ; плотность по воздуху (относительная плотность)  $d = 0,592$ . Теплотворная способность сухого газа: высшая  $Q_s = 9484 \cdot 4,19 \cdot 10^3$   $\text{дж}/\text{кг}$ ; низшая  $Q_n = 8535 \cdot 4,19 \cdot 10^3$   $\text{дж}/\text{кг}$ .

Кислорода и сероводорода в саратовском природном газе практически нет. Этот газ является одним из самых богатых по содержанию водорода (по весу больше 23%). Топливо — мазут, считающееся богатым по содержанию водорода, содержит его не более 12,5%.

Саратовский газ значительно легче воздуха вследствие малого удельного веса. Поэтому он собирается наверху под перекрытиями в проемах между выступающими потолочными балками и т. п.

Ввиду высокого содержания в газе связанного водорода разница между высшей и низшей теплотворными способностями весьма велика и составляет около  $950 \cdot 4,19 \cdot 10^3$  дж/кг. Теплотворная способность смеси различных горючих газов зависит от теплотворной способности составляющих газов.

Средняя объемная теплоемкость при постоянном давлении для температур до  $+50^\circ$  С для Саратовского природного газа  $c_p = 0,38 \cdot 4,19 \cdot 10^3$  дж/кг, при теплоемкости воздуха, равной  $0,31 \cdot 4,19 \cdot 10^3$  дж/кг. Теплопроводность, имеющая большое значение при сварочных работах, получена по следующей формуле:

$$\lambda_{см} = \frac{\lambda_1 V_1 + \lambda_2 V_2 + \dots + \lambda_n V_n}{100} \text{ вт/м} \cdot \text{град},$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  — теплопроводность составляющих газов в  $\text{вт/м} \cdot \text{град}$ ;  
 $V_1, V_2$  — содержание в смеси различных составляющих газов в об. %.

$\lambda_{см} = 25,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1630$   $\text{вт/м} \cdot \text{град}$ , т. е. значительно ниже, чем у других искусственных газов. С ростом температуры теплопроводность газов увеличивается, что имеет большое значение в технологии сварки.

Важной характеристикой газа является температура воспламенения (минимальная, начальная температура горячей газовой смеси, при которой происходит ее возгорание). Температура эта зависит от основных свойств зажигаемого газа (теплопроводности, удельного веса и т. п.) и от условий зажигания.

Наиболее высокую температуру воспламенения — в кислороде, имеют метан  $\text{CH}_4$  ( $243^\circ$  С) и окись углерода  $\text{CO}$  ( $590^\circ$  С). Для движущейся горючей смеси (в горелках) температура воспламенения более высокая, чем для неподвижной. Инертные газы повышают температуру воспламенения. Температура воспламенения смесей горючих газов большей частью лежит между температурой воспламенения входящих в смесь «простых» горючих газов. Однако могут быть случаи, когда температура воспламенения смеси оказывается выше или ниже температуры любого входящего в смесь «простого» горючего газа. Температура воспламенения газовой смеси близка к температуре воспламенения того составляющего газа, у которого эта температура является низшей и содержание которого в газовой смеси значительно. Для Саратовского газа тем-

температура воспламенения составляет 530° С, т. е. температура вспышки этана.

Воспламенение газовой смеси происходит при определенных соотношениях между кислородом и горючим газом. При содержании природного газа менее 5,1% газозадушная смесь не горит и не взрывается. Смесь, содержащая более 13,9% природного газа, не взрывается, но в воздухе горит. Нижним пределом воспламеняемости называется такое объемное содержание горючего газа в смеси с воздухом или кислородом, которое уже достаточно для воспламенения этой смеси. Верхним пределом воспламеняемости называется такое объемное содержание горючего газа в смеси с воздухом или кислородом, при котором уже не происходит воспламенения этой смеси из-за недостатка воздуха для горения.

Для смесей с кислородом пределы воспламеняемости значительно шире, чем для смеси с воздухом. Повышение температуры расширяет пределы воспламеняемости. При температурах выше температуры воспламенения выгорают любые смеси горючего газа с воздухом. Пределы воспламеняемости смеси горючих газов  $N\%$  могут быть вычислены по составу этой смеси и по пределам воспламеняемости составляющих газов:

$$N = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\frac{V_1}{N_1} + \frac{V_2}{N_2} + \dots + \frac{V_n}{N_n}},$$

где  $V_1, V_2, \dots, V_n$  — содержание (объемное) составляющих горючих газов горючей смеси в %;

$N_1, N_2, \dots, N_n$  — пределы воспламеняемости (нижний или верхний) составляющих горючих газов в %.

Нижний предел воспламеняемости смеси с кислородом саратовского газа

$$\begin{aligned} N_n &= \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\frac{V_1}{N_1} + \frac{V_2}{N_2} + \dots + \frac{V_n}{N_n}} = \\ &= \frac{94,0 + 1,2 + 0,7 + 0,4 + 0,2}{\frac{94,0}{5,0} + \frac{1,2}{4,0} + \frac{0,7}{2,3} + \frac{0,4}{1,9} + \frac{0,2}{1,4}} = \frac{96,5}{19,70} = 5,0\%; \end{aligned}$$

верхний предел воспламеняемости саратовского газа

$$N_s = \frac{96,5}{\frac{94,0}{59,0} + \frac{1,2}{46,0} + \frac{0,7}{9,5} + \frac{0,4}{8,4} + \frac{0,2}{8,0}} = \frac{96,5}{1,78} = 54,2\%.$$

У саратовского газа пределы воспламеняемости с воздухом (5,1—13,9%) значительно ниже, чем для других газов, что имеет важное значение для техники безопасности. Скоростью распростра-

нения пламени или скоростью воспламенения называют скорость движущегося пламени в направлении, перпендикулярном к поверхности воспламенения. Максимальная скорость распространения пламени достигается при некоторой определенной концентрации горючего газа в газозудушной смеси (при  $\alpha \sim 0,95$ ). Наибольшую скорость распространения пламени дает водород; наименьшую — метан. Другие предельные газообразные углеводороды по скорости распространения пламени близки к метану.

Скорость распространения пламени газокислородной смеси, составленной из нескольких горючих газов, и концентрацию горючих газов, дающих максимальную скорость распространения пламени, можно подсчитать по эмпирическим формулам

$$N_1 = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_m}{\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_m}{N_m}},$$

где  $N$  — содержание (объемное) смеси горючих газов в газокислородной смеси, дающее максимальную скорость распространения пламени в %;

$n_1, n_2, \dots, n_m$  — содержание (объемное) составляющих горючих газов в горючей смеси в %;

$N_1, N_2, \dots, N_m$  — содержание (объемное) отдельных горючих газов в газокислородной смеси, дающей максимальную скорость распространения пламени в %

$$S = \frac{aS_a + bS_b + \dots + mS_m}{a + b + \dots + m},$$

где  $S$  — максимальная скорость распространения пламени отдельных составляющих горючих газов в м/сек;

$a, b, \dots, m$  — содержание газокислородной смеси, дающей максимальную скорость распространения пламени простого газа в газокислородной смеси в %.

Эти величины равны:  $a = n_1 \frac{N}{N_1}$ ;  $b = n_2 \frac{N}{N_2}$ ;  $m = n_m \frac{N}{N_m}$ .

Вышеприведенные формулы дают приближенный результат и применяются для горючих газов, содержащих 3,3—3,5%  $N_2$ . Приводимые в табл. 3 результаты дают сравнительную оценку скоростей распространения пламени различных горючих газов и их смесей. Наивысшая скорость распространения пламени в смеси кислорода с ацетиленом  $S_{C_2H_2} = 12,5 \div 13,7$  м/сек. Для заместителей ацетилена такая скорость значительно ниже. Так, у сжатого газа метана  $S_{CH_4} = 2,4 \div 3,3$  м/сек; у сжиженных газов: пропана  $S_{C_3H_8} = 3,8 \div 4,5$  м/сек и у бутана  $S_{C_4H_{10}} = 3,5 \div 3,7$  м/сек.

Большая скорость распространения пламени в смеси кислорода с ацетиленом создает условия для наиболее высокой температуры сварочного факела в зоне, применяемой для расплавления шва. Наиболее высокая температура сварочного факела  $T_{\phi C_2H_2} = 3150-3200^\circ C$ ;  $T_{\phi C_2H_4} = 2750-2850^\circ C$ ,  $T_{\phi C_3H_8} = 2600-2700^\circ C$ ;  $T_{\phi CH_4} = 2100-2200^\circ C$  (рис. 1).

Природный газ поступает в большинстве случаев по длинным подземным трубопроводам, где приобретает температуру грунта. Поэтому газ на входе к сварочному посту имеет в большинстве

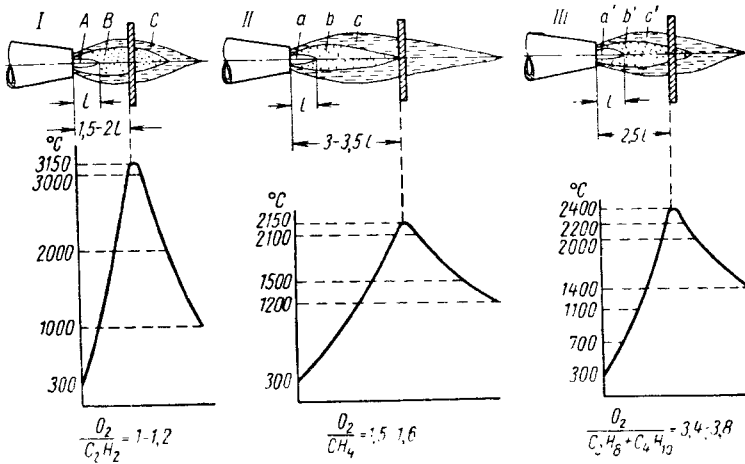
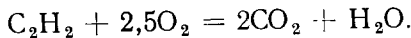


Рис. 1. Зоны сварочного пламени:

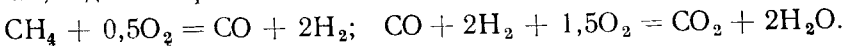
I —  $C_2H_2$ ; II —  $CH_4$ ; III —  $C_3H_8 + C_4H_{10}$ ; A, B, C — зоны сварочного пламени

случаев температуру  $2-10^\circ C$  в зависимости от времени года. Газ, получаемый из разных скважин, может иметь весьма различный состав; колебания в составе в течение 1 ч могут достигать до 20%, что влияет на теплотворную способность топлива.

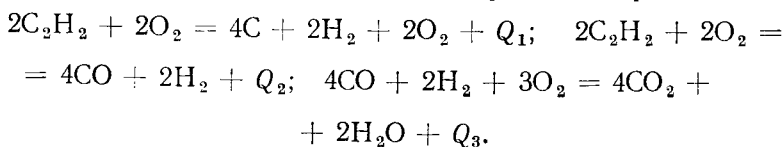
**Процесс горения.** При сжигании газообразного горючего или паров горючей жидкости в смеси с чистым кислородом образуется сварочное пламя. Применяемые для газовой сварки горючие газы представляют собой преимущественно углеводороды типа  $C_xH_y$ . До настоящего времени особенно распространенным горючим газом является ацетилен  $C_2H_2$ . Полное сгорание ацетилена происходит по реакции



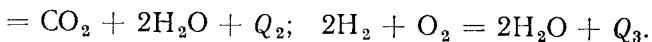
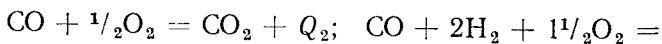
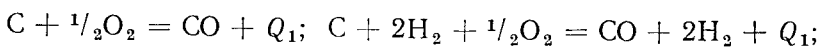
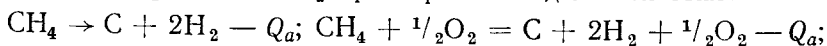
Полное сгорание природного сжатого газа, в основном метана, идет по реакции



Эти реакции характеризуют лишь начальную и конечную стадии процесса горения. В действительности в процессе горения происходит ряд последовательных изменений и превращений в результате промежуточных реакций. Основной стадией этого превращения является пироженное разложение в равновесии с кислородом. Процесс заключается в распаде горючего на составные элементы (С и Н<sub>2</sub>) и их окислении с образованием водяного газа (СО + Н<sub>2</sub>). Пироженное разложение возникает вследствие ограниченной теплоустойчивости углеводородов. Углеводороды С<sub>x</sub>Н<sub>y</sub> при нагревании выше определенной температуры разлагаются на составные элементы:  $C_xH_y \rightleftharpoons xC + \frac{y}{2} H_2$ . Так, для ацетилена имеем:  $C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$ ; для метана:  $CH_4 \rightarrow C + 2H_2$ . В действительности же этот процесс может протекать и более сложно. Саратовский природный газ, в основном метан, при температуре 1000—1300° С полностью разлагается на элементы  $CH_4 = C + 2H_2$ . Процесс пироженного разложения в присутствии кислорода отличается от рассмотренного выше; это отличие заключается в следующем. Ацетилен в присутствии кислорода, будучи ненасыщенным соединением, легко распадается и вступает в реакцию с кислородом по экзотермической реакции:



Для метана реакция идет в начале эндотермически; после распада  $CH_4$  на С и 2Н<sub>2</sub> при горении выделяется тепло



Вышеприведенные реакции показывают различие в горении ацетилена и метана. При использовании природного газа для сварочного процесса первую зону, связанную с распадом метана, нельзя использовать для сварки, так как в этой зоне температура невысокая, из-за поглощения тепла. Наиболее важными в газосварочном процессе являются следующие свойства метанокислородного пламени: строение и форма пламени; химический состав пламени; химические свойства его; температура пламени; удельная мощность и термохимический коэффициент пламени. В зависимости от состава горючей смеси, подаваемой в горелку, определяется строение и форма пламени. Для нормального сварочного

процесса теоретически должна подаваться смесь газов в объемном соотношении: для ацетилена  $\beta_{C_2H_2} = \frac{O_2}{C_2H_2} = 1,0$ ; для природного газа  $\beta_{CH_4} = \frac{O_2}{CH_4} = 1,0$ . В практике же  $\beta_{C_2H_2} = \frac{O_2}{C_2H_2} = 0,9 \div 1,2$ ;  $\beta_{CH_4} = \frac{O_2}{CH_4} = 1,5 \div 1,6$ .

При таком строении метано-кислородное пламя имеет вид, представленный на рис. 1, II. В этом пламени различают три зоны, внутреннюю — ядро *a*, среднюю — зона *b* и наружный факел — зона *c*. Ядро *a* соответствует распаду метана на углерод С и водород Н<sub>2</sub>. Пламя может иметь форму конуса или лепестка (в зависимости от номера мундштука горелки). Свободный углерод раскаляется под действием высокой температуры пламени и делает его светящимся. Длина ядра *a* 5—15 мм. Средняя зона *b*, охватывающая зону ядра, имеет форму факела со сглаженными краями. В этой зоне происходят процессы воспламенения с получением водяного газа СО и Н<sub>2</sub>, протекающие с большой скоростью. Зона имеет протяженность 5—8 мм. Наружная зона *c* соответствует периоду сгорания СО и Н<sub>2</sub> в СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О за счет вторичного кислорода, поступающего из воздуха. В этом пламени зоны *b* и *c* как бы соединяются в одну большую зону, но при соотношении газов О<sub>2</sub> : СН<sub>4</sub> = 1,0 различить все три зоны вполне возможно (рис. 1, II).

При использовании ацетилена в сварочном пламени имеются также три зоны: ядро *A*, зона неполного сгорания *B*, зона полного сгорания *C*. Сварка проводится не третьей зоной, а второй, которая имеет газы восстановители (СО, Н<sub>2</sub>), достаточную температуру (рис. 1, I). Температура пламени зависит от состава смеси, подаваемой в горелку, и различна для отдельных зон пламени. Непосредственно измерение температуры метано-кислородного пламени проводилось при помощи оптического пирометра. При соотношении О<sub>2</sub> : СН<sub>4</sub> = 1,5 ÷ 1,6 были получены следующие результаты: на расстоянии от устья мундштука 5—15 мм 800—1000° С; 20—35 мм 1200—1800° С; 35—40 мм 2100—2200° С; 45—50 мм 1600° С; 50—60 мм 1300—1500° С.

Сравнивая ацетилено-кислородное пламя с метано-кислородным, необходимо обратить внимание на различие зон, используемых непосредственно для нагрева металла в шве. Если в ацетилено-кислородном пламени поверхность нагреваемого изделия устанавливается посредине зоны *B* на расстоянии, примерно равном  $2l$ , где  $l$  — длина ядра *A*, то в метано-кислородном пламени — на расстоянии  $3—3,5l$ , где  $l$  длина ядра *a*, т. е. примерно в конце зоны *b*. Это объясняется эндотермическим распадом природного газа в ядре (рис. 1, II). Важнейшей характеристикой пламени является температура, определяющая возможность сварки того или иного металла.

**Тепловой эффект.** Время пребывания горючего газа во внутренней зоне, называемое периодом индукции, зависит от температурного режима, созданного окружающими зонами. Кислород создает условия для экзотермических реакций горения продуктов пирогенного разложения, а также СО. Процесс окисления ускоряет разложение и способствует образованию конечных продуктов —  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , происходящему после реакций горения в средней зоне при активном воздействии кислорода на продукты распада  $\text{CH}_4$ . Конечный тепловой эффект при горении метана можно выразить следующим уравнением:

$$Q = -Q_a + Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Низшая теплотворная способность определяется по формуле:

$$Q_n = 85,3\text{CH}_4 + 151,9\text{C}_2\text{H}_6 + 217,4\text{C}_3\text{H}_8 + 282,8\text{C}_4\text{H}_{10} \times \\ \times 4,19 \cdot 10^3 \text{ дж/кг} (4,19 \cdot 10^3 \cdot 0,239 \text{ кал/кг}).$$

Для саратовского природного газа, условно называемого метаном,

$$Q = 8535 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \text{ дж/кг} (4,19 \cdot 10^3 \cdot 0,239 \text{ кал/кг}).$$

Около 30—40% этого количества тепла выделяется в зоне *b*, а 60—70% — в зоне *c*. Самую высокую температуру имеет зона *c* (2150—2200° С); в конце зоны *b* температура составляет примерно 1500° С, в зоне *a* (ядре) 1000° С, в зоне *b* 1800° С. Для получения жидкой ванны шва лучше всего использовать конец зоны *b*. Соотношение количества природного газа и кислорода может быть определено по реакции, связанной с получением СО и  $\text{H}_2$ , и равно теоретически  $\frac{\text{O}_2}{\text{CH}_4} = 1,0$ , но на практике это соотношение равно  $\frac{\text{O}_2}{\text{CH}_4} = 1,5 \div 1,6$ .

При увеличении расхода горючей смеси увеличиваются размеры пламени. Размеры пламени и длина ядра *l* зависят от скорости истечения смеси из сопла. Поверхность свариваемого изделия при ацетилено-кислородном пламени устанавливают на расстоянии 1,5 — 2*l* от сопла горелки. При сварке метаном это расстояние увеличивается до 3,0—3,5*l*. Обтекание нагреваемой поверхности потоком горячих газов и обусловленное им тепловое воздействие пламени зависит от геометрической формы поверхности изделия. Растекающийся газовый поток пламени нагревает значительную поверхность изделия. Нагрев происходит путем вынужденного конвективного и лучистого теплообмена.

Вынужденный конвективный теплообмен обусловлен изотермическим потоком газа, вытекающим из сопла под давлением и перемещающимся со скоростью, измеряемой десятками и сотнями метров в секунду. Естественный или свободный конвективный теплообмен обеспечивает передачу тепла частям жидкой ванны

благодаря перемещению жидкого металла вследствие различной плотности неодинаково нагретых слоев сварочной ванны. Конвективный ток в жидкости способствует выравниванию температуры всей жидкой зоны. Количество тепла, проходящее через единицу поверхности тела за единицу времени  $q_k = 41,87 \text{ квт} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{град}$  ( $41,87 \cdot 102 \text{ кГ} / \text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ ) определяется на основе правил Ньютона:

$$q_k = \alpha_k (T - T_0),$$

где  $T$  — температура поверхности твердого тела в  $^{\circ}\text{К}$ ;

$T_0$  — температура жидкого металла в  $^{\circ}\text{К}$ ;

$\alpha_k$  — коэффициент конвективной теплоотдачи в  $\text{квт} / \text{м}^2 \cdot \text{град}$ .

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от формы и размеров поверхности и ее положения в пространстве; физических свойств теплоотдающей поверхности; свойств окружающей среды, ее плотности, теплопроводности и вязкости и т. д.; разности температур  $T - T_0$ .

Тепловое излучение, свойственное всем нагретым телам, относится к лучистому теплообмену, происходящему между нагретыми телами. Нагретое тело излучает энергию в соответствии с законом Стефана Больцмана:

$$q_c = c \left( \frac{T}{100} \right)^4,$$

где  $q_c$  — удельный поток излучения нагретого до  $T$  К тела через его поверхность, равный  $41,87 \text{ квт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{К}^4$  ( $41,87 \times 102 \text{ кГ} / \text{м} \cdot \text{сек} \cdot ^{\circ}\text{К}^4$ );

$c$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от состояния поверхности тела.

Для абсолютно черного тела, т. е. тела, обладающего способностью поглощать все падающее на него излучение,  $c_0 = 1,378 \times 10^4 \cdot 41,87 \text{ квт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{К}^4$  ( $41,87 \cdot 102 \text{ кГ} / \text{м} \cdot \text{сек} \cdot ^{\circ}\text{К}^4$ ). Для серых тел  $c = \epsilon \cdot c_0$  ( $\epsilon$  — коэффициент черноты, изменяющийся в пределах  $0-1$ ). Для шероховатых поверхностей стали, чугуна  $\epsilon = 0,6-0,95$ . С повышением температуры коэффициент увеличивается и при температуре, близкой к температуре плавления, достигает значения  $0,9-0,95$ . При сварке необходимо учитывать лучистый теплообмен, особенно при сварке небольших деталей, а также деталей со сложными переходами, полых (с тонкими стенками), когда свариваемое изделие, нагретое до температуры  $T$ , обменивается теплом с окружающими его со всех сторон телами (со сварочным столом, полом, стенами, потолком помещения, имеющими температуру  $T_0 < T$ ). Удельный поток лучистого теплообмена  $q_c = 41,87 \text{ квт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{К}^4$  ( $41,87 \cdot 102 \text{ кГ} / \text{м} \cdot \text{сек} \cdot ^{\circ}\text{К}^4$ ), удобно связать с перепадом температур у поверхности

$$q_c = \alpha_c (T - T_0),$$

где  $\alpha_c$  — коэффициент лучистого теплообмена в  $\text{квт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{К}^4$ .

Полная теплоотдача поверхности нагретого твердого тела, омываемого жидкостью или газом, равна сумме удельных потоков конвективного и лучистого теплообмена

$$q = q_k + q_l = (\alpha_k + \alpha_l) (T - T_0) = \alpha (T - T_0),$$

где  $\alpha$  — коэффициент полной поверхности теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи характеризует способность твердого тела отдавать тепло в окружающую среду. Коэффициент теплоотдачи увеличивается с повышением температуры теплоотдачи поверхности. В пределах температур у поверхности  $200 \div 300^\circ \text{C}$  большая часть тепла отдается конвективным путем, при более

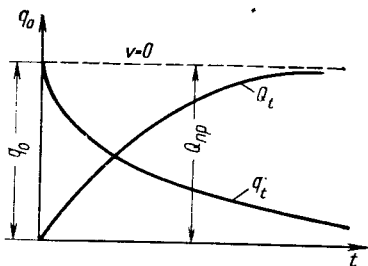


Рис. 2. Кривая эффективной мощности пламени при неподвижном пламени

высоких температурах — лучистым теплообменом, составляющим при  $800^\circ \text{C}$   $\sim 80\%$  общей теплоотдачи. В промежутке температур  $50 \div 1500^\circ \text{C}$  полный коэффициент теплоотдачи возрастает в  $30 \div 50$  раз.

С увеличением продолжительности нагрева неподвижным пламенем теплосодержание изделия изменяется неравномерно. Теплосодержание металла при нагреве до  $1600^\circ \text{C}$  возрастает на  $343 \cdot 4,19 \text{ кдж/кг}$  ( $343 \cdot 4,19 \times 102 \text{ кг} \cdot \text{м/кг}$ ). В критических

точках, соответствующих аллотропическим превращениям, связанным с температурой плавления металла, при нагреве происходит поглощение, а при охлаждении — выделение тепла, в результате чего теплосодержание изменяется скачкообразно.

Теплосодержание металла нарастает быстрее в начале нагрева при неподвижном пламени ( $v = 0$ ). С повышением температуры теплосодержание, приближаясь к пределу  $Q_{пр}$ , характеризующему стационарное состояние процесса, нарастает все медленнее. Количество тепла, вводимое пламенем в металл за единицу времени, определяет эффективную тепловую мощность пламени. Пренебрегая поверхностной теплоотдачей изделия в окружающую среду, эффективную тепловую мощность пламени определяют по изменению теплосодержания за время нагрева  $t$ . На рис. 2 показано, что в процессе нагрева эффективная мощность пламени от  $q_0$  уменьшается. Природа теплообмена между газовым пламенем и металлом обуславливает неравномерность изменения теплосодержания детали  $Q_t$  и эффективной мощности  $q_t$ . В производственных условиях горелка передвигается прямолинейно (с поперечными колебаниями) и теплосодержание  $Q_t$  возрастает более равномерно, так как при перемещении пламя соприкасается непрерывно с новыми ненагретыми участками детали (рис. 3). Интенсивность теплообмена в каждой точке такого подвижного поля уже не изменяется.

В этом случае теплосодержание становится линейной функцией времени. Эффективная мощность остается постоянной.

В связи с тем, что наиболее эффективным горючим газом для сварки является ацетилен, для замены этого газа природным следует воспользоваться зависимостью коэффициентов замены ацетилена от низшей теплотворной способности газа (рис. 4 и 5). Низшая теплотворная способность может быть определена по формуле:

$$Q_H = 25,8N_2 + 85,6CH_4 + \\ + 217,4C_3H_8 + 143C_2H_6 + 30,2CO.$$

Для природного (саратовского) газа  $Q_H = 8510 \cdot 4,19$  кдж/м<sup>3</sup>. По графику находим коэффициент за-

мены ацетилена  $\psi = \frac{U_m}{U_a}$ , где  $U_a$  — расход ацетилена в м<sup>3</sup>/ч;  $U_m$  — расход природного газа в м<sup>3</sup>/ч. Для замены ацетилена при-

родным газом  $\psi = \frac{U_m}{U_a} \approx 1,6$  и при замене ацетилена сжижен-

ными газами  $\psi = \frac{U_{сж}}{U_a} \approx 0,7$ .

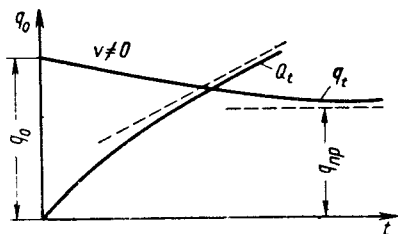


Рис. 3. Кривая эффективной мощности при движении пламени

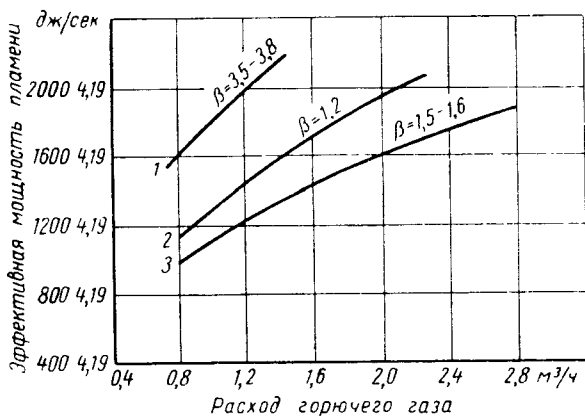


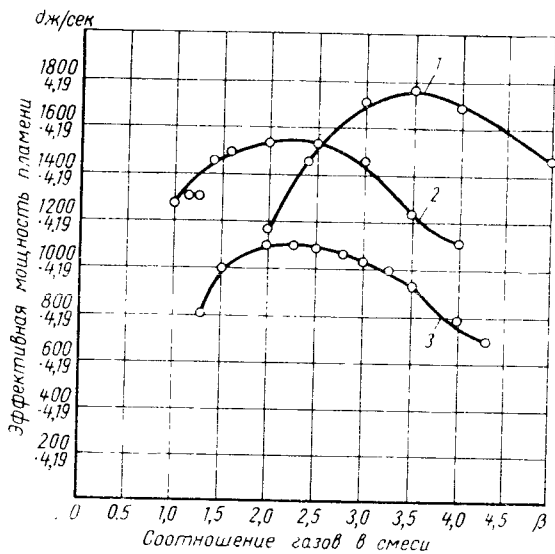
Рис. 4. Кривые соотношения газов в смеси:

1 — пропано-бутановая смесь; 2 — ацетилен; 3 — метан

**Сжиженные газы.** Сжиженные пропано-бутановые смеси относятся к группе тяжелых углеводородов. Их получают при добычании природных нефтяных газов, а также в виде побочного продукта при улавливании отходящих газов на крекинг-заводах при переработке нефти и нефтепродуктов. Жидкими газами называют углеводороды, которые в чистом виде или в виде смесей при нор-

мальной температуре и небольшом повышении давления могут быть переведены из газообразного в жидкое состояние. Для использования этих газов в парообразном состоянии для эффективного сжигания в сварочном пламени необходимо иметь в баллонах состав пропана и бутана в определенном процентном соотношении в зависимости от окружающей температуры.

В природных «попутных» газах, добываемых вместе с нефтью в большом количестве (до 500 м<sup>3</sup> на 1 т нефти) содержится (по



**Рис. 5.** Кривые эффективной мощности пламени в зависимости от расхода горючего газа:

1 — пропано-бутановая смесь; 2 — ацетилен; 3 — метан

объему) 10—50% пропана и бутана. При переработке нефти методом крекирования, наряду с основными продуктами (бензином, маслом, дизельным топливом) получают и простейшие газообразные углеводороды: метан  $\text{CH}_4$ , этан  $\text{C}_2\text{H}_6$ , пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$ , бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$ , пропилен  $\text{C}_3\text{H}_6$ , бутилен  $\text{C}_4\text{H}_8$ , которые называются крекинг-газами и используются для получения жидких газов. Состав жидких газов различен и зависит от источников их получения. Для газо-сварочных работ, а также для резки металла используют жидкие газы, содержащие фракции предельных углеводородов: пропан и бутан. Процентное содержание пропана и бутана в смеси определяется температурой атмосферы, при которой происходит сварка. Смеси с содержанием пропана до 30% используются в районах с более теплым климатом и в летнее время. При содержании пропана не менее 70% смесь жидкого газа может быть использована в зимнее время и, кроме того, в районах с более холодным климатом.

Нормальной характеристикой для правильной эксплуатации баллонов с жидкими газами является упругость паров (давление насыщения) пропано-бутановой смеси. Эта характеристика имеет первостепенное практическое значение, так как избыточное давление над зеркалом жидкости позволяет выходить в горелку жидкими фракциям в газообразном состоянии. Для определения процентной концентрации смеси жидких газов следует пользоваться кривыми упругости паров (рис. 6). Упругость или давление паров пропано-бутановой смеси зависит от температуры внешней среды. Так, например, давление паров одного пропана при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$  равно  $p_{абс} = 0,21 \text{ Мн/м}^2$  ( $2,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), а летом при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$  это давление повышается до  $p_{абс} = 0,86 \text{ Мн/м}^2$  ( $8,6 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) (табл. 1).

При заполнении баллонов необходимо учитывать возможное увеличение объема жидких газов при изменении температуры. Так, например, пропан при повышении температуры от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$  увеличивает свой объем 1,82—

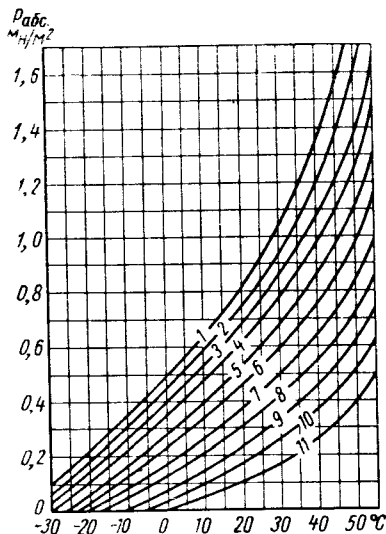


Рис. 6. Диаграмма для определения состава пропано-бутановой смеси:

- 1—100%  $\text{C}_3\text{H}_8$ ; 2—90%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 10%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 3—80%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 20%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 4—70%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 30%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 5—60%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 40%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 6—50%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 50%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 7—40%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 60%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 8—30%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 70%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 9—20%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 80%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 10—10%  $\text{C}_3\text{H}_8$  + 90%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ; 11—100%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

Таблица 1

Давление  $p_{абс}$  в  $\text{Мн/м}^2$  ( $\text{кг/м}^2$ )

Температура в $^{\circ}\text{C}$	Пропан $\text{C}_3\text{H}_8$	Бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$
-50	0,08 ( $0,8 \cdot 10^4$ )	0,01 ( $0,1 \cdot 10^4$ )
-40	0,12 ( $1,2 \cdot 10^4$ )	0,018 ( $0,18 \cdot 10^4$ )
-30	0,18 ( $1,8 \cdot 10^4$ )	0,028 ( $0,28 \cdot 10^4$ )
-20	0,27 ( $2,7 \cdot 10^4$ )	0,045 ( $0,45 \cdot 10^4$ )
-10	0,37 ( $3,7 \cdot 10^4$ )	0,068 ( $0,68 \cdot 10^4$ )
0	0,43 ( $4,3 \cdot 10^4$ )	0,098 ( $0,98 \cdot 10^4$ )
+10	0,64 ( $6,4 \cdot 10^4$ )	0,15 ( $1,5 \cdot 10^4$ )
+20	0,85 ( $8,5 \cdot 10^4$ )	0,21 ( $2,1 \cdot 10^4$ )
+30	1,11 ( $11,0 \cdot 10^4$ )	0,29 ( $2,9 \cdot 10^4$ )
+40	1,43 ( $14,3 \cdot 10^4$ )	0,39 ( $3,9 \cdot 10^4$ )
+50	1,8 ( $18,0 \cdot 10^4$ )	0,51 ( $5,1 \cdot 10^4$ )
+60	2,2 ( $22,0 \cdot 10^4$ )	0,66 ( $6,6 \cdot 10^4$ )
+70	2,7 ( $27,0 \cdot 10^4$ )	0,81 ( $8,1 \cdot 10^4$ )

2,02 л/кг, т. е. на 10,9%. Для наиболее точного определения состава пропана и бутана в смеси можно также использовать следующий расчет.

**Пример.** Определить давление паров смеси жидких газов в баллоне, состоящей из 50%  $C_3H_8$  и 50%  $C_4H_{10}$  при температурах  $+30^\circ C$  и  $-30^\circ C$ . Это давление может быть определено по формуле:

$$p_{см} = \frac{k_{np}^{\circ} p_{np} + k_{б}^{\circ} p_{б}}{100},$$

где  $p_{np}$  — давление насыщенных паров пропана при  $+30^\circ C$ , равно  $1,1 \text{ Мн/м}^2$  ( $11,0 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ); при  $-30^\circ C$   $0,18 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,8 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ );

$p_{б}$  — давление насыщенных паров бутана при  $+30^\circ C$  равно  $0,29 \text{ Мн/м}^2$  ( $2,9 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ); при  $-30^\circ C$   $0,028 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,28 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ );

$k_{np}^{\circ}$  — содержание в смеси пропана 50% об.;

$k_{б}^{\circ}$  — содержание в смеси бутана 50% об.; давление  $p_{np}$  и  $p_{б}$  принято по табл. 1.

Следовательно, давление или упругость паров смеси газов, содержащихся в баллоне, составит: при  $T = +30^\circ C$ ;

$$p_{см} = \frac{50 \cdot 1,1 + 50 \cdot 0,29}{100} = 0,695 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 6,95 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2 \text{)}$$

при  $T = -30^\circ C$

$$p_{см} = \frac{50 \cdot 0,18 + 50 \cdot 0,028}{100} = 0,104 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 1,04 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2 \text{)}.$$

При температуре  $T = -30^\circ C$  давление  $p_{изб} = 0,004$  ( $0,04 \times 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) может оказаться недостаточным для поступления в горелку из-за потерь в шлангах, вентилях и пр., поэтому 50% пропано-бутановой смеси может быть непригодной для сварочного процесса. В связи с этим необходимо обогатить смесь пропаном свыше 50%. При отборе паров смеси из баллона в первую очередь испаряется пропан (температура кипения  $-44,5^\circ C$ ) как наиболее легко кипящий компонент, а жидкость обогащается бутаном (температура кипения  $+0,5^\circ C$ ). Это обстоятельство будет связано с уменьшением давления паров смеси.

Экспериментально установлено (табл. 2), что для надежной подачи паров газа из баллона необходимо иметь в баллоне остаточное давление не ниже ( $0,035 \div 0,04$ )  $\text{Мн/м}^2$  ( $0,035 \div 0,04$ )  $\times 10^4 \text{ Мкг/м}^2$ . Из табл. 2 видно, что при составе 50%  $C_3H_8$  и 50%  $C_4H_{10}$  полностью отбирать паровую фазу при температуре  $-15^\circ C$  не представляется возможным несмотря на то, что начальное давление перед отбором газа  $0,172 \cdot 0,1 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,72 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ )

Изменение состава жидкого газа и давления паров при испарении газа в баллоне

Исходный состав газа в %		Заполнение 100%		Заполнение 50%				Заполнение 30%				
		Абсолютное давление при температуре		Состав жидкой фазы в %		Абсолютное давление при температуре		Состав жидкой фазы в %				
		Про-пан С <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан С <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Про-пан С <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан С <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Про-пан С <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан С <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Про-пан С <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Бутан С <sub>4</sub> H <sub>10</sub>			
30	70	0,396 Мн/м <sup>2</sup> (3,96 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	+20° С	12	88	0,28 Мн/м <sup>2</sup> (2,8 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	+20° С	5	95	0,237 Мн/м <sup>2</sup> (2,37 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	+20° С	0,07 Мн/м <sup>2</sup> (0,7 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )
50	50	0,523 Мн/м <sup>2</sup> (5,26 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	-15° С	29	71	0,39 Мн/м <sup>2</sup> (3,9 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	-15° С	17	83	0,313 Мн/м <sup>2</sup> (3,13 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	-15° С	0,097 Мн/м <sup>2</sup> (0,17 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )
70	30	0,651 Мн/м <sup>2</sup> (6,51 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	-15° С	55	45	0,559 Мн/м <sup>2</sup> (5,55 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	-15° С	43	57	0,48 Мн/м <sup>2</sup> (4,8 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )	-15° С	0,156 Мн/м <sup>2</sup> (1,56 · 10 <sup>4</sup> кг/м <sup>2</sup> )

превышает минимальное необходимое  $0,14 \text{ Мн/м}^2$ ; ( $0,14 \times 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), так как испарение прекратится, когда в баллоне в смеси останется 30% пропана и 70% бутана. Давление паров в баллоне в этот момент составит  $0,127 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,27 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ). Пользуясь диаграммой на рис. 6, можно определить состав смеси. Так, например, если при температуре  $+20^\circ \text{С}$  пропано-бутановая смесь имеет давление по манометру  $0,25 \text{ Мн/м}^2$  ( $2,5 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), то состав ее будет 40% пропана и 60% бутана.

Важной характеристикой жидкого газа является удельный вес в жидком состоянии, который позволяет судить о составе газа, а главное, определять теплотворную способность или по графику кривых, или по специальным формулам (табл. 3).

Жидкие газы в баллонах имеют малый объем. Благодаря низкому давлению сжижения эти газы можно хранить в тонкостенных сварных баллонах, однако баллоны нельзя заполнять жидким газом полностью, так как при расширении жидкости от нагрева баллона в нем может резко повыситься давление, что может вызвать взрыв баллона. Обычно баллоны заполняют пропано-бутановой смесью менее, чем на 90% объема, в зависимости от температуры. Один килограмм жидкой пропано-бутановой смеси при испарении образует около 500 л газа. В баллоне, предъявленном для заполнения, всегда должно быть остаточное давление не менее  $0,01 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ). При заполнении баллона жидкими фракциями газа в нем должна быть паровая подушка для безопасной эксплуатации, иначе при незначительном повышении температуры резко увеличивается давление на стенки сосуда. Это объясняется тем, что углеводороды, входящие в состав жидких газов, обладают высоким коэффициентом объемного расширения. Как видно из табл. 4, коэффициенты объемного расширения жидкостей быстро увеличиваются с уменьшением удельного веса и повышением температуры. Так, если при температуре  $+150^\circ \text{С}$  для воды коэффициент объемного расширения равен  $19 \cdot 10^{-5}$ , то для бутана  $202 \cdot 10^{-5}$ , а для пропана  $306 \cdot 10^{-5}$ .

При повышении температуры на  $1^\circ$  возрастание напряжений на стенки баллона соответствует увеличению давления на  $7 \times 9,81 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$  ( $7,0 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ). По табл. 2, например, при наполнении баллона одним пропаном при  $T = -20^\circ \text{С}$  определяют, до какого объема его следует заполнить, чтобы при температуре  $+10^\circ \text{С}$  жидкостью был занят весь объем баллона. Из табл. 4 видно, что для пропана коэффициент объемного расширения в пределах температур  $-20 \div +10^\circ \text{С}$  равен  $0,00290$  и в пределах температур  $+10 \div +40^\circ \text{С}$  равен  $0,00372$ .

В соответствии с тем, что в первом пределе температура поднимается на  $30^\circ$  и во втором пределе на  $10^\circ$  определяем суммарное увеличение объема:

$$0,00290 \cdot 30 + 0,00372 \cdot 10 = 0,124.$$

## Характеристика углеводородов

Параметр	Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Этилен C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Пропилен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Изобутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Бутилен C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Метан CH <sub>4</sub>	Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Нижая теплотворная способность (при +15°С)										
4,19·10 <sup>3</sup> в Дж/м <sup>3</sup> . . . . .	14 492	13 374	21 022	19 387	27 400	27 493	25 565	32 000	8 529	13 483
4,19·10 <sup>3</sup> в Дж/кг . . . . .	11 264	11 188	10 972	10 895	10 845	10 845	10 778	10 800	11 916	11 607
Теоретическое количество воздуха для сгорания 1 м <sup>3</sup> газа	16,66	14,29	23,91	21,43	30,95	30,95	28,57	38,08	9,52	—
Теоретическое количество кислорода для сгорания 1 м <sup>3</sup> газа в м <sup>3</sup> . . . . .	3,5	3,0	5,0	4,5	6,5	6,5	6,0	8,0	2,0	2,5
То же, подаваемого в горелку в м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	1,5	3,5	2,0	—	—	—	1,0—1,5	1,15
Теоретическое количество воздуха для сгорания 1 кг газа в кг . . . . .	16,13	14,9	15,71	14,9	15,49	15,49	14,9	15,35	—	—
Теоретическое количество кислорода для сгорания 1 кг газа в кг . . . . .	3,73	3,43	3,63	3,43	3,58	3,58	3,43	3,54	—	—
Температура кипения в °С	—88,7	—103,8	—44,5	—47,0	+5,0	—10,2	+1,4	+3,4	—	—
Вес газа относительно веса воздуха . . . . .	1,038	0,975	1,523	1,479	2,007	2,007	1,977	2,496	0,56	0,91

Продолжение табл. 3

Параметр	Этан $C_2H_6$	Этилен $C_2H_4$	Пропан $C_3H_8$	Пропилен $C_3H_6$	Бутан $C_4H_{10}$	Изобу- тан $C_4H_{10}$	Бутил- лен $C_4H_8$	Пентан $C_5H_{12}$	Метан $CH_4$	Ацетилен $C_2H_2$
Плотность газа в $Mг/м^3$ . . .	1,273	1,195	1,867	1,78— 0,516	2,46	2,46	2,322	2,96	0,715— 0,67	1,791
Плотность жидкого газа в $Mг/м^3$ . . . . .	0,446	—	0,509	0,522	0,582	0,566	0,599	0,626	—	—
Количество паров с 1 кг жид- кости в $м^3$ . . . . .	0,785	0,836	0,535	0,562	0,406	0,401	0,422	—	—	—
Количество паров с 1 л жид- кости в $м^3$ . . . . .	0,350	—	0,272	0,294	0,236	0,238	0,261	0,200	—	—
Температура пламени в сме- си с кислородом в $^{\circ}C$ . . . . .	—	—	2750	—	2500	—	—	—	2100— 2200	3150
Температура горения в $^{\circ}C$ 2020	—	2174	2043	2110	2057	2080	2100	—	—	—
Скорость распространения пламени в смеси с кислородом в $м/сек$ . . . . .	—	—	4,5	—	3,7	—	—	—	3,3	13,7
Пределы взрываемости (про- центное содержание горючего газа) в смеси с воздухом в % . . . . .	—	—	2,2—9,5	—	1,5—8,4	—	—	—	4,8— 16,7	2,2—81,0
с кислородом в % . . . . .	—	—	3,9— 50,5	—	2,0— 48,0	—	—	—	5,0— 59,2	2,3—83,0

## Коэффициенты объемного расширения жидкостей

Жидкость	Плотность при +50° С в Мг/м <sup>3</sup>	Коэффициент объемного расширения при температуре		
		+50° С	От -20° С до +10° С	От +10° С до +40° С
Вода . . . . .	1,00	0,00019	—	—
Бутилен С <sub>4</sub> Н <sub>8</sub> . . . . .	0,600	0,00202	0,00194	0,00210
Бутан С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> . . . . .	0,585	0,00212	0,00209	0,00220
Пропилен С <sub>3</sub> Н <sub>6</sub> . . . . .	0,522	0,00294	0,00208	0,00368
Пропан С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> . . . . .	0,509	0,00306	0,00290	0,00372
Этан С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> . . . . .	0,446	0,00408	—	0,00800

Следовательно первоначальный объем заполнения должен быть равен  $\frac{100}{1+0,124} = 89\%$ . Если эти же условия применить для заполнения баллона одним бутаном, то по табл. 1 получаем:

$$0,00209 \cdot 30 + 0,0220 \cdot 10 = 0,0856.$$

Объем первоначального заполнения  $\frac{100}{1+0,0856} = 92\%$ . Следовательно, баллоны следует заполнять жидкостью до 90% полного объема. Расчетное давление для сосудов сжиженной пропанобутановой смеси принято равным  $16 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$  ( $16 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), что соответствует давлению насыщенных паров пропана при наименьшей температуре окружающего воздуха в средней полосе СССР ( $-45^\circ \text{С}$ ).

Недопустимо, чтобы баллоны, наполненные сжиженными газами, нагревались солнечными лучами или другими источниками тепла, так как небольшое повышение температуры может повлечь за собой резкое возрастание давления в баллоне. Температура кипения пропана  $-44,5^\circ \text{С}$ , а бутана  $+0,5^\circ \text{С}$ . В связи с этим состав паров при испарении не постоянен. В первую очередь испаряется пропан, в результате чего сжиженный газ обогащается бутаном, а давление в баллоне снижается (см. рис. 4).

**Концентрация тепловой энергии.** Жидкий газ, находясь в баллоне в жидкой фазе, имеет по сравнению со сжатыми газами (типа природного) наиболее высокую концентрацию тепловой энергии на единицу объема баллона. Так, например, природный сжатый газ при давлении  $20 \text{ Мн/м}^2$  ( $200 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) на 1 л объема баллона будет содержать

$$\frac{Q_n \cdot p}{1000} = \frac{8500 \cdot 200}{1000} = 1700 \cdot 4,19 \text{ кДж/кг.}$$

Для пропана теплотворная способность равна  $5560 \cdot 4,19$  кдж/кг, а для бутана —  $6320 \cdot 4,19$  кдж/кг, т. е. примерно у жидкого газа в 4 раза выше, чем у природного газа. Благодаря этому возможно иметь запас жидкого газа для определенного объема сварочных работ, в 4 раза меньший объема природного газа. Кроме того, вследствие низкого рабочего давления жидкого газа вес баллона можно уменьшить в 6—7 раз.

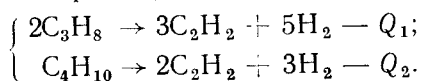
Правильное соотношение количества кислорода и горючего газа устанавливают по длине пламени и по состоянию сварочной ванны (спокойная поверхность без пузырения и разбрызгивания см. рис. 1, III). При соотношении количества кислорода и пропано-бутановой смеси  $\beta = \frac{U_{\text{к}}}{U_{\text{г}}} = 3,8$ . Температура, замеренная оптическим пирометром, в различных зонах следующая: в устье сопла горелки  $300^{\circ}\text{C}$ , в середине ядра  $a^1$   $700^{\circ}\text{C}$ , в конце ядра  $a^1$   $1100^{\circ}\text{C}$ ; на расстоянии от ядра 6—8 мм  $2200$ — $2300^{\circ}\text{C}$ ; в конце зоны  $b^1$   $2200^{\circ}\text{C}$ ; середина зоны  $c^1$   $200^{\circ}\text{C}$ ; конец зоны  $c^1$   $1200$ — $1400^{\circ}\text{C}$ .

Хотя пропано-бутановая смесь имеет более высокую теплотворную способность, чем ацетилен ( $Q_{\text{н}C_2H_2} = 21\,022 \cdot 4,19 \cdot 10^3$  дж/кг,  $Q_{\text{н}C_4H_{10}} = 27\,400 \cdot 4,19 \cdot 10^3$  дж/кг,  $Q_{\text{н}C_3H_8} = 11\,500 \cdot 4,19 \cdot 10^3$  дж/кг), однако температурный режим сварочного факела ниже, чем у ацетиленового пламени. Это объясняется тем, что скорость распространения пламени жидких газов в кислороде ( $v_{C_2H_2} = 4,5$  м/сек,  $v_{C_4H_{10}} = 3,7$  м/сек) значительно меньше, чем у ацетилена ( $v_{C_2H_2} = 13,7$  м/сек), что приводит к увеличению объема пламени и к понижению температуры. При соотношении количества кислорода и сжиженной смеси ( $C_3H_8 + C_4H_{10}$ )  $\beta = 3,4 \div 3,5$  появляющаяся шлаковая пленка равномерно покрывает расплавленный металл при спокойном состоянии поверхности ванны шва. Ядро  $a^1$  получается со сглаженными краями без очертаний копьевидной формы, длиной  $l = 10 \div 15$  мм.

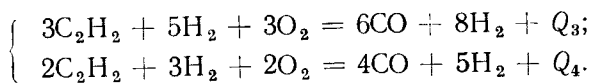
При увеличении соотношения газов до  $\beta = 3,8$  шлаковая пленка начинает разжижаться и ванна шва становится подвижной. Ядро  $a^1$  более жесткое, острое длиной  $l = 15 \div 20$  мм. Эффективная мощность пламени повышается с увеличением температуры зоны  $b^1$ . Однако избыток кислорода приводит к выгоранию отдельных элементов в расплаве шва и поэтому требуется активное раскисление расплавленного металла. Применение присадочных проволок типа Св-10ГС и Св-12ГС обеспечивает соответствующее раскисление. Пропуск горючей смеси перед сжиганием через восстановители (никелевую стружку и др.) также способствуют уменьшению окисления металла в шве. Самая высокая температура сварочного факела создается на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины зоны  $b^1$ , т. е. на расстоянии не менее 4—6 мм и даже 8—10 мм от ядра  $a^1$ . Объясняется это тем, что первоначальный распад составляющих жидкий газ проходит по эндотермической реакции. Поэтому рас-

полагать свариваемую поверхность рядом с зоной  $a$  нельзя, так же как и при использовании метано-кислородного пламени. Однако увеличенное соотношение  $\beta = 3.5 \div 3.8$  позволяет приблизить свариваемую зону к ядру (рис. 1, III).

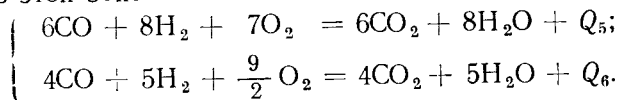
При использовании жидких газов для сварки и резки металлов необходимо определить температурный режим отдельных зон сварочного пламени. Размеры отдельных зон пламени, их вид и форма зависят от количества подаваемого кислорода из горелки, т. е. от соотношения кислорода и горючего газа. Так, для ацетиленового  $\beta_{C_2H_2} = 0,9 \div 1,2$ , для пропана  $\beta_{C_3H_8} = 2,85$  и для бутана  $\beta_{C_4H_{10}} = 3,7$ . В зоне  $a^1$  — ядре — происходит эндотермическое разложение пропана и бутана на промежуточные продукты — ацетилен  $C_2H_2$  и водород  $H_2$  — по реакции:



Максимальная температура ядра  $800-1110^\circ C$ . Оболочка ядра имеет голубое свечение, не так ярко выраженное, как у ацетиленового, у которого ядро имеет белый цвет. Наружная форма зоны  $a^1$  имеет почти цилиндрическое очертание с плавным закруглением на конце. В средней — восстановительной зоне  $b^1$  происходит окисление углерода с некоторым замедлением, по сравнению с реакцией окисления в ацетиленовом пламени. Средняя зона в последней трети своей длины имеет наиболее высокую температуру и газы восстановители  $CO$  и  $H_2$ . Реакция горения в зоне  $b^1$  экзотермическая



Максимальная температура в конце этой зоны (на последней трети длины) равна  $2400-2500^\circ C$ . Третья зона полного сгорания  $c^1$  характеризуется догоранием продуктов зоны  $b^1$ , водорода и окиси углерода за счет кислорода, поступающего из воздуха. Реакция горения в этой зоне



В середине зоны  $c^1$  температура достигает  $2000^\circ C$  и падает в конце длины до  $1400^\circ C$ . В связи с тем, что разложение жидких газов ( $C_3H_8 + C_4H_{10}$ ) происходит по эндотермической реакции, в противоположность распаду ацетилена, температура пропанобутанового пламени в ядре меньше, чем у ацетиленового пламени. Поэтому располагать свариваемое место следует не вблизи ядра  $a^1$ , а примерно так же, как при сварке сжатым природным газом. Однако, учитывая то, что теплотворная способность у жидких газов выше, чем у сжатого природного газа, свариваемую зону

располагают не в конце зоны  $b$ , а в последней ее трети длины или примерно на расстоянии от устья мунштука горелки  $2,5l$ , где  $l$  — длина ядра  $a^1$  (см. рис. 1, III).

## ПИТАНИЕ СВАРОЧНЫХ ПОСТОВ

Горючий природный сжатый газ от месторождений или соответствующих перекачных станций подается к сварочным постам от газовых магистралей. Около каждого сварочного поста у отвода от газовой магистрали установлен редуктор природного газа, гидравлический затвор среднего или повышенного давления (закрытого типа) или мембранного типа. Так, при подаче природного газа из трубопровода под давлением  $0,07 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,7 \times 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) и выше необходимо устанавливать редуктор и гидравлический предохранительный затвор. При давлении ниже  $0,7 \times 10^4 \text{ кг/м}^2$  ( $0,7 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) устанавливают только водяной затвор на отводе от газового магистрального трубопровода. В случаях пониженного давления природного газа, ниже  $0,002 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,02 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), на трубопроводных отводах к сварочному посту устанавливают специальные гидравлические затворы ЗГГ. При давлении в трубопроводе свыше  $0,002 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,02 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) допускается применение водяных затворов, что и для ацетилена. При повышенных давлениях в газовой магистрали свыше  $0,01 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) применяют гидравлические затворы закрытого типа.

Во всех случаях у сварочного поста устанавливают кислородный баллон с редуктором, позволяющим регулировать давление кислорода в пределах, предусмотренных отработанной технологией сварки или резки. На тех заводах или предприятиях, где нет газового трубопровода, возможна организация сварочных постов с использованием природного газа из баллонов, заряжаемых на заправочных станциях, с давлением до  $1,6 \text{ Мн/м}^2$  ( $16,0 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ).

При организации сварочного поста с использованием сжиженных газов подача горючих газов происходит из баллонов. Поступление пропано-бутановой смеси к горелке возможно только при превращении жидкого газа в баллоне в газообразное состояние. Образование газообразной фазы над поверхностью жидкости требует затраты тепла (скрытая теплота испарения). Количество тепла, затрачиваемое на испарение  $1 \text{ кг}$  составляющих жидкие газы: для пропана  $102 \cdot 4,19 \cdot 10^3 \text{ дж/кг}$ , для бутана  $93,3 \cdot 4,19 \times 10^3 \text{ дж/кг}$ . Во время испарения температура на поверхности жидкости снижается до температуры кипения. Равновесие между жидкостью и газообразной фазой нарушается в момент удаления из баллона пропано-бутановой фракции. Это равновесие изменяется в связи с падением давления паров над жидкостью, благодаря чему она начинает испаряться. Вначале испаряется пропан, содержание которого в жидкости уменьшается, а затем бутан.

Внешняя среда сообщает тепло, необходимое для испарения, через стенки баллона. Охлаждаемые жидкой пропано-бутановой смесью стенки баллона снаружи покрываются инеем. В результате оседания паров воды из воздуха. Выше уровня жидкости на стенках баллона иней не оседает, так как газообразная фаза имеет температуру окружающего воздуха. Иней на стенках баллона снижает теплопередачу от внешней среды, вследствие чего испарение жидкости уменьшается и нарушается подача горючего в горелку.

Улучшить испарение жидкости можно путем полива водой с температурой баллона в ванну с водой или путем полива водой с температурой

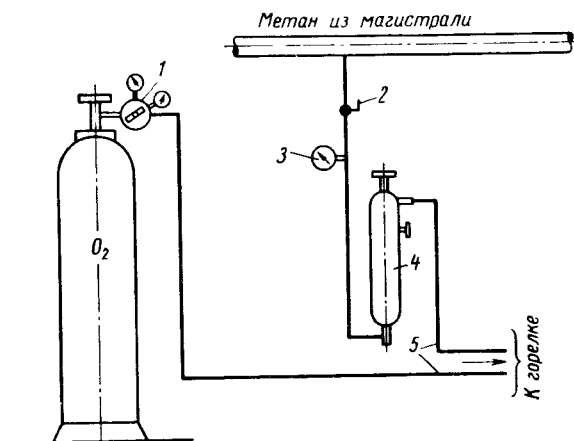


Рис. 7. Схема питания сварочного поста от газовой магистрали:

1 — редуктор кислородного баллона; 2 — запорный кран; 3 — редуктор природного газа; 4 — предохранительный затвор; 5 — шланги

не выше  $+30^{\circ}\text{C}$ . Равномерно из шланга следует поливать сферическую нижнюю часть баллона. Нельзя допускать сосредоточенного полива одного участка баллона, так как это может привести к бурному испарению с присутствием в парообразной фазе жидкости, которая может растворять резину шлангов. В зимнее время допускается устройство паровых змеевиков для подогрева баллонов до температуры  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Подача горючего газа возможна от передвижного поста или путем централизованной подачи по трубопроводам от установленных в специальном помещении баллонов (за пределами сварочного цеха). При установке передвижного поста в кузове автомобиля кроме баллона с пропано-бутановой смесью должен быть кислородный баллон. На баллонах устанавливают редукторы со шлангами, присоединяемыми к горелкам или резакам. При магистральном снабжении горючим газом в специальном помещении устанавливают до 30 баллонов с подачей пропано-бутановой смеси в газо-

провод. У каждого газоотборного отвода (от общей магистрали) имеется вертикальный трубный стояк с приваренной муфтой. В резьбу муфты ввертывают запорный вентиль, через который подается газообразная фаза. При давлении свыше  $0,7 \cdot 9,81 \times 10^4 \text{ н/м}^2$  ( $0,7 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) на газоотборном посту у запорного вентиля трубного стояка устанавливают редуктор и за ним предохранительный сухой затвор или водяной затвор среднего давления в зависимости от давления в трубопроводе. При давлении ниже  $0,7 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$  ( $0,7 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) редуктор не ставят, но предохранительный гидравлический затвор среднего давления необходим (рис. 7).

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВ-ЗАМЕНТЕЛЕЙ**

Технико-экономическая целесообразность применения в сварочном производстве газов-заменителей ацетилена природного сжатого газа—метана и сжиженных газов—пропана и бутана определяется в первую очередь в сравнении с ацетиленом. При сварке черных металлов, например чугунов, наиболее благоприятно использование газов-заменителей, температура сварочного факела которых ( $2100\text{—}2500^\circ \text{C}$ ) ниже температуры факела ацетилена ( $3100^\circ \text{C}$ ). Это способствует свободной графитизации, которая облегчает обрабатываемость наваренного металла.

Природный сжатый газ метан и сжиженные газы пропанобутановых фракций являются прекрасными горючими—теплоносителями при образовании сварочного пламени. Газы—заменители ацетилена могут быть широко использованы в машиностроении и металлургии для сварки, плавления и пайки цветных металлов, для снятия окалины и обработки слитков, для нагрева при различных методах и способах термической обработки металлов, а также для огневой поверхностной и разделительной резки. Сравнительно удобная транспортировка в баллонах под избыточным давлением позволяет использовать газы—заменители ацетилена при газопламенной обработке металлов. Кроме того, теплофизические и технологические свойства метана и пропан-бутана близки к свойствам ацетилена.

При экономических расчетах целесообразности применения газов-заменителей необходимо учитывать некоторое увеличение расхода кислорода, а также самих горючих газов для создания такого же теплового эффекта сварочного пламени, как и при использовании ацетилена. Сжиженный газ в 2,5—3,5 раза дешевле ацетилено-кислородной смеси. Кроме того, следует учитывать особенности технологии газопламенной обработки металлов. Так, например, в зимних условиях при сварке и резке ацетилено-кислородным пламенем увеличиваются затраты на эксплуатацию генераторов, водяных затворов, связанные с подогревом и пр.,

чего при газах-заменителях не требуется. При сварке сжиженными газами сталей толщиной до 5 мм применяют присадочную проволоку Св-12ГС с раскисляющим химическим составом, что несколько удорожает сварку.

При использовании газов-заменителей исключаются затраты на строительство и эксплуатацию помещений, связанные с хранением карбида кальция и ацетиленовых генераторов, на удаление шлама-гашеной извести, — противопожарные мероприятия и пр. Расходы, связанные с приобретением аппаратуры, ремонтом, эксплуатацией (меньше износ в результате редких случаев перегрева горелок и резаков, а следовательно, меньше вероятность обратных ударов и т. д.), значительно ниже при использовании газов—заменителей ацетилена (табл. 5 и 6).

Таблица 5

Сравнительная стоимость горючих газов и кислорода

Газ	Отпускная стоимость в коп./м <sup>3</sup>	Коэффициент $\beta = \frac{U_k}{U_2}$	Коэффициент замены ацетилена $\psi = \frac{U_a}{U_2}$	Стоимость м <sup>3</sup> /коп газа, включая транспортные расходы		
				автомашинной 5—10 км	по железной дороге	
					1000 км	2000 км
Ацетилен растворенный . . . . .	56	1,2	—	68,5	79,5	103,3
Ацетилен из передвижного генератора . . . . .	52	1,2	—	56,5	55,2	57,5
Природный сжатый газ	4,3	1,6	1,4	4,3	—	—
» » »	2,0	1,6	1,4	2,0	—	—
Сжиженный газ, пропан-бутан . . . . .	8,4	3,8	0,6	9,2	9,23	10,5
Кислород . . . . .	8,0	—	—	9,0	—	—

При сварке природным газом металлургический процесс образования расплава шва проходит с хорошей графитизацией без получения отбеленных участков в шве, что создает лучшие условия обработки наваренного металла и устраняет причины трещинообразования. Усадка металла шва при сварке природным газом в 5—6 раз меньше, чем при сварке ацетиленом.

Сравнительная стоимость сварки чугуна и стали ацетиленом и его заменителями

Таблица 6

Показатели	Толщина свариваемого чугуна в мм										Толщина свариваемой стали в мм				
	0,5—1	1—2	2—4	4—6	6—9	9—14	14—20	20—30	0,5—1	1—2	2—3	3—4	4—5		
<b>Ацетилен</b>															
Расход ацетилена в л/ч	75	150	300	500	750	1200	1700	2500	75	150	250	300	450		
Стоимость ацетилена в коп/ч	0,5	0,9	1,7	2,8	4,2	6,8	9,6	14,0	0,5	0,9	1,5	1,8	2,6		
Расход кислорода в л/ч	85	165	330	550	820	1300	1850	2750	85	165	300	330	500		
Стоимость кислорода (в баллонах) в коп/ч	0,7	1,4	2,7	4,5	6,7	11,0	16,5	22,0	0,7	1,4	2,5	2,7	4,0		
<b>Природный сжатый газ</b>															
Расход природного газа в л/ч	140	280—300	840—900	1250—1900	1900—2200	2800—3000	4200—4500	—	—	—	—	—	—		
Стоимость природного газа в коп/ч:															
в баллонах	0,7	1,3	3,7	5,5	8,2	13,2	17,0	—	—	—	—	—	—		
от газопровода	0,3	0,6	1,8	2,8	4,0	6,0	8,5	—	—	—	—	—	—		
Расход кислорода в л/ч	140—170	300—360	600—720	900—1100	1300—2400	3000—3600	4500—5500	—	—	—	—	—	—		
Стоимость кислорода в коп/ч	1,5—1,8	2,8—3,0	5,0—6,2	7,2—9,0	11,5—19,5	24,0—30,0	36,0—44,0	—	—	—	—	—	—		
<b>Сжиженные газы</b>															
Расход сжиженных газов в л/ч	—	—	—	—	—	—	—	—	150	250	400	500	800		
Стоимость сжиженного газа (в баллонах) в коп/ч	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3	2,4	4,5	5,2	6,8		
Расход кислорода в л/ч	—	—	—	—	—	—	—	—	525	875	1520	1900	2100		
Стоимость кислорода в коп/ч	—	—	—	—	—	—	—	—	4,5	7,5	12,5	15,5	16,4		

## СВАРОЧНЫЕ ГОРЕЛКИ

**С**варочные горелки применяют для смешения горючего газа с кислородом и получения сварочного концентрированного пламени. Горелки в зависимости от способа смешения горючего газа с кислородом разделяют на две группы: горелки низкого давления — инжекторные, горелки высокого давления — безынжекторные, т. е. горелки постоянного и равного давления для обоих газов. Наиболее распространены инжекторные горелки, устойчиво работающие с избыточным давлением горючего газа от  $0,0005 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,005 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) до  $0,01 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,1 \times 10^4 \text{ кг/м}^2$ ). В данной работе рассмотрены инжекторные горелки для ацетиленов, реконструированные для газов-заменителей. Конструкция горелки должна отвечать следующим требованиям:

1. Поступающий горючий газ и кислород должны тщательно смешиваться до выхода из сопла с образованием смеси для природного газа  $\beta = 1,0 \div 1,6$  и для сжиженных газов  $\beta = 1,0 \div 3,8$ .

2. Скорость истечения горючей смеси  $v$  м/сек из мундштука горелки должна быть больше скорости воспламенения  $v_1$  м/сек. Если  $v \leq v_1$ , пламя устремляется внутрь горелки и затем в шланги, трубопровод и другие каналы к источнику поступления горючего газа, так как давление газа всегда меньше давления кислорода. В этом случае происходит обратный удар. Опасность обратного удара возрастает с увеличением избытка кислорода в горючей смеси, так как при этом скорость воспламенения  $v_1$  быстро возрастает и может превысить скорость истечения  $v$ . Пропускная способность горелок при наконечниках № 1  $v = 80$  м/сек; № 2—3  $v = 80 \div 120$  м/сек; № 4—6  $v = 120 \div 140$  м/сек; № 7  $v = 140 \div 160$  м/сек.

3. Пламя должно быть правильной формы, устойчивое, концентрированное, с постоянным составом продуктов горения в разных зонах. В конструкции горелки должны быть определенные соотношения между диаметром инжектора  $d_1$ , диаметром цилиндрической части камеры смешения  $d_2$  и диаметром сопла в мундштуке  $d_3$ . Например, при мощности горелки 1200 л/ч и подаче кислорода 1320 л/ч  $d_1; d_2; d_3 = 1 : 3,05 : 3,95$ . Другие конструктивные размеры определяют расчетным путем (рис. 8). При уве-

личении диаметра инжектора  $d_1$  повышается расход кислорода и горючих газов. В этом случае давление в камере смешения возрастает, а в канале горючего газа разрежение уменьшается. С увеличением диаметра цилиндрической части камеры смешения  $d_2$ , а следовательно, ее объем, расход кислорода не увеличивается и остается постоянным. Изменение диаметра смесительной камеры вызывает изменение разрежения в ацетиленовом канале. Увеличение диаметра сопла  $d_3$  увеличивает расход горючего газа с понижением давления в камере смешения. При этом скорость истечения горючей смеси начинает падать.

4. Конструкция горелки должна позволять регулировать мощность пламени путем смены наконечников при сварке металлов различных толщин.

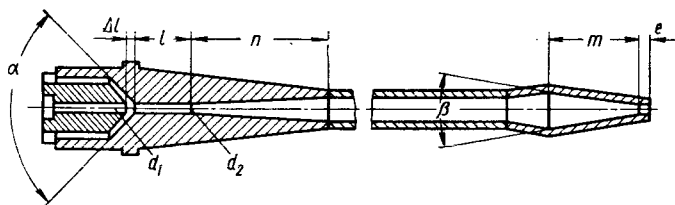


Рис. 8. Конструктивные параметры наконечника горелки

5. Металл, из которого изготовлена горелка, должен обладать надлежащей теплопроводностью, предохраняющей ее от перегрева и тем самым от воспламенения горючей смеси в горелке.

6. Детали горелки должны иметь хорошую плотность соединений, не допускающую утечки газов и быть взаимозаменяемыми с деталями от других горелок.

7. Конструкция горелки должна быть легкой, безопасной в эксплуатации и удобной для регулирования подачи газов. В горелках инжекторного типа распределение давления горючего газа в каналах может быть представлено схемой, изображенной на рис. 9. Кислород через регулировочный вентиль 1 по трубке 2 поступает в инжектор 3 и затем в камеру смешения 4. Горючий природный газ—метан от гидравлического затвора проходит через регулировочный вентиль 5 и трубку (рукоятку горелки) 6, и далее поступает в канал 7, окружающий инжектор. Из этого канала за счет создаваемой кислородом инжекции засасывается в камеру смешения 4, где смешивается с кислородом. Полученная горючая смесь по трубке сменного наконечника 8 поступает в мундштук 9 и, выходя через его сопло, образует при сгорании при сварочное пламя. Начальное давление горючего уменьшается в результате потерь в гидравлическом затворе, регулировочном вентиле и трения в шлангах.

В камере разрежения (канал 7) давление резко падает, благодаря чему в нее засасывается определенное количество горючего газа. Величина или степень разрежения в горелке зависит от

давления кислорода. При определенном его давлении разрежение будет постоянным, что обеспечит поступление горючего газа в определенной пропорции с кислородом. В инжекторную горелку кислород поступает под избыточным давлением  $p_1 \approx 0,4 \text{ Мн.м}^2$ . В камере смешения давление равно  $p_2 = 0,11 \div 0,12 \text{ Мн.м}^2$  и в отдельных случаях может быть и меньше. Отношение  $\frac{p_2}{p_1}$ , при котором расход газа становится максимальным и при дальнейшем понижении давления  $p_2$  не изменяется, называется критическим

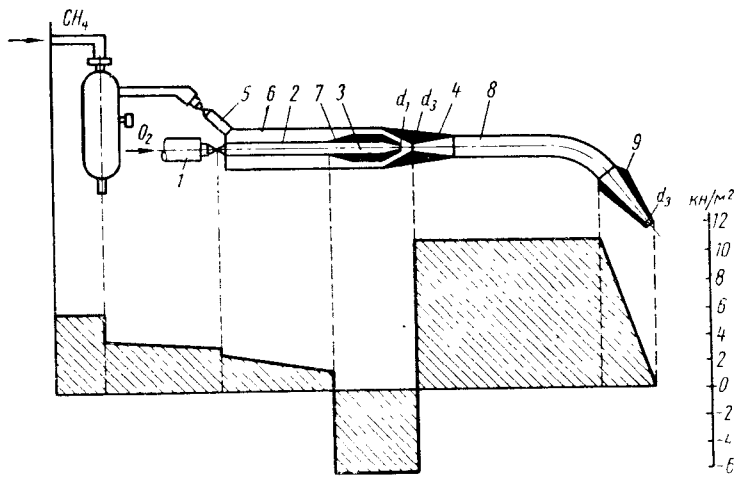


Рис. 9. Схема распределения давлений в каналах инжекторной горелки

отношением давлений и обозначается  $v_{кр} = \frac{p_1}{p_2}$ . Критическое отношение давлений равно для одноатомного газа  $v_{кр} = 0,489$ , для двухатомного  $v_{кр} = 0,528$  и для трех- и многоатомного  $v_{кр} = 0,548$ . Для инжекторной горелки согласно законам истечения газов  $v_{кр} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{1,1}{4,0} = 0,28$ , т. е. меньше критического отношения давлений.

Кислород проходит инжектор с большой критической скоростью, определяемой по уравнению для двухатомного газа

$$\begin{aligned} \omega_{O_2} &= 3,38 \sqrt{RT_1} = 3,38 \sqrt{p_1 v_1} = \\ &= 3,38 \sqrt{26,5 \cdot 293} = 295 \text{ м/сек}, \end{aligned}$$

где  $R = 26,5$  — газовая постоянная для кислорода;  
 $T_1 = 293^\circ \text{ К}$  температура кислорода.

При такой скорости в кольцевом канале 7 создается разрежение, вследствие чего природный сжатый газ засасывается в камеру

смещения при низком давлении: от 150 мм вод. ст. и выше. Секундный расход  $G_{O_2}$  кислорода, при условии  $\frac{p_2}{p_1} \leq v_{кр}$  определится по уравнению

$$G_{O_2} = \mu_0 f \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{p_1^0}{RT_1}} \text{ кг/сек,}$$

где  $g = 9,81$ ;

$k$  — показатель адиабаты = 1,4 (для двухатомного газа);  
 $\mu_0 = 0,97$  — коэффициент расхода  $\leq 1$ ; сечение отверстия в инжекторе для выхода кислорода в м<sup>2</sup>.

Для определения сечения выходного отверстия мундштука (сопла) при истечении горючей смеси необходимо принять следующие условия: давление перед соплом  $p_2 = 0,11 \div 0,12 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,1 \div 1,2$ )  $\cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ; давление горючей смеси при выходе в атмосферу  $p_3 = 0,1 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,0 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ).

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{1}{1,2} = 0,83 > v_{кр}.$$

При эксплуатации горелки горючая смесь выходит в зону сварочного факела, в котором имеется некоторое повышенное давление  $p_3 = 0,1043 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,043 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), определяемое сопротивлением горящего сварочного факела (это давление  $p_3$  входит в формулу для определения скорости истечения  $w$ ). При этом скорость истечения горючей смеси из сопла мундштука определится по уравнению

$$\begin{aligned} w_{см} &= \sqrt{2g v_2 (p_2 - p_3)} = \sqrt{2g \frac{R_{см} T_2}{p_2} (p_2 - p_3)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{34,97 \cdot 320}{12\,000} (12\,000 - 10\,430)} = 127 \text{ м/сек,} \end{aligned}$$

где  $R_{см}$  — газовая постоянная для смеси кислорода и горючего газа;

$$R_{см} = g_k R_k + g_g R_g = 0,68 \cdot 26,5 + 0,32 \cdot 52,96 = 34,97;$$

$g_k$  — весовая доля кислорода в смеси  $\frac{G_k}{G_{см}} = 0,68$ ;

$G_k$  — вес кислорода в смеси;

$G_{см}$  — общий вес смеси;

$g_g$  — весовая доля горючего газа  $\frac{G_g}{G_{см}} = 0,32$ ;

$G_g$  — вес горючего газа в смеси;

$R_k$  — газовая постоянная кислорода, равная  $\frac{848}{m} = \frac{848}{32} = 26,5$ ;

$m$  — молекулярный вес кислорода;

$R_g$  — газовая постоянная горючего газа — метана, равная  $\frac{848}{m_m} = \frac{848}{16,031} = 52,96$ ;

$m_m$  — молекулярный вес метана.

Горючая смесь имеет состав  $\beta = \frac{U_{\kappa}}{U_2} = 1,5 \div 1,6$ , температура горючей смеси перед соплом принята  $T_2 = 320^\circ \text{ К}$ . Скорость истечения смеси  $w_{\text{м}}$  70—100 м/сек, что соответствует вышеприведенному расчету. По секунднему расходу горючей смеси  $G_{\text{см.с}}$  можно определить сечение сопла  $f_1$ . Так, секундный расход смеси определяется уравнением:

$$G_{\text{см.с}} = \mu_{\text{см}} f_1 \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_2^2}{RT_2} \left[ \left( \frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \text{ кг/сек,}$$

где  $f_1$  — сечение отверстия сопла в  $\text{м}^2$ ;  
 $\mu_{\text{см}}$  — коэффициент расхода смеси, равный 0,93;  
 $k$  — показатель адиабаты, равный 1,4 для двухатомного газа и 1,29  $\approx$  1,3 для трех- и многоатомного газа.

**Пример.** Определить конструктивные размеры горелки для природного газа с учетом модернизации горелки СУ по схеме, указанной на рис. 9. Мощность горелки  $G_{\text{СН}_4} = 1200 \cdot 1,4 = 1680 \text{ л/ч}$ ; расход кислорода  $G_{\text{O}_2} = 1320 \text{ л/ч}$ ; давление поступающего в горелку кислорода  $p_1 = 0,4 \text{ Мн/м}^2$ ; температура кислорода  $T_1 = 293^\circ \text{ К}$ ; газовая постоянная кислорода  $R_{\text{O}_2} = 26,5$ ; коэффициент расхода  $\mu_{\text{O}_2} = 0,97$ ; плотность кислорода при  $293^\circ \text{ К}$  и  $780 \text{ мм рт. ст.}$   $\rho_{\text{O}_2} = 1,312 \text{ кг/м}^3$ ; температура газовой смеси  $T_2 = 320^\circ \text{ К}$ ; для газовой смеси  $R_{\text{см}} = 34,97$ ; давление перед соплом  $p_2 = 0,11 \div 0,12 \text{ Мн/м}^2$ , или в среднем  $0,115 \text{ Мн/м}^2$ , при сопротивлении сварочного факела  $p_{\text{абс}} = 0,0043 \text{ Мн/м}^2$ ; давление на выходе из сопла  $p_3 = 0,1013 \text{ Мн/м}^2$ ; коэффициент расхода для смеси  $\mu_{\text{см}} = 0,93$ . Горючая смесь имеет состав  $\beta = \frac{U_{\kappa}}{U_2} = 1,5 \div 1,6$ . Плотность природного газа при  $320^\circ \text{ К}$   $\rho_{\text{СН}_4} = 0,717 \text{ кг/м}^3$ . Коэффициент замены ацетилен природным газом  $\psi = 1,4$  или  $U_{\text{СН}_4} = \psi U_{\text{С}_2\text{H}_2} = 1,4$ .

Для определения диаметра канала инжектора  $d_1$  найдем секундный расход кислорода

$$G_{\text{O}_2} = \frac{1320 \cdot 1,312}{3600} = 0,00048 \text{ кг/сек.}$$

$$\begin{aligned} i_{\text{O}_2} &= \frac{G_{\text{O}_2}}{\mu_{\text{O}_2} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \frac{p_2^2}{RT_1}}} = \\ &= \frac{0,00048}{0,97 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,4}{2,4} \left( \frac{2}{2,4} \right)^{0,4} \cdot \frac{40\,000^2}{26,5 \cdot 293}}} = 0,0000152 \text{ м}^2; \end{aligned}$$

$d_1 = 0,0015 \text{ м} = 1,5 \text{ мм}$ . Выходное отверстие сопла мундштука  $d_3$  определим с учетом проходящего количества горючей смеси в секунду.

Часовой расход смеси, проходящей через сопло мундштука, равен  $G_{\text{см}} = 1,32 \cdot 1,312 + 1,5 \cdot 1,680 = 3,25 \text{ кг}$ , откуда секундный расход  $G_{\text{см}} = \frac{3,25}{3600} =$

$= 0,0008 \text{ кг/сек}$ . Диаметр выходного отверстия сопла мундштука определим из формулы:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{3см} &= \frac{G_{см}}{\mu_{см} \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{k}{k-1} \frac{p_2^2}{RT_2} \left[ \left( \frac{p_3^1}{p_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_3^1}{p_2} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \\ &= \frac{0,93 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{1,3}{0,3} \frac{11\,500^2}{34,97 \cdot 320} \left[ \left( \frac{10\,430}{11\,500} \right)^{\frac{2}{1,3}} - \left( \frac{10\,430}{11\,500} \right)^{\frac{2,3}{1,3}} \right]}}{0,0000043 \text{ м}^2}, \text{ откуда } d_3 = 0,0036 \text{ м} = 3,6 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Используя соотношение  $d_1 : d_2 : d_3 = 1 : 3,05 : 3,95$ , получаем следующие данные для канала смесительной камеры  $d_2 = 3d_1 = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ мм}$ . Другие размеры определены эмпирическим путем. Длина цилиндрического канала смесительной камеры  $l = (7 \div 15) d_2$ ; длина конусной части смесительной камеры  $n = (16 \div 24) d_2$ ; длина цилиндрической части мундштука  $l_1 = 2 \div 4 \text{ мм}$ ; длина конусной части мундштука  $m = (12 \div 20) d_3$ ; расстояние конца инжектора от устья смесительной камеры  $h = 0,3 \div 1,0 \text{ мм}$ . Углы  $\alpha = 45 \div 90^\circ$ ;  $\frac{\beta}{2} = 4,0 \div 4,5^\circ$ ;  $\gamma = 10 \div 12^\circ$ .

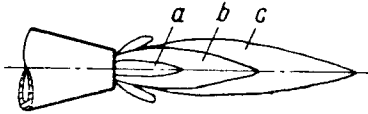


Рис. 10. Схема пламени природного газа:

$a, b, c$  — зоны сварочного пламени

**Горелки для природного газа.** При выборе горелки для сварки природным газом необходимо учесть, что горелка, например для сварки чугуна, должна обладать большей мощностью, чем для сварки стали такой же толщины, так как средняя теплоемкость чугуна выше, чем стали. Горелка должна обеспечивать широкое пламя, чтобы можно было охватить большую поверхность свариваемого изделия. В модернизированных нами горелках типа СУ пламя имеет более уширенную зону нагрева, чем у стандартных горелок (рис. 10). На основе расчетов, проведенных с учетом скорости истечения горючей смеси из сопла мундштука, были получены данные размеров для выходных отверстий мундштука. В отдельных случаях мундштуки могут быть изготовлены на каждом заводе или предприятии, если нет набора готовых мундштуков. Учитывая, что выходное сечение сопла у мундштуков для сварки природным газом больше, чем у новых стандартных типа СУ, следует рекомендовать использовать старые, разработанные мундштуки после рассверливания в них отверстия по прилагаемым размерам. Для увеличения подачи горючего газа инжекторы у наконечников рекомендуется ставить на номер больше (у наконечника № 3 следует поставить инжектор от наконечника № 4 и т. д.).

Начиная с наконечника № 6 (нумерация стандартная, применяемая для ацетиленовых горелок), если необходимо, допол-

нительные отверстия вокруг основного-соплового следует размечать по средней окружности (рис. 11). Сверление дополнительных отверстий следует проводить под углом к оси сопла не более  $5^\circ$  (рис. 11). Номер наконечника подбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия (табл. 7 и 8). Мощность горелки выбирают

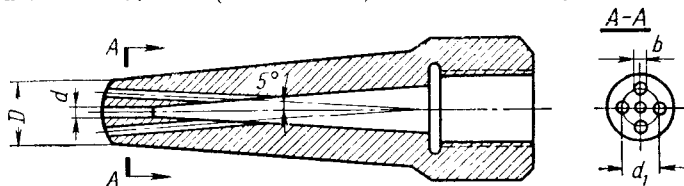


Рис. 11. Разметка дополнительных отверстий в мундштуке горелки

Таблица 7

Сравнительные данные для горелки СУ и модернизированной под природный газ

Показатели	Толщина свариваемого металла в мм							
	0,5	1—2	2—4	4—6	6—9	9—14	14—20	20
Нормальная горелка СУ								
Номер наконечника	0	1	2	3	4	5	6	7
Расход в л/ч:								
ацетилена . . .	75	150	300	500	750	1200	1700	2000
кислорода . . .	85	165	330	550	820	1300	1350	2750
Модernизированная горелка СУ								
Номер наконечника	1	1	1	1	2	3	4	5
Расход в л/ч:								
природного газа . . . . .	140	280—300	560—600	840—900	1260—1900	1960—2000	2800—3000	4200—4500
кислорода . . .	140	300	600	900	1300	2000	3000	4500
	170	360	720	1100	1600	2400	3800	5500

Таблица 8

Размеры отверстий в мундштуках в мм

Номер мундштука для ацетилена . . . . .	1	2	3	4	5	6	7
Номер мундштука для метана . . . . .	—	—	1	2	3	4	5
D—диаметр сопла . . . . .	—	—	3,0	3,4	3,6	2,9	3,5
d—диаметр дополнительного отверстия . . . . .	—	—	—	—	—	1,5	2,0
Количество дополнительных отверстий . . . . .	—	—	—	—	—	4	4
Примечание. Дополнительные отверстия сверлят по средней линии $\frac{D-d}{2}$ .							

из расчета расхода 140 л/ч природного горючего газа на 1 мм толщины чугунного свариваемого изделия.

**Горелки для сжиженных газов.** По данным ВНИИАВТОГЕН-МАШа сварку пропано-бутано-кислородным пламенем проводят горелками ГС-53 или СУ, укомплектованными специальными наконечниками НЗП (наконечники для газов—заменителей ацетилена) и мундштуками ЗЖ (для сжиженных газов—заменителей ацетилена-пропана-бутана) (табл. 9). Эффективная мощность пламени достигается при комплектовании горелок СУ-48 и ГС-53 наконеч-

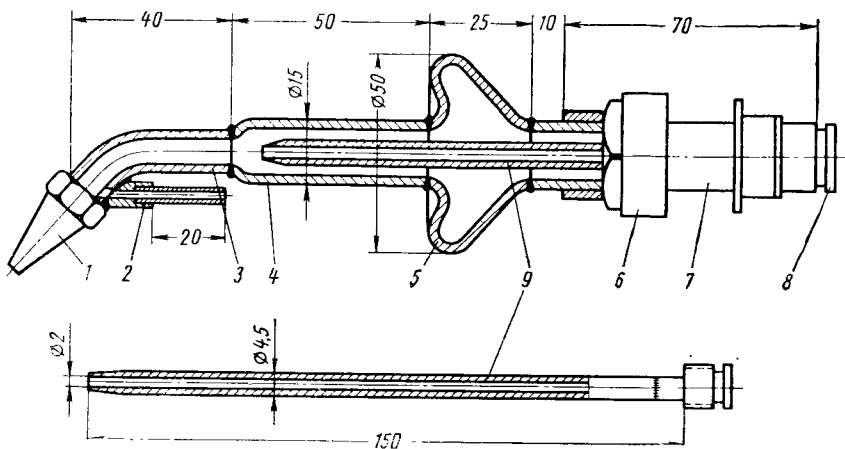


Рис. 12. Горелка Сабирова

никами НЗП в соответствии с номерами ацетилено-кислородной сварочной горелки. Наконечники НЗП отличаются от серийных ацетиленовых горелок только размерами отверстий сопел мундштуков инжекторов и смесительных камер.

В Башкирской АССР применяют для сварки металлов жидкими газами горелку конструкции Р. Ш. Сабирова. Принцип действия горелки Р. Ш. Сабирова основан на двойном подогреве горючего газа до смешения его с кислородом (рис. 12). Для этой цели имеются специальное подогревающее сопло и две камеры предварительного 5 и основного 4 подогрева. Конструктивные особенности горелки: удлиненный трубчатый инжектор 9, подогревающее сопло 2 и увеличенный объем камеры предварительного подогрева 5, которая одновременно является и отражателем для защиты рук сварщика от подогревающего пламени. Горелка выполнена в виде съемного наконечника к обычной сварочной горелке типа СУ или ГС, присоединяемого к последней при помощи накидной гайки 6 с коренной частью 7 и инжектором 8.

Ввинченный до отказа трубчатый инжектор конусной частью должен перекрывать смесительную камеру 3 от камеры основного

Техническая характеристика наконечника НЗП

Показатель	№ наконечника						
	0	1	2	3	4	5	6
Предельное давление кислорода в $MH/m^2$ ( $Kr/cm^2$ ) . . . . .	0,1—0,5 (1—5)	0,15— 0,45 (1,5—4,5)	0,15—0,4 (1,5— 4,0)	0,2—0,4 (2—4)	0,2—0,4 (2—4)	0,2—0,4 (2—4)	0,2 0,4 (2 4)
Предельный расход кислорода в л/ч	60—180	180—400	400—800	750—1230	1200—1950	1660—2700	1580—4300
Предельный расход пропано-бутановой смеси в л/ч . . . . .	15—50	50—120	110—220	210—350	340—560	470—790	760—1200
Диаметр в мм:							
инжектора . . . . .	0,25	0,40	0,60	0,75	0,95	1,2	1,5
однопламенного мунштука . . . . .	1,3	1,8	2,4	3,1	—	—	—
смесительной камеры . . . . .	1,3	2,0	2,7	3,4	4,0	5,0	6,0

подогрева 4. При работе инжектор должен быть открыт на 1,5 оборота. Применение в горелке подогревательного горючего газа позволило достигнуть хорошего сгорания газа и избежать науглероживания металла шва. При открытии вентиля кислород, выходя из трубки инжектора, создает разреженное пространство в камере смешения 3, куда подсасывается горючий газ и смешивается с кислородом. Для сварки жидким газом также можно применять горелки, изготовленные на базе стандартной горелки СУ с подогревом. Для этого размеры наконечника с наконечником 1 горелки СУ должны быть изменены согласно табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Размеры устья мундштука у наконечников НЗП

Толщина металла в мм	Диаметр устья мундштука в мм	№ наконечника СУ (НЗП)
0,5—1,0	1,3	0
1,0—1,5	1,8	1
1,5—2,5	2,4	2
2,5—5,0	3,6	3

## РЕЗАКИ

**Резаки для природного газа.** Наиболее распространенным резаком является стандартный резак типа УР. Мундштуки подогревательного пламени и режущего кислорода этого резака расположены концентрически. Для ручной разделительной кислородной резки с применением природного и других газов—заменителей ацетилена промышленность выпускает резак РЗР. По конструкции он относится к типу инжекторных и в основном отличается от серийного ацетилено-кислородного резака УР-48 только диаметрами проходных каналов в инжекторе, смесительной камере и наружных наконечниках. Диаметр отверстия инжектора 0,95 мм, цилиндрического отверстия в смесительной камере 2,8 мм; диаметры отверстий в наружных наконечниках № 1 и 2 соответственно 6 и 7 мм. Для резки металла с использованием природного газа можно применять и универсальный инжекторный резак УР-48 весом 1,6 кг, предназначенный для ручной разделительной резки стали толщиной 5—300 мм (табл. 11), а также резаки типа УР-44, РР-53 и другие с некоторой модернизацией.

На Саратовском заводе тяжелого машиностроения применяются резаки РЗР-55 с расточенным внутренним каналом в мундштуке для режущего кислорода и с подрезкой этого мундштука в наружном на 1,5 мм по высоте (рис. 13). Наружный мундштук (рис. 14, а) должен быть № 2 вместо № 1 для увеличения концентрической щели с подогревательным пламенем. Размеры внутрен-

## Техническая характеристика резака УР-48

Толщина металла в мм	№ мундштука		Давление		Примерная ширина реза в мм	Средняя скорость резки в мм/мин
	внутреннего	наружного	кислорода в Мн/м <sup>2</sup>	ацетилена в Мн/м <sup>2</sup>		
5	1	1	0,3	0,08	2—2,5	550
25	2	1	0,4	0,09	2,5—3,5	370
50	3	1	0,6	0,1	3,5—4,5	260
100	4	2	0,8	0,1	4,5—7,0	165
200	5	2	1,1	0,11	7,0—10,0	105
300	5	2	1,4	0,12	8,0—11,0	80

него мундштука показаны на рис. 14, б. На Саратовском заводе строительных машин используются резаки типа УР-48 с соответствующей переделкой некоторых деталей (рис. 14, в, г). Кафедра технологии металлов Саратовского политехнического института разработала усовершенствованную конструкцию внутреннего мундштука (рис. 15). В ацетиленовых резаках следует увеличивать проход горючей смеси (природный газ + кислород) за счет смены инжектора в подогревательной горелке на более высокий номер. Для переделки внутренних мундштуков не следует обрабатывать новые. Лучше всего использовать мундштуки, уже бывшие в работе с изношенными отверстиями. Качество изготовления внутренних мундштуков и наружных наконечников должно быть высоким. Особенно это относится к

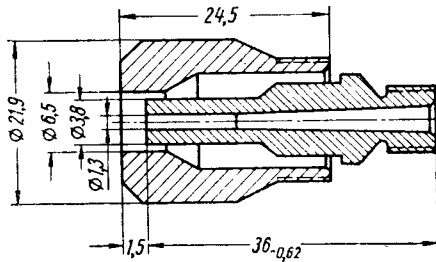


Рис. 13. Мундштук резака для природного газа

внутренним каналам. Риски, шероховатости, заусенцы в соплах и инжекторах не допускаются. Все сопрягаемые детали должны иметь хорошее уплотнение. Если мундштуки или наконечники изготавливать вновь, необходимо правильно выбирать технологические базы, с тем чтобы в собранном виде не было сдвига сопла в сторону.

Механизация разделительной резки способствует равномерному движению кислородной струи, значительно облегчает труд резчика, повышает производительность труда и улучшает качество граней реза, не требующих дополнительной механической обработки. Применяемые для ацетилено-кислородной резки автоматы и полуавтоматы могут быть использованы и на природном газе. Примером стационарных установок, работающих на природном

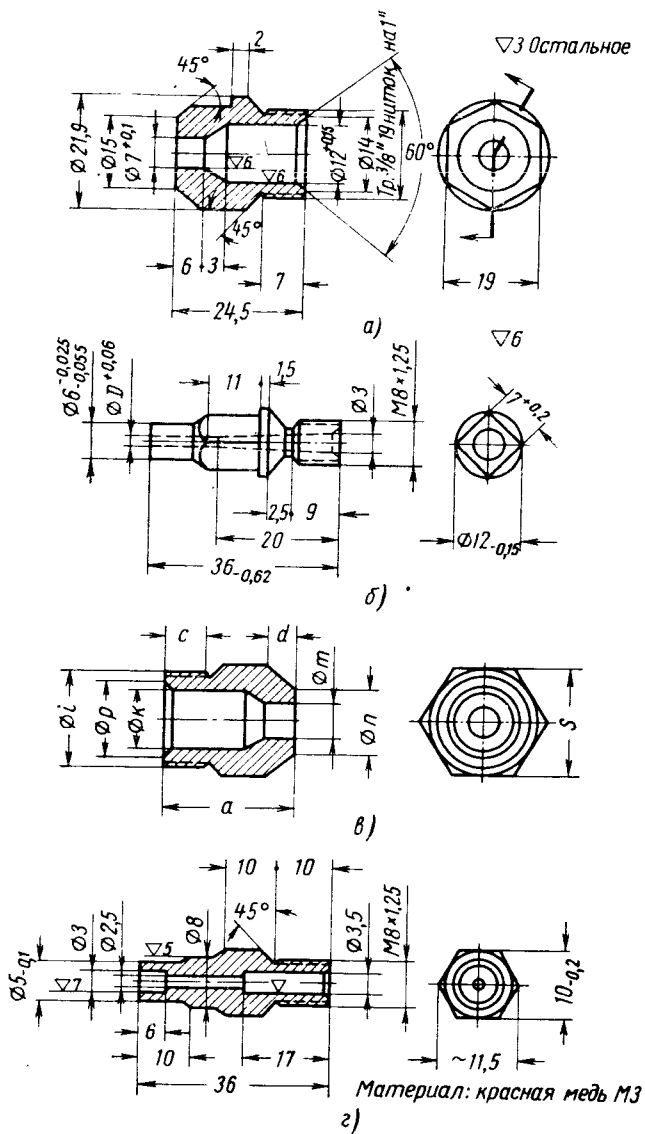


Рис. 14. Мундштук для природного газа

газе, может служить автомат типа АСШ-1 конструкции ВНИИ-АВТОГЕНМАШа, хорошо зарекомендовавший себя на Саратовском заводе тяжелого машиностроения. Этот автомат снабжен вертикальным трехвентильным ацетилено-кислородным резаком типа РМР, модернизированным под природный газ, т. е. с измененным выходным сечением подогревательного пламени и мундштука режущего кислорода. Для увеличения концентрической щели подогревательного пламени следует заменять наружную головку мундштука (рис. 14, в, табл. 12) мундштуком большего номера.

Для автоматов АСШ в резаках также увеличивают проходное сечение для подогревательного пламени. Для этого мундштук режущего кислорода подрезают по высоте на 2—3 мм и срезают наружный прямоугольный выступ мундштука со скосом по окружности на угол  $30^\circ$  (рис. 16, табл. 13).

Точность работы автомата АСШ характеризуется небольшими отклонениями в размерах 0,3—0,5 мм. Автомат позволяет резать металл толщиной 5—100 мм со скоростью 160—580 мм в минуту.

**Резаки для сжиженных газов.** Для кислородной резки пропанобутановые смеси используют в подогревательном пламени. Для

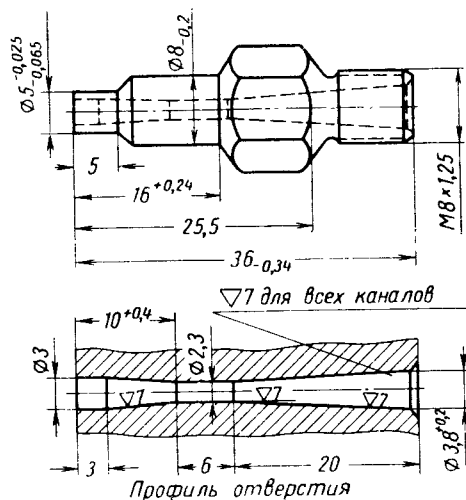


Рис. 15. Усовершенствованный внутренний мундштук к резаку УР

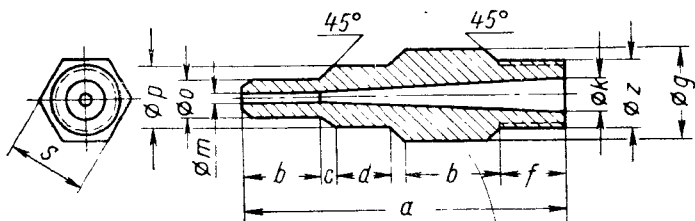


Рис. 16. Внутренний мундштук к природному газу на АСШ-1

ручной разделительной резки применяются без переделки резаки УРЗ, РЗП и усовершенствованный резак РЗР (табл. 14).

По своей конструкции резак РЗР относится к типу инжекторных и отличается от серийного ацетилено-кислородного резака



Технические характеристики резаков для сжиженных газов

Показатели	Толщина разрезаемой стали в мм				
	5—15	15—50	50—100	100—150	Число
Номер мундштука:					
наружного . . . . .	1	1	1	2	2
внутреннего . . . . .	1	2	3	4	3
Давление кислорода в рабочей камере редуктора типа РК-53:					
в $Мг/м^2$ . . . . .	0,3—0,35	0,35—0,4	0,4—0,6	0,6—0,11	0,11 0,14
в $кг/м^2$ . . . . .	$(3—3,5) \cdot 10^4$	$(3,5—4) \cdot 10^4$	$(4—6) \cdot 10^4$	$(6—1,1) \cdot 10^4$	$(1,1—1,4) \cdot 10^4$
Расход кислорода в $м^3/ч$ :					
режущего . . . . .	2,5—5	5—10	10—15	15—26	26—40
подогревающего . . . . .	1,4	1,8	1,8	2,1	2,5
Расход пропана в $м^3/ч$ . . . . .	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
Скорость резки в $мм/мин$ (при чистоте кислорода 99,5% и получении реза среднего качества) . . . . .	550—470	460—260	270—150	165—100	110—80

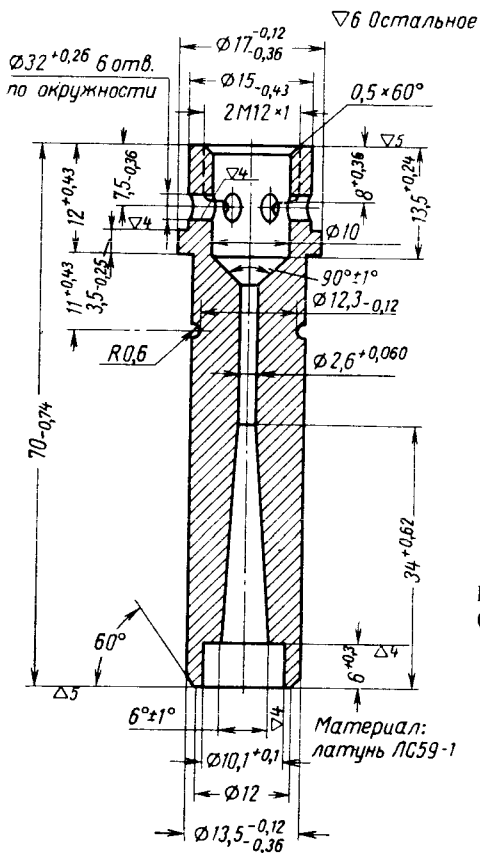
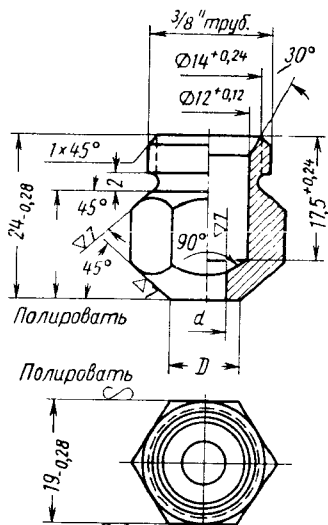


Рис. 18. Смесительная камера РЗР (для жидких газов)



Материал: медь М3

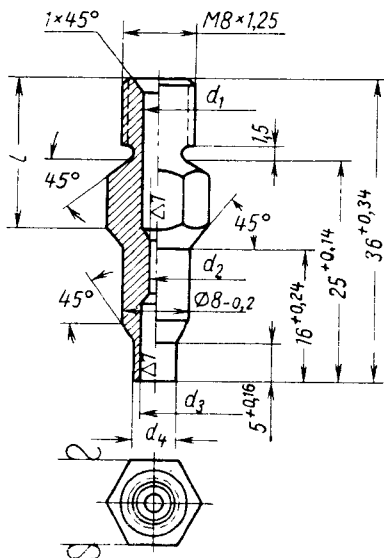
Рис. 19. Наружный мундштук РЗР (для жидких газов)

Номер мундштука	$a$	$D$
1	$6^{+0,08}$	$10^{-0,2}$
2	$6,5^{+0,1}$	$11^{-0,24}$

▽5 Остальное

Рис. 20. Внутренний мундштук РЗР (для жидких газов)

Номер мундштука	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$l$
1	$3^{+0,06}$	$1^{+0,06}$	$1,3^{+0,06}$	$3,8_{-0,025}^{-0,065}$	$20^{+0,52}$
2	$3^{+0,06}$	$1,4^{+0,06}$	$1,7^{+0,06}$	$3,8_{-0,025}^{-0,065}$	$20^{+0,52}$
3	$3^{+0,06}$	$1,6^{+0,06}$	$2^{+0,06}$	$3,8_{-0,025}^{-0,065}$	$20^{+0,52}$
4	$3,5^{+0,08}$	$2,3^{+0,06}$	$2,8^{+0,06}$	$4,9_{-0,025}^{-0,065}$	$18^{+0,52}$
5	$3,5^{+0,08}$	$3^{+0,06}$	$3,4^{+0,06}$	$4,9_{-0,025}^{-0,065}$	$18^{+0,43}_{+0,43}$



создает опасность при работе резакom. Для получения весьма чистого и гладкого отверстия желательно применять соответствующие развертки.

## БАЛЛОНЫ И РЕДУКТОРЫ

При организации сварочных постов с использованием газозаменителей ацетилена имеет значение оборудование для хранения запаса горючего газа в эксплуатационных условиях, это баллоны и редукторы. В отдельных случаях можно использовать

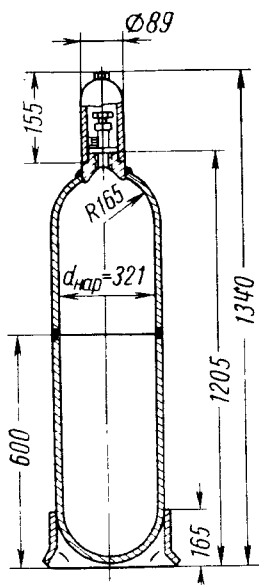


Рис. 21. Универсальный баллон для сжиженного газа

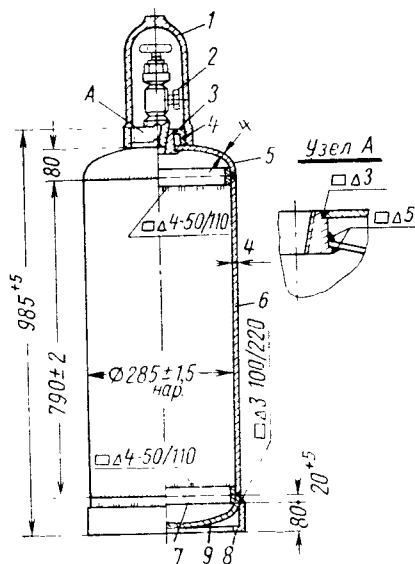


Рис. 22. Баллон для сжиженного газа конструкции Саратовского завода «Газоаппарат»

ацетиленовые редукторы со специальными переходными приспособлениями.

В сварочных работах можно использовать баллоны универсального типа для жидкого газа, рассчитанные на рабочее давление  $1,6 \text{ Мн/м}^2$  ( $16 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) с технической характеристикой, приведенной в табл. 15. Универсальный баллон для сжиженного газа с одним наполнительно-расходным вентиляем показан на рис. 21. Большое распространение получила конструкция, представленная на рис. 22.

Жидкие газы могут поступать к сварочным постам из баллонов, на которых установлены регуляторы давления — редукторы. Регулятор РД-1 конструкции ВНИИАВТОГЕНМАШа, получив-

ший широкое распространение, имеет пределы регулирования  $0,05-0,15 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,5 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) с пропускной способностью газа  $0,25-5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Шланг соединяется с ниппелем редуктора. Можно

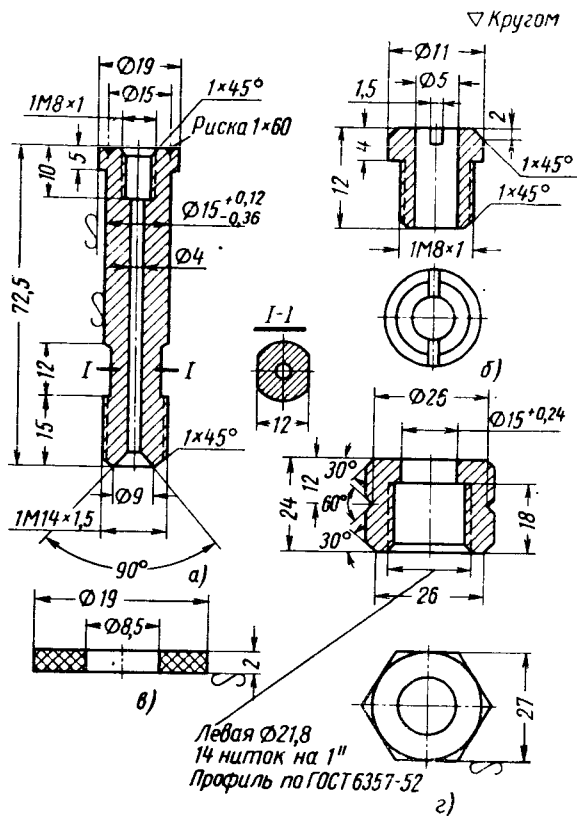


Рис. 23. Приспособления к ацетиленовому редуктору для присоединения к баллону сжиженного газа:

а — штуцер; б — ниппель; в — прокладка; г — накладная гайка

### Размеры универсальных баллонов

Таблица 15

Тип баллона	Длина без арматуры в мм	Наружный диаметр в мм	Толщина стенки в мм	Вес баллона с арматурой в кг	Емкость полная в л	Емкость возможного наполнения в л	Вес газа в кг
I	1205	321	3,5	41	79	71,0	39
II	1515	300	4,0	58	100	90,0	50
III	1000	325	5,0	45	75	67,5	37
IV	930	390	5,0	60	97	87,0	48
	870	325	5,0	40	64	58,0	32

использовать редуктор завода Укргазаппарат РДГ-6 с регулировкой давления 40—500·9,8 н/м<sup>2</sup>. При отсутствии указанных редукторов приспособляют ацетиленовый. Штуцер с хомутом следует заменить другим штуцером с ниппелем, прокладкой и накидной гайкой по чертежам (рис. 23).

Редуктор необходимо окрасить в красный цвет, и в дальнейшем нельзя использовать для ацетилена. При эксплуатации аппаратуры следует учитывать, что сжиженные газы разъедают резину. Поэтому нужно заменять резиновые прокладки и мембраны бензиностойкими (фибра) или особым мембранным полотном, представляющим собой бумажную ткань, покрытую с обеих сторон бензо-, масло- и керосиностойкой резиной.

---

Алюминий характеризуется небольшой прочностью и большой вязкостью. Технический алюминий и его сплавы под действием кислорода воздуха окисляются, на поверхности возникает тугоплавкая пленка окислов

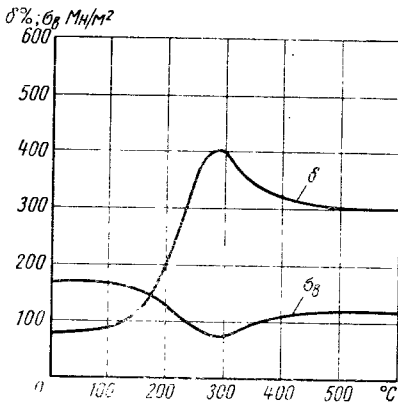


Рис. 24. Диаграмма прочности алюминия при нагреве в процессе сварки

с применением необходимого присадочного металла и флюса. Алюминий при затвердевании дает большую усадку, коэффициент усадки 1,7—1,8. Более высокими механическими свойствами обладают его сплавы, содержащие, марганец, кремний, магний, железо, медь, цинк и другие элементы.

С повышением температуры нагрева, в частности в процессе сварки (рис. 24) механическая прочность алюминия и его сплавов сильно понижается (табл. 16). Чистый алюминий при температуре свыше 500° С становится хрупким и превращается в порошок при истирании.

Основные физико-химические свойства алюминия: атомный вес 26,97; валентность 3; плотность в твердом состоянии 2,7  $Mг/м^3$ , плотность в жидком состоянии 2,38  $Mг/м^3$ ; температура плавления 660° С; температура кипения 1850° С; коэффициент теплопровод-

типа  $Al_2O_3$  с температурой плавления 2050° С. Температура плавления чистого алюминия 658° С. Теплопроводность алюминия в 3 раза больше, чем у стали, коэффициент расширения в 2 раза превышает коэффициент расширения стали.

Алюминиевые сплавы обладают высокой жидкотекучестью, малым интервалом кристаллизации и малой усадкой, что улучшает свариваемость. Однако склонность к быстрому окислению и газопоглощению требует правильного выполнения технологии сварочного процесса

Зависимость временного сопротивления легких алюминиевых сплавов от температуры в  $\text{Мн}/\text{м}^2$  ( $\text{кг}/\text{мм}^2$ )

Сплав	Температура в $^{\circ}\text{C}$				
	20	100	250	300	350
АС2 . . . . .	150 (15)	120 (12)	90 (9)	70 (7)	40 (4)
АС3 . . . . .	150 (15)	130 (13)	100 (10)	90 (9)	70 (7)
АС9 (силумин) термически обработанный . . . . .	190 (19)	160 (16)	—	90 (9)	50 (5)
У (ингрек-сплав) без обработки . . . . .	180 (18)	170 (17)	—	150 (15)	120 (12)

ности  $0,52 \cdot 418,7 \text{ вт}/\text{м} \cdot \text{град}$ ; коэффициент температуропроводности  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$ ; коэффициент линейного расширения  $24 \cdot 10^{-6}$ ; предел прочности до  $10 \cdot 9,8 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ; предел текучести  $3 \cdot 9,8 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ; относительное удлинение до 35; твердость по Бриггелю до  $25 \cdot 9,8 \text{ Мн}/\text{м}^2$ .

Сплавы на алюминиевой основе имеют более высокие физико-химические свойства, применяются в различных отраслях промышленности. Алюминиевые сплавы различаются по химическому составу, по механическим свойствам и способу получения металла: литейные, деформированные. Из деформированных сплавов получают листы, полосы, трубы и другие различные профили. Для сварочной технологии важно знать, упрочняется или не упрочняется сплав при термической обработке. Ниже приведены литейные сплавы на основе алюминия:

Система	Марка
Al—Si	АЛ2
Al—Si—Cu	АЛ6
Al—Si—Mg	АЛ9, АЛ4
Al—Si—Mg—Cu	АЛ3, АЛ5
Al—Cu	АЛ7, АЛ12
Al—Cu—Mg	АЛ1
Al—Mg	АЛ8
Al—Mg—Si	АЛ13
Al—Zn—Si	АЛ11

Механические свойства литейных сплавов следующие: предел прочности  $(15—28) \cdot 9,8 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ; относительное удлинение 1—4% (сплав марки АЛ8 — имеет относительное удлинение 9%).

Деформированные сплавы применяются главным образом для сварных конструкций (табл. 17). При нагреве основного металла в зоне сварки изменяются первоначальная структура и механические свойства. Так, например, у дюралюминия марки Д16Т при температурах  $200—320^{\circ}\text{C}$  понижается пластичность и возникают горячие трещины. Введение в алюминий легирующих элементов повышает прочность и механические свойства. Вводимые

Механические свойства и химический состав деформированных сплавов

Система	Марка сплава	Предел прочности при растяжении в МН/М <sup>2</sup>	Предел текучести в МН/М <sup>2</sup>	Относительное удлинение в %	Химический состав в %					
					Mn	Mg	Cu	Zn	Si	Fe
Al—Mn	АМцП	16·9,8	13·9,8	10	1,0÷1,5	0,05	0,2	0,1	0,6	0,7
	АМцМ	13·9,8	5·9,8	20						
Al—Mg	АМгП	25·9,8	21·9,8	6	0,15÷0,4	2—2,8	0,1	—	0,4	0,4
	АМгП	20·9,8	10·9,8	23						
Al—Mg Al—Mg—Si	АМ5	27·9,8	15·9,8	23	0,3÷0,6 0,4÷0,8	4,7÷5,7 0,5÷0,8	0,2 1,8÷2,6	— 0,3	0,4 0,6÷1,2	0,4 0,7
	АК6	42·9,8	30·9,8	13						
Al—Cu—Mg—Mn	Д6Т	46·9,8	30·9,8	15	0,5÷1,0	0,65÷1,0	4,6÷5,2	0,3	0,5	0,6
	Д6М	22·9,8	11·9,8	15						
Al—Cu—Mg—Mn	Д16Т	47·9,8	33·9,8	17	0,3÷0,9	1,2÷1,8	3,8÷4,9	0,3	0,5	0,5
Al—Mg—Zn—Cu	В95Т	60·9,8	55·9,8	12	0,2÷0,6	1,8÷2,8	1,4÷2,0	5,7	0,5	0,5
	В95М	26·9,8	13·9,8	13						

Примечание. Сплав В36 содержит 0,15—0,25% Си. Сумма примесей не более 0,1%.

в алюминиевые сплавы элементы разделяются на следующие группы: 1) основные компоненты: до 20% кремния; до 15% меди, магния и цинка; 2) второстепенные компоненты: до 3,0% марганца, никеля, железа, до 1,0% кобальта, хрома; 3) улучшающие добавки: до 0,2% титана, ванадия, до 0,01% натрия.

Легирующие элементы, кремний, медь, магний, цинк, вводни-

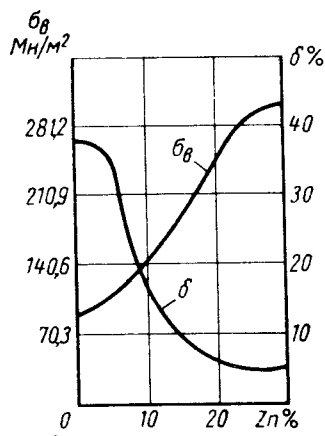
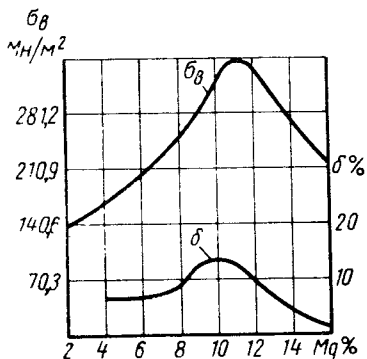
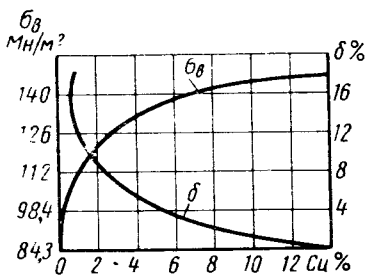
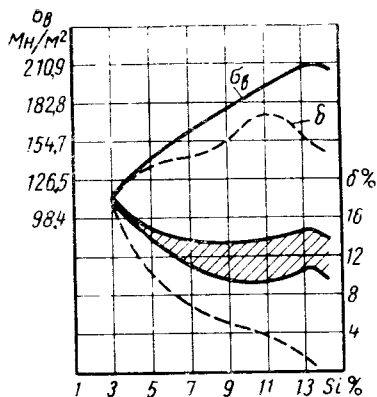


Рис. 25. Изменение механических свойств алюминия от вводимых легирующих элементов

мые до 10%, резко изменяют механические свойства алюминия (рис. 25). Механические свойства двух- и многокомпонентных сплавов могут быть повышены в результате термической обработки. Компоненты марганец, никель, кобальт, хром вводят в алюминий не более 3,0%, они также улучшают механические свойства сплава. Улучшающие добавки — титан, ванадий, натрий и другие в небольших количествах (десятых долях процента) повышают механические свойства в сочетании с основными элементами, например

натрий в сплаве системы алюминий—кремний; титан и ванадий в системе алюминий—магний и т. д. К вредным примесям относятся железо, особенно в пределах выше допустимых долей процента. Железо вызывает образование грубых кристаллических фаз по границам кристаллов, что резко снижает прочность и пластичность сплава. Присутствие в сплаве кремния способствует связыванию железа в соединения  $Al-Fe-Si$  и  $Fe-Si-Al_3$ , равномерно располагающиеся по структуре сплава.

Дюралюминий имеет следующий состав: 3,5—4,5% Cu; 0,5—1,0% Mg; 0,5—0,8% Mn; 92% Al; 0,5% Si; 1,0% Fe; плотность 2,6—2,9  $Mг/м^3$ . Температура плавления 650° С. До термической обработки дюралюминий вязок, временное сопротивление разрыву равно 25·9,8  $Mн/м^2$ . После закалки и старения механические свойства улучшаются: временное сопротивление разрыву ( $36 ÷ 42$ )·9,8  $Mн/м^2$ ; удлинение 15—20%; твердость по Бринелю 90—100.

Кольчугалюминий имеет состав: 4,5% Cu; 0,5% Mg; 0,5% Mn; 0,5% Ni; Al — остальное. Механические свойства кольчугалюминия после термической обработки: временное сопротивление разрыву ( $35,4—41,9$ )·9,8  $Mн/м^2$ ; предел пропорциональности ( $14 ÷ 24$ )·9,8  $Mн/м^2$ ; удлинение 15—22%; твердость по Бринелю 90—100. Дюралюминий и кольчугалюминий после отливки и прокатки подвергаются закалке при температуре около 500° С. После закалки для ускорения процесса старения сплав нагревают до 100—200° С. Иногда между закалкой и старением проводят нагартовку для улучшения механических свойств сплава. Дюралюминий и кольчугалюминий мало меняют свои свойства при пониженных температурах, что является весьма ценным свойством. Присадочный металл для сварки этих сплавов содержит 95% Al и 5% Si. Технологический процесс сварки этих сплавов такой же, как при сварке алюминия.

## **МЕТАЛЛУРГИЯ СВАРКИ**

Особенностью металлургического процесса сварки является местный сосредоточенный нагрев металла подвижным источником тепла, перемешивание жидкого металла давлением газового факела и частично стержнем присадочного прутка, а главное взаимодействия расплава с продуктами горения горючего газа в струе кислорода и вносимыми флюсами. Окислы труднее восстанавливаются у элементов, имеющих наибольшее химическое родство к кислороду. Степень восстановления окислов характеризуется упругостью диссоциации окисла и зависит от температуры сварочного факела и ванны шва.

В процессе наиболее распространенной ацетилено-кислородной сварки и сварки заменителями ацетилена при наиболее высоких температурах сварочного пламени прочность соединения окислов наивысшая и, следовательно, восстановление таких

окислов затруднено. Большое сродство алюминия к кислороду создает опасность проникновения окиси алюминия  $Al_2O_3$  внутрь расплавленного металла при покрытии ванны шва твердой коркой окислов, температура плавления которых 2200—2500° С.

На основании расчетных данных и данных, приведенных на рис. 24, определяется степень восстановления окислов в зависимости от температуры расплава. Для восстановления и удаления окислов следует применять флюсы. При подборе флюсов необходимо обращать внимание на то, что алюминий стоек в слабых кислотах, но в средах серной и соляной кислот, а также солей, содержащих хлор, он легко разрушается. Алюминий не стоек в щелочах (мылах).

**Флюсы.** Назначение флюсов состоит в очистке поверхности сварочной ванны от окислов, предохранения металла шва от окисления, а также отделения неметаллических включений от металла. В расплав флюсы вводят или путем нанесения их на присадочный пруток в виде обмазки, или непосредственно в ванну шва. Флюсы должны иметь температуру плавления, близкую к температуре плавления основного и присадочного металлов.

Для сварки алюминия применение флюсов обязательно. Толщина окисной пленки алюминия до 500 Å (железа только 40—60 Å). На воздухе алюминий, его сплавы всегда покрыты окислами типа  $Al_2O_3$ , причем образование окисной пленки при повышенных температурах происходит почти мгновенно. Если температура плавления алюминия равна 658° С, то температура плавления окисла  $Al_2O_3$  2100° С. Это препятствует переводу в жидкое состояние окисла алюминия и последующему его восстановлению.

К флюсам, способным растворять окислы типа  $Al_2O_3$ , относятся фтористые и хлористые соединения щелочных и щелочно-земельных металлов (натрий, калий, литий, кальций). Хлористые соединения придают более низкую температуру плавления флюсу. Литий, понижая температуру плавления флюса, одновременно создает условия для лучшей жидкотекучести ванны металла. Наиболее распространенным флюсом для менее ответственных сварных соединений является флюс, содержащий 12—16% NaCl; 20% NaF; 20%  $BaCl_2$ ; KCl — остальное. Также применяют и безлитиевый флюс: 50% KCl; 30% NaCl; 20%  $Na_3AlF_6$  (криолит) (табл. 18).

Сварочный флюс в расплавленном состоянии благодаря комплексу физико-химических свойств обладает высокой реакционной способностью, химической активностью по отношению к окислам металла, снижает температуру плавления флюса и уменьшает интервал температур, в которых активно растворяются и химически связываются окислы металла. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления свариваемого металла, для лучшего взаимодействия с расплавом.



При разработке рецептуры сварочных флюсов необходимо учитывать температуру плавления и плотность отдельных компонентов, входящих в состав флюса (табл. 19). Величина плотности приведенных компонентов в жидком состоянии на 25—30% ниже плотности этих же соединений в твердом состоянии. Это важно при переходе в шлак продуктов раскисления вместе с флюсом. Для понижения температуры плавления флюса в его состав могут быть введены хлористый марганец, хлористый цинк, хлористый литий, карналлит.

Таблица 19

**Плотность и температура плавления хлоридов и фторидов**

Соединение	Плотность в $Mг/м^3$		Температура плавления в $^{\circ}C$	Соединение	Плотность в $Mг/м^3$		Температура плавления в $^{\circ}C$
	в твердом состоянии	в расплаве			в твердом состоянии	в расплаве	
LiCl	2,07	1,50	683	MgF <sub>2</sub>	2,47	—	1396
LiF	2,60	1,80	801	CaCl	2,15	2,06	774
KCl	1,99	1,53	772	CaF <sub>2</sub>	3,18	—	1378
KF	2,48	1,91	860	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	2,95	2,09	1000
NaCl	2,17	1,55	805	MgCl <sub>2</sub> KCl	—	1,50	693
NaF	2,77	—	992	MnCl <sub>2</sub>	2,98	—	650
MgCl <sub>2</sub>	2,18	—	715	ZnCl <sub>2</sub>	2,91	—	365

Отсутствие хлористого лития в составе флюса обеспечивает более высокие антикоррозионные свойства сварного шва (табл. 20). Для улучшения очистки шва после сварки в промышленности применяют флюс АФ-4А: 50% KCl; 28% NaCl; 14% LiCl; 8% NaF. Для растворения окислов алюминия применяют фтористые соединения щелочных и щелочно-земельных металлов: фтористый литий LiF; фтористый калий KF; фтористый натрий NaF; фтористый кальций CaF<sub>2</sub>; фтористый барий BaF<sub>2</sub>; фтористый магний MgF<sub>2</sub>. Применяются также активные растворители: криолит Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> и фторсиликат натрия Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, которые являются высокотемпературными раскислителями (~1000° C). К новым флюсам относят АФ-1 и АФ-4а (табл. 21).

Таблица 20

**Содержание компонентов в %**

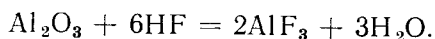
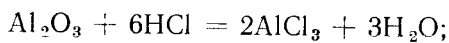
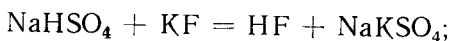
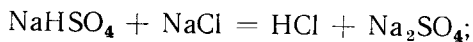
Флюс	KCl	NaCl	LiCl	NaF	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	BaCl <sub>2</sub>
ВАМИ	50	30	—	—	20	—
КМ-1	45	20	—	15	—	20

## Содержание компонентов в %

Марка флюса	KCl	NaCl	LiCl	NaF	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>
АФ-1	45	25	10	—	20
АФ-4а	50	28	14	8	—

Тонкая пленка окислов алюминия  $Al_2O_3$ , возникающая в результате окисления кислородом воздуха и кислородом газов пламени горелки (при неправильном регулировании), имеет высокую температуру плавления и поэтому трудно разрушается. Окислы ухудшают процесс сварки и препятствуют сплавлению частиц металла между собой. Флюс способствует переводу тугоплавкой окисной пленки в легкоплавкие шлаки или летучие соединения. Кроме того, флюс предохраняет алюминий от окисления при сварочном процессе. Флюс имеет температуру плавления ниже температуры плавления алюминия. Удельный вес флюса должен быть ниже удельного веса алюминия. Флюс изготавливают в виде порошка. Вследствие гигроскопичности хранить его следует в стеклянных банках с герметической пробкой, заливаемой парафином или воском. Флюс применяют в виде порошка или пасты, приготовляемой замешиванием порошка на воде.

Под влиянием нагрева кислые сернокислые соли щелочей разлагают хлористые и фтористые соли с выделением соляной или плавиковой кислот, которые, действуя на окись алюминия, образуют летучий хлористый или фтористый алюминий. При применении флюса происходят следующие реакции:



В приведенных реакциях тугоплавкая окись алюминия переводится в соединение  $AlCl_3$  с удельным весом 2,4, которое возгоняется без плавления при температуре  $173^\circ C$ . Неиспользованный флюс не следует смешивать с новой порцией флюса, так как он кристаллизуется и становится непригодным для защиты от действия атмосферного воздуха. В начале сварки на всю поверх-

ность свариваемых кромок следует тщательно нанести флюс, иначе шов получится неплотным. После сварки остатки флюса следует очистить с поверхности застывшего шва и с переходных зон во избежание разъедания металла. Весь шов и ближайшие к нему участки необходимо промыть горячей водой, затем 5%-ным раствором азотной кислоты и — снова горячей водой (50—70° С).

**Присадочный металл.** Присадочный металл вследствие выгорания при сварке отдельных элементов должен иметь повышенное содержание отдельных составляющих металла присадочного прутка (табл. 22).

Таблица 22

Составы присадочных проволок в %

Сплав	Примеси	Алюминий
АД	1,2	98,8
АД1	0,7	99,3
АМц	1,75	98,25
АМг	(1—1,6Mn) 2,2—3,5 (2—2,8 Mg; 0,15—0,4 Mn)	96,5—97,8

В отдельных случаях вместо проволоки можно применять полоски, нарезанные из листового металла с сечением, равновеликим проволоке.

Хорошие результаты при сварке достигаются при применении присадочного металла из сплава Ак, содержащего: 4,5—5,5% Si; 94,5—95,5% Al. Этот сплав не вызывает красноломкости, обладает небольшим интервалом кристаллизации, хорошей жидкотекучестью и незначительной усадкой при застывании. Температура плавления его ниже температуры плавления основного металла, что способствует уменьшению возникающих напряжений в зоне термического влияния с перераспределением этих напряжений на расплав и основной металл.

При газовой сварке также могут применяться прутки с составом: 0,8% Cu; 92,0% Al или того же химического состава, что и свариваемый металл. По техническим условиям диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины основного металла:

При газовой сварке также могут применяться прутки с составом: 0,8% Cu; 92,0% Al или того же химического состава, что и свариваемый металл. По техническим условиям диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины основного металла:

Толщина основного металла в мм . . . . До 1,5 1,5—3,0 3,0—5,0 5,0—7,0 7—10 Более 10 мм

Диаметр (прутка) проволоки в мм . . . 1,5—2,0 2,5—3,0 3,0—4,0 4,0—4,5 4,5—5,5 5,5—6,5

Присадочный металл (проволока, прутки) должен иметь совершенно чистую поверхность, т. е. перед употреблением его необходимо зачищать шлифовальной бумагой или протравливать.

**Сварочное пламя.** Сварочный факел создает защитную атмосферу вокруг жидкого металла шва, предохраняя его от окисления и азотирования. Регулирование вводимого в металл тепла при газовой сварке позволяет сваривать тонколистовой металл без местных прижогов. Увеличенное время прогрева металла, особенно при газах — заменителях ацетилена, обеспечивает полную дегазацию расплава с получением плотных структур металла. Газовая ацетиленовая сварка создает высокую температуру, вызывая

Мощность сварочного пламени при сварке алюминия газами — заменителями ацетилена

Расход газа в л/ч	Толщина свариваемого металла в мм									
	До 0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,5	2,5—3,5	3,5—5,0	5,0—7,0	7,0—10,0	Более 10	
Природный (сжатый)	35	35—70	100—140	140—210	210—350	350—700	700—1050	1050—1400	на 1 мм толщины	
Сжиженный (пропано-бутановая смесь) . . . . .	30	30—60	90—120	120—180	180—300	300—600	600—900	900—1200	на 1 мм толщины	

перегрев металла. В связи с этим необходимо изыскивать газы с меньшей температурой сварочного факела и, кроме того, более дешевые. Такими газами могут служить природный сжатый газ или сжиженная пропано-бутановая смесь — отход заводов.

Газы — заменители ацетилена (табл. 3) по составу горючих газов и теплотворной способности позволяют использовать горячие газы с более низкой температурой горения и более низкой калорийностью. Сварочное пламя должно быть нормальным без избытка кислорода и без избытка горючего газа. Наличие свободного кислорода в пламени способствует образованию трудно удаляемой тугоплавкой окиси алюминия. При избытке в сварочном факеле горючего газа поверхность металла покрывается слоем копоти, что затрудняет получение в шве прочного соединения. Кроме того, избыток свободного углерода вызывает пористость шва и уменьшение вязкости металла.

Мощность сварочного пламени зависит от толщины основного металла. Выбор горелки должен соответствовать часовому расходу горючего газа в литрах с учетом низкой температуры плавления алюминия в его большой теплопроводности (табл. 23). Во избежание проплавления и прожогов легкоплавкого алюминия следует устанавливать режим сварочного пламени для определенных толщин основного металла с нижних пределов часового расхода горючего газа (табл. 23). Свариваемый участок должен находиться в зоне *b* пламени на расстоянии 8—10 мм от ядра.

В зоне *b* сварочный факел имеет умеренную температуру. В ядре происходит эндотермический (с поглощением тепла) распад молекул горючего газа, следовательно, расположение участка свариваемого металла в зоне *b*, сопряженной с ядром, будет наиболее благоприятным в смысле предупреждения проплавления и возникновения других дефектов, вызываемых высокотемпературными режимами существующих способов сварки алюминия.

## ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Характер процесса газовой сварки алюминия зависит от физико-химических свойств алюминиевых сплавов, что препятствует кристаллизации расплава шва и уменьшает механическую прочность. Из-за более высокой теплопроводности ( $0,52 \times 418,7 \text{ вт/м}\cdot\text{град}$ ), по сравнению с теплопроводностью черных металлов (теплопроводность стали  $0,10 \cdot 418,7 \text{ вт/м}\cdot\text{град}$ ) при сварке конструкций появляются значительные деформации коробления. Вследствие различия механических свойств литых и деформированных сплавов, зона сварки по сравнению с основным металлом может иметь пониженные механические свойства.

Изделия из алюминиевых сплавов изготавливают из прокатанных листов или литья. В литых алюминиевых сплавах имеется опасность появления трещин из-за хрупкости отливок, а также значительных усадок при охлаждении. Листовой алюминий имеет большую прочность, чем литой, однако и большую вероятность прожога.

При образовании расплава шва необходимо следить за чистотой ванны. Посторонние примеси снижают прочность шва и способствуют его разъеданию. Сварка алюминиевых сплавов затруднена вследствие их неблагоприятных свойств: 1) низкой температуры плавления и как результат — опасности пережога металла с образованием окислов-шлаков; 2) большой теплопроводности, требующей мер предосторожности по отношению к участкам, не подлежащим нагреву в процессе сварки; 3) легкости образования окислов при их высокой температуре плавления; 4) рекристаллизации, т. е. укрупнения структуры при температурах  $300\text{—}400^\circ \text{C}$  даже нерасплавленных участков. В этом случае внутри деформированного зерна зарождаются новые кристаллы, которые, увеличиваясь, меняют структуру алюминия и уменьшают прочность металла; 5) уменьшения прочностных показателей при высоких температурах, что требует мер предосторожности при вынужденных перемещениях свариваемой детали; 6) значительного линейного расширения и большой усадки, способствующей появлению трещин в шве. Для сварки алюминиевых сплавов необходимо применять стальные приспособления, изготовленные или подобранные по профилю изделия для закрепления свариваемых деталей на стальных подкладках, разгружающих собственный вес детали и предохраняющих от действия внешних усилий.

Кромки, а также прилегающий основной металл шириной  $10 \text{ мм}$  перед сваркой следует зачистить щетками, насаженными на электрическую или пневматическую дрель. Очистка наждачной бумагой не допускается. Если алюминиевый сплав покрыт лакирующим слоем, то механическая очистка не допускается. Обезжиривание проводится бензином, керосином или каустической содой.

Для снятия жира рекомендуется водный раствор: 0,5—2,0% NaOH; 5%  $\text{Na}_2\text{PO}_4$ ; 3,0% жидкого стекла. Затем следует промывка в горячей воде и просушка. Травление проводят в 10%-ном водном растворе NaOH при температуре 70° С. Травление должно проводиться быстро, так как едкий натр разъедает алюминий. Затем вновь следует промывка в горячей воде и далее в 10%-ном водном растворе  $\text{HNO}_3$ . После повторной промывки в горячей воде изделия сушат. При слишком загрязненной или окрашенной поверх-

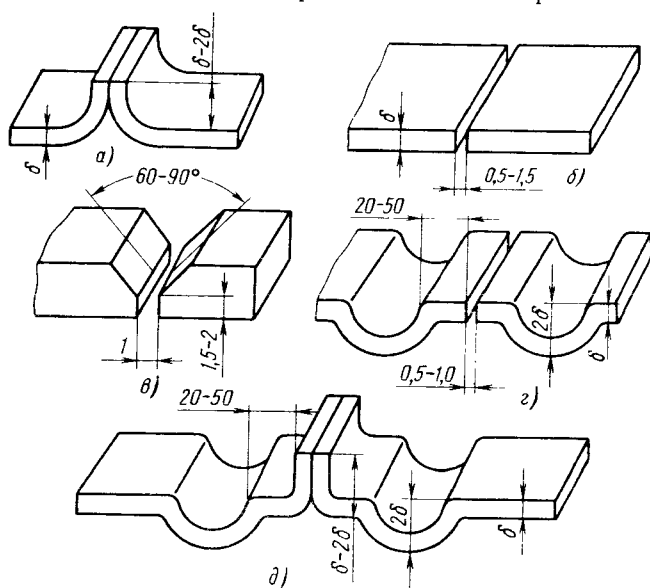


Рис. 26. Подготовка кромок шва перед сваркой

ности очистку проводят в 10%-ном растворе каустической соды  $\text{NaCO}_3$ , в горячей воде, опуская деталь в раствор на несколько секунд — до покрытия черным налетом. Затем для удаления налета опускают деталь на 1—2 мин в 3—5%-ный раствор  $\text{HNO}_3$ , промывают в горячей воде и сушат. При ремонте алюминиевого литья необходимо тщательно очищать не только кромки излома, но и отломившиеся куски с последующей промывкой горячей водой и вытиранием ветошью.

Стыковые соединения как без скоса кромок — для малых толщин, так и со скосом, считаются лучшими типами соединений, так как позволяют полностью удалить остатки флюса после сварки. При сварке листов толщиной до 1,5 мм производится отбортовка кромок на высоту, равную от одной до двойной толщины металла (рис. 26, а). Между кромками листов толщиной 1,5—3,0 мм оставляют зазор 0,5—1,5 мм без скоса кромок (рис. 26, б). При толщине металла свыше 3 мм (до 10 мм) делается V-образный

скос и свыше 10 мм X-образный скос для двусторонней сварки. Углы скоса 60—90°, притупление 1,5—2,0 мм (рис. 26, в). Для предохранения от коробления в листовых изделиях параллельно шву рекомендуется делать зигзовку (рис. 26, г, д). При разделке кромок со скосом иногда прорезают кромки на глубину 5—8 мм через 50—100 мм, что уменьшает местное коробление (рис. 27).

**Сварка литья.** При сварке алюминиевого литья необходимо использовать газовое пламя наибольшей мощности и в отдельных случаях — местный или общий подогрев всего изделия для снятия напряжений и лучшего прогрева свариваемого участка. При сварке алюминиевого литья прежде всего следует все изделие очистить от грязи и масла с помощью проволочной щетки и бензина. До

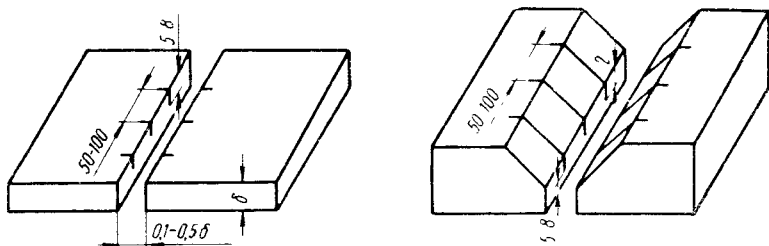


Рис. 27. Разделка кромок шва с учетом коробления

блеска следует очистить с обеих сторон кромки излома, а также отломавшиеся ввариваемые куски. В зависимости от условий места сварки, в отдельных случаях специальную разделку кромок шва можно и не выполнять, если имеется уверенность в хорошем проваре на всю толщину дефектного места.

Под завариваемый шов целесообразно подложить стальную или медную подкладку толщиной 10—15 мм для опоры и задержания проплавленного металла. Опытный сварщик может своевременно предупредить вытекание металла отняв горелку, а также применив подкладки из огнеупорного материала.

Во время сварки деталь должна быть закреплена в приспособлениях, предупреждающих коробление. При ремонтной сварке привариваемые куски должны быть хорошо прилажены по старым местам и хорошо закреплены проволокой или специальными прижимами. В отдельных случаях куски следует закрепить при помощи прихватов, наваренных в отдельных точках.

В случае закрепления детали на кирпичах, разложенных на сварочном столе можно применить асбестовую замазку, приготовленную из измельченного асбеста, замешанного на воде. Под влиянием высокой температуры эта замазка быстро уплотняется и твердеет. В случаях крайней необходимости предварительного подогрева (в специальных печах, или с помощью жаровень на древесном угле, или при помощи горелок) необходимо помнить,

что высокий нагрев разрушает алюминиевое литье. При нагреве алюминий не меняет своего цвета, поэтому определять предельную температуру нагрева следует при помощи термопар или другими способами, применяемыми на практике:

1. На нагреваемый металл укладывают кусочки (20—50 г) легкоплавкого сплава с температурой плавления 250—275° С, состоящего из 50% Sn и 50% Pb; по началу плавления сплава определяют температуру нагрева.

2. Ударяют по изделию легким молотком весом 200 г; при температуре 250—275° С, звук получается глухой, неметаллический.

3. Начало обугливания древесных опилок (20—50 г), насыпанных на изделие, показывает контрольную температуру.

4. Обугливание палочки из дерева твердой породы (дуб, кизил) при натирании нагреваемого участка начинается при температуре детали около 275° С.

5. Если при натирании сосновой лопаточкой на месте нагрева появляется темное пятно, то общий подогрев следует прекратить.

Предварительный нагрев следует проводить так, чтобы факел не касался детали, предохраняя металл специальными огнеустойкими щитками; температура теплового потока вокруг нагреваемой детали должна быть ровной. Общий подогрев следует вести не более 30 мин, так как при перегреве алюминиевое литье может прийти в полную негодность. Особенно опасен перегрев участков переходов толстых частей к тонким, поэтому тонкостенные узлы при нагреве следует предохранять асбестовыми накладками, создавая нормальный подогрев по всему изделию.

Если сварка проводится без подогрева, то свариваемое место алюминия до подачи на него флюса целесообразно очистить бензином и щеткой с горячей водой. Флюс насыпают на кромки в процессе сварки, а присадочный пруток раскаленным концом периодически погружают в баночку с порошком флюса. Если флюс пастообразный, то кисточкой смазывают кромки, а конец присадочной проволоки периодически опускают в баночку с пастой. Флюсовую пасту можно приготовить из порошкового флюса, размешивая его в воде до кашицеобразного состояния. В зависимости от толщины свариваемого металла подбирают номер наконечника горелки и диаметр присадочной проволоки (прутка). Зажигают горелку и регулируют пламя до нейтрального — в зависимости от горючего газа. Горелку необходимо держать под определенным углом к свариваемой детали в зависимости от ее толщины. При деталях толщиной до 5 мм горелку устанавливают под углом 30°, а при деталях толщиной свыше 5 мм — под углом 45°. Одновременно присадочный пруток должен находиться под углом 90° к оси горелки. Сварка — левым способом (рис. 28).

Сварку правым способом применять не следует в связи с низкой температурой плавления алюминия. Расплав из основного и при-

сачочного металлов следует систематически перемешивать присадочным пруток для разрушения пленки окислов и лучшего сплавления. Сварка шва проводится отдельными участками (1—6) длиной 50 мм каждый. Начинать сварку следует от средней точки шва в одном направлении, затем возвращаясь к исходной точке — середине шва, сваривать в противоположном направлении участок такой же длины. Затем от конца участка 1 сваривают участок 3 длиной 50 мм, после этого от конца участка 2 сваривают участок 4 той же длины и т. д. (рис. 29).

После сварки каждого участка поверхность сварки необходимо заглаживать до уровня поверхности основного металла нагретым куском проволоки диаметром 6 мм с расплюснутым концом в виде

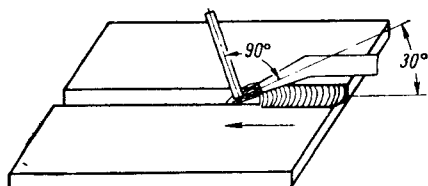


Рис. 28. Углы наклона горелки и присадочного прутка

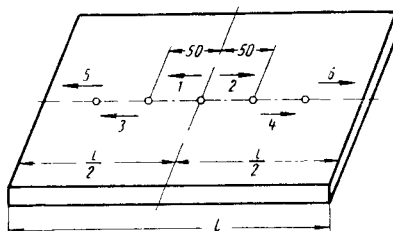


Рис. 29. Последовательность сварки шва

лопаточки. Следует опасаться перегрева жидкого металла, так как перегретый расплав стекает из шва, не успев затвердеть. Сварку следует проводить за один проход горелкой, вторичное нагревание шва горелкой не допускается. Усиление на поверхности шва необходимо удалять, так как оно легко подвергается коррозии.

**Сварка листового алюминия.** Для снятия сварочных напряжений, с учетом большого коэффициента расширения (вдвое больше, чем у стали) следует проводить отжиг сложных деталей в специальных печах с температурой 300—350° С. Листовой алюминий сваривают почти такими же способами, как и литейный, однако имеются некоторые особенности.

Размешивание металла в шве применяется только при сварке металла толщиной свыше 5 мм, предварительный подогрев листового алюминия не применяется. При сварке левым способом металлов толщиной не свыше 2 мм горелке придают только поступательное движение, а толщиной более 2 мм — и колебательные движения (рис. 30). Продвижение горелки должно быть быстрым без задержек, так как расплавленный металл будет протекать, при этом образуются щели и шов оседает.

При сварке металла толщиной до 1,5 мм производят отбортовку листов на высоту, равную толщине листа. Отбортованные кромки листов с внутренней, наружной сторон и с торцов покрывают флюсом-пастой равномерным слоем с помощью кисти. Вдоль

шва на расстоянии 10 см устанавливают зажимы. Между зажимами делают сваркой прихватки отбортованных листов в отдельных точках, после этого зажимы снимают. Сварку начинают не с крайней точки шва, а на расстоянии 20—30 мм от конца точки *a*, передвигая пламя в одном направлении до противоположного

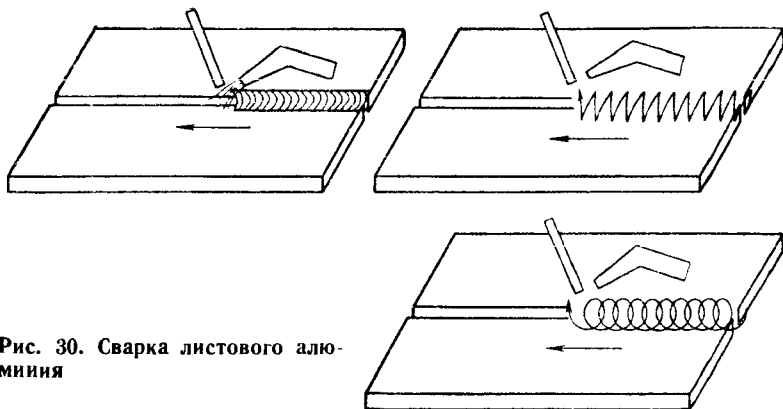


Рис. 30. Сварка листового алюминия

конца шва участка 1. Затем сварку заканчивают и вновь начинают на участке от исходной точки с продолжением до начального конца шва (рис. 31).

Сварку проводят левым способом. Горелку держат под углом не более 30°, так как при большем наклоне оси пламени возможен

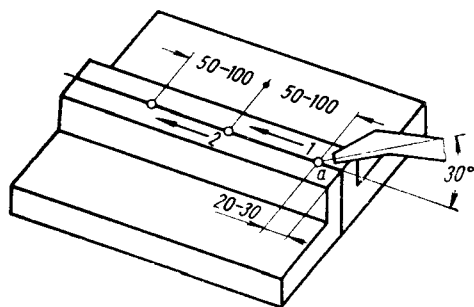


Рис. 31. Сварка тонколистового алюминия

прожог свариваемых листов. Во время сварки может появиться необходимость слегка отводить пламя от кромок для остывания металла и образования правильной формы усиления. Плоскую подкладку под шов устанавливать не следует, чтобы на обратной стороне расплавленного металла образовалось утолщение. Горелку следует передвигать вдоль шва со скоростью,

достаточной для расплавления загнутых краев; остановки могут повлиять на проплавление листов в околовшовных участках шва. Качество сварки проверяют по провару оборотной стороны листов, где на линии шва должно быть усиление. Утолщение по линии шва можно проковать молотком весом не более 0,5 кг, для придания одинаковой толщины.

При толщине листов свыше 1,5—2 мм наклон горелки увеличивают при толщине свыше 10 мм, угол наклона может быть равен

45°. Во всех случаях нужно правильно располагать свариваемый участок перед ядром пламени не ближе 6—10 мм (рис. 1, II и III), в зависимости от горючего газа, применяемого для сварки, и толщины листов.

При сварке тонких листов, например при ремонте автомобильных деталей, можно применять способ сварки с подготовкой кромок без отбортовки. В этом случае кромки соединяют встык и на всю линию накладывают узкую полоску шириной 5—10 мм, которая при расплавлении над линией шва создает соответствующее утолщение — усиление шва. В технологию сварки по этому способу входят и подготовительные операции, которые состоят в следующем.

Нарезанные полоски алюминиевого сплава промывают 5%-ным раствором серной кислоты, затем погружают во флюс и высушивают. Флюс должен остаться на всех плоскостях полосок. Кромки листов на расстоянии 10 мм с каждой стороны также очищают 5%-ным раствором серной кислоты и покрывают флюсом. При сварке необходимо хорошо скрепить края листов и полоски прижать к линии шва специальными приспособлениями (рис. 32).

Учитывая возможность появления коробления при сварке листовых конструкций, вблизи места сварного шва делают подгиб листа или зигзовку (рис. 26, г, д).

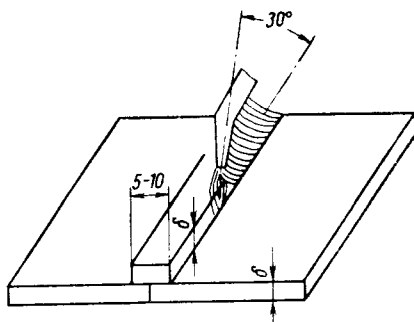


Рис. 32. Технология сварки тонких листов при ремонтных работах

## СВАРКА МЕДИ

Промышленная медь содержит около 99% чистой меди. Температура плавления меди  $1183^{\circ}\text{C}$ . В связи с повышенной склонностью к окислению медь сваривать трудно. Теплопроводность меди в 6 раз превышает теплопроводность стали, поэтому значительная часть тепла расходуется на соседние участки металла, прилегающие к шву. Мощность пламени при сварке меди должна быть больше, чем для сварки других металлов.

Медь в жидком состоянии быстро поглощает кислород из воздуха и из сварочного факела. Образовавшаяся закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  проникает в раскаленные зоны основного металла, приводя к пористости и хрупкости сварной области. При сварке чистота меди понижается. Это создает трудности для наварки второго слоя в шов, так как сварка меди с первым окисленным слоем невозможна.

Для сварочных работ лучше использовать медь с примесью кремния (кремнистая медь с содержанием до 0,3% Si). Присадочный материал в виде проволоки должен быть также из кремнистой меди. В состав некоторых присадочных прутков вводят и марганец. Такая медь называется раскисленной, так как примеси Si и Mn поглощают кислород, обеспечивая шву плотность при отсутствии хрупкости.

Свариваемость меди можно определить путем химического анализа состава меди или проковкой на наковальне небольшого куска меди, нагретого до светло-красного каления. Если при проковке на образце появляются надрывы, то такая медь не поддается сварке. При отсутствии надрывов медь можно сваривать. Сварной шов в раскисленной меди равнопрочен с основным металлом. При испытании такой меди на механическую прочность, разрыв происходит по шву или по основному металлу. Предварительный подогрев до темно-красного каления в связи с большой теплопроводностью меди необходим.

Закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , получаемая по реакции  $2\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{Cu}_2\text{O}$ , располагается или по границам зерен сварного шва, или по всему сечению расплава в виде отдельных включений.

Если закись меди располагается по границам зерен и количество  $\text{Cu}_2\text{O}$  достигает около 45%, то свариваемая медь приобретает красноточность — признак появления трещин в шве при красном калении. Закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , растворяясь в расплаве вызывает тягучесть и густоплавкость ванны, что приводит к плохой свариваемости. В сварочной ванне в результате химических реакций появляется сернистый газ  $\text{SO}_2$  и пары воды  $\text{H}_2\text{O}$ . Кроме того, от сварочного пламени в расплав меди попадают  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ . Такие включения создают пористость шва.

При тепловой и механической обработке сваренной области следует учитывать, что с повышением температуры до  $500^\circ\text{C}$

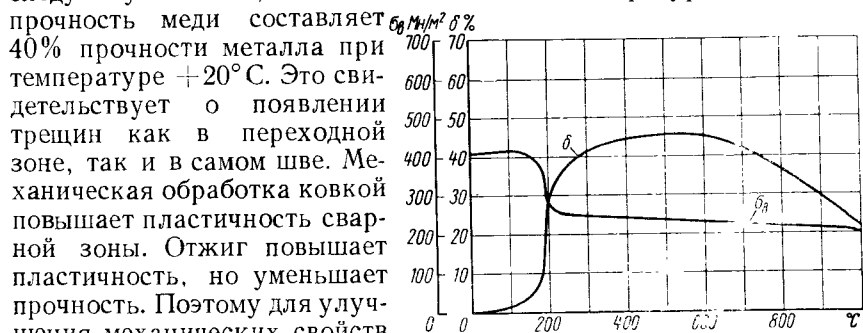


Рис. 33. Пластичность и прочность меди в зависимости от тепловой обработки

прочность меди составляет 40% прочности металла при температуре  $+20^\circ\text{C}$ . Это свидетельствует о появлении трещин как в переходной зоне, так и в самом шве. Механическая обработка ковкой повышает пластичность сварной зоны. Отжиг повышает пластичность, но уменьшает прочность. Поэтому для улучшения механических свойств шва рекомендуется одновременно проводить отжиг и проковку. Однако отжиг следует вести осторожно до  $600^\circ\text{C}$ . При высоких температурах около  $1000^\circ\text{C}$  металл шва приобретает крупнозернистое строение, а прочность и пластичность резко уменьшаются (рис. 33). В процессе сварки меди значительная часть тепла расходуется на нагревание участков металла, прилегающих к свариваемым кромок. Полезное тепло, расходуемое на расплавление металла, определяется по формуле:

$$Q_1 = qc(t_s - t_n) + qc_1,$$

где  $q$  — количество расплавляемого металла в  $\text{кг/м}$ ;  
 $c$  — теплоемкость меди, равная  $0,093\text{—}4,19 \text{ дж/град}$ ;  
 $t_s$  — температура ванны плавления меди, равная  $1183^\circ\text{C}$ ;  
 $t_n$  — начальная температура меди  $10\text{—}15^\circ\text{C}$ ;  
 $c_1$  — скрытая теплота плавления меди, равная  $43 \cdot 4,19 \text{ кдж/кг}$ .

Закись меди в больших количествах хорошо растворяется в расплавленной меди и выпадает при затвердевании, образуя эвтектику. Температура плавления закиси меди  $1255^\circ\text{C}$ , т. е. выше температуры плавления металла. Кислородная эвтектика при затвердевании расплавленной меди выпадает в последнюю очередь, располагаясь по границам зерен металла. Эта эвтектика при содержании кислорода в меди в сотых долях процента вызывает

заметное уменьшение прочности и вязкости расплавленного металла шва. При содержании закиси меди свыше 0,45% и расположений ее по границам зерен, прочность шва снижается, а медь приобретает красноломкость. При сварке следует предохранять от окисления, а также раскислять и ошлаковывать имеющиеся и образующиеся тугоплавкие окислы.

Из-за возникающих напряжений при падении прочности в сварном шве и переходной зоне образуются трещины. Для улучшения механических свойств и предотвращения трещин, разрабатывают специальную технологию наложения сварных швов с применением тепловой и механической обработки наваренного металла. Механическая обработка повышает прочность в результате изменения крупнозернистого строения на волокнистое, но снижает пластичность. Тепловая обработка в виде отжига проводится до 600° С, так как при температуре 1000° С металл приобретает крупнокристаллическое строение.

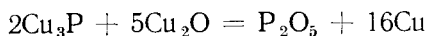
**Присадочный металл.** Учитывая сложность технологического процесса сварки меди, для заполнения разделки шва следует обращать внимание на геометрическую форму прутка. Существенное значение имеет диаметр присадочной проволоки, зависящий от толщины свариваемого изделия. При увеличенном диаметре проволоки основной металл расплавляется раньше, кромки шва перегреваются, присадочный металл плавится с запаздыванием из-за большого его объема металла. При малом диаметре прутка присадочный металл, расплавляясь раньше, будет ложиться на «холодный» основной. В результате произойдет не сварка, а «склеивание». В этом случае перегревается присадочный металл. Зависимость диаметра сварочной проволоки от толщины свариваемого металла приведена ниже:

Толщина основного металла в мм . . . . .	1,5	1,5—2,5	2,5—4	4—8	8—15	Св. 15
Диаметр присадочной проволоки в мм . . . . .	1,5	2,0	3,0	5,0	6	8

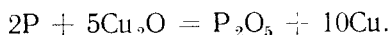
При диаметре присадочной проволоки менее 1,5 мм происходит пережог металла. Поверхность проволоки должна быть совершенно чистой. Температура плавления присадочного металла не должна быть ниже температуры основного металла, чем на 100°, химический состав присадочного металла имеет большое значение в получении плотного качественного шва. Так, фосфор раскисляет закись меди, понижает вязкость металла, улучшая его текучесть; серебро улучшает текучесть наваренного металла, снижая температуру плавления меди в шве.

Вводить отдельные компоненты в присадочную проволоку следует в зависимости от влияния каждого компонента на другие элементы. Например, проволока, содержащая кремний, не пригодна для сварки, но кремний в сочетании с фосфором снижает сильную текучесть присадочного металла, позволяя проводить

сварку меди в любом положении при образовании небольшого объема сварочной ванны. Ко всем элементам, вводимым в присадочный металл, предъявляются следующие требования. Они не должны повышать температуру плавления меди, иметь большего сродства к кислороду, чем медь; окислы их не должны растворяться в меди, а имея меньший удельный вес, чем медь, должны всплывать на поверхность ванны в виде шлаков. Наиболее распространенные присадочные проволоки: а) для толщины основного металла 1—2 мм проволока из чистой электролитической меди (99,9% Cu); марка М-1; б) для толщины основного металла 3—5 мм проволока с содержанием 0,2% P; в) фосфористая проволока с содержанием 0,1—0,6% P может содержать 0,15—0,3% Si; г) для толщин основного металла свыше 5 мм, можно применять присадочную проволоку с содержанием до 0,2% P и 5% Ag. Фосфор как компонент присадочной проволоки влияет на металлургический процесс сварки, раскисляя закись меди по реакциям



или



$\text{P}_2\text{O}_5$  легко удаляется из ванны шва в виде паров или в виде шлака — соединения  $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{CuO}$ . Количество фосфора, подаваемого в расплав, не должно превышать 0,1—0,5% по весу, с учетом того, чтобы концентрация фосфора, оставшегося в ванне после реакции, была в пределах 0,001—0,002% по весу. Фосфор понижает вязкость металла, улучшает его текучесть, чем облегчает удаление газов и всплывание на поверхность ванны посторонних примесей шлака.

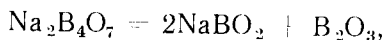
В медном сплаве серебро не является раскислителем, так как при температуре 300° С  $\text{Ag}_2\text{O}_3$  распадается на свободные кислород и серебро, однако серебро снижает температуру плавления меди и значительно улучшает ее текучесть. Одновременно присадочным металлом определенного состава следует иметь флюс, улучшающий металлургический процесс сварочной ванны.

**Флюс.** Флюс должен предохранять металл ванны шва от окисления, раскислять образовавшиеся окислы с переводом нераскисленных окислов в шлак и улучшать плавление или текучесть металла расплава шва.

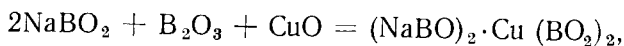
При температуре 400° С медь начинает усиленно окисляться, особенно на участках, прилежащих к шву и к зоне термического влияния. Нанесенный на металл и расплавленный с образованием тонкого слоя на поверхности ванны флюс разрушает тугоплавкие пленки окислов, возникшие на поверхности отдельных капель металла, составляющих ванну шва. Тонкая пленка флюса предохраняет расплав от дальнейшего окисления, способствуя плавлению и текучести меди в ванне. Толщина слоя флюса должна быть достаточной, для того чтобы полностью растворить окислы. Как

и присадочный металл, флюсы должны иметь температуру плавления ниже основного и присадочного металла и меньший удельный вес. Приготавливать флюс следует в виде тонкого порошка, просеянного через сито диаметром 0,1 мм, но не в виде крупинок.

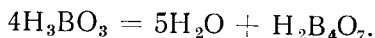
Из рекомендуемых флюсов следует указать на следующий: обезвоженная бора 70%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; борная кислота 10%  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; поваренная соль 20%  $\text{NaCl}$ . При нагревании в зоне сварки бора распадается на соль метаборной кислоты и борный ангидрид по реакции



которые соединяясь с окисью меди



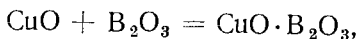
образуют двойную соль натрия и меди метаборной кислоты. В результате сплав двух солей  $(\text{NaBO})_2 \cdot \text{Cu} (\text{BO}_2)_2$  всплывает в виде шлака. Борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  при нагревании до  $140^\circ \text{C}$  переходит в тетраборную по реакции



При прокаливании при температуре свыше  $580^\circ \text{C}$  образуется борный ангидрид



который, соединяясь с окислами меди, образует борнокислую соль



в виде легкого и легкоплавкого шлака. Можно рекомендовать флюс: 15%  $\text{NaHPO}_4$  (древесный уголь порошок, просеянный через сито диаметром ячейки 0,2 мм) 20% С; 15%  $\text{SiO}_2$ ; 50%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ .

Так как флюсы, составленные на основе бору, могут иметь кристаллизационную воду  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot (10\text{H}_2\text{O})$ , то при нагреве бора начинает пузыриться в момент выделения воды, а при температуре  $741^\circ \text{C}$  плавиться с образованием корки в виде стекловидной массы, трудно отделяемой от металла. Поэтому в состав флюса прибавляют углекислый натрий, углекислый калий, фосфорнокислый натрий или хлористый натрий, который улучшает растворение окислов металла бурой.

**Сварочное пламя.** В связи с более высокой теплопроводностью меди, чем стали при сварке меди следует применять горелки большой мощности и подкладки из асбеста. Мощность горелки, работающей на природном газе, для металла толщиной 1—10 мм составляет 210 л/ч, для толщин свыше 10 мм — 280 л/ч на 1 мм толщины. Сварку можно проводить двумя горелками (одна сварочная, другая подогревательная) мощностью каждая 140—150 л/ч на 1 мм толщины. При двух горелках равномерно регулируют

приток тепла, особенно в начале сварки, к концу сварки подогревательную горелку выключают (рис. 34).

При использовании природного газа для сварки используется зона *c* (рис. 35). Появляющаяся при сварке закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  при застывании шва образует в металле эвтектику, которая располагается в меди в виде мелких включений по границам кристаллов меди. Закись меди, расплавляясь, создает на границах кристаллов меди жидкую прослойку, по которой происходит скольжение зерен с появлением трещин.

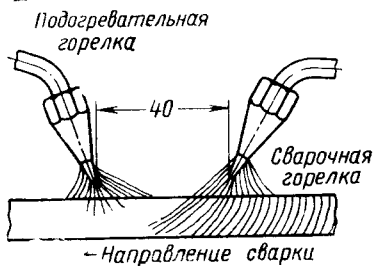


Рис. 34. Схема работы двух горелок

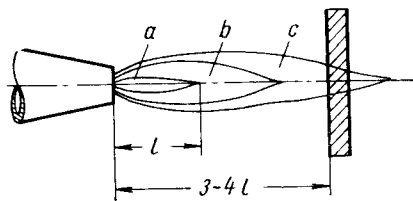
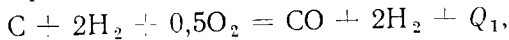
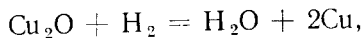


Рис. 35. Зона сварки природным газом

Медь толщиной более 2 мм следует сваривать зоной сварочного факела. Во второй зоне выделяется водород по реакции



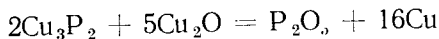
который, соединяясь с  $\text{Cu}_2\text{O}$



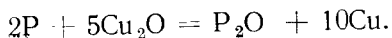
образует водяной пар и губчатую медь. Водяной пар не диффундирует через нагретую медь толщиной более 2 мм; внутри металла возрастает давление и в шве появляется масса мелких трещин (волосных), характеризующих водородную болезнь. Для предотвращения образования пористости от газообразных примесей при сварке изделий толщиной до 2 мм, сварку следует вести зоной *b* пламени с наличием в ней окиси углерода. В этом случае происходит раскислительная реакция



Ванна получается чистой, легкотекучей, и процесс сварки проходит спокойно без кипения. Фосфор в присадочной проволоке способствует раскислению. Так, при содержании в проволоке: 0,2% P; 0,2—0,5% Ag; остальное — Cu реакция проходит в следующей последовательности:



или



Фосфор понижает вязкость металла и, следовательно, улучшает текучесть его, облегчая этим удаление газов и всплывание на поверхность ванны посторонних примесей.

При сварке ацетиленом в меди образуются поры и раковины, главным образом за счет серного ангидрида, легко поглощаемого медью. При высоких температурах ацетиленового пламени (до  $3000\text{--}3200^\circ\text{C}$ ) уменьшается прочность меди, тогда как пламя природного газа ( $2000\text{--}2100^\circ\text{C}$ ) создает меньше опасности перегрева металла шва.

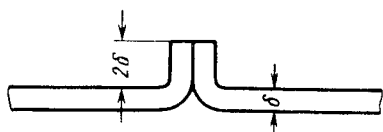


Рис. 36. Подготовка кромок при толщине металла до 2-х мм

При вынужденных перерывах пламя следует отвести постепенно и медленно, без отрыва пламени, чтобы расплавленный металл затвердел и охладился до температуры  $400^\circ\text{C}$ . В случае коротких перерывов, например для проковки металла, нагретый металл следует держать под защитой зоны с сварочного факела.

Предварительная подготовка меди к сварке состоит в очистке кромок металлической щеткой, скосе кромок — разделке шва,

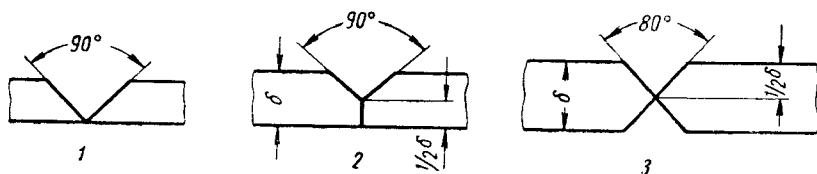


Рис. 37. Разделка кромок, вызывающая сгорание граней

укладке изделия на рабочем месте, в устройстве теплоизоляционных подкладок. Очищать следует свариваемые кромки и поверхность на расстоянии 15 мм от них. Для листов толщиной до 2 мм необходима отбортовка с высотой бортов, равной двойной толщине листа (рис. 36). При толщине металла до 4 мм применяется сварка без скоса кромок с зазором до 1—3 мм. Для листов толщиной больше 4 мм применяется V-образная или X-образная разделка кромок. X-образную разделку могут сваривать два сварщика одновременно, обеспечивая защиту ванны от окисления, а также ускоряя процесс сварки, не допуская перегрева. Кроме этого, достигается двустороннее усиление шва. Скос кромок как подготовительная операция перед сваркой необходим для предотвращения сгорания граней и обеспечения соответствующего провара при сварке. Разделка 1, 2, 3 не рекомендуется (рис. 37). При разделке

1, 3 будет сгорание граней, а при разделке 2 возможен непровар. Рекомендуются разделки, показанные на рис. 38.

Для уменьшения потерь тепла применяют асбестовые прокладки (рис. 39). Если сваривают цилиндрическую обечайку, то под продольный шов подкладывают трубу, покрытую асбестом (рис. 40). Для удаления из асбеста влаги его перед укладкой следует прогреть горелкой. Для природного газа

богатого газа  $\frac{V_k}{V_m} = 1,5$ . Зона с сварочного факела при природном газе богата углекислым газом, который предохраняет шов от кислорода воздуха, не допуская образования окислов в виде  $\text{Si}_2\text{O}$  и  $\text{SiO}$ . Для защиты шва от окисления пламя рекомендуется направлять перпендикулярно к свариваемой поверхности (рис. 41). В этом случае сварочный факел равномерно распределяется по свариваемой зоне и не выдувает расплавленную медь на нерасплавленные еще участки кромок шва.

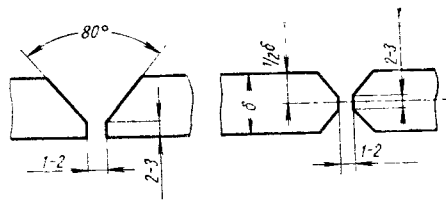


Рис. 38. Рекомендуемые разделки кромок

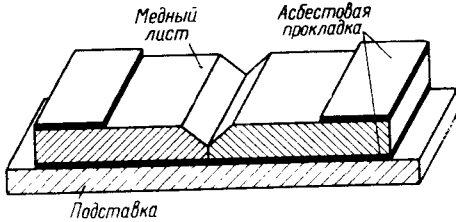


Рис. 39. Приспособления против потерь тепла при сварке

более  $0,3 \text{ Мн/м}^2$  ( $3,0 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) и природного газа  $0,05 - 0,1 \text{ Мн/м}^2$  [ $(0,5 - 1,0) \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ]. В случаях предварительного подогрева с целью ускорения процесса сварки и уменьшения расхода газов, а также уменьшения действия нагрева на холодные места

Давление кислорода не более  $0,3 \text{ Мн/м}^2$  ( $3,0 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) и природного газа  $0,05 - 0,1 \text{ Мн/м}^2$  [ $(0,5 - 1,0) \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ]. В случаях предварительного подогрева с целью ускорения процесса сварки и уменьшения расхода газов, а также уменьшения действия нагрева на холодные места

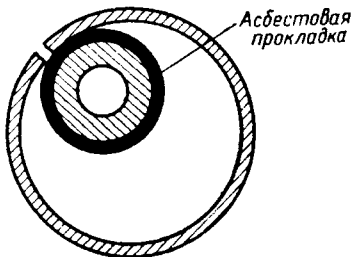


Рис. 40. Схема сварки цилиндрических обечайек

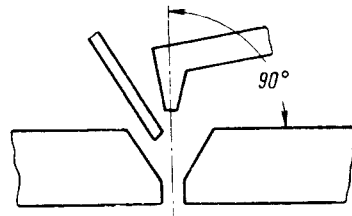


Рис. 41. Расположение горелки с предохранением от окисления

изделия, особенно для литых изделий, необходимо учитывать, что медь при нагреве становится хрупкой и поворачивать ее следует осторожно. Для палубных — горизонтальных швов — следует при-



обходимого зазора между листами устанавливают клин *C* из красной меди на расстоянии  $\frac{l}{2}$ , передвигаемый в процессе сварки (рис. 45). После сварки до точки *m* сварку продолжают от точки *n* до точки *k* в противоположном направлении (по стрелке).

Фиксирование зазора между листами с помощью прихваток не допускается, так как их прочность на разрыв не одинакова с прочностью основного металла (наплавленный литой металл  $\sigma_{p(n)} = (10 \div 15) 9,8 \text{ Мн/м}^2$ , основной металл  $\sigma_{p(o)} = (20 \div 25) \cdot 9,8 \text{ Мн/м}^2$ . Такая технология последовательности направления горелки и наложения шва объясняется следующим. Если начинать сварку не с точки *n*, а с точки *k* и продолжать ее по всей длине шва до точки *m*, то произойдет разрыв шва. Когда сварной шов дой-

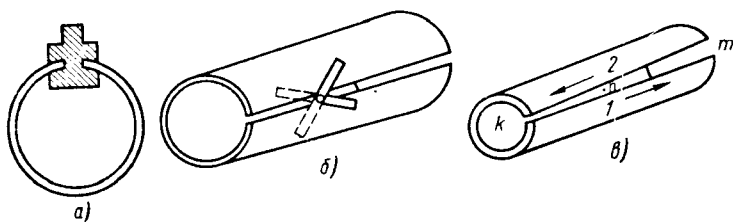


Рис. 46. Сварка по длине обечаек

дет до точки  $p$  ( $\sim \frac{l}{2}$ ), то на участке шва *kn* металл застынет и при охлаждении прилегающих кромок основного металла появится внешняя усадка, вызывающая усадочные напряжения по стрелкам *x—x*. Однако у точки *p* металл, застывая, будет испытывать внутреннюю усадку с напряжениями *y—y*. Наличие растягивающих напряжений *x—x* на участке *kn* и сжимающих *y* точки *p* создадут условия для разрыва наваренной части вдоль шва от точки *k*, так как прочность шва в нагретом состоянии примерно в 2 раза меньше прочности основного металла. При сварке цилиндрических изделий (рис. 46) сварщик горелкой прогревает кромки в точке *n* и одновременно присадочную проволоку. Насыпанный на кромки шва и на участки, прилегающие к шву на расстоянии 25—30 мм, флюс при расплавлении тонкой пленкой покрывает металл, предохраняя его от окисления.

Сварку следует вести производя колебательные движения горелкой и присадочной проволокой и систематически подавая флюс присадочным прутком до спокойной поверхности ванны. При избытке флюса на поверхности ванны начинает кипеть металл. Сварку ведут от *n* к *m* (стрелка 1) участками длиной 75—100 мм с медленным отводом горелки вверх, не обнажая расплавленного металла и прогревая прилегающие к шву зоны. Этим достигается замедленное остывание сваренного участка и уменьшение напряжений. Такими участками ведут сварку до точки *m*, а затем от *n*

к  $k$  (стрелка 2). Если нет опасности появления трещин, то можно вести сварку на всем протяжении от  $n$  к  $m$ , а затем от  $n$  к  $k$ .

В технологии сварки меди значительное место уделяется удержанию свариваемых кромок на одной плоскости или под углом в зависимости от заданных размеров. Так, для фиксации в одной плоскости кромок листов, изогнутых по форме изделия, следует крепить эти кромки болтами или шпильками с двухсторонними планками (рис. 47). При сварке цилиндрических обечаек кромки разводят под углом, как и плоские листы с выполнением технологии сварки, как указано выше (рис. 44). Обечайку перед сваркой укладывают на приспособление с асбестовыми прокладками.

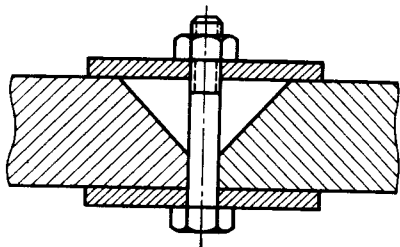


Рис. 47. Фиксация в одной плоскости кромок перед сваркой

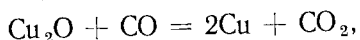
Для поддержания кромок в одной плоскости рекомендуется изготовить специальную державку, которую закладывают между кромками и передвигают каждый раз на расстояние от ванны шва не менее, чем на 100—150 мм (рис. 40).

Сварку по длине обечаек можно проводить или участками (как плоские швы) с проковкой и отжигом, или непрерывным швом по схеме на рис. 46, производя проковку и отжиг всего шва после сварки. Цилиндрические обечайки можно сваривать вертикальным швом, выполняя общую технологию наложения швов снизу вверх. При сварке круговых швов обечаек кромки крепятся болтами с накладками (см. рис. 47).

Так как микроструктура сварного шва приобретает крупнозернистое строение и резко отличается от микроструктуры основного металла, то для улучшения структуры и механических свойств шва следует применять проковку, отжиг и быстрое охлаждение в воде или струе холодного воздуха. Подготовительные операции улучшают качество металла шва. Так, например, перед проковкой под сваренную область кладут стальную опорную подкладку, ковку проводят молотком с полусферическим бойком весом не более 0,5 кг.

Тонкие листы толщиной 1—5 мм проковывают в холодном состоянии. Листы толщиной свыше 5 мм перед проковкой нагревают до температуры 300—400° С и в нагретом состоянии проковывают. После проковки медный шов становится твердо-жестким. Поэтому следует по окончанииковки провести отжиг горелкой с нейтральным пламенем (для природного газа  $\beta = \frac{V_K}{V_M} = 1,5$ ) до температуры 500÷600° С. Затем иногда необходимо быстрое охлаждение водой с температурой 10—15° С или струей холодного воздуха (5—10° С). Такие операции улучшают структуру шва и

прилегающих зон, приближая ее к структуре основного металла. При сварке металла малых толщин 1—2 мм объем расплава бывает небольшим, время пребывания под действием сварочного пламени — коротким, мощность пламени — небольшой. При таком процессе сварки металл окисляется незначительно и восстановление окислов может проходить за счет окиси углерода сварочного факела по реакции



т. е. в этом случае сварка может быть проведена даже без флюса, если сварку проводить зоной *b*.

При толщинах металла больше 2 мм объем сварочной ванны увеличивается; под сварочным факелом находится жидкий металл более длительное время; количество окислов увеличивается и сварочный факел при наличии газов восстановителей типа СО не может провести раскисление полностью. Поэтому в этих случаях обязательно применение флюсов.

При выборе присадочного металла необходимо, во-первых, определять диаметр присадочной проволоки в зависимости от толщины основного металла (см. табл. 26). Применять присадочную проволоку диаметром менее 1,5 мм не следует в связи с опасностью пережога металла. Добавочные элементы в присадочные медные прутки должны создавать быстрое плавление, раскисление ванны. Отдельные элементы необходимо вводить в сочетании с другими.

Лучшими компонентами считается фосфор и литий, а также титан, сурьма, цинк, никель и серебро. Кремний, как единственная реагирующая примесь, может сделать непригодным присадочный металл. Однако кремний, введенный в фосфористую проволоку, снижает текучесть, уменьшает объем ванны и позволяет проводить сварку в различных положениях разделки шва.

## СВАРКА БРОНЗЫ

Сплавы, в которых основными частями являются медь и олово, называются бронзами. Кроме олова, в состав сплава входят и другие компоненты, которые частично заменяют дефицитное олово, а главное сообщают бронзе различные качества и свойства. К таким компонентам — добавкам относятся: алюминий, кремний, марганец, цинк, фосфор, никель и другие элементы. Бронзы можно разделить на две группы: 1) оловянистые — это сплавы меди с оловом или более сложные оловянистомедные сплавы с добавками фосфора, свинца, никеля, цинка и других элементов; 2) специальные — это двойные или многокомпонентные сплавы на медной основе, с добавками алюминия, кремния, марганца, железа, никеля, фосфора и других элементов.

Оловянистые бронзы применяются для фасонного и кокильного литья и для деталей, работающих при высоком удельном

давлении при ударных и переменных нагрузках в химическом и общем машиностроении. Эти бронзы отличаются высокими антикоррозионными и литейными свойствами (рис. 48). В этих сплавах содержится 3—14% Sn и очень редко до 20% Sn. Оловянистые бронзы могут обрабатываться давлением и литьем. В бронзах, обрабатываемых давлением, содержится до 8% Sn и часто — добавки в виде фосфора, цинка или свинца. Так, оловянно-цинковая бронза Бр.ОЦ 4-3 с содержанием 3,5—4,0% Sn и 2,7—3,3% Zn хорошо поддается горячей и холодной обработке давлением. Оловянно-фосфористая бронза Бр.ОФ 6-0,15 с содержанием 6,0—

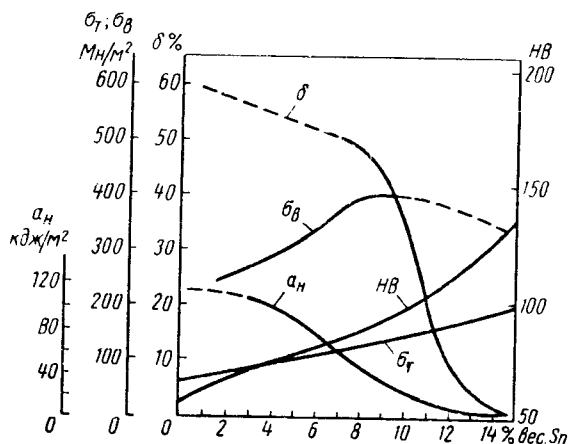


Рис. 48. Механические свойства бронзы в зависимости от процентного содержания олова

7,0% Sn и 0,1—0,25% P также хорошо поддается прессованию в горячем состоянии, прокатке и волочению в холодном состоянии без нагрева. Бронза Бр.ОЦС 4-4-2,5 с содержанием 3,0—5,0% Sn и 1,5—3,5% Pb может обрабатываться лишь в холодном состоянии.

Литейные свойства оловянистых бронз характеризуются малой объемной усадкой, что весьма ценно при сварке конструкций с резкими переходами по толщине навариваемого металла. Малая чувствительность оловянистых бронз к перегреву ванны и образованию газовых раковин является положительным свойством этих сплавов при сварочных процессах. Однако оловянистые бронзы при образовании расплава склонны к ликвации при застывании металла шва. В этом случае легкоплавкая составляющая, обогащенная оловом, под влиянием выделяющихся газов и объемных изменений перемещается к зонам термического влияния от центра расплавленного объема металла в шве, что вызывает мелкую междендритную пористость и неравномерность химического состава из-за небольшой жидкотекучести меднооловянистых спла-

вов. Такое явление при резко выраженной ликвации на поверхности застывшего металла сопровождается появлением белых пятен так называемого «оловянного пота» и большой хрупкости зон, содержащих 15--18% Sn. Образование мелкой пористости, рассеянной равномерно между дендритами по всему сечению шва, объясняется особыми физическими свойствами оловянистых бронз, имеющих большой интервал между точками ликвидуса и солидуса. В связи с этим при затвердевании не создается предпосылок к образованию концентрированной усадочной раковины. Общая объемная усадка металла шва у оловянистых бронз небольшая и не вызывает опасных сварочных напряжений. Однако получить плотный металл в шве по всему сечению трудно, это затрудняет сварку сосудов для жидкостей и пр.

Бронзы специальные в зависимости от добавок называются алюминиевыми, кремнистыми, марганцовистыми и т. д. Эти бронзы обрабатываются как давлением, так и литьем. Обработка давлением специальных бронз возможна в горячем и холодном состояниях. Специальные бронзы являются полноценными заменителями оловянистых бронз. Алюминиевые бронзы имеют самое большое распространение среди специальных бронз. Однофазные сплавы меди с алюминием отличаются высокой пластичностью и хорошей обрабатываемостью давлением. Расплав шва у этих бронз обладает жидкотекучестью, не склонен к ликвации, но имеет повышенную объемную усадку, что создает дополнительные сварочные напряжения. При высоком содержании алюминия двухфазные сплавы имеют высокую прочность и твердость при пониженной вязкости.

В зависимости от химического состава алюминиевые бронзы обладают более высокими механическими свойствами, чем оловянистые бронзы (рис. 49). Кроме высоких технологических свойств, алюминиевые бронзы имеют хорошие антифрикционные свойства, морозостойки, немагнитны и не дают искр при ударах. Алюминиевые бронзы трудно поддаются пайке как твердыми, так и мягкими припоями.

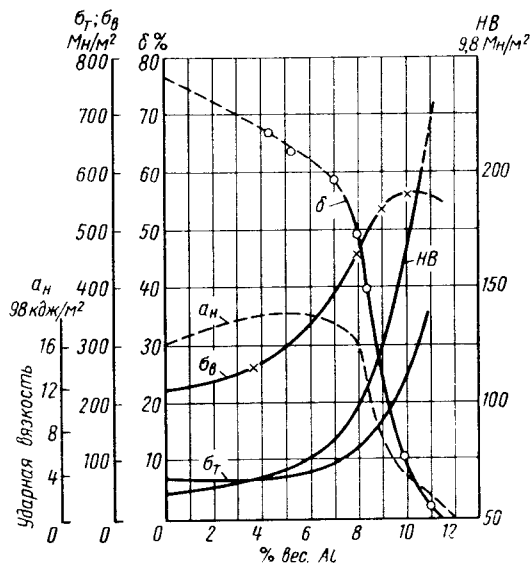


Рис. 49. Механические свойства алюминиевых бронз

**Железо** в оловянистой и алюминиевых бронзах растворяется в твердом состоянии в незначительном количестве. В оловянистой бронзе при затвердевании сплава железо при содержании его до 0,01% выделяется в виде самостоятельной фазы. Железо значительно измельчает структуру, повышает твердость и предел прочности. Однако в оловянистых бронзах железо снижает химическую стойкость и ухудшает технологические свойства. При обработке давлением в оловяннофосфористых сплавах содержание железа не должно быть более 0,03%. В деталях, полученных литьем, допускается до 0,4% Fe. При повышенном содержании железа в алюминиевых бронзах оно выделяется в виде  $Al_2Fe$  — интерметаллического соединения. Железо повышает механические свойства алюминиевых бронз, задерживая рекристаллизацию и измельчая зерно. Кроме того, железо устраняет явление самопроизвольного отжига, приводящего к хрупкости сварного шва. В других бронзах (например, марганцевистой, кремнистой, бериллиевой и т. д.) железо является вредной примесью, снижающей физико-химические свойства, особенно важные при сварке.

**Никель** значительно растворяется в твердом состоянии в оловянистой бронзе, улучшает литейные свойства сварного шва, повышает механические свойства, измельчает зерно и улучшает антикоррозийные свойства при устранении явления, связанного с рекристаллизацией. В специальных бронзах никель в алюминии растворяется мало (при температуре  $560^\circ C$  0,02% Ni). В алюминиевых бронзах никель повышает прочность, жаростойкость и антикоррозионную устойчивость и улучшает условия технологической обработки давлением.

**Цинк** в оловянистых бронзах значительно растворяется, улучшает литейные технологические свойства сплавов. В оловяннофосфористых сплавах количество цинка может достигать до 2%. В специальных медноалюминиевых сплавах допустимо 0,5—1,5% Zn, так как он отрицательно влияет на технологические свойства сплавов, понижая их антифрикционные качества.

Марганец в специальных алюминиевых бронзах значительно растворяется в твердом состоянии. В алюминии растворимость достигает 1,95% Mn при температуре  $668^\circ C$  и 0,36% Mn при  $500^\circ C$ . Марганец в алюминиевых бронзах повышает антикоррозийные и технологические свойства сплава.

**Свинец** в оловянистой бронзе незначительно растворяется в твердом состоянии и при затвердевании сплава выделяется отдельной фазой, располагаясь между дендритами в виде темных включений. В литейных подшипниковых оловянистых бронзах содержится 20—30% Pb. Свинец повышает плотность сплава, улучшает обработку резанием, но ухудшает механические свойства. В специальной алюминиевой бронзе свинец практически не растворяется и является вредной примесью, сообщая хрупкость при горячей прокатке. При отливке подшипников и втулок при-

меняются алюминиевые бронзы со свинцом, обладающие повышенными антифрикционными свойствами.

**Фосфор** в оловянистой бронзе растворим в твердом состоянии ~ 0,2%. При 14,1% P образуется химическое соединение  $Cu_3P$  с температурой плавления 707° С. Появляющаяся в тройном сплаве эвтектика при содержании: 80,7% Cu, 14,8% Sn и 4,5% P имеет температуру плавления 628° С. Фосфор влияет на механические свойства сплава. Для оловянистой бронзы, обрабатываемой давлением, содержание фосфора не должно превышать 0,5%. Эти же бронзы с содержанием более 0,3% P не поддаются горячей прокатке и легко разрушаются вследствие того, что при температуре горячей прокатки фосфидная эвтектика находится в жидком состоянии. Фосфор повышает жидкотекучесть сплава, что имеет большое значение при литье и при сварочном процессе. Фосфиды придают сплаву высокую твердость, износостойчивость и хорошую притираемость, поэтому в антифрикционных литейных бронзах содержание фосфора доходит до 1,2%. В специальных бронзах фосфор понижает механические и технологические свойства.

**Бериллий, хром, цирконий и кадмий** добавляют в небольшом количестве в специальные бронзы. В меди в твердом состоянии они растворяются незначительно. Присутствие их в сплаве сильно повышает механические свойства, создает условия для хорошей пайки и сварки. Такие сплавы поддаются обработке давлением в горячем и холодном состояниях. Бериллиевая бронза как высокопрочный и нескрящий сплав применяется при изготовлении специального инструмента и пружинящих деталей специального назначения. Хромистые бронзы, обладающие высокой электропроводностью, жаростойкостью и твердостью, применяются для изготовления контактов в электромашиностроении и пр. Кадмиевые бронзы применяются для троллейных, телеграфных и телефонных проводов и как присадочный металл — для сварки алюминиевых бронз.

**Сурьма, мышьяк, висмут, сера** для специальных бронз, алюминиевых и пр. являются вредными добавками, понижающими технологические и механические свойства сплавов.

**Кислород** в оловянистых литейных бронзах содержится в виде ангидрида оловянной кислоты  $SnO_2$  весьма твердой и хрупкой составляющей сплава, снижающей антифрикционные свойства. Ангидрид оловянной кислоты превосходит по твердости мартенсит, сильно изнашивает и разрушает шейки валов, если содержится в составе подшипниковых сплавов оловянистых бронз.

Удовлетворительно свариваемые бронзы следующие: оловянно-свинцовая бронза Бр.ОС 8-12, оловянно-свинцовая бронза Бр.ОС 5-25, оловянно-фосфористая бронза Бр.ОФ 10-1, оловянно-цинковая бронза Бр.ОЦ 10-2, оловянно-цинково-свинцово-никелевая бронза Бр.ОЦСН 3-7-5-1, оловянно-цинково-свинцовая бронза Бр.ОЦС 5-5-5, алюминниво-железная бронза Бр.АЖ 9-4,

алюминиево-железно-никелевая бронза Бр.АЖН 10-4-4, алюминево-железно-марганцевая бронза Бр.АЖМц 10-3-1,5, алюминево-марганцевая бронза Бр. АМц 9-2, свинцовая бронза Бр.СЗО.

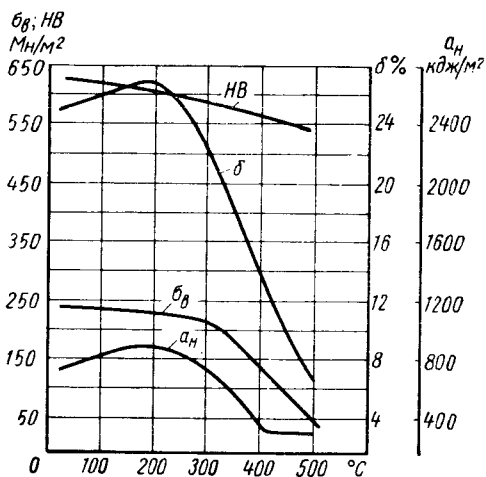


Рис. 50. Изменение механических свойств бронз в зависимости от температур

Характеристика наиболее распространенной оловянно-цинковой бронзы Бр.ЦО 10-2 с хорошими литейными и механическими свойствами дана ниже (рис. 50):

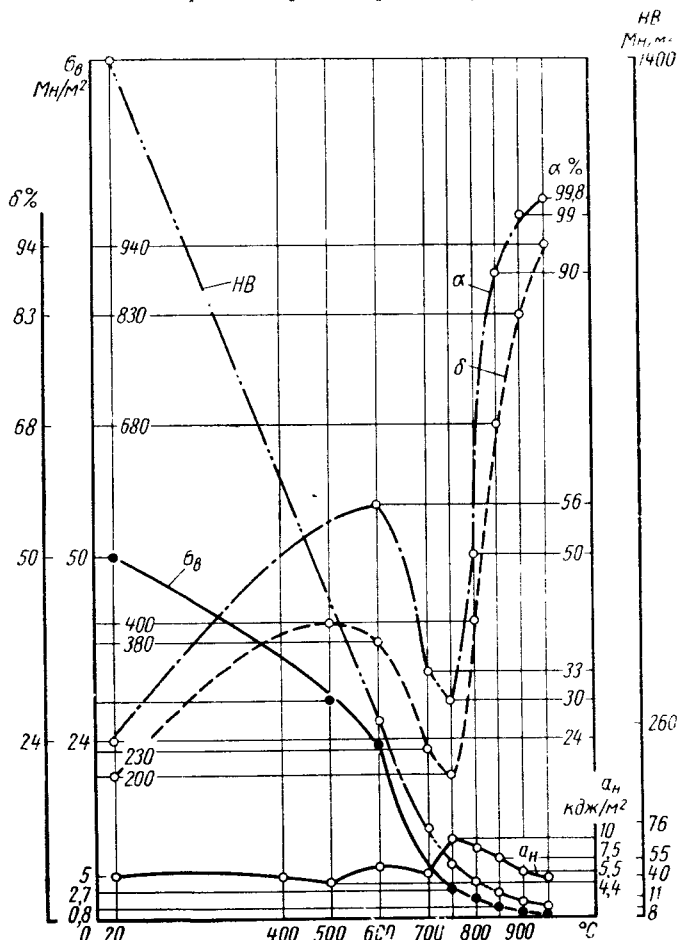
Температура плавления в °С . . . . .	1015
Плотность в Мг/м³ . . . . .	8,5
Теплопроводность в вт/м·град . . . . .	0,132·418,7
Предел текучести в Мн/м² . . . . .	18·9,8
Предел прочности при растяжении в Мн/м² . . . . .	(20 ÷ 25)·9,8
Относительное удлинение в % . . . . .	2—10
Твердость по Бринеллю в Мн/м² . . . . .	(80 ÷ 90)·9,8

Из бронз, не содержащих олова, широко применяется в общем машиностроении и авиамоторостроении бронза Бр.АЖМц 10-3-1,5; ниже дана характеристика этой бронзы:

Верхняя критическая точка в °С . . . . .	1040
Плотность в Мг/м³ . . . . .	7,5
Теплопроводность в вт. м·град . . . . .	0,14·418,7
Предел прочности при растяжении в Мн/м²:	
прутки, трубы . . . . .	60·9,8
литье в кокиль . . . . .	50·9,8
Относительное удлинение в % . . . . .	20
Предел пропорциональности в Мн/м²:	
прутки и трубы . . . . .	16·9,8
литье в кокиль . . . . .	15·9,8
Предел текучести в Мн/м² . . . . .	19·9,8
Твердость НВ при 20° С . . . . .	(120 ÷ 240)·9,8

Изменение механических свойств бронзы Бр. АЖМц 10-3-1,5 в зависимости от повышенных температур представлено на рис. 51.

**Технология сварки.** Разрабатывая технологию сварки, необходимо учитывать изменение прочности свариваемого металла в отдельные моменты сварочного процесса. Несмотря на высокие литейные качества, бронза при нагреве теряет вязкость и стано-



**Рис. 51.** Зависимость механических свойств Бр. АЖ МЦ 10-3-1,5 от теплового воздействия сварочного пламени

вится хрупкой. Поэтому при сварке сотрясения, толчки, удары и даже собственный вес при перемещении детали могут привести к поломке свариваемого участка. Перед сваркой изделие необходимо тщательно устанавливать, закреплять в приспособлениях клиньями и другими прокладками для предупреждения сдвига и повреждения деталей. Поворачивать и передвигать изделия следует только после охлаждения области сварного шва ниже 600° С,

так как при температуре 600° С прочность бронзы равна около 20% прочности при нормальных условиях, а при более высоких температурах прочность еще ниже. Возникающие при сварке напряжения в связи с низкой прочностью нагретого изделия приводят к появлению трещин.

Для предотвращения снижения прочности изделия, появления трещин можно рекомендовать предварительный подогрев свариваемой детали до температуры не выше 500° С. Этот подогрев можно проводить на открытом горне с кольцевой горелкой для природного газа или сжиженного газа типа пропано-бутановой смеси. Детали весом до 20 кг можно предварительно не подогревать, ограничиваясь местным подогревом участка сварки сварочной горелкой. Все это необходимо для ускорения процесса сварки, так как при замедленном процессе расплавления металла шва может произойти ликвация в застывшем расплаве. При сварке оловянистые бронзы отличаются большой склонностью к ликвации в результате невысокой жидкотекучести. Кроме того, при застывании шва может образоваться мелкая междендритная пористость. Олово при расплавлении обладает склонностью к окислению в SnO и SnO<sub>2</sub>. Окисел SnO<sub>2</sub>, находясь в растворе металлической ванны, трудно удаляется, что приводит к пористости и ухудшению качества шва.

Несмотря на то что температура кипения олова 200° С, заметное испарение его начинается при 1200° С. Поэтому при сварке возможно испарение и сгорание олова. Выделяющееся олово под влиянием высокой температуры сгорает и образует на поверхности сварочной ванны серовато-белую пену. Бронза в жидком состоянии легко поглощает газы: при испарении олова возникает пористость шва. Для уменьшения сгорания олова и его окисления необходимо в состав присадочного металла вводить раскислители в виде алюминия, фосфора, марганца. Наиболее распространенный состав прутка: 95—96% Cu; 3—4% Sn; 0,25—0,4% P и др. При нагревании бронзы горелкой до температуры 500—600° С на поверхности детали появляются оловянные капли, которые при более высокой температуре сгорают, образуя белый осадок на поверхности металла. Максимальное выделение олова происходит при температуре 600° С. Окись олова, образующаяся на поверхности верхних слоев бронзы, приводит к ликвации.

При сварке бронзовых изделий необходимо вначале очистить от загрязнений свариваемые края. Затем подготовить кромки. При толщине металла до 5 мм никакого скоса кромок можно не проводить, устанавливая кромки с зазором 1—3 мм. При толщине 5—15 мм, для обеспечения расплавления кромок необходим скос кромок при толщине 5 мм на 30°, 5—10 мм на 40° и 10—15 мм на 45°. Часть кромок при V-образной подготовке остается внизу нескошенной, т. е. затупленной. Высота затупления равна  $\frac{1}{5} b$ . Между затупленными частями свариваемых кромок

оставляют зазор, равны  $\frac{1}{5} b$  (рис. 52). При отсутствии затупления в нижней части кромки острая грань будет пережигаться и образовавшиеся шлаковые включения приведут к непровару корня шва. Ввиду хрупкости бронзы в нагретом состоянии на металле толщиной более 15 мм делают X-образную разделку для двусторонней сварки и принимают меры предосторожности против перемещения свариваемых кромок. Целесообразно сварку вести одно-

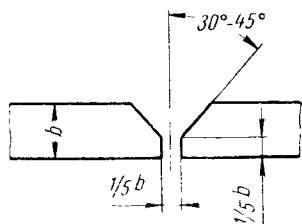


Рис. 52. Односторонняя разделка швов

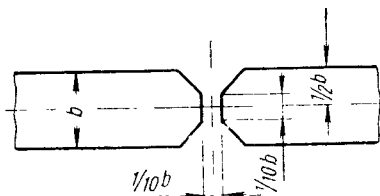


Рис. 53. Двусторонняя разделка кромок

временно двум сварщикам с двух сторон. Схема разделки X-образной подготовки приведена на рис. 53.

Затупление при X-образной разделке посередине толщины листа необходимо для хорошего провара с двух сторон. При острой грани протекающий металл создает впечатление провара, в действительности же это пережженный металл в виде шлака остается внутри шва при сварке обратной стороны. Соединения впритык

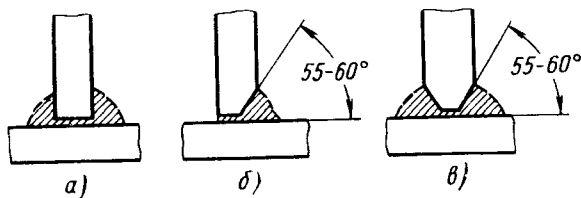


Рис. 54. Соединения впритык

или тавровые при толщине металла до 5 мм выполняют без скоса кромок (рис. 54, а). При толщине металла 5—15 мм делают односторонний скос под углом в 55—60° (рис. 54, б) и при толщине выше 15 мм — двусторонний с углом скоса с каждой стороны 55—60° (рис. 54, в). При стыковой сварке листов I и II разной толщины возникает опасность пережога более тонкого листа. При толщине листа I (рис. 55, а) не более 5 мм кромки не скашивают. Если толщина листа I больше 5 мм, то делают скос кромки под углом 45° на высоту толщины листа II (рис. 55, б).

Мощность горелки подбирают с учетом толщины свариваемых изделий по уравнению  $P = A \cdot b$ , где  $P$  — мощность пламени

в  $l/u$ ,  $b$  — толщина свариваемой детали в мм, для сварки бронзы природным сжатым газом  $A = 140$  и сжиженным газом  $A = 120$ . Угол наклона присадочного прутка равен  $45^\circ$ . Угол наклона горелки  $\alpha$  зависит от толщины свариваемого металла (рис. 56).

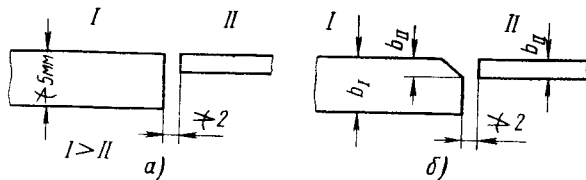


Рис. 55. Разделка кромок при сварке различной толщины детали

В начальный момент сварки, когда металл не нагрет, потери тепла за счет теплопроводности большие, поэтому угол наклона должен составлять  $90^\circ$ , а затем уменьшаться.

Движение горелки вдоль шва должно проходить непрерывными линиями или зигзагообразно, или спира-

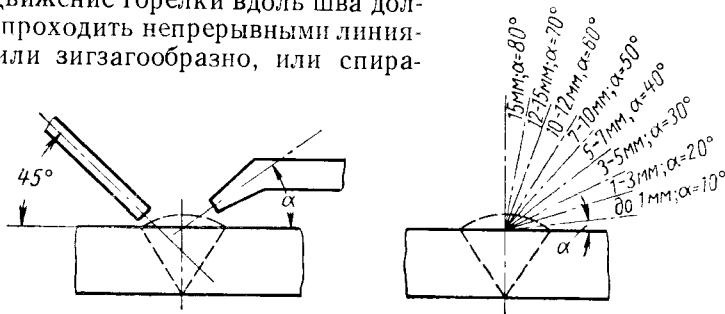


Рис. 56. Угол наклона горелки в зависимости от толщины свариваемого металла

леобразно с захватом обеих кромок и с перекрытием получающейся ванны расплава от каждого поперечного движения (рис. 57). Во избежание образования непровара присадочный пруток должен быть погружен в сварочную ванну и расплавляться за счет тепла

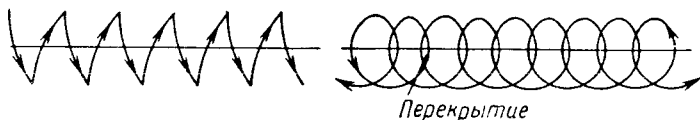


Рис. 57. Схема движения горелки

жидкой ванны (рис. 58, а). Если конец присадочного прутка находится вне ванны (рис. 58, б), то его расплавленный металл будет окисляться кислородом воздуха, образуя шлаковые включения в шве.

Применение сжатого природного газа для сварки бронзы позволяет более точно регулировать подачу кислорода, чем исполь-

зование жидких газов типа пропано-бутановой смеси. При использовании природного газа свариваемое место следует располагать в конце зоны *b* на расстоянии 10—15 мм от ядра зоны *a* (рис. 59). В процессе сварки меди и латуни в расплав следует

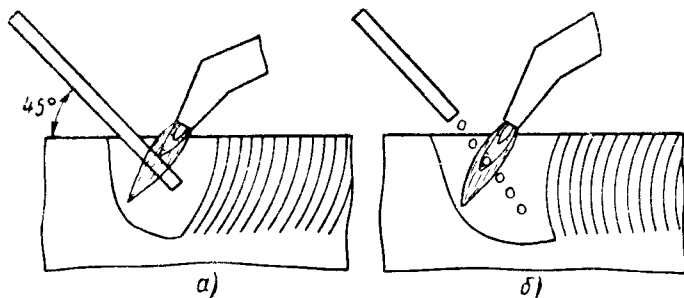


Рис. 58. Технология сварки с учетом полного провара шва

вносить флюс. Одним из наиболее распространенных флюсов имеет следующий состав: 70% обезвоженной буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ); 10% борной кислоты ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ); 20% поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ). Кроме этого флюса, могут быть рекомендованы также флюсы, применяемые для сварки латуни: 1) 100%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; 2) 50%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; 35%  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 15%  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  фосфорнокислого натрия; 3) 20%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; 80%  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .

Для повышения качества сварного шва после сварки следует проводить отжиг, закалку и проковку. Для катаной бронзы допускается проковка плоским или выпуклым медным молотком весом около 0,5 кг при температуре бронзы не выше 500° С. Для литой бронзы проковку проводить нельзя во избежание нарушения прочности. Для улучшения структуры после сварки шов подвергают отжигу с нагревом до 450—500° С, а затем закалке с охлаждением в воде.

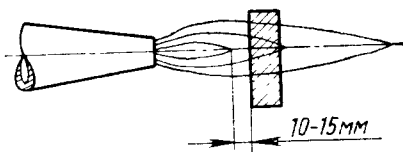


Рис. 59. Расположение свариваемого места при сварке природным газом

## СВАРКА ЛАТУНИ

К медным сплавам относится латунь, представляющая собой сплав меди и цинка. В зависимости от содержания цинка (3—45%) удельный вес латуни 8,1—8,4, температура плавления 800—950° С, теплопроводность 0,29; линейное удлинение на 1 м при повышении температуры на 100° 1,85—1,95 мм; временное сопротивление разрыву (34÷42)·9,8 Мн/м<sup>2</sup>. При прокатке латунь становится прочной, твердой, но хрупкой. В результате напряжений, возни-

кающих при прокатке, могут появляться трещины по всему сечению металла. Для восстановления пластичности производят отжиг при температуре не выше  $600\div 700^{\circ}\text{C}$  во избежание испарения цинка с поверхности металла. Медноцинковые сплавы имеют высокие механические, коррозионные и технологические свойства. Большое значение имеют механические свойства (пластичность и ударная вязкость) этих сплавов при низких температурах, которые позволяют использовать их в кислородном машиностроении и других производствах, связанных с условиями глубокого холода. Для судостроения применяются латуни, легированные оловом.

При увеличении содержания цинка температура плавления понижается. Для сварочного процесса необходимо знать, что температуры плавления главных компонентов латуни: меди  $1083^{\circ}\text{C}$ , а цинка  $419^{\circ}\text{C}$ . Цинк кипит при  $905^{\circ}\text{C}$ , и следовательно, в процессе расплавления меди начинает испаряться. Некоторая часть цинка при сварке улетучивается, а часть окисляется и всплывает в виде шлака на поверхность ванны.

Латуни в зависимости от химического состава бывают простые и специальные. В простых латунях сплав состоит из меди и цинка. В специальные латуни вводят также в небольшом количестве и другие компоненты: алюминий, олово, марганец, кремний, железо, никель, свинец, фосфор и пр. Простые латуни, широко применяемые в промышленности, содержат не более 50,0% Zn. С повышением содержания цинка (до 50%) увеличивается прочность, но понижается теплопроводность, коррозионная стойкость и электропроводность. Если в латуни содержится до 39% Zn, то сплав обладает исключительной пластичностью, легко поддается любым видам обработки давлением (волочению, холодной прокатке, глубокой вытяжке и пр.). Такая латунь называется  $\alpha$ -латунь.

Холодная деформация создает нагартовку, увеличивает прочность, но уменьшает пластичность. При температуре отжига  $370\text{—}760^{\circ}\text{C}$  восстанавливается пластичность. Латунь с содержанием до 20% Zn при отсутствии свинца поддается обработке в горячем состоянии. Если сплав содержит более 0,03% Pb, то латунь становится горячеломкой из-за образовавшихся легкоплавких прослоек на границах зерен. При содержании более 39% Zn латуни состоят из двух фаз  $\alpha$  и  $\beta$ . Если в латуни более 46% Zn, то латунь состоит только из одной фазы. Латуни с содержанием 39—46% Zn хорошо деформируются при сварке. Присутствующий в их составе свинец не дает горячеломкости.

Специальные латуни, содержащие различные элементы, имеют определенные свойства и строение сплава. Введение в сплав до 4% Al позволяет обрабатывать давлением латунь, увеличивает твердость, прочность и предел текучести. Антикоррозионные свойства повышаются за счет образования окисной пленки алюминия, защищающей поверхность латуни от действия атмосферы. Примесь до 0,5% Al улучшает свариваемость. Однако большее его содержа-

ние создает тугоплавкие пленки окиси алюминия, затрудняющие сварочный процесс.

Добавка олова применяется для улучшения коррозионной стойкости, особенно от действия морской воды. Оловянистые латуни — «морские латуни» содержат 0,7—1,5% Sn, хорошо обрабатываются давлением в холодном, и горячем состояниях. При содержании выше 1,5% Sn уменьшается пластичность и увеличивается твердость.

В латунь добавляют до 2% Pb для улучшения обрабатываемости резанием в связи с нерастворимостью свинца в меди и расположения его в виде прослоек на границах зерен латуни. Прослойки свинца, разделяя кристаллы латуни, способствуют образованию сыпучей стружки при обработке резанием. Это позволяет значительно увеличить скорость обработки, а следовательно, и производительность труда. Свинцовистые латуни обладают хорошими антифрикционными свойствами при работе на трение. Обрабатываются такие латуни в холодном состоянии, так как при нагреве появляется горячеломкость. При сварке свинцовистых латуней возникает пористость в шве, поэтому сваривать такие латуни не рекомендуется.

Содержание 1—2% Mn повышает механические свойства, коррозионную стойкость в морской воде и в среде перегретого пара. При содержании выше 1,0% Mn ухудшается свариваемость латуни и появляется пористость в шве.

Вводимый в состав латуни до 0,7% Si улучшает свариваемость. Однако для коррозионной стойкости в морской воде и в атмосферных условиях в латунях может быть до 4,0% Mn. При содержании выше 4,0% Mn и выше 20% Zn латунь не поддается обработке давлением, так как у нее в этом случае повышается твердость и уменьшается пластичность. Для повышения механических и технологических свойств, а также антикоррозионной стойкости латуни добавляют железо в сочетании с марганцем, оловом и алюминием. К латуням, обладающим повышенными механическими и технологическими свойствами, относятся следующие сплавы: для сварных конструкций Л96; Л80; Л70; Л68; Л62; Л59; специальные латуни ЛЖМц 59-1-1; Лк 80-3; ЛМц 58-2; ЛМцА 57-3-1; ЛО 90-1; ЛО 62-1. При содержании в латуни более 0,03% Fe появляются магнитные свойства. Железо способствует измельчению зерен в структуре сплава.

В виду малой теплопроводности латуни по сравнению с медью (у латуни теплопроводность  $0,22 \cdot 418,7 \text{ вт/м} \cdot \text{град}$ , а у меди —  $0,72 \cdot 418,7 \text{ вт/м} \cdot \text{град}$ ) околошовная область нагревается больше, чем у меди, вследствие чего латунь имеет склонность к образованию трещин.

При кипении цинка на поверхности ванны образуется пена. Испаряясь, цинк улетучивается в чистом металлическом виде, а частично окисляясь кислородом воздуха — в виде ZnO (окиси цинка) белого цвета по реакции  $2\text{Zn} + \text{O}_2 = 2\text{ZnO}$ .

Оксид цинка в пылевидном состоянии является ядовитой и вызывает отравление при сварочных работах (вызывая «литейную» лихорадку). При сварке латуни сварщик должен надевать респиратор. Сварку необходимо вести под специальным вытяжным устройством. Потери на испарение цинка при газовой сварке достигают 8—25% (при электросварке потери доходят до 40%). Кроме ухудшения условий труда, испарение цинка влияет также на качество сварного шва. Так, при наличии газового пузыря в застывающем металле в него выделяются пары цинка, увеличивая объем газовой пористости; большие давления внутри газовых пузырей могут вызвать трещины и ослабить этим прочность шва.

Уменьшить испарение цинка можно различными технологическими приемами сварки, а также применяя специальные присадочные материалы и флюсы с добавками кремния, бора, алюминия. Например, если сваривать латунь Л62 присадочным металлом того же состава окислительным пламенем, создающим на поверхности ванны пленку окиси цинка, предохраняющей цинк от дальнейшего испарения, потери на угар доходят до 5% Zn. При применении присадочного металла, легированного кремнием, для латуни Лк 62-05 испарение доходит только до 0,7—1,0% Zn. При использовании флюса БМ-1, содержащего бор, угар цинка уменьшается еще значительно. Присутствие в присадочном металле и флюсе кремния, бора, алюминия способствует образованию шлаковых пленок, препятствующих испарению цинка.

Из сварочного пламени в жидкую ванну медноцинкового сплава попадают водород, кислород и другие газы, снижающие плотность и механическую прочность шва. Быстрое затвердевание жидкого металла вследствие высокой теплопроводности затрудняет выход растворенных газов на поверхность ванны, способствуя образованию пористости. Для уменьшения теплоотвода и растянутости процесса сварки при сварке металла значительной толщины (от 10 мм и выше) применяют предварительный местный или общий подогрев изделия до температуры 250—300°С горелкой с мундштуком с несколькими соплами, работающей на природном газе.

Латунь при нагреве в пределах температур 200—600°С приобретает склонность к горячеломкости и, следовательно, к образованию горячих трещин. Трещины появляются главным образом в околошовной зоне и реже — в шве. Направление трещин бывает различным: продольные, поперечные, внутренние, наружные с началом или концом от газовой раковины или какого-либо шлакового включения. Горячие трещины могут располагаться и между кристаллами, появляясь в момент твердо-жидкого состояния металла шва. В интервале температур горячеломкости 200—600°С рекомендуется избегать всяких деформаций, связанных с проковкой или допускать правку кромок при более низких температурах.

**Сварочное пламя.** При газовой сварке латуни используют восстановительную зону в пламени ацетилена как наиболее рас-

пространенного горючего с высокими тепловыми свойствами. Наряду с ацетиленом можно использовать и газы — заменители ацетилена: природный сжатый газ (главная составляющая метан) и сжиженные газы — пропано-бутановые смеси.

В связи с малой теплопроводностью латуни ее можно сваривать факелом мощностью, применяемой для сварки стали (рис. 1, I—III).

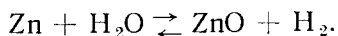
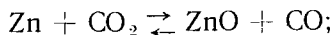
При подаче кислорода в объеме, большем, чем при нормальном, пламя становится окислительным с увеличенным остроконечным ядром ( $A, a, a^1$ ). Для сварки латуни необходимо пламя с избытком кислорода 25—40%. Окислительное пламя применяется для уменьшения испарений цинка.

Расплавленный металл поглощает углерод. Водород ведет к повышенной газонасыщенности и образованию пористости в наваренном металле. Пламя с избытком горючего газа (науглероживающее) имеет температуру более низкую, чем окислительное или нормальное. Для получения окислительного пламени вначале устанавливают нормальное пламя с длиной ядра в зависимости от параметров давлений кислорода и горючего газа. Затем ядро удлиняют на  $\frac{1}{3}$  нормальной длины за счет уменьшения подачи горючего газа. Увеличение ядра за счет повышения давления кислорода не рекомендуется, так как в этом случае появляется опасность выплескивания жидкого металла из ванны в результате увеличения скорости выхода горючей смеси из мундштука горелки.

Замена ацетилена природными газами или отходами производства крекинг-заводов возможна при условии обеспечения эффективной мощности сварочного пламени, равной ацетиленовому. Такая замена определяется отношением расхода горючего газа-заменителя  $V_3$  к расходу ацетилена  $V_A$  по уравнению

$$\psi = \frac{V_3}{V_A}.$$

В каждом сварочном пламени имеются три зоны, из которых в зоне  $b$  имеется окись углерода и водород и в зоне  $c$  — углекислота и пары воды. В зоне  $c$  может произойти реакция с цинком, входящим в состав сплава, с получением окиси цинка



Окись цинка вместе с цинком из сплава густой пленкой защищает расплавленный металл от окисления.

**Горелки.** Для сварки латуни применяются инжекторные горелки, работающие на горючем газе низкого и среднего давления. Модернизированные нами горелки работают на природном сжатом газе. Переделка мундштуков горелок типа ГС-53 для сварки латуни заключалась в получении одного соплового отвер-

ствия, позволяющего концентрировать сварочный факел в малой зоне сварки с учетом небольшой теплопроводности металла. Горелка для сварки латуни природным газом должна иметь мундштуки всех сменных наконечников от № 0 до № 7, причем № 1 и № 2 применяются при сварке малых толщин 0,2—2,0 мм и № 3—7 для больших толщин от 2,0 мм и выше. Параметры модернизированной горелки ГС-53 приведены ниже:

№ мундштука под ацетилен	0	1	2	3	4	5	6	7
Мундштук под природный газ № . . .	1	1	1	1	2	3	4	5
Диаметр сопла . . .	1,5	2,5	2,5	3,0	3,4	4,0	4,9	5,5
Толщина свариваемой латуни в мм . . .	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0	15,0
Расход в л/ч:								
природного газа . . .	250	300	400	800	1200	1500	2500	3500
кислорода . . .	450	500	750	1500	2000	3000	4000	5500

Инжекторы для природного газа устанавливают на номер больше, чем для ацетилена и для № 7 проходные сечения для горючего газа увеличивают на 30%. Рабочее давление в Мн/м<sup>2</sup> газов при сварке приведены ниже:

Кислород	0,03— 0,05	0,05— 0,1	0,05— 0,12	0,08— 0,12	0,08— 0,15	0,1— 0,15	0,15— 0,2	0,2— 0,3
Природный газ	0,01— 0,02	0,02— 0,03	0,03— 0,04	0,04— 0,05	0,05— 0,06	0,06— 0,08	0,1— 0,12	0,12— 0,15

При использовании жидких газов пропано-бутановой смеси следует использовать горелки конструкции ВНИИАВТОГЕН-МАШ типа НЗП с расходом газов в л/ч:

№ наконечника	Пропано-бутановая смесь	Кислород
0	20—50	200
1	50—120	400
2	115—230	600
3	215—350	1200
4	350—550	2000
5	475—800	2500
6	730—1200	4000

**Присадочный металл.** Присадочный металл должен иметь чистую поверхность, размеры его должны соответствовать объему свариваемого и навариваемого металла, а главное, химический состав его должен способствовать раскислению ванны шва. В присадочный металл для улучшения жидкотекучести ванны и уменьшения выгорания цинка следует вводить раскислители — алюминий, марганец. Рекомендуемые составы присадочных прутков: 1) для простой латуни 60—61% Cu, 38—40% Zn, 0,06% Fe, 0,10% Al; 2) для марганцевой латуни 57—61,0% Cu, 37—41,0% Zn, 0,3—0,5% Mn; 0,05—0,15% Al.

Для простых латуней можно применять латунные прутки такого же состава, как и основного металла, но в этом случае необходим флюс с хорошими раскислительными свойствами. Лучшие результаты достигаются при использовании присадочного металла Лк 62—05 с содержанием 0,5% Si, который в сочетании с порошковым флюсом дает угар цинка в пределах 0,7—1,0%. Также в присадочные проволоки вместе с кремнием вводится олово, которое повышает жидкотекучесть и коррозионную стойкость. С оловянистыми присадочными прутками ЛОК 62-04-05 достигается глубокий провар, что является важным и необходимым при сварке труб, сосудов, особенно на замыкающих швах.

Присутствие свинца в оловянистых прутках не должно превышать 0,1% Pb, так как повышенное содержание свинца создает в строении шва большую пористость (табл. 24).

Таблица 24

Составы \* присадочных металлов в %

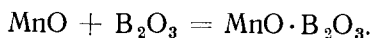
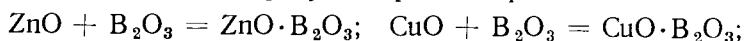
Сплав	Cu	Si	Sn	Pb	Примеси **	Область применения
Л 62	60,5— 63,5	—	—	0,08	0,6	Для сварки простых латуней, например, Л58, Л62 и т. д.
ЛК 62-05	60,5— 63,5	0,3— 0,7	—	0,08	0,6	Для сварки простых и кремнистых латуней
ЛО 60-1	60,5— 63,5	—	1,0— 0,5	0,3	1,0	Для изделий, работающих в морской воде
ЛОК 62-04-05	60,5— 63,5	0,3— 0,7	0,3— 0,5	0,08	0,5	Для изделий из простых латуней, требующих более глубокого провара, например, в трубах, замыкающих швах и т. п.
ЛОК 59-1-03	58—60	0,2— 0,4	0,7— 1,1	0,1	0,3	Для изделий, работающих в морской воде

\* Zn — остальное.

\*\* 0,15% Fe; 0,005% Sb; 0,002% Bi; 0,01P.

**Флюсы.** Для сварки медноцинковых сплавов применение флюсов обязательно за исключением сварки с применением самофлюсующего присадочного металла, содержащего бор. Флюсы применяют в основном того же состава, что и при сварке меди. Флюс должен растворять появляющиеся окислы, способствовать их удалению из ванны, всплывая на поверхность защищать металл от окислительного действия кислорода воздуха и окислов основных компонентов сплава, а главное — устранять или уменьшать испарение цинка из сварочной ванны.

Флюс должен состоять из химических соединений, обеспечивающих реакции, противоположные окислению компонентов медноцинкового сплава. При сварке латуни образуются основные окислы типа  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{MnO}$  и др., поэтому флюсы должны иметь кислую основу, как например, борный ангидрид  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Окислы с борным ангидридом образуют бораты по реакциям:



Однако шлаковая пленка, состоящая из боратов, предохраняет ванну от испарения цинка при оптимальном расходе флюса, равном 20—35 г на 1 кг наплавляемого металла. При подаче флюса сверх этой нормы (более 35—40 г на 1 г наплавляемого металла) образующийся в избытке шлаковый покров препятствует удалению газов из сварочной ванны, вызывая появление пористости шва. Наиболее распространенные флюсы имеют бористые соединения.

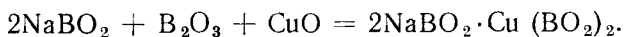
Приведенные в табл. 25 флюсы могут быть в виде порошка, пасты или жидкими. Основной составной частью всех флюсов является прокаленная техническая бура  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (ГОСТ 8429—57)

Т а б л и ц а 25

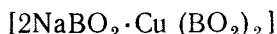
**Флюсы для сварки латуни**

№ флюса	Состав флюса в %	Способы приготовления
1	Бура 100	—
2	Борная кислота $\text{H}_3\text{BO}_3$ 35 Бура 50 Фосфорно-кислый натрий 15	Перемешивание в мельнице или ступке
3	Бура 20 Борная кислота $\text{H}_3\text{BO}_3$ 80	То же
4	Метилборат $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{B}$ 75 Метилловый спирт $\text{CH}_3\text{OH}$ 25	Изготовление путем ректификации, марка БМ-1 ВТУП-4-58

с температурой плавления  $741^{\circ}\text{C}$ . Буру получают из распространенной технической буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) после прокаливания в печи при температуре  $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$  на противне из нержавеющей стали или в открытом шамотовом тигле с наполнением его по высоте на  $\frac{1}{10}$  из-за сильного вспучивания буры при нагревании. После прокаливания буру размалывают в ступке или шаровой мельнице. Хранить такую буру следует в герметично закрытой банке. Вместо десяти молекул воды в технической буре ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) в прокаленной буре может содержаться одна молекула ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) в соответствии с ГОСТом 8429-57. Для флюсов может применяться плавленая бура, не содержащая кристаллизационной воды, для сварки при повышенной температуре до  $800\text{--}900^{\circ}\text{C}$ :



Всплывший на поверхность ванны шлак



полностью предохраняет расплав от испарений цинка лишь в том случае, если применяется кремнистый присадочный металл. Цинк в присадочных металлах лучше предохраняет от испарения флюс, состоящий из буры и борной кислоты (флюс № 3). Например, при образовании расплава из латуни Л62 с применением одной буры угар цинка составляет 5%, а с применением флюса № 3 угар уменьшается до 2% и улучшаются механические свойства. Шлаковая пленка при флюсе № 3 не препятствует удалению газов из ванны, что обеспечивает плотность шва.

Для сварки латуней всех марок с применением присадочных металлов с содержанием кремния и без него рекомендуется флюс № 4 БМ-1, не дающий выделения паров цинка. Шлаковая пленка на поверхности шва легко смывается водой. Удельный расход флюса на единицу наплавленного металла определяется по формуле

$$\Delta_{cp} = \frac{g_{cp} \cdot t_{cs}}{G_m} \text{ г/кг},$$

где  $g_{cp}$  — средний расход флюса в единицу времени в  $\text{г/мин}$  ( $0,46\text{--}0,80 \text{ г/мин}$ );

$t_{cs}$  — время сварки в  $\text{мин}$ ;

$G_m$  — вес наплавленного металла в  $\text{кг}$ .

**Технология сварки.** Газовая сварка медноцинковых сплавов представляет большие трудности в связи с легкой испаряемостью цинка, входящего в состав сплава. Цинк плавится при температуре  $419\text{--}420^{\circ}\text{C}$ , а кипит при  $905\text{--}907^{\circ}\text{C}$ , что близко к температуре плавления латуни ( $800\text{--}950^{\circ}\text{C}$ ), которая зависит от содержания цинка.

Листовая латунь с содержанием 65—70% Cu не поддается ковке в нагретом состоянии. Температура плавления листовой латуни 940° С, удельный вес 8,4, теплопроводность 0,29. При содержании в латуни 58—60% Cu, ее температура плавления 880° С, удельный вес 8,1. Эта латунь поддается ковке в горячем состоянии. Латунь в расплавленном состоянии имеет большую жидкотекучесть и большую вязкость, чем медь. При расплавлении латуни над ванной появляется белый дым — характерный признак испарения цинка. При выделении большого количества цинка в свариваемом шве образуются поры и раковины и ухудшаются механические свойства.

При изменении характера сварочного пламени при увеличении кислорода до определенного предела замечается спокойное расплавление металла с уменьшением количества белых паров дыма до полного исчезновения.

При повышенном содержании кислорода в пламени (на 40—50% по сравнению с нейтральным пламенем для сжатого природного газа  $\beta_m = \frac{V_{\text{к}}}{V_m} = 1,7$  и для сжиженных газов  $\beta_{(n+\delta)} = \frac{V_{\text{к}}}{V_{n+\delta}} = 3,8$ ) на поверхности ванны образуется толстая шлаковая пленка, затрудняющая соединение присадочного металла с основным. В этом случае начинает трещать латунь и разлетаются брызги металла. Избыток кислорода в окисляющем сварочном пламени допустим в определенных пределах в зависимости от состава латуни и должен увеличиваться с повышением содержания цинка в сплаве. Регулировать избыток кислорода можно уменьшая подачу горючего газа до минимального выделения белых паров. Повышать давление кислорода не рекомендуется, так как в этом случае увеличится испарение расплавленного металла и пламя становится «жестким».

Латунь с содержанием 30—45% Zn имеет температуру испарения, приближающуюся к температуре плавления, что необходимо знать при сварке. Перегрев сварочной ванны за счет высокотемпературного факела вызывает сильное испарение цинка и пористость латуни. Латунь не обладает большой теплопроводностью, поэтому при ацетилено-кислородном пламени ( $T_{\text{пл}} = 3100—3200^\circ \text{С}$ ) создается большой местный перегрев, вызывающий парообразование цинка. В то же время умеренные температуры природного сжатого газа и сжиженных газов в сварочном факеле ( $T_m = 2200^\circ \text{С}$  и  $T_{n+\delta} = 2400^\circ \text{С}$ ) вызывают меньшее испарение цинка, устраняют кипение ванны при появлении защитной пленки, состоящей из окиси цинка. Окисная пленка вместе с цинком из сплава образует густую шлаковую корку, защищающую расплавленный металл от дальнейшего окисления.

Сварка латуни, связанная с испарением цинка, значительно облегчается при правильном регулировании избытка кислорода в пламени и применении флюса. Назначение флюса состоит в очи-

стке свариваемой поверхности от окислов. Флюс, нанесенный на обратной стороне шва, удаляет с соединяемых кромок окислы и способствует проникновению расплавленного металла в те места, куда затруднен подход сварочному пламени. Флюс должен предохранять металл шва от окислительного влияния кислорода воздуха и окислов меди в сплаве. В начале сварки флюсом покрывают свариваемые кромки и в небольшом количестве оборотную сторону шва, а затем в процессе сварки покрывают нагретый присадочный пруток.

В процессе сварки пламя горелки следует направлять под углом  $45-90^\circ$  к свариваемой поверхности, учитывая, что увели-

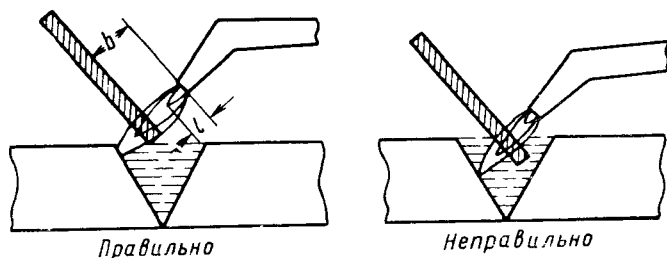


Рис. 60. Расположение присадочного прутка по отношению к расплаву шва

чение угла до  $90^\circ$  повышает количество тепла, нагревающего поверхность. С увеличением толщины свариваемых изделий следует увеличивать и угол наклона горелки. Пламя горелки необходимо направлять на присадочный пруток и кромки шва, не допуская погружения присадочного прутка в расплав ванны во избежание появления пор из-за перемешивания ванны прутком (рис. 60). Расстояние от ядра пламени до нагреваемого места должно составлять  $10-15$  мм (примерно  $2l$ , где  $l$  длина ядра пламени). Повторная сварка латуни в связи с возможным перегревом и излишним испарением цинка недопустима, поэтому сварку следует проводить в один слой, за один проход.

На испарение цинка влияет скорость сварки, при увеличении которой снижается выделение паров цинка. При ручной однослойной сварке скорость может достигать  $4-6$  м/ч. Часовой расход горючего газа определяет скорость сварки. В среднем на каждый миллиметр толщины свариваемого металла расходуется  $140-160$  л природного сжатого газа и  $50-80$  л сжиженных газов. Расход горючих газов может быть определен по формуле

$$V_2 = (100 \div 120) \psi s \text{ л/ч,}$$

где  $\psi$  — коэффициент замены ацетиленом;

$s$  — толщина металла в мм.

Для уменьшения выгорания цинка в латунях толщиной свыше 5 мм рекомендуется проводить предварительный подогрев свариваемой области до температуры 500° С. Подогрев снижает сварочные деформации, уменьшает перепад температур в зоне сварки, компенсируя теплоотвод. Так как латунь обладает малой теплопроводностью, то теплоизоляционные прокладки, применяемые при сварке меди, не требуются. Сварку латуни вести следует левым способом (рис. 61), когда горелка движется за присадочным пруток. В этом случае жидкий металл меньше перегревается, плотность шва повышается, угар цинка снижается.

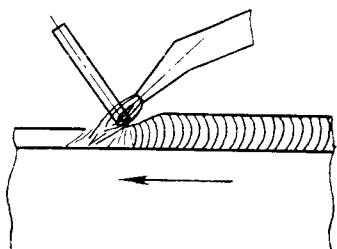


Рис. 61. Левый способ сварки латуней

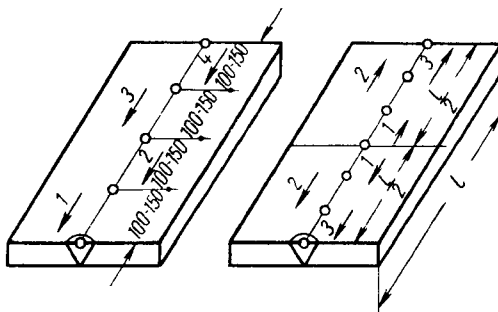


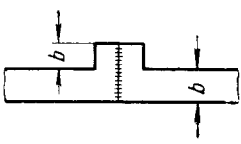
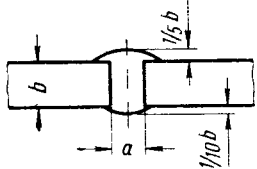
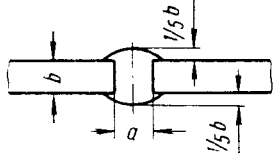
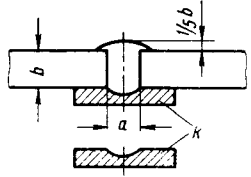
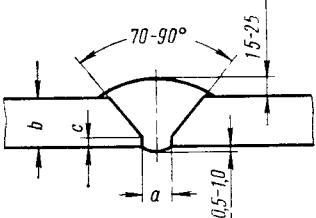
Рис. 62. Схема сварки с устранением горячеломкости

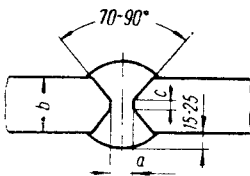
Появление горячеломкости латуни при сварке создает опасность возникновения трещин в результате больших деформаций. Для устранения возможного коробления сваривать следует отдельными участками обратноступенчатым способом или от середины. В этом случае стык скрепляют прихватками на участке 100—150 мм и сварку ведут в порядке номеров участков, как указано на рис. 62 (от начала к концу каждого участка отдельно). Для улучшения жидкотекучести ванны и уменьшения выгорания цинка в состав присадочного металла вводят раскислители (алюминий, кремний). Присадочный металл можно применять в виде проволоки или прямоугольных прутков. В зависимости от толщины свариваемых листов подбирают диаметр присадочной проволоки:

Толщина свариваемого металла в мм . . . . .	1—2	2—3	4—5	6—7	8—10
Диаметр присадочной проволоки в мм . . . . .	2	3	5	7	9

Соединения внахлестку, в тавр и угловые для латуни применяются редко в связи с возможным короблением деталей. Для латуни наиболее распространены стыковые соединения (табл. 26).

## Подготовка кромок под сварку латуни

Подготовка кромок	Размеры в мм		
	Толщина металла $b$	Зазор $a$	Приступление $c$
С отбортовкой 	0,5—1	—	—
Без скоса кромок, односторонний 	1—5	0,5—2	—
Без скоса кромок, двухсторонний 	3—6	1—2	—
Без скоса кромок со сменной (стальной) технологической подкладкой 	3—5	2—3	—
V-образный, односторонний 	6—15	2—4	1,5

Подготовка кромок	Размеры в мм		
	Толщина металла $b$	Зазор $a$	Приступление $c$
Х-образный, двусторонний 	15—25	2—4	2—4

Провар шва по всей толщине металла имеет главное значение при образовании неразъемного соединения.

При толщинах 3—5 мм для получения провара применяют сменные подкладки из меди или нержавеющей стали. Могут быть использованы остающиеся подкладки из латуни толщиной не более 0,5 см. На этих же подкладках может быть формирующая канавка (рис. 63) Параллельность свариваемых кромок и строгой соосность без перекосов с заданным зазором можно фиксировать при помощи прихваток. В зависимости от толщины свариваемого металла устанавливают расстояние между прихватками и длину их.

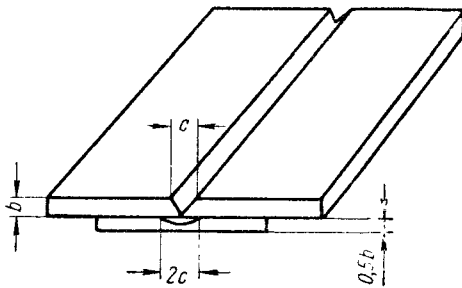


Рис. 63. Подкладка с формирующей канавкой

при толщинах больше 5 мм расстояние между прихватками может быть увеличено от 100 до 300 мм при длине прихватки не более 10 мм с глубиной проплавления до 0,5 толщины основного металла. Прихватки должны быть расположены в определенном порядке для уменьшения опасности коробления. Для горизонтальных и круговых швов порядок наложения прихваток указан на рис. 64.

На практике для увеличения слоя металла, навариваемого за один проход, изделие наклоняют под углом 10—15° для стекания металла к начальному участку сварки (рис. 65). При вертикальном положении шва сварку ведут снизу вверх левым способом с направлением пламени под углом 45° и расположением присадочного прутка также под углом 45° (рис. 66). В этом случае

сварку ведут на пониженной мощности сварочного пламени до 70—80 л/ч природного сжатого газа и 25—40 л/ч на 1 мм свариваемой толщины. Присадочный металл выбирают по диаметру на 1 мм меньше по сравнению с нормами для горизонтальных швов. В потолочном положении, так же как и в вертикальном, сварку ведут на пониженной мощности. При потолочной сварке

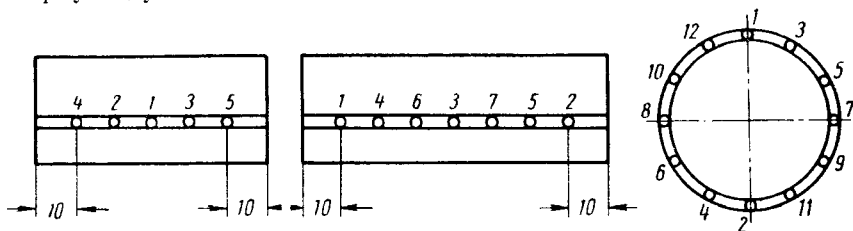


Рис. 64. Порядок наложения прихваток (1—12) перед сваркой латуни

процесс ведут правым способом для удержания расплавленного металла давлением сварочного факела. Газы — заменители ацетилена позволяют обеспечивать умеренный температурный режим пламени и более спокойное образование ванны за счет уширенного факела модернизированных горелок.

При использовании присадочного металла ЛК62 и соответствующих флюсов угарщина составляет меньше одного

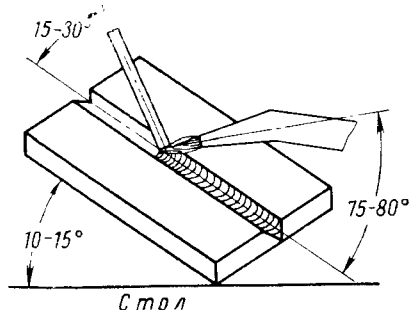


Рис. 65. Увеличение слоя металла в шве

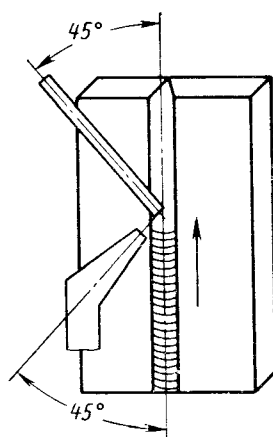


Рис. 66. Расположение горелки и присадочного прутка при вертикальном шве

процента. Зона термического влияния при сварке заменителями ацетилена получается несколько больших размеров, но при равномерном распределении температур в сварочной области опасность увеличения деформаций не появляется.

**Дефекты сварки.** В процессе сварки при недостаточном разогреве кромок основного металла может появиться непровар в корне шва или по краям (рис. 67). Для устранения таких де-

фектов необходимо увеличить мощность пламени или угол наклона горелки или уменьшить скорость сварки. Причиной непровара могут быть неправильно выбранные угол разделки кромок или зазор. На непровар также влияют загрязнения кромок или недостаток флюса.

Подрезы, возникающие при формировании наружных размеров шва, ослабляют область сварки. Они возникают вследствие большого разогрева основного металла или малого расхода присадочного металла (рис. 68). Для устранения подрезов необходимо уменьшить угол наклона горелки или уменьшить мощность

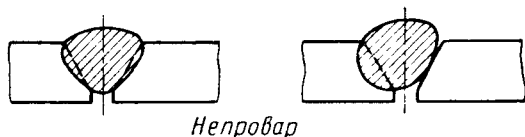


Рис. 67. Дефекты сварки при недостаточном разогреве

пламени или увеличить скорость сварки. Пористость шва является причиной перегрева сварочной ванны, особенно при сварке ацетиленом; избыток ацетилена вызывает сильное кипение ванны с образованием большого количества пор и газовых пузырей при застывании. Недостаток флюса, а также избыток его может влиять на образование пор в шве. Быстрое охлаждение особенно после высокотемпературного нагрева ацетиленом также приводит к по-

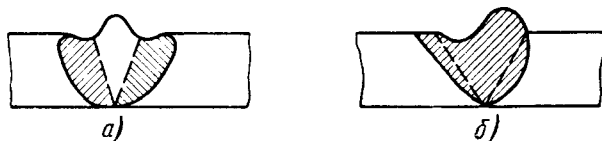


Рис. 68. Подрезы шва от большого разогрева основного металла:

*a* — симметричный подрез; *б* — несимметричный подрез

ристости металла. Уменьшить пористость можно снижением мощности пламени, уменьшением угла наклона горелки; расход флюса необходимо довести до нормы как по расчетной формуле, так и по внешнему виду спокойного образования расплава шва. При больших толщинах металла целесообразно замедлять охлаждение наваренной области небольшим подогревом. Шлаковые включения, появляющиеся от плохой зачистки кромок основного и присадочного металла и при недостаточном прогреве сварочной ванны, уменьшают механическую прочность шва, изменяют химический состав наваренного металла. Трещины могут возникать в основном в результате неправильной технологии сварки, нерав-

номерного нагрева изделия, правки изделия в зонах горячеломкости без соответствующего подогрева. После сварки рекомендуется механическая и термическая обработка.

Для уплотнения металла и увеличения его прочности применяют проковку шва ручным алюминиевым молотком или пневмомолотком. В зависимости от содержания меди проковку проводят при подогреве или без него. Так, латуни, содержащие менее 60% Cu ( $\alpha + \beta$ -латуни) проковывают при температуре около 650° С; при более низкой температуре во время проковки могут образоваться трещины. Латуни с содержанием более 60% Cu ( $\alpha$ -латуни) подвергают проковке в холодном состоянии. Для того чтобы после холодной проковки восстановить пластичность шва, изделие отжигают при температуре ~600° С. При проковке усиление шва заглаживается заподлицо с основным металлом. Шов приобретает наклеп и упрочняется вся сварная зона.

Если при сварке в металле образовались поры, то в результате проковки, даже в горячем состоянии они лишь изменяют свою форму — сплющиваются, что заметно при рентгеноанализе. Поэтому появление трещин следует предупреждать, применяя специальные присадочные металлы и флюсы. Предупредить коррозионное растрескивание и снять остаточные внутренние напряжения возможно низкотемпературным отжигом (270÷300° С). После сварки шов зачищают, удаляя остатки флюса и шлака и промывают водой. Зачистку можно проводить механической щеткой или пневмозубилом. Химическую очистку для освобождения от окалины после отжига проводят травлением в растворе, состоящем из 50 г серной кислоты и 140 г хромпика на 1 л воды. Затем изделие промывают в растворе соды при температуре 40—57° С и водой.

**Контроль сварки.** Образование дефектов при сварке возможно в результате неправильной технологии. Поэтому необходимо установить контроль за выбором и проведением необходимой технологии сварочного процесса для каждого случая сварки. Этот контроль может быть разбит на три этапа:

1. Предварительный контроль, по которому проверяется сборка, подготовка кромок под сварку, исправность оборудования, удобство рабочего места для сварщика, проверка качества основного и присадочного металла, выбор соответствующего флюса, установление необходимого давления газов, горелки для горючего газа, а также подбор горелки по ее мощности для определенной толщины свариваемого основного металла.

2. Контроль выполненного сварщиком выбранного технологического процесса; мощность и состав газов в пламени, количество подаваемого флюса и регулирование подачи его в зависимости от скорости и характера образования ванны металла. Контроль за приемами сварки, т. е. установлением под соответствующим углом горелки и присадочного прутка, а также уменьем

направлять пламя на присадочный металл и кромки шва. Нормальное проведение процесса сварки латуни характеризуется отсутствием паров цинка на поверхности ванны «кипения», газовых пузырей. Образование ванны должно проходить спокойно. Все это проверяется визуально.

3. Окончательный контроль как при наружном осмотре с помощью лупы при двадцатикратном увеличении, так и с помощью просвечивания и ультразвука. Механические, а также металлографические испытания всех зон шва. Плотность швов в сосудах, работающих под давлением, проверяется гидроиспытанием.

---

## СВАРКА ЧУГУНА ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

Чугун представляет собой железо-углеродистый сплав, который может свариваться при определенном металлургическом процессе расплавления. При сварке плавлением образуется три зоны, различные по структуре (рис. 69): зона шва I ( $l_I$  — участок кристаллизации присадочного расплавленного металла без диффузионного перемешивания,  $2_I$  — уча-

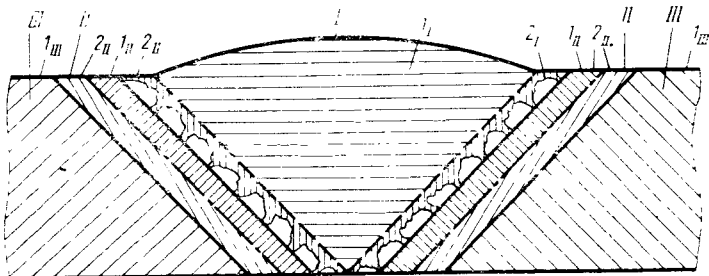


Рис. 69. Зоны термического влияния в сварочном шве

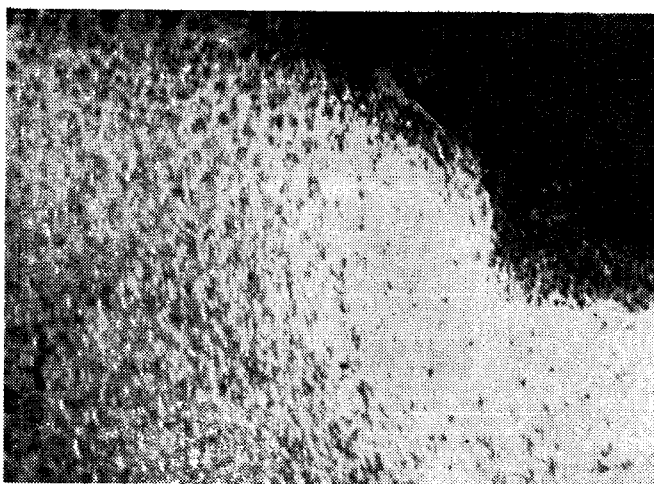
сток кристаллизации при перемешивании в жидком состоянии присадочного металла с основным, оплавленным от кромок шва; зона термического влияния II ( $l_{II}$  — участок кристаллизации на кромке шва жидкого металла второго участка шва зоны I с частично сплавленными зернами основного металла при некотором диффузионном перемешивании;  $2_{II}$  — участок, находящийся под влиянием высоких температур между  $A_1$  и  $A_3$  с изменением структуры); зона III ( $l_{III}$  — без структурных превращений с температурой ниже  $A_1$ ).

В зоне термического влияния II происходят структурные превращения с изменениями фазового состава, формы фаз и формы кристаллов, с образованием отбеленной корки, являющейся нежелательной пограничной прослойкой при всех существующих способах сварки.

Высокотемпературный режим существующих способов сварки (электродуговой и др.) и приводимой в нашей работе (для сравне-



**Рис. 70.** Металлургия кристаллизации шва; «твердые» выступы



**Рис. 71.** Отпавленные «островки» металла на гранях разделки шва—метод «затравки»

ния со сваркой природным газом) режим ацетилено-кислородного пламени влияет на образование цементита.

При сварке природным газом возникают центры кристаллизации — зародыши на стенке шва, что является отличительным признаком нового способа. Центрами кристаллизации при сварке природным газом благодаря невысокой температуре факела пламени служат оставшиеся нерасплавленными твердые участки основного металла. Между этими твердыми участками образуются формы для жидкого металла, полученного от расплавления присадочного и частично кромок разделки шва. Некоторые нерасплавившиеся твердые выступы на стенках шва (рис. 70), а также отплавленные твердые частицы основного металла (рис. 71) способствуют быстрому росту кристаллов.

Существующий метод «затравки» — введение готовых кристаллов в расплав — уменьшает работу возникновения и роста новых кристаллов; это имеет место при сварке, когда температура ванны не дает перегрева и некоторые нерасплавившиеся твердые

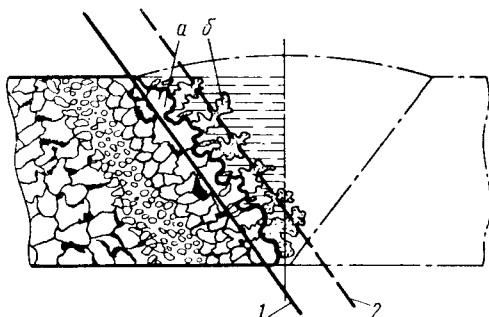


Рис. 72. Область взаимной кристаллизации:

1 — граница твердого металла; 2 — граница жидкого металла

выступы *a* на стенках шва, а также отплавленные твердые частицы *b* основного металла способствуют быстрому росту кристаллов (рис. 72). При низкотемпературном режиме нового способа сварки улучшается и облегчается образование структур шва по сравнению со сваркой ацетилена, когда нет начальных центров кристаллизации. При сварке природным газом непрерывная кристаллическая связь возникает между свариваемым металлом и металлом расплава, состоящим из присадочного металла и частично отплавленных пограничных зерен основного металла, т. е. появляется область взаимной кристаллизации.

Скорость нагрева и охлаждения, а также ширина области теплового воздействия зависят от температурного режима, создаваемого факелом пламени. Так, при сварке ацетиленом быстрый нагрев и резкое охлаждение приводят к изменению свойств металла в зоне I шва и зоне II термического влияния (рис. 69). При сварке природным газом постепенный подъем температуры ванны, а затем медленное охлаждение с увеличенной шириной зоны теплового воздействия не вызывает резкого изменения свойств металла (рис. 73). Фронт кристаллизации, начинаясь от оконечностей дендритов, выросших от центров кристаллизации отплавленных зерен стенок разделки шва, идет по направлению, перпендикуляр-

пому к границам шва, и тепло отводится в основной металл почти по нормам. Верхние участки шва передают тепло основному металлу через заранее затвердевшие слои металла. Растущие дендриты могут разрушаться, изменяя направления своих осей. Каждое колебание ванны металла в результате воздействия факела пламени, выходящего со скоростью выше 100 м/сек или в результате перемешивания нагретым железным прутком оказывает заметное тепловое и механическое влияние на устраниение ликвации.

При высокой скорости остывания (сварка ацетилена) чугун может иметь различные зоны наплавленного металла. Прослойки

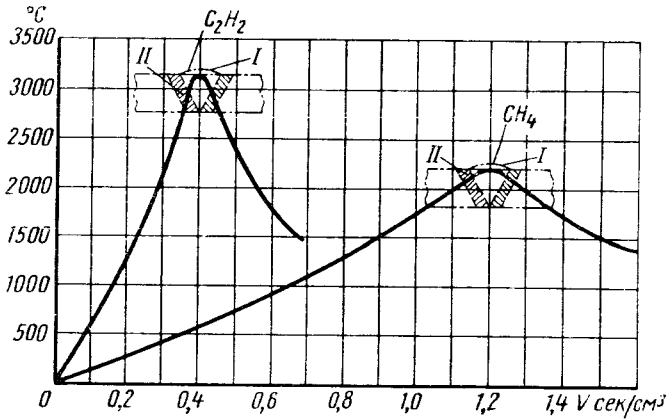


Рис. 73. Сравнительные кривые скорости нагрева  $C_2H_2$  и  $CH_4$

закаленного белого чугуна чередуются с ледебуритом и перлитом и вторичным цементитом. Графитные выделения в некоторых случаях в средней части перлита отсутствуют. Быстрый подъем температуры при сварке ацетиленом вызывает резкий перепад температур, вследствие чего металл охлаждается с большой скоростью, способствующей появлению отбела. При использовании модернизированных горелок для сварки природным газом газовый поток пламени уменьшает скорость охлаждения и затвердевания. В микроструктуре перлита содержатся выделения графита, отбеленные участки отсутствуют. При сварке искусственным газом вследствие высокой температуры пламени существует большой контакт между газами и шлаком, процесс окисления протекает с большой скоростью. В предложенном авторами способе сварки природным газом сварка идет с меньшей скоростью. Степень контактирования газов в ванне зависит от давления газового потока пламени, а также от температуры источников нагрева. Жидкий металл взаимодействует со шлаком в момент его расплавления. Расплавленный шлак при перемешивании ванны обволакивает капли металла, затем всплывает на поверхность со скоростью, превышающей движение металла при перемешивании. В этом

случае шлак как бы «промывает» металл, восстанавливая окислы до чистого металла. Время образования сварочной ванны с всплыванием шлака на поверхность больше при воздействии на металл природным газом, чем ацетиленом. Процесс раскисления металла шва состоит в «промывании» жидкого металла расплавленным шлаком, образовавшимся в результате плавления флюсов и окислов металла. При сварке природным газом величина константы распределения равна 0,5676—0,6851, при сварке ацетиленом равна 0,7145—0,9203. Величина константы распределения  $L$  при сварке природным газом почти в 2 раза меньше, чем при сварке ацетиленом, это свидетельствует о лучшей раскислительной способности диффузионного процесса при сварке природным газом.

Концентрация закиси железа  $\text{FeO}$  в металле шва может быть определена по уравнению Кербера и Ольсена

$$\frac{[\text{FeO}]_{\text{мет}}}{(\text{FeO})_{\text{шл}}} = \frac{-6651}{T} + 1,256.$$

При сварке ацетиленом

$$\frac{[\text{FeO}]}{(\text{FeO})} = \frac{-6651}{1623 \div 1973} + 1,526;$$

откуда константы распределения

$$L = \frac{[\text{FeO}]}{(\text{FeO})} = 0,00596 \div 0,0104.$$

При сварке природным газом

$$\frac{[\text{FeO}]}{(\text{FeO})} = \frac{-6651}{1423 \div 1573} = \frac{-6651}{1423 \div 1573} + 1,526.$$

Откуда константа распределения

$$L = \frac{[\text{FeO}]}{(\text{FeO})} = 0,00103 \div 0,00359.$$

Сравнивая содержание закиси железа в металле и шлаке (рис. 74) в зависимости от горючего газа видно, что при сварке ацетиленом концентрация закиси железа  $\text{FeO}$  в металле в 3—6 раз больше, чем при сварке природным газом. Жидкий металл под шлаком, содержащим  $\text{FeO}$ , насыщается кислородом в связи с активностью закиси железа в шлаке. Если шлак состоит из

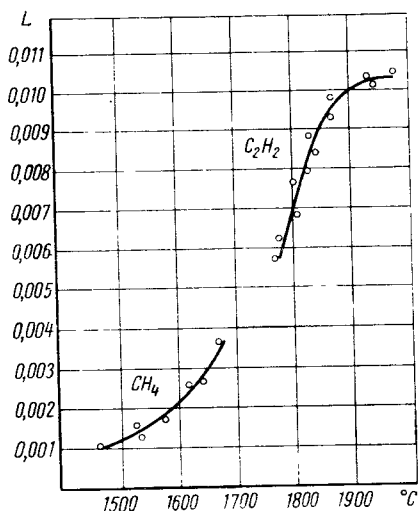


Рис. 74. Содержание закиси железа в металле и шлаке в зависимости от температуры сварки

одних окислов железа, то величина процентного содержания в металле может достигнуть максимума

$$\lg [0\%] = \frac{-6320}{T} + 2,734; \quad \lg [0\%] = \frac{-5000}{T} + 1,996.$$

Определяя  $[0\%]$  в зависимости от горючего газа-теплоносителя в сварочном процессе, получаем следующие данные. При сварке ацетиленом

$$\lg [0\%] = \frac{6320}{1773 + 1973} + 2,734,$$

$$\text{откуда } [0\%]_{мет} = 0,148 \div 0,340.$$

Присварке природным газом

$$\lg [0\%] = \frac{6320}{1473 + 1673} + 2,734,$$

$$\text{откуда } [0\%] = 0,0278 \times 0,0906.$$

Анализируя полученные данные при диффузионном раскислении, следует считать, что при сварке ацетиленом активность кислорода  $[0\%]$  в металле в 4—5 раз выше, чем при сварке природным газом (рис. 75). По уравнениям Кербера и Ольсена и данных рис. 74, 75 при высоких

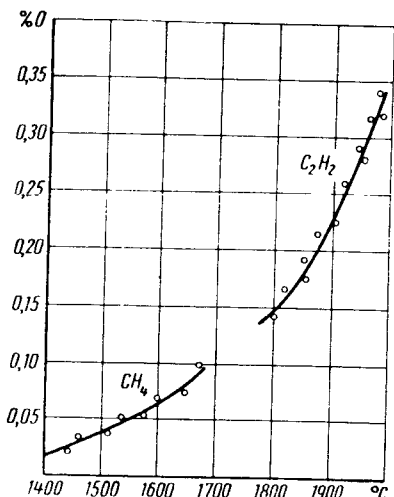
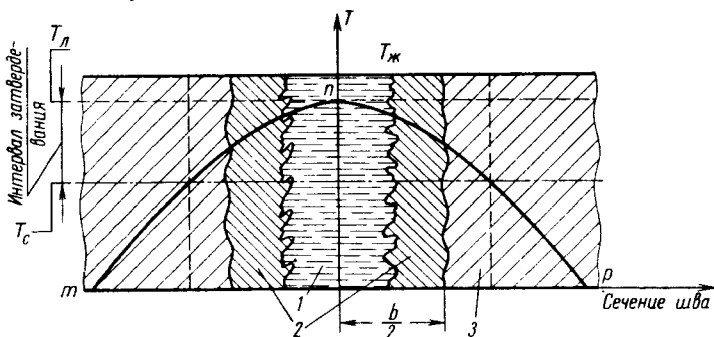


Рис. 75. Активность кислорода в металле шва при сварке в  $C_2H_2$  и  $CH_4$

температурах и сварке в шлак будет переходить меньшее количество закиси железа  $FeO$  и распределительная способность диффузионного процесса уменьшится. При сварке природным газом процессы образования ванны и охлаждения наваренного металла проходят медленнее. Это обеспечивает наиболее полный процесс перехода закиси железа  $FeO$  из металла в шлак (в 2—6 раз), способствуя получению более плотного металла шва.

**Кристаллизация.** В момент образования ванны свариваемого шва отмечаются две фазы: твердая и жидкая. Твердая — это основной металл, жидкая — это расплавленные грани разделки кромок и присадочного металла. В процессе охлаждения происходит формирование строения металла шва с первичной кристаллизацией. При этом появляются усадочные и газовые раковины, могут быть ликвационные выделения, возможно появление неметаллических включений. После первичной кристаллизации и полного затвердевания происходит вторичная кристаллизация в области сварной зоны. Этот период связан с развитием усадки твердого металла, увеличением раковин, которые приводят к повышению внутренних напряжений и появлению трещин.

Кривая распределения температур ( $mnp$ ) по сечению затвердевающего шва представляет собой ломаную линию, так как термофизические характеристики твердого и жидкого металла различны (рис. 76). В зонах шва и околошовных участках (на расстоянии  $b$ ) происходит резкий подъем температуры, а затем быстрое охлаждение металла. Кривая температур ( $mnp$ ) круто наклонена в об-

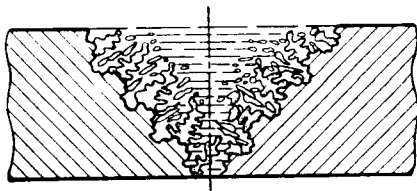


**Рис. 76.** Кривая изменения температур по сечению затвердевающего шва:

1 — жидкий металл; 2 — область взаимной кристаллизации; 3 — твердый металл

ласти твердой фазы и в области взаимной кристаллизации, т. е. в области смешения твердой и жидкой фаз. За счет выделяющейся скрытой теплоты кристаллизации область температур в жидкой фазе представлена в виде более пологой кривой, чем в твердой фазе.

При газовой сварке природным газом (плавлением) имеет место внутрикристаллическая форма связи составляющих сплавов. Мощный источник тепла создает жидкую ванну металла, границей которого являются поверхности частично оплавленных зерен основного металла. С начала охлаждения начинает кристаллизоваться металл ванны. Частично оплавленные зерна на границе с твердым основным металлом начинают расти в форме дендритов, причем ориентация роста кристаллов проходит по направлению наибольшего отвода тепла, т. е. совпадает с перпендикулярным направлением к наружной поверхности шва. Пачкообразные дендриты образуют непрерывную кристаллическую связь между свариваемым металлом и металлом ванны (рис. 77). Кристаллизация расплавленного металла начинается с момента удаления источника нагрева, когда преобладающим становится действие окружающих сварочную ванну холодных масс основного металла и воздушной среды.



**Рис. 77.** Непрерывная кристаллическая связь при сварке природным газом

Во время сварки природным газом на гранях разделки шва также образуются нерасплавившиеся выступы, между которыми образуются центры кристаллизации. Этим увеличивается число центров кристаллизации, в то же время линейная скорость роста кристаллов мала, так как температурный перепад при охлаждении ниже, чем при сварке ацетиленом, что способствует мелкозернистому строению металла шва. Время полного затвердения шва

$$\tau = \frac{R^2}{q^2};$$

где  $R$  — приведенная толщина шва в  $см$ ;

$q$  — константа затвердевания в  $см/сек^{\frac{1}{2}}$ , численно равная толщине затвердевающего слоя в первую единицу времени.

Слой затвердевшего металла за время  $\tau$   $x = q \tau$ . Для чугуна  $q = 0,1 \div 0,3$   $см/сек^{\frac{1}{2}}$ . По данным Н. Г. Гиршовича в металлических формах корка образуется за время  $\tau = 1,5 \div 9,0$   $сек$ , а по данным автора в середине образцов размером  $300 \times 300$   $мм$  при толщине шва 5, 10 и 15  $мм$   $\tau$  соответственно составляет 3—5, 5—10 и 10—20  $сек$ .

В местах оплавленных кристаллов на границе основного металла при сварке природным газом образуются зародыши, которые по форме можно классифицировать как трехмерные, двухмерные или даже одномерные (многогранники, многоугольные слои, цепочки). При сварке ацетиленом скорость затвердевания значительно больше, чем при сварке природным газом: в итоге параметры кристаллизации увеличиваются, эвтектические зерна уменьшаются. При сварке ацетиленом первый слой чугуна с отбеленными участками состоит из мелких беспорядочно ориентированных кристаллов, второй — из крупных столбчатых кристаллов и третий — из крупных безразлично ориентированных кристаллов. В наружном и пограничном слоях мелкие кристаллы образуются вследствие сильного переохлаждения (при сварке ацетиленом), характеризуются белой тонкой прослойкой отбеленного чугуна (рис. 78). Кристаллизация идет быстро и ориентированно перпендикулярно грани разделки. При сварке ацетиленом происходит транскристаллизация, т. е. явление смыкания столбчатых кристаллов, уменьшающее прочность шва. Транскристаллизация происходит при большой скорости охлаждения, высокой температуре ванны, большой линейной скорости роста кристаллов.

Графит, выделяющийся при сварке природным газом, препятствует образованию столбчатых кристаллов, поэтому явление транскристаллизации и ослабление прочности отсутствует. Обогащение металла шва графитом может проходить за счет умень-

шения содержания связанного углерода. В пограничном участке шва на гранях разделки необходимо установить форму углерода (графит или цементит), в которой он будет находиться, так как при всех способах сварки в этом примерно участке появляется отбеленная тонкая прослойка, нарушающая монолитность нава-

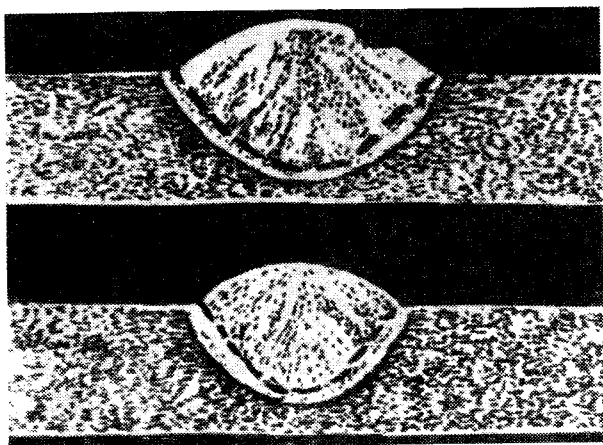
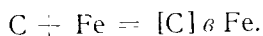
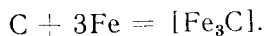


Рис. 78. Тонкая прослойка отбеленного чугуна при сварке  $C_2H_2$

ренного слоя и основного металла. При непосредственном растворении углерода в железе конструкция его определится по уравнению



Концентрацию цементита при растворении в железе можно записать



При постоянных  $C$ ,  $Fe$  константа равновесия будет равна

$$K_2 = \frac{[Fe_3C]}{[Fe]^3 [C]}.$$

Приведенные уравнения для констант равновесия позволяют определить содержание  $C$  и  $Fe_3C$  в зависимости от температуры жидкой ванны

$$\lg K_1 = \frac{a}{T} + b = \frac{-3890}{T} + 0,926;$$

$$\lg K_2 = \frac{a}{T} + b = \frac{-1710}{T} + 1,236.$$

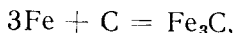
В зависимости от температуры расплава шва получены следующие данные:

$T$ °К	$K_1$	$K_2$
1100	0,0124	0,990
1200	0,0194	1,203
1300	0,0284	1,526
1400	0,0399	1,652
1500	0,0540	1,888
1600	0,0708	2,120
1700	0,0902	2,360

Расчет концентрации углерода по уравнениям для  $\lg K_1$  и  $\lg K_2$  показывает, что с повышением температуры ванны концентрация углерода повышается незначительно по сравнению с увеличением концентрации цементита.

Так, при температуре  $1573^\circ\text{К}$  концентрация  $\text{Fe}_3\text{C}$  больше концентрации С на 1,398% или на 14%, а при температуре  $1973^\circ\text{К}$  концентрация  $\text{Fe}_3\text{C}$  больше концентрации С на 2,27% или на 23%.

Из расчетов видно, что общее количество цементита по сравнению с углеродом значительно больше, т. е. для предельной температуры ванны при сварке ацетиленом,  $T = 1973^\circ\text{К}$ ;  $K_2 = 2,36$ , а при сварке природным газом  $T_s = 1573^\circ\text{К}$ ,  $K_2 = 1,42$ . Образование карбида железа  $\text{Fe}_3\text{C}$  может проходить как за счет непосредственной реакции железа и углерода по уравнению



так и при взаимодействии железа с газовой фазой



Константа равновесия образования  $\text{Fe}_3\text{C}$  в зависимости от температуры определяется формулой

$$\lg K_2 = \lg \frac{[\text{Fe}]^3 [\text{C}]}{[\text{Fe}_3\text{C}]} = \frac{-1710}{T} - 1,234$$

при  $T_s = 1373$ ;

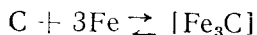
$$\lg K_2 = \frac{-1710}{1373} - 1,234 = 0,012.$$

Откуда  $K_2 = 0,992$ .

Из расчетных данных и рис. 79 для константы равновесия образования  $\text{Fe}_3\text{C}$  видно, что с повышением температуры при сварке ацетиленом образование карбида железа увеличивается.

При сварке природным газом благодаря хорошей графитизации, т. е. степени насыщения шва углеродом, возникающая структура металла хорошо поддается механической обработке, что особенно важно в ремонтных работах, а также при ликвидации литого брака в деталях.

В связи с обратимостью реакции



превышение температуры ванны шва способствует увеличению скорости образования  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Скорость сближения Fe и C определяет мгновенный фактор образования  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Скорость прямой реакции образования  $\text{Fe}_3\text{C}$  и обратной реакции распада карбида железа будет определять степень насыщения металла шва свободным углеродом-графитом:

$$v_1 = K' [\text{Fe}_3\text{C}]; \quad v_2 = K'' [\text{Fe}]^3 [\text{C}],$$

где  $K'$  — константа скорости образования  $\text{Fe}_3\text{C}$ ;  
 $K''$  — константа скорости распада  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

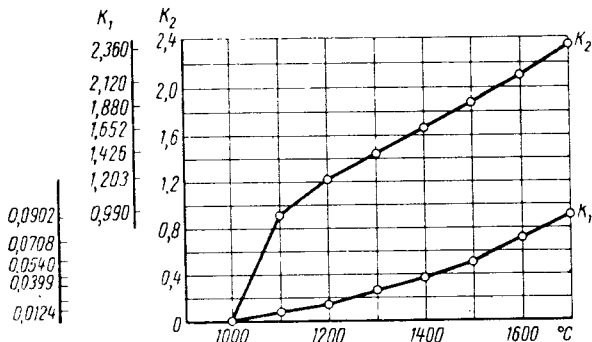


Рис. 79. Константы равновесия в процессе образования  $\text{Fe}_3\text{C}$  при сварке  $\text{C}_2\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$

Скорость графитизации будет определяться скоростью прямой и обратной реакции по уравнению:

$$v_{\text{Fe}_3\text{C}} \frac{d(\text{Fe}_3\text{C})}{dt} = K' (\text{Fe}_3\text{C}) - K'' [\text{Fe}]^3 [\text{C}].$$

При равновесии скорость  $v_1$  образования  $\text{Fe}_3\text{C}$  и скорость  $v_2$  распада  $\text{Fe}_3\text{C}$  будут равны, т. е.

$$v_1 = v_2 = K' [\text{Fe}_3\text{C}] - K'' [\text{Fe}]^3 [\text{C}];$$

$$\frac{K'}{K''} = \frac{[\text{Fe}_3\text{C}]}{[\text{Fe}]^3 [\text{C}]} = K_2.$$

Константа равновесия при образовании цементита  $\text{C} + 3\text{Fe} = \text{Fe}_3\text{C}$  с повышением температуры увеличивается, что поддерживает более быстрый рост  $K'$ , чем  $K''$ , т. е. образование  $\text{Fe}_3\text{C}$  идет быстрее, чем распад карбида железа, способствуя образованию отбеденных зон при сварке ацетиленом.

При образовании расплава в шве в момент изотермической выдержки происходит полное или частичное превращение перлита, как основной составляющей машиностроительных чугунов, в аустенит. В этом случае может происходить науглероживание аустенита. По диаграммам состояния Fe— $\text{Fe}_3\text{C}$  и Fe—C можно

определить предельную концентрацию науглероживания, точка  $b$  при изотермическом состоянии ( $I-I$ ), которая происходит за счет цементита или графита на пограничных участках между аустенитом и цементитом или графитом (рис. 80). При сварке ацетиленом при повышенной температуре расплава уменьшается науглероживание аустенита по сравнению со сваркой природным газом. При повышении концентрации углерода в аустените (кривая  $AE$ ) углерод, диффундируя в решетку аустенита и разрушая ее вызывает плавление металла.

В жидкой фазе содержание углерода в контакте с аустенитом определяется кривой  $AC$ , т. е. точкой  $C$ ; в контакте же с цемен-

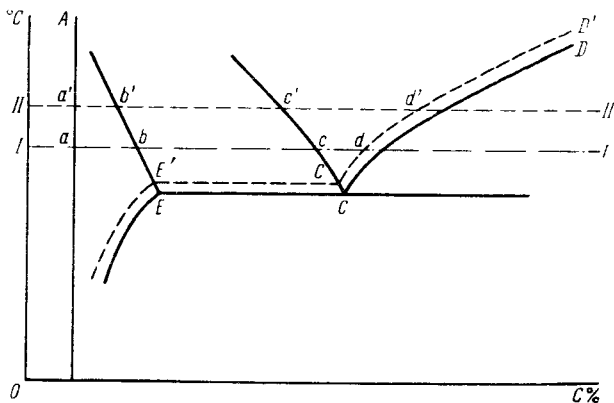
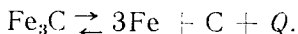


Рис. 80. Диаграмма обогащения металла углеродом при сварке  $CH_4$

титом и графитом — кривыми  $CD$  или  $C'D'$ , т. е. точками  $d$  и  $d'$ . Разность концентраций углерода в форме графита и цементита в жидкой фазе вызывает диффузию его из цементита или графита в аустенит. Такая диффузия происходит также между линиями солидус и ликвидус. По диаграмме состояния  $Fe-Fe_3C$  и  $Fe-C$  продолжительность диффузионных процессов обогащения углеродом при сварке природным газом значительно больше, чем при сварке ацетиленом. При этом изотермическая остановка  $II$ , наиболее близкая к температуре сварочной ванны при  $C_2H_2$  имеет расстояние  $b'c'$  значительно меньше, чем при изотермической остановке  $I$ , приближающейся по температуре ванны к случаю сварки  $CH_4$ , когда расстояние  $bc$  больше  $b'c'$ .

Теория диссоциации молекулярных группировок обосновывает нахождение углерода в жидком чугуне в атомарном состоянии  $C$  или молекулярном  $Fe_3C$ . Во время кристаллизации он стремится выделиться в той или иной форме. В жидком чугуне проходит диссоциация карбидов по экзотермической реакции



С повышением температуры перегрева жидкого чугуна (при сварке ацетиленом) количество связанного углерода увеличивается, реакция идет с поглощением тепла. При сварке чугуна одним из наиболее важных признаков хорошей сварки является отсутствие отбеленных участков. При сварке ацетиленом появляется закаленная поверхность всего шва или отдельных участков, в которых почти весь углерод связан в форме цементита  $Fe_3C$  — наиболее твердой составляющей. Графит вовсе отсутствует или имеются незначительные его следы. При наличии пограничных отбеленных зон нет условий для диффузии между расплавом и основным металлом.

При сварке природным газом с умеренным нагревом свариваемой области появляются диффузионные процессы, способствующие межкристаллическим связям. Для определения твердости по

Бринелю при сварке метаном рекомендуется формула  $HV = 60x + 20$  (рис. 81). Модернизированные горелки с лепестковой формой пламени при сварке природным газом позволяют уменьшить и даже совсем устранить закалку. В закаленной поверхности шва можно различить несколько слоев (рис. 82). Чистая глубина

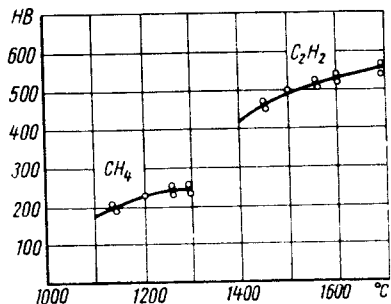


Рис. 81. Твердость по Бринелю шва при сварке  $C_2H_2$  и  $CH_4$

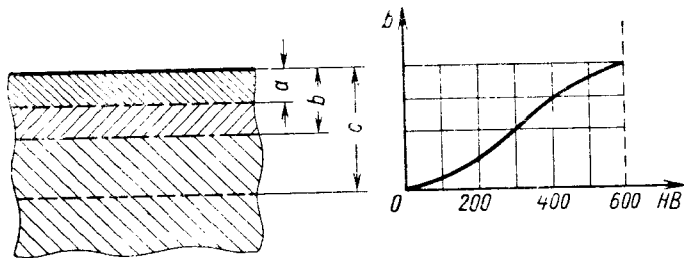


Рис. 82. Закаленная поверхность шва

закалки  $a$  — расстояние от поверхности до первых зерен вкрапленных графита;  $b$  — глубина закалки от поверхности до ясного серого чугуна и  $c$  — общая глубина закалки до конца белых пятен в чугуне. На глубину закалки в зависимости от твердости закаленного слоя влияет химический состав чугуна и главным образом кремний (рис. 83). Изменение содержания Si до 2% не оказывает значительного влияния на изменение твердости закаленного слоя, это влияние заметно при изменении 3—4% Si. При содержании выше 4% Si увеличивается твердость закаленного слоя.

**Усадка.** Для определения причин, вызывающих появление трещин, а также повышенных напряжений, необходимо определить величину усадки шва в чугунах. Металл шва при охлаждении уменьшается в объеме, т. е. дает усадку. Основным же металл, нагреваясь за счет ванны шва, увеличивается в объеме. В результате усадки шва и расширения основного металла образуются усадочные раковины.

Усадка зависит от следующих факторов: 1) химического состава чугуна; 2) температуры металла в ванне; 3) температуры основного металла; 4) скорости охлаждения; 5) торможения свободной усадки на свариваемом участке (открытый или замкнутый контур для места сварки).

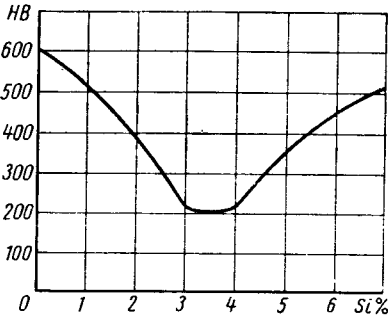


Рис. 83. Влияние химического состава чугуна на глубину закалки

шва от температуры ванны  $T_{ж}$  до нормальной температуры  $T_0$  схематически можно различать три состояния или три вида усадки чугуна: в жидком состоянии  $\epsilon_{ж}$ , во время затвердевания  $\epsilon_s$ ; в твердом состоянии  $\epsilon_T$ .

В зависимости от физико-химических свойств чугуна и температурного интервала объемная усадка  $\epsilon_{вн}$  от температуры жидкой ванны  $T_{ж}$  до полного охлаждения  $t = 0$  может быть представлена следующей формулой:

$$\epsilon_{вн} = \epsilon_{вж} + \epsilon_{вз} + \epsilon_{вТ} = \epsilon_{вж} + \epsilon_{вз} +$$

$$+ [-v_{расш} + \epsilon_{в\partial n} - \epsilon_{в\gamma \rightarrow \alpha} + \epsilon_{впн}],$$

где

- $\epsilon_{вж}$  — объемная усадка в жидком состоянии;
- $\epsilon_{вз}$  — объемная усадка во время затвердевания;
- $\epsilon_{вТ}$  — объемная усадка в твердом состоянии;
- $-v_{расш}$  — предусадочное расширение;
- $\epsilon_{в\partial n}$  — доперлитная усадка;
- $-\epsilon_{в\gamma \rightarrow \alpha}$  — предусадочное расширение за счет перестройки  $\gamma$  в  $\alpha$ ;
- $\epsilon_{впн}$  — послеперлитная усадка.

Средняя величина полной объемной усадки чугуна в шве при сварке ацетиленом

$$\epsilon_{\text{ож}} (\text{C}_{22}\text{H}_2) = (8,352 \div 10,92) \div ( -3,3 \div -4,65) \div \\ \div ( -1,6 \div -2,1) \cdot 3.$$

При сварке природным газом

$$\epsilon_{\text{ож}} (\text{CH}_4) = ( +0,1475 \div +2,52) \div + ( +1,5 \div +2,85) \div \\ \div ( +0,6 \div +2,1) \cdot 3.$$

Отрезок кривой  $AB$  на рис. 84 показывает усадку жидкого металла при сварке ацетиленом. Точка  $A$  определяет температуру ванны шва  $1600\text{--}1700^\circ\text{C}$ . Наклон кривой  $AB$  характеризует интенсивность падения температуры в жидком металле при высокой степени перегрева расплава в интервале температур  $T_b - T_a = 1540^\circ - 90^\circ \cdot \text{C}\%$ . В зависимости от наклона кривой  $AB$  и протяженности ее вправо усадка жидкого металла  $\epsilon_{\text{ож}}$  увеличивается. Так, при сварке ацетиленом усадка в жидком состоянии ( $\epsilon_{\text{ож}} = +6,35 \div +10,12\%$ ) происходит в интервале температуры  $T_a \div T_c$ .  $T_a = 1540^\circ - 90^\circ \cdot \text{C}\%$   $T_c$  зависит от химического состава металла шва и может быть определена по диаграмме  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ . Вследствие высокой температуры сварочного пламени  $3000\text{--}3100^\circ\text{C}$  происходит интенсивное выгорание отдельных компонентов металла (кремния и углерода), вводимых в значительных количествах вместе с присадочным металлом или флюсом. Это усадка определяется отрезком кривой  $BC$  для сварки ацетиленом  $\epsilon_{\text{ож}} (\text{C}_2\text{H}_2) = +3,3 \div +4,65\%$ .

Усадка в твердом состоянии характеризуется отрезком кривой  $CD$  с участками, определяющими предусадочное расширение  $CC'$  ( $-v_{\text{расш}}$ ) главным образом за счет графитизации, затем доперлитной усадки  $CE$ , расширения в результате перестройки  $\gamma \rightarrow \alpha$  и, наконец, послеперлитной усадки (кривая  $E'D$ ).

На рис. 84 показаны также изменения объемной усадки в зависимости от температуры при сварке природным газом. Отрезок кривой  $AB$  показывает направление усадки жидкого металла шва в интервале температур от  $T_b = 1300 \div 1200^\circ\text{C}$  до  $T_a = 1540^\circ - 90^\circ\text{C}$ . Наклон этого отрезка характеризует плавное падение температуры в жидком расплаве, способствующее выходу газов из ванны шва и уменьшению усадки  $\epsilon_{\text{ож}}$ . При сварке природным газом усадка в жидком состоянии  $\epsilon_{\text{ож}} = +0,1475 \div +2,52\%$ . Усадка в жидком состоянии при сварке ацетиленом больше усадки при сварке природным газом в 4—5 раз.

При сварке природным газом  $\epsilon_{\text{ож}}$  определяется в зависимости от содержания кремния в металле шва, т. е. эвтектика на диаграмме  $\text{Fe}-\text{Si}-\text{C}$  переходит влево. Отрезок  $BC$  характеризует изменение объема металла при сварке природным газом  $\epsilon_{\text{ож}} = +1,5 \div +$

+ 2,85%. Следовательно, такая же усадка при сварке ацетиленом больше усадки при сварке природным газом в 2—3 раза. Усадка  $\epsilon_{вТ}$  характеризует изменение объема металла в твердом состоянии (рис. 84 отрезок CD): преудачное расширение отражено кривой  $CC'$  ( $-\nu_{расш}$ ) и происходит главным образом за счет графитизации (при сварке природным газом); доперлитная усадка  $\epsilon_{вдп}$  характеризуется кривой  $C\epsilon$ ; расширение —  $\epsilon_{в\gamma \rightarrow \alpha}$  происходит за счет перестройки ( $\gamma \rightarrow \alpha$ ); в конце процесса усадки в твердом состоянии наступает послеперлитная усадка  $\epsilon_{вплн}$  (кривая  $\epsilon'D$ ). Следовательно, объемная усадка в твердом состоянии

$$\epsilon_{вТ} = [-\nu_{расш} + \epsilon_{вдп} - \epsilon_{в\gamma \rightarrow \alpha} + \epsilon_{вплн}].$$

При сварке ацетиленом  $\epsilon_{вТ} = +4,8 \div +6,3\%$ , при сварке природным газом  $\epsilon_{вТ} = +1,8 \div +6,3\%$ .

Анализируя данные полной объемной и линейной усадки при сравнимых способах сварки ацетиленом и природным газом, можно сделать следующие выводы. Полная объемная усадка в случае содержания 3% C при сварке ацетиленом равна 20,07%, при сварке природным

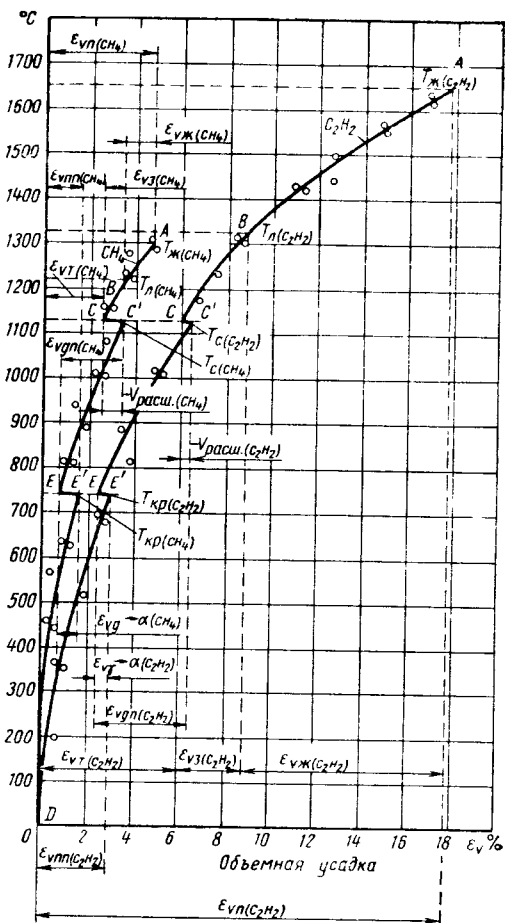


Рис. 84. Усадка металла шва

газом равна +4,45%. Следовательно, объемная усадка при сварке ацетиленом для чугуна со средним содержанием 3% C по сравнению со сваркой природным газом больше в 4 раза. Линейная усадка при сварке ацетиленом также превышает усадку при сварке природным газом в 4 раза. Общий баланс с полной усадкой  $\epsilon_{вн}$  в зависимости от способа сварки распределяется следующим образом (табл. 27).

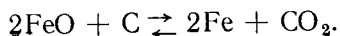
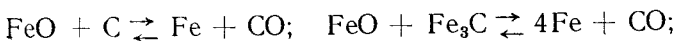
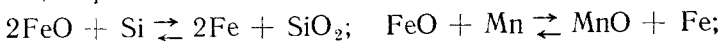
Усадка в % в зависимости от способа сварки при содержании в чугуне углерода 3%

Усадка	Способ сварки	
	ацетиленом	природным газом
В жидком состоянии . . . . .	$(+6,352) \div (+10,12)$	$(+0,1475) \div (+2,52)$
При затвердевании . . . . .	$(-3,3) \div (+4,65)$	$(+1,5) \div (+2,85)$
В твердом состоянии . . . . .	$\{(+1,6) \div (+2,1)\} \cdot 3$	$\{(+0,6) \div (+2,1)\} \cdot 3$

Уменьшение усадки при сварке природным газом позволяет снижать напряжения в шве и избегать появления трещин. Усадка при сварке природным газом уменьшена путем регулирования фазовых превращений, а также благодаря хорошей графитизации при новом способе сварки чугуна в условиях умеренных температур.

**Флюсы и присадочные материалы.** Исследование присадочных материалов и флюсов при сварке чугуна природным газом имеет большое значение для решения проблемы использования природных газов. Для сварки необходимы присадочные материалы и флюсы, которые обеспечивают хорошую свариваемость и обрабатываемость сварного шва. При сварке чугуна в широко распространенных способах (электродуговом, газовом с использованием ацетилена) применяют флюсы, содержащие разнообразные компоненты без анализа их количественного состава. Это отрицательно влияет на образование структур сварного шва, способствует возникновению отбеленных участков, увеличению усадки и появлению трещин в околосшовной зоне. С внедрением в сварочное производство разработанного нами способа сварки серых чугунов с использованием природного газа как заменителя ацетилена были исследованы и внедрены флюсы, обладающие хорошими раскислительными свойствами, обеспечивающие хорошую графитизацию и легкую обрабатываемость наваренного металла.

Под влиянием кислорода воздуха и кислорода, подаваемого в сварочный факел в процессе сварки окисляются составные элементы чугуна (Fe, C, Si, Mn, P, S). Окислы, имеющие температуру плавления около 1350° С, затрудняют образование сварного шва. В этом процессе в первую очередь окисляется железо Fe до FeO. Целью раскисления является снижение в металле шва содержащих не только закиси железа [FeO], но и других окисных составляющих. Окисел FeO реагирует со всеми примесями в чугуне по следующим реакциям:



При этом образуются шлаки  $MnO \cdot SiO_2$ ;  $2Fe \cdot SiO_2$  и др. Эти шлаки, всплывая на поверхность расплава шва, способствуют понижению концентрации появляющихся примесей. Вводимые с флюсом элементы (Mn, Si, Al и др.) обладают большим сродством к кислороду, чем окисляемый металл, и дают окислы не растворимые в расплаве. Количественное соотношение вводимых во флюс элементов и их состав подбираются такими, чтобы образующиеся окислы могли вступать во взаимодействие как между собой, так и с закисью железа, образуя легкоплавкие соединения, всплывающие на поверхность расплава. Примером коагуляции,

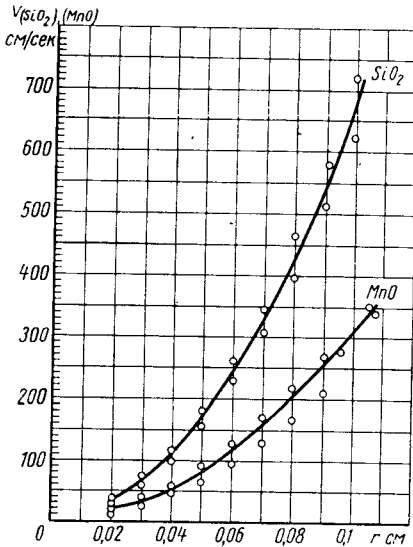


Рис. 85. Сравнительные данные скорости всплывания шлаков

Плотность образовавшихся окислов ( $4,7 \div 5,5 \text{ Мг/м}^3$   $MnO$  и  $2,3 \div 2,6 \text{ Мг/м}^3$   $SiO_2$ ) обеспечивает скорость всплывания шлаковых частиц  $v_{MnO} = (10,20 \div 372,0) \cdot 0,01 \text{ м/сек}$  и  $v_{SiO_2} = (24,7 \div 720,0) \cdot 0,01 \text{ м/сек}$ , т. е. при введении кремния обеспечивается наибольшая плотность расплава, благодаря повышенной скорости всплывания шлака. На кривых рис. 85 показаны сравнительные данные скоростей всплывания шлака при введении во флюс марганца или кремния. Вводимый в состав флюса кремний значительно влияет на понижение температуры плавления металла при образовании эвтектики с содержанием углерода менее 4,3%. Снижение температуры расплава является весьма ценным преимуществом при сварке природным газом с умеренной температурой сварочного факела. При повышении содержания кремния в железоуглеродном сплаве снижается количество углерода в эвтектике

с крупными включениями появившихся шлаков легко всплывающих на поверхность ванны, служит вводимый во флюс кремний. Скорость всплывания окислов подсчитывают по формуле Стокса:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 (d_{Me} - d_{вкл.}) \cdot g}{\eta} \cdot \text{г см/сек},$$

где  $r$  — радиус частиц  
0,02—0,1 в см;

$d_{Me}$  — плотность металла 7,25 в  $\text{Мг/м}^3$ ;

$d_{вкл.}$  — плотность включения в  $\text{Мг/м}^3$ ;

$g$  — ускорение силы тяжести  $981 \times 0,01 \text{ м/сек}^2$ ;

$\eta$  — коэффициент вязкости для жидкого чугуна  $\eta = 0,015$  пуаз.

и тем самым — температура ванны. Эвтектическое содержание углерода в процентах может быть определено по уравнению

$${}^0_0 C_{эвт} = 4,3 \frac{{}^0_0 Si}{3,2} \approx 4,3 - 0,3 {}^0_0 Si.$$

При введении во флюс 3,0—4,0% Si процентное содержание углерода в эвтектике равно

$${}^0_0 C_{эвт} = 4,3 - (0,3 \cdot 3,0 \div 0,3 \cdot 4,0).$$

В сплаве Fe—C—Si эвтектичность как характеристика, связанная с линией ликвидуса, определяет температуру плавления шва, жидкотекучесть и выделение графита при затвердевании. В результате понижения температуры расплава уменьшается степень образования карбидов, что способствует выделению свободного графита. Степень эвтектичности можно представить отношением

$$S_3 = \frac{\% C}{4,3 - \frac{\% Si}{3,2}} \approx \frac{\% C}{4,3 - 0,3\% Si}.$$

При содержании 3,0—4,0% Si и 2,5—4,5% C эвтектичность составляет (рис. 86).

$$S_3 = \frac{2,5 \div 4,5}{4,3 - (0,3 \cdot 3,0 \div 0,3 \cdot 4,0)} = 0,8 \div 1,32.$$

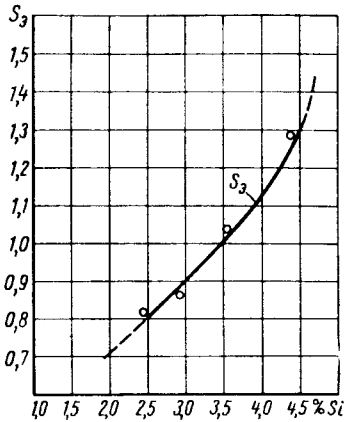


Рис. 86. Степень эвтектичности  $S_3$  в зависимости от содержания кремния во флюсе

Кремний как компонент флюса положительно влияет на раскисление появляющихся окислов металла при сварке.

В наших исследованиях измерялась температура ванны основного металла и пограничных со швом зон. Температура расплава при сварке природным газом составляет 1423—1573° K и при сварке ацетиленом 1673—1973° K. При таких температурах расплава константа равновесия, определяющая наличие окислов металла шва при применении во флюсе марганца имеет следующие предельные значения:

$$K_{Mn} = \frac{[\% Mn][\% FeO]}{(\% MnO)}$$

или

$$\lg K_{Mn} = \lg \frac{[\% Mn][\% FeO]}{(\% MnO)} = -\frac{11950}{T} + 2,616.$$

Подставляя значения температуры расплава в °К получаем величины  $K_{Mn}$  в зависимости от горючего газа. При сварке ацетиленом  $K_{Mn(C_2H_2)} = (18,03 \div 249,0) \cdot 10^{-7}$ .

При сварке природным газом  $K_{Mn(CH_4)} = (1,72 \div 10,08) \cdot 10^{-7}$ .

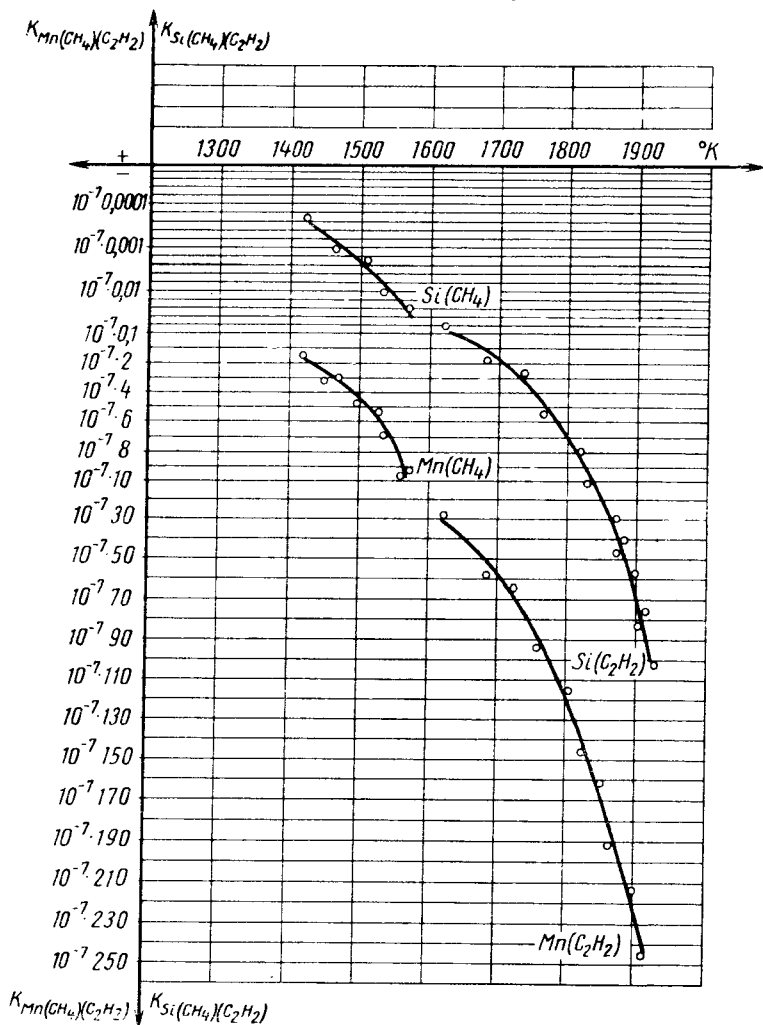


Рис. 87. Константы равновесия в зависимости от флюсов

Таким образом, при сварке искусственным газом — ацетиленом количество окислов металла  $[FeO]$  в расплаве больше в 9—20 раз по сравнению со сваркой природным газом  $[K_{Mn(C_2H_2)} > K_{Mn(CH_4)}]$ . Кремний как компонент — раскислитель в составе

флюса имеет большее значение по сравнению с марганцем

$$K_{Si} = [\% \text{ FeO}]^2 [\% \text{ Si}]$$

$$\lg K_{Si} = \lg [\% \text{ FeO}]^2 [\% \text{ Si}] \quad \frac{3100}{T} = 2,152$$

С введением в состав флюса 3,0–4,0% Si константа равновесия, как характеристика количества окислов [FeO] в металле шва, находится в следующих пределах: при сварке ацетиленом

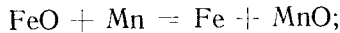
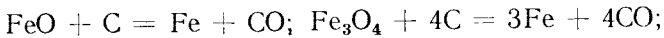
$$K_{Si(C_2H_2)} = (0,1 \div 107,7) 10^{-7};$$

при сварке природным газом

$$K_{Si(CH_4)} = (0,000271 \div 0,0297) 10^{-7}.$$

При сравнении влияния компонентов флюса марганца и кремния по константам равновесия  $K_{Mn}$  и  $K_{Si}$  (рис. 87) видно, что наилучшее раскисление окислов металла достигается при введении 3,0–4,0% Si. Введение кремния дает следующие преимущества: 1) увеличение скорости всплывания шлаков, что улучшает плотность металла; 2) снижение температуры расплава; 3) хорошую раскисляемость окислов металла.

Применяемый для проведения лабораторных исследований присадочный металл имел следующий состав: 3,36% C; 3,8% Si; 0,51% Mn; 0,22% P; 0,05% S. Состав флюса подбирали с учетом прохождения необходимых реакций раскисления. При металлургическом процессе образования расплава, появляющиеся окислы железа вступают во взаимодействие с другими компонентами флюса (углеродом, марганцем, кремнием), кроме буры, по реакциям:



При сварке природным газом ванна остывает медленнее, чем при сварке ацетиленом (из-за меньшего перепада температур от температуры расплава до окружающей температуры). Это условие создает возможность возникающей окиси углерода выделиться из расплавленного металла, а окиси марганца в окиси кремния всплыть в виде шлаков на поверхность.

Наиболее употребительными в лабораторных и производственных условиях были флюсы, состоящие из 50% буры и 50% чугунного порошка.

Флюсы	Состав чугунного порошка в %	Флюсы	Состав чугунного порошка в %
№ 1	2,93 C	№ 3	0,2 P
	2,2 Si		0,04 S
	0,56 Mn	№ 4	2,85 C
	0,24 P		1,85 Si
	0,05 S		0,81 Mn
№ 2	3,29 C	№ 5	0,15 P
	3,29 Si		0,02 S
	0,51 Mn		2,8 C
	0,22 P		1,72 Si
	0,05 S		0,90 Mn
№ 3	3,5 C		0,32 P
	3,64 Si		0,012 S
	0,48 Mn		

При сварке природным газом наилучшие результаты дали флюсы № 2 и № 3 с содержанием 3,0—4,0% Si. В этом случае образование ванны расплава было спокойным с однородным составом без шлаковых включений. В результате применения флюсов № 1, 4, 5, содержащих около 2% Si, т. е. значительно меньше 3% поверхность ванны была неровной со шлаковыми включениями и заметным пузырением металла. В макроструктуре швов, сваренных с флюсами № 1, 4, 5 были вкрапления шлака внутри застывшего расплава и в поверхностном слое шва. Наибольшая скорость образования 1 см<sup>3</sup> чугунного расплава (1,5÷4,0 сек/см<sup>3</sup>) достигается при использовании флюсов № 1 и № 3. С применением же флюсов № 4, 5 скорость расплавления металла увеличилась до 9,0—15,0 сек/см<sup>3</sup> (рис. 88). Нарушение параллельности кромок шва (коробление) было незначительным при применении флюсов № 2 и 3, в пределах 1—2 мм на длине шва 100 мм. При сварке с флюсами № 4 и 5 такое коробление доходило до 5—8 мм на длине шва 100 мм. Усадка металла шва при применении флюсов № 2 и 3 меньше.

Микроструктура образцов, сваренных с флюсами № 2 и 3 состоит из перлита и графита средней завихренности при длине графитных включений до 60 мкм. Феррит выделяется в виде оторочек вокруг графита и в виде зерен. Свободно выделенный цементит отсутствует. Переход от шва к основному металлу плавный. Твердость *HV* 180—190. Флюсы № 1, 4, 5 влияют на структуру металлической основы. Содержание цементита в сварном шве повышается до 3—5%. В макроструктуре имеются небольшие участки шлаковых включений и небольшие пористые зоны. Твердость шва *HV* 250—280. При сварке чугунных изделий природным газом с флюсами № 2 и 3 структура шва содержит графит, цементитные включения отсутствуют, признаков трещинообразования нет. Этот состав флюса за счет осаждающего раскисления обеспечивает быстрое образование сварочной ванны, плотное строение металла шва с микроструктурой при свободно выделенном графите в виде мелких пластинок и завихрений величиной 50—70 мкм. Данные по

твердости металла шва не выше *HV* 200, что обеспечивает хорошую и легкую механическую обрабатываемость наваренных участков.

**Влияние отдельных компонентов присадочного металла на качество шва.** Появляющиеся при сварке чугуна окислы с температурой плавления около 1350° С затрудняют образование свар-

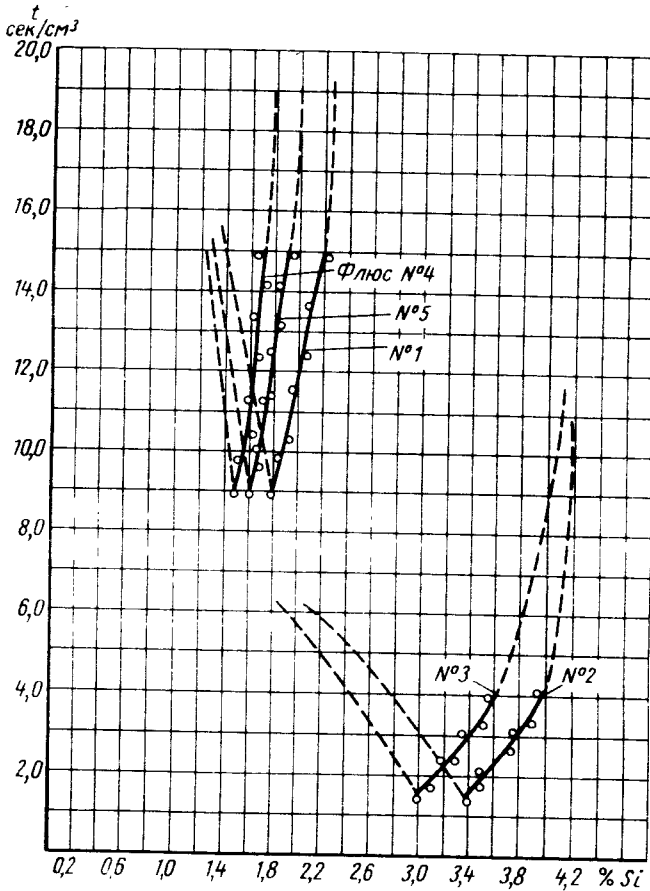


Рис. 88. Скорость образования 1 см³ расплава в зависимости от вводимых флюсов

ного шва. Для восстановления окислов железа и освобождения расплава от закиси железа FeO в состав присадочного металла, кроме флюсов, следует вводить наиболее сильные раскислители — углерод, марганец, кремний. При этом наблюдается три вида раскислений: газообразующее, осаждающее и диффузионное. Для чугуна окисление углерода происходит от взаимодействия растворенных в металле углерода и кислорода и кислорода с образованием окиси углерода по реакции  $C + O = CO \uparrow$ .

Константу равновесия  $K_C = \frac{P_{CO}}{[C][O]}$  численно определяют по уравнению

$$\lg K_C = \frac{1660}{T} + 1,65$$

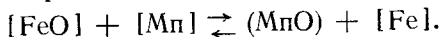
в зависимости от температуры расплава при сварке ацетиленом ( $T_{\max} = 1873\text{—}1973^\circ \text{K}$ )

$$K_{C(C_2H_2)} = -\frac{1660}{T} + 1,65 = +0,77 \div +0,84;$$

при сварке природным газом ( $T_{\max} = 1473\text{—}1573^\circ \text{C}$ )

$$K_{C(CH_4)} = -\frac{1660}{T} + 1,65 = +1,65 = +0,45 \div +0,53.$$

Следовательно,  $K_{C(C_2H_2)} > K_{C(CH_4)}$ , т. е. окисление углерода при использовании ацетилена проходит быстрее, чем при природном газе, что приводит к пористому строению металла шва. Для осаждающего раскисления широко используют наиболее сильные раскислители: ферромарганец и ферросилиций, при введении которых восстановление окислов металла проходит на основе обменных реакций с образованием шлаков  $MnO \cdot SiO_2$ ,  $2FeO \cdot SiO_2$ . Шлаки, всплывая на поверхность ванны, понижают концентрацию примесей. Раскисление металла при введении марганца проходит по реакции



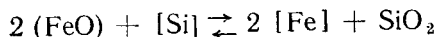
Константа равновесия

$$\lg K_{(Mn)} = \lg \frac{[\% Mn][\% FeO]}{(\% MnO)} = -\frac{11950}{T} + 2,616.$$

При сварке ацетиленом  $K_{Mn(C_2H_2)} = -3,66 \div -3,474$ ; природным газом  $K_{Mn(CH_4)} = 5,43 \div -4,98$ . На основе вышеприведенного

$$\lg K_{Mn(C_2H_2)} > \lg K_{Mn(CH_4)}$$

и, следовательно, при сварке ацетиленом образуется большое количество окислов металла в расплаве. Раскислительная способность кремния во много раз больше, чем марганца. Кремневостановительный процесс идет по реакции:



и константа равновесия может быть определена по уравнению

$$\lg K_{Si} = [^0 FeO]^2 [^0 Si] = -\frac{19057}{T} + 11,2.$$

При сварке ацетиленом  $\lg K_{Si(C_2H_2)} = +0,9 \div +1,4$ , природным газом  $\lg K_{Si(CH_4)} = -1,9 \div -1,1$ . В результате введения кремния  $\lg K_{Si(C_2H_2)} > \lg K_{Si(CH_4)}$ , т. е. при сварке ацетиленом образуется большое количество окислов (рис. 89).

Важной характеристикой диффузионного раскисления является распределение закиси железа между шлаком и металлом и последующим связыванием FeO в стойкие комплексы с удалением закиси железа в шлак. К недостатку этого раскисления относят повышенный угар металла шва. Сродство к кислороду компонентов, находящихся в присадочном металле, может быть выражено уравнением свободной энергии этого процесса или величиной упругости диссоциации окислов. Изменение свободной энергии в зависимости от теплового эффекта реакции определяется следующими данными:

1. При окислении углерода  $[FeO] + [C] = [Fe] + CO$ ;  $\Delta F^\circ C = +20\ 390 - 20,03T$ . При сварке ацетиленом  $\Delta F^\circ C_{(C_2H_2)} = (-17\ 126 \div -19\ 129) \times 4,19$  дж. При сварке природным газом  $\Delta F^\circ C_{(CH_4)} = (-9114 - 11\ 117) \cdot 4,19$  дж.

2. При окислении марганца  $[FeO] + [Mn] = (MnO) + [Fe]$ ;  $\Delta F^\circ_{Mn} = 29\ 500 \div 13,47 T$ . При сварке ацетиленом  $\Delta F^\circ_{Mn(C_2H_2)} = (-2934 \div -4271) \cdot 4,19$  дж. При сварке природным газом  $\Delta F^\circ_{Mn(CH_4)} = (-8312 \div -9659) \cdot 4,19$  дж.

3. При окислении кремния  $2 [FeO] + [Si] = (SiO_2) + 2 [Fe]$ ;  $\Delta F^\circ_{Si} = -71\ 640 \div 23,42 T$ . При сварке ацетиленом  $\Delta F^\circ_{Si(C_2H_2)} = (-25\ 433 \div -27\ 734) \cdot 4,19$  дж. При сварке природным газом  $\Delta F^\circ_{Si(CH_4)} = (-34\ 801 \div 37\ 143) \cdot 4,19$  дж. Изменение свободной энергии является важной характеристикой раскислительной способности компонентов присадочного металла. Чем больше отрицательное значение  $\Delta F$ , тем полнее протекает реакция раскисления. Реакция окисления углерода практически необратима, и образующаяся окись углерода непрерывно выделяется из реакцион-

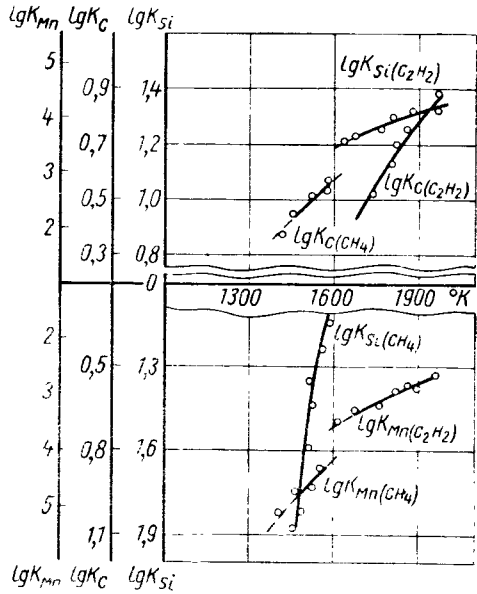


Рис. 89. Сравнительные данные по количеству окислов в металле шва в зависимости от горючего газа

ной зоны. Повышенная температура при ацетиленовой сварке ускоряет реакцию окисления углерода, вызывая пористое строение и загазованность металла шва, так как  $\Delta F_{\text{C}}^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_2) > \Delta F_{\text{C}}^{\circ}(\text{CH}_4)$ . Сравнивая реакции раскисления марганцем и кремнием получаем для сварки ацетиленом  $\Delta F_{\text{Si}}^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_2) > \Delta F_{\text{Mn}}^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_2)$  и для сварки природным газом  $\Delta F_{\text{Si}}^{\circ}(\text{CH}_4) > \Delta F_{\text{Mn}}^{\circ}(\text{CH}_4)$  (рис. 90).

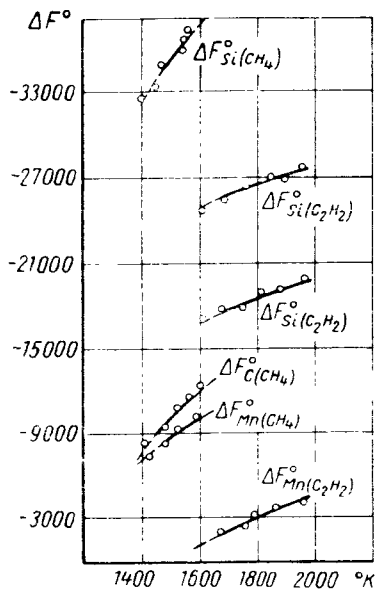


Рис. 90. Величина свободной энергии в зависимости от горючего газа

т. е.  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{CO}}(\text{CH}_4) < \lg(\text{PO}_2)_{\text{CO}}(\text{C}_2\text{H}_2)$ . Упругость диссоциации окисла  $\text{MnO}$  определяется уравнением

$$\lg(\text{PO}_2)_{\text{MnO}} = -\frac{21120}{T} + 10,23.$$

При сварке ацетиленом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{Mn}}(\text{C}_2\text{H}_2) = -1,07 \div -0,5$ ; при сварке природным газом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{Mn}}(\text{CH}_4) = -3,13 \div -3,20$ , т. е.  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{Mn}}(\text{CH}_4) < \lg(\text{PO}_2)_{\text{MnO}}(\text{C}_2\text{H}_2)$ . Упругость диссоциации окисла  $\text{SiO}_2$  определяется уравнением

$$\lg(\text{PO}_2)_{\text{SiO}_2} = \frac{-191}{T} + 7,65.$$

При сварке ацетиленом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{SiO}_2}(\text{C}_2\text{H}_2) = -2,55 \div -2,06$ , при сварке природным газом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{SiO}_2}(\text{CH}_4) = -5,41 \div -4,52$ , т. е.  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{SiO}_2}(\text{CH}_4) < \lg(\text{PO}_2)_{\text{SiO}_2}(\text{C}_2\text{H}_2)$  (рис. 91).

Упругость диссоциации основного компонента свариваемого металла — железа можно вычислить по уравнению

$$\lg(\text{PO}_2)_{\text{FeO}} = -\frac{26730}{T} + 6,43.$$

При сварке ацетиленом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{FeO}}(\text{C}_2\text{H}_2) = -7,84 \div -7,17$ ; при сварке природным газом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{FeO}}(\text{CH}_4) = -11,71 \div -10,57$ , т. е.  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{FeO}}(\text{CH}_4) < \lg(\text{PO}_2)_{\text{FeO}}(\text{C}_2\text{H}_2)$ .

Упругость диссоциации газообразного окисла  $\text{CO}$  определяется уравнением

$$\lg(\text{PO}_2)_{\text{CO}} = \frac{11650}{T} + 1,751 \lg T - 4,2.$$

При сварке ацетиленом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{CO}}(\text{C}_2\text{H}_2) = -5,55 \div -5,30$ ; при сварке природным газом  $\lg(\text{PO}_2)_{\text{CO}}(\text{CH}_4) = -6,64 \div -6,05$ ,

Химический состав присадочного металла оказывает сильное влияние на кристаллизацию и структуру металла шва. Кремний, уменьшая устойчивость карбидов и являясь графитизирующим элементом, влияет на изменение положения критических точек на диаграмме сплава Fe—C—Si, точки перемещаются влево, с более низкой концентрацией углерода при образовании эвтектического сплава. Эвтектическое содержание углерода при этом может быть определено по уравнению

$$\%C = 4,3 - \frac{\%Si}{3,2} \approx 4,3 - 0,3\%Si.$$

Степень эвтектичности представляет отношение

$$S_3 = \frac{\%C}{4,3 - \frac{\%Si}{3,2}} = \frac{\%C}{4,3 - 0,3Si}.$$

Эвтектичность является важной характеристикой сплава Fe—C—Si, так как определяет температуру плавления, жидкотекучесть и выделение графита при затвердевании. При образовании эвтектики с более низкой концентрацией углерода незначительно повышается температура «новой» эвтектики (на 2,5÷5,0° по сравнению с эвтектикой, содержащей 4,3% C). Одновременное понижение температуры ликвидуса является преимуществом при расплавлении металла сварочным факелом природного газа (рис. 92).

В присадочном металле должно содержаться 3,0—4,0% Si, так как при содержании до 2% Si заметно влияния на графитизацию не происходит, а при содержании свыше 4% Si количество графита в металле шва снижается и заметно увеличивается количество связанного углерода. Наличие в присадочном металле 3,0—4,0% Si при одинаковом количестве с основным металлом других компонентов обеспечивает достаточную плотность и легкую обрабатываемость сварного шва. При сварке чугуна СЧ 24-52 присадочным металлом химическим составом 3,1—3,4% C; 3,4—3,8% Si; 0,51—0,71% Mn; 0,14—0,15% P; 0,02—0,03% S получены следующие результаты: 1) при ацетиленовом пламени — структура микрошлифа состояла из 35% ледобурита, 45% перлита и 25% вторичного цементита. Твердость *НВ* 640—660; 2) при сварке природным газом структура микрошлифа состояла из перлита. Свободно выделенного цементита не было. Твердость *НВ* 215—220.

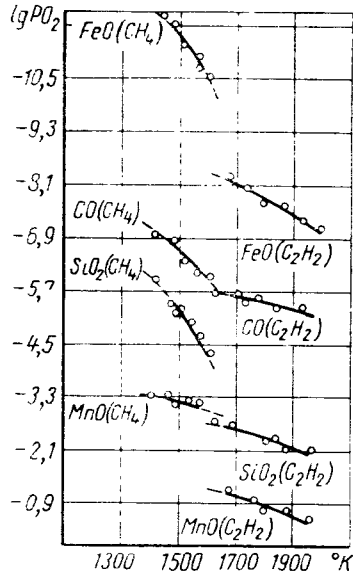


Рис. 91. Упругость диссоциации отдельных компонентов присадочного металла

С целью определения скорости расплавления присадочного металла проводили опыты на образцах диаметром 5 и 10 мм; результаты опытов приведены на рис. 93 (давление кислорода

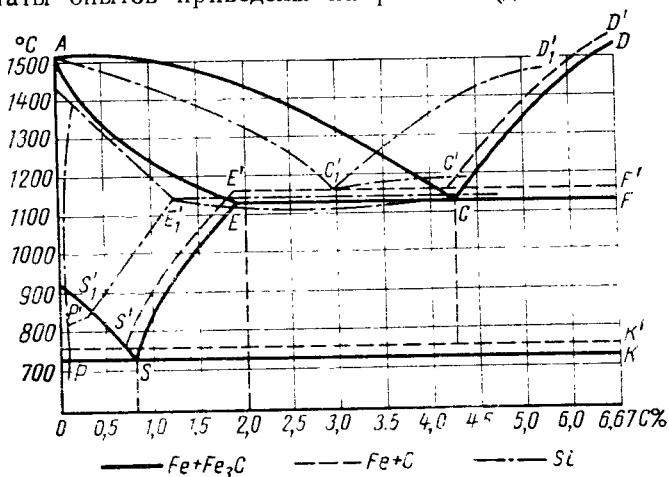


Рис. 92. Образование эвтектики с более низкой концентрацией углерода

составляло 1 ат, метана 0,1—0,5 ат). Наибольшей скоростью плавления обладает присадочный металл серого чугуна с химическим составом: 3,6% С; 3,44% Si; 0,51% Mn; 0,4% P; 0,07% S.

Скорость плавления 1 см<sup>3</sup> металла ацетилено-кислородным пламенем на 25% выше, чем метано-кислородным пламенем (рис. 93).

При расплавлении присадочного металла, на основании проведенных исследований, лучшими флюсами оказались флюсы № 1, 2 и 3, которые дают однородную ванну шва со спокойным образованием ее формы.

Величина графитовых включений 30—70 мкм (5%), форма частично точечная. Металлическая основа: перлит + фосфидная эвтектика в виде изолированных включений. Цементит почти отсутствует. Валик направленного металла легко обрабатывается. Спокойное плавление основного и присадочного металла с флюсом № 2 не дает коробления образцов при их длине до 500 мм. В результате микроанализа установлены следующие зоны сварного шва.

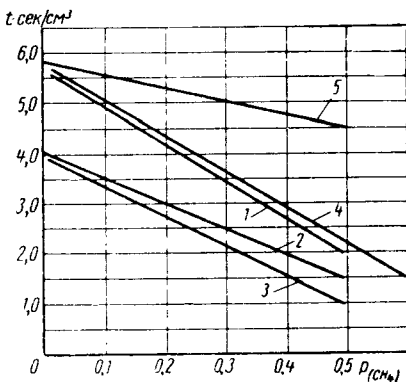


Рис. 93. Скорость расплавления 1 см<sup>3</sup> присадочного металла:

1—5— номера флюсов

1—5— номера флюсов

**Зона I** (рис. 94) Графит частично точечный равномерно распределенный в количестве около 5% и частично мелкопластинчатый длиной 15—25 мкм завихренный. Металлическая основа: перлит тонко- и среднепластинчатый — цементит (~3%) в широкой части зоны, перлит + феррит (около 2%) в нижней части сварного шва. Фосфидная эвтектика в виде изолированных небольших включений. Твердость по Бринелю *HB* 200.

**Зона II.** Графит мелкопластинчатый длиной 30—50 мкм, средней завихренности, равномерно распределенный (6—8%). Металлическая основа: перлит + феррит приблизительно в равных количествах. Фосфидная эвтектика в небольшом количестве. Твердость по Бринелю *HB* 180. Микроструктура этих зон следующая:

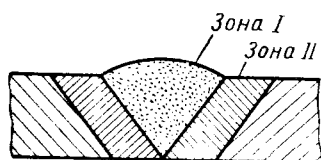


Рис. 94. Зоны сварного шва

**Зона I. а)** Шлиф (x86) не травлен. Количество графита более 15%. Графит средней степени изолированности, длина графитных включений 60—110 мкм. Графит средней завихренности. Форма графита розеточная (рис. 95, I); б) шлиф (x383) травлен в 4%-ной азотной кислоте. Количество перлита 100%. Расстояние между полосками цементита 0,23—0,32 мкм. Характер распределения — отдельные включения; свободно выделенный цементит отсутствует (рис. 95, II).

**Зона II.** Шлиф (x86) не травлен. Количество графита до 15%. Графит средней степени изолированности. Длина графитных включений 60—110 мкм. Графит средней завихренности. Форма графита розеточная. Твердость по Бринелю *HB* 180—189 (рис. 95, III); в) шлиф (x383) травлен в 4%-ной азотной кислоте. Количество перлита 80—90%, феррита 15—20%, расположенного в форме оторочек вокруг графита и отдельными зернами. Площадь фосфидной эвтектики менее 2000 мкм<sup>2</sup>. Свободно выделенный цементит отсутствует (рис. 95, IV).

Твердость измеряли по сечению шва в зоне термического влияния и в основном металле (рис. 96). Твердость по Бринелю при сварке метано-кислородным пламенем ниже, чем при сварке ацетилено-кислородным пламенем, что особенно важно при механической обработке наваренных поверхностей. Наилучшие результаты скорости расплавления присадочного металла, а также по образованию сварочной ванны получены при сварке серого чугуна с присадочным металлом одинакового состава с основным металлом, но с увеличенным содержанием (3—4%) и с флюсом состава: 100% буры или 50% буры и остальное порошок из основного металла (флюсы № 2 и № 3).

Сравнивая результаты сварки ацетилено-кислородным и метано-кислородным пламенем при одинаковых условиях, получаем

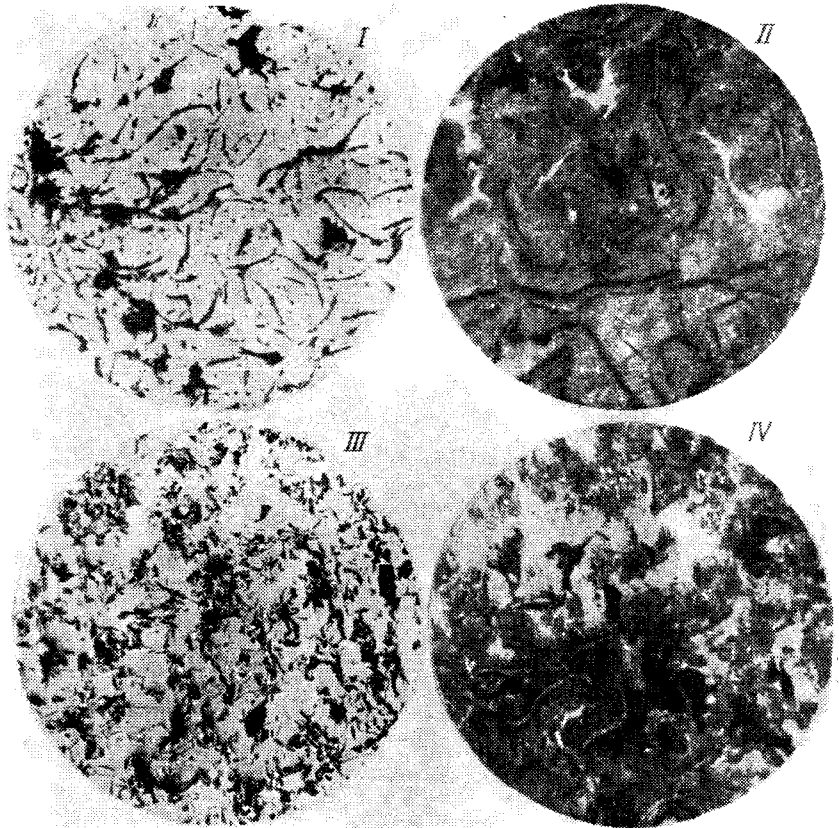


Рис. 95. Микроструктура шва

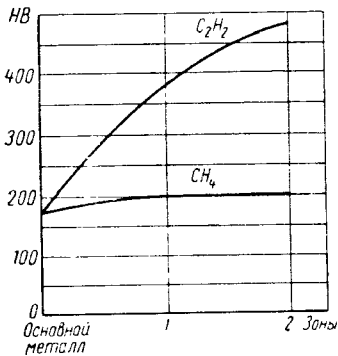


Рис. 96. Кривые твердости металла шва при сварке  $CH_4$  и  $C_2H_2$

следующие результаты: 1) при сварке ацетиленом в микроструктуре присутствует цементит; 2) при сварке метаном с правильно подобранным присадочным металлом и флюсом цементит отсутствует. Кроме того, мелкопластинчатое и завихренное строение графита преобладает; 3) твердость в переходной зоне и в наплавленном металле при сварке метано-кислородным пламенем ниже, чем при сварке ацетиленом.

**Технология сварки.** В газосварочном процессе серого чугуна наиболее важные свойства метано-кислородного пламени следующие: а) строение и форма пламени; б) химический состав пламени; в) химические свойства его; г) температура пламени; д) удельная мощность и термохимический коэффициент.

Для нормального сварочного процесса теоретически в горелку должна подаваться смесь газов в объемном отношении  $O_2 : CH_4 = 1,05 \div 1,2$ ; практически для увеличения температуры подается  $O_2 : CH_4 = 1,5 \div 1,6$ . Температура пламени зависит от состава смеси, подаваемой в горелку и различна для отдельных зон пламени. Непосредственное измерение температуры метано-кислородного пламени проводилось при помощи оптического пирометра. При соотношении количества кислорода и горючего газа  $1,5 \div 1,6$  были получены следующие результаты:

Расстояние от устья мундштука (в конце ядра) в мм	5—15	20—35	35—40	45—50	50—60
С	800—1000	1200—1800	2100—2150	1600	1300—1500

Для сварки серого чугуна горелку следует выбирать большей мощности, чем для сварки стали такой же толщины, так как теплота плавления чугуна выше, чем стали. Пламя горелки должно быть широким и охватывать большую поверхность изделий. При выходе горячей смеси газов из сопла мундштука в результате падения давления происходит расширение газов по адиабатическому процессу без теплообмена с окружающей средой при установившемся тепловом режиме сварочного фокуса.

При разработке технологии сварочного процесса необходимо учитывать возможность образования отбеленного чугуна, связанную со скоростью охлаждения (при быстром охлаждении графит не успевает выделиться). Общеизвестные меры замедления остывания, как прикрытые асбестом, засыпка песком, предохранение от резкой перемены наружной температуры и др. требуют иногда сложных и дорогих приспособлений, а также замедляют проведение сварки. Одной из причин, способствующих отбеливанию, является погружение холодного присадочного прутка в сварочную ванну, которое вызывает резкое охлаждение расплава в этом месте, что приводит к образованию цементита. Склонность чугуна увеличивать удельный объем (так называемый рост) наблюдается при нагреве и особенно при повторных нагревах. Это приводит

к появлению внутренних напряжений, которые могут разрушить сваренную деталь, особенно, если эти напряжения увеличены за счет температурных напряжений.

Прежде чем сваривать серый чугун, необходимо подготовить кромки. Изделия толщиной до 5 мм сваривают без подготовки кромок. Скос кромок при толщине детали более 5 мм производят под углом не менее 90° пневматическим способом или ручным зубилом. В некоторых случаях производят выплавку кромок сварочной горелкой. Подготовка кромок таким способом приводит

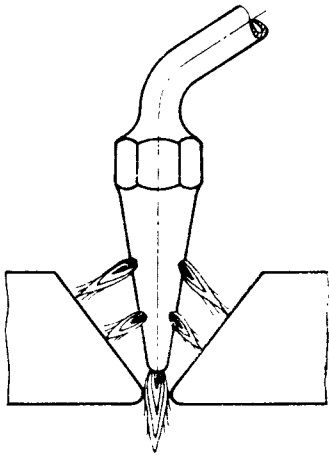


Рис. 97. Схема прогрева кромок шва

к появлению в сварном шве шлаковых включений, следовательно, этот способ для практики не пригоден. Свариваемые кромки следует очищать пескоструйным способом или стальной щеткой. Не рекомендуется производить обжиг свариваемых кромок даже нейтральным пламенем во избежание появления шлаковых включений. Деталь с подготовленными кромками обыкновенно частично или полностью подогревают. Свариваемую поверхность во время сварки следует располагать в горизонтальном положении. Поворачивать деталь следует только после застывания сварного шва. Конец нагретого присадочного прутка надо возможно чаще погружать во флюс.

Мощность горелки выбирают в соответствии с толщиной детали и ее конструктивными особенностями. Присадочный металл и горелку устанавливают при сварке под определенным углом, в зависимости от конструкции и массивности детали. Во избежание окисления или науглероживания сварного шва пламя необходимо подбирать так, чтобы оно приближалось по составу к нейтральному.

Сварку проводят от самого основания скоса кромок с одновременным подогревом обеих кромок до момента их расплавления (рис. 97). Перед сваркой на кромки наносят флюс. Присадочный пруток, предварительно покрытый флюсом, опускают в ванну, через пленку окислов. Пламя не следует задерживать на одном месте продолжительное время, чтобы не произошло пережога металла и окисления чугуна. Неравномерность нагрева в процессе сварки серого чугуна приводит к образованию резко ограниченной зоны теплового воздействия на небольшом протяжении. Количество цементита в зоне влияния уменьшается, а графита — увеличивается. В связи с этим снижается прочность соединения.

При наличии кристаллизационной воды увеличивается газообразование в шве. Последовательность ведения пламени должна быть заранее продумана. Кроме поступательного движения пламени, должно быть и поперечное, по серповидным кривым без отрыва от шва для плавного нагрева расплавляемых участков и для замедленного охлаждения сварочной ванны. Горелку рекомендуют держать под углом  $45\text{--}75^\circ$  к свариваемой поверхности. Наибольший угол наклона устанавливается для малых толщин свариваемого изделия. Присадочный металл удерживают под углом  $45^\circ$ . Сварку природным газом следует проводить правым способом, когда пламя направлено на сваренную часть шва, а чугунный пруток движется позади пламени. При этом тепло пламени используется лучше и, кроме того, факелом пламени жидкая ванна шва хорошо защищается от окисления и азотирования воздухом.

Замедленное охлаждение жидкого металла способствует удалению газов. Плавный нагрев создает благоприятные условия для уменьшения напряжений в изделиях со сложной конфигурацией. Сварка метано-кислородным пламенем проводится с местным нагревом свариваемой части. Иногда при сложной конструкции изделия, особенно при переходах от тонких сечений к массивным перед сваркой необходимо прогреть горелкой конструктивные переходы, а после сварки горелкой провести отжиг наваренной части вдоль всей линии шва при температурах  $700\text{--}800^\circ\text{C}$ . Затем изделие для медленного остывания необходимо накрыть листовым асбестом или горячим песком. Сварка природным газом наиболее удобная по сравнению с другими способами сварки, например ацетилено-кислородным, так как не требует подогрева деталей.

Процесс расплавления присадочного и кромок основного металла проводят по возможности быстрее, не допуская вредного влияния воздуха. Необходимо способствовать удалению газов до момента затвердевания шва путем перемешивания ванны нагретым присадочным прутом. Расплавленная ванна не должна отстаиваться во избежание появления газовых включений. Кислород воздуха может вызвать образование окислов, а азот — нитридов, включения окислов и нитридов ослабляют механические свойства шва. При быстром процессе сварки окисление металла и загрязнение его происходят главным образом на поверхности шва; флюсом проводится поверхностная очистка ванны металла. Необходимо следить за тем, чтобы полученные от окислов (с помощью флюсов) шлаки не попадали в шов.

При газовой сварке деталей малой толщины часто возникают горячие трещины, одной из причин которых является содержание выше  $0,015\text{--}0,02\%$  S. На образование холодных трещин влияют качество присадочного металла, флюсы, геометрия соединения, контуры завариваемого места (закрепление при сварке), а также содержание более  $0,02\%$  P. Подогрев свариваемого места до и после

сварки понижает склонность к трещинообразованию. При небольших толщинах (до 5 мм) завариваемых деталей необходимо производить подформовку, подкладывая с противоположной стороны медную пластинку толщиной не менее 3 мм и по периметру на 10—15 мм больше завариваемого места. Медная пластинка не должна попадать в зону сварочного пламени во избежание разрушения и приварки. Другие материалы для подформовки (асбест и песок) могут засорить заваренное место или вызвать пузырение в ванне при заварке.

При небольшой глубине прогрева опасность структурных превращений уменьшается. В этом случае при охлаждении тонкий слой наваренного металла, имеющий высокую твердость и хрупкость, в результате быстрого охлаждения получит отжиг от тепла в направленном и основном металле. Опасность отбеливания уменьшается при переходе на троостит—сорбит.

Ремонт чугунных деталей путем сварки имеет большое значение. Приварку отломившихся частей, заварку трещин и раковин, наплавку изношенных поверхностей, наложение заплат над пробитыми участками детали — все это можно осуществить путем правильной технологии сварки. Пониженная свариваемость у чугуна требует разработки специальной технологии для получения хорошего качества сварных соединений. Сварка чугуна природным газом дает надежный способ получения плотного шва с легкой обрабатываемостью шва и пограничных зон, расположенных в фокусе сварочного пламени. При заварке трещин перед началом работ следует установить границу трещин. Для этой цели часть детали, подлежащую заварке, тщательно очищают от загрязнений и осматривают с помощью лупы с 20-кратным увеличением. Чтобы точно определить протяженность и разветвленность возможных трещин, поверхность, намеченную к заварке, обильно смазывают керосином и выдерживают 15—30 мин. Затем керосин удаляют чистой ветошью, а поверхность натирают мелом. Маслянистые бурые полосы, появляющиеся на поверхности оставшегося в трещинах керосина, указывают на границы трещин. Отступив от конца трещин на 10—20 мм, высверливают углубления, не доходя до дна предполагаемой разделки примерно на 3—5 мм. После этого необходимо керном или чертилкой отметить траекторию трещин, по бокам которой наметить грани разделки шва. Затем приступают к разделке границ, подлежащих заварке. Разделку кромок проводят на всю длину до высверленного углубления под углом 80—90° и почти на всю толщину, оставив полку внизу разделки на высоте 2—3 мм. Разделку кромок у тонкостенных деталей следует проводить вручную с учетом хрупкости чугуна и труднодоступных мест. Снимать стружку зубилом за один проход необходимо не более 1 мм, что обеспечивается легкими ударами молотка, так как сильные удары могут вызвать выбоины и отколы кусков по целому месту. Зубило должно быть изготов-

лено из стали марки УА и заправлено под углом 30—40° с последующей термической обработкой.

Для соблюдения правильного теплового режима сварки следует установить последовательность заварки дефектных мест. При разработке технологии следует учитывать объем нагреваемых кромок на отдельных участках, объем расплавленного основного и присадочного металла, скорость нагрева, а также скорость охлаждения. Для составления графика последовательности сварки весь шов разбивается на отдельные участки длиной 25 мм.

После заварки первого участка заваривают второй, третий и четвертый и т. д. участки, отстоящие от первого, второго, треть-

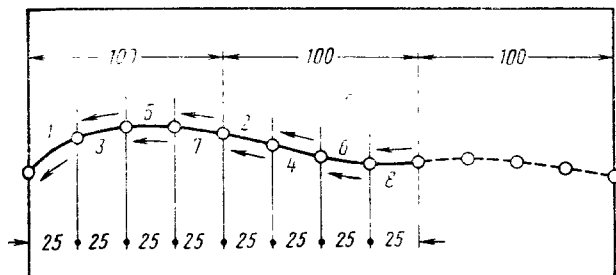


Рис. 98. Обратнo-ступенчатый способ сварки

его и т. д. на расстоянии 100 мм. Затем следует установить перерыв для их охлаждения, контролируя охлаждение открытой рукой (рука терпит). Количество одновременно сваренных участков зависит от протяженности шва, кратного 100 мм. После сварки двух или трех участков длиной по 25 мм и их охлаждения, приступают к сварке еще двух или трех участков с наибольшим удалением друг от друга и также делают перерыв в сварке, подобно перерыву после первого, и так до конца всей длины шва. При длине шва менее 100 мм отдельные участки сваривают по длине 25 мм с последующим охлаждением после каждого участка. Сварку проводят обратнo-ступенчатым способом с наложением швов в последовательности, указанной на рис. 98.

Для снятия термических напряжений и усиления сварного соединения рекомендуется в отдельных случаях наплавлять поперечные валики (рис. 99). Свойства наплавленного металла должны соответствовать механическим свойствам основного металла. После сварки отдельных частей или заварки дефектов наваренный металл должен легко обрабатываться напильником, зубилом.

Для металла толщиной меньше 5 мм подготовка кромок не требуется. Однако в этом случае необходимо кромки тщательно очи-

стиль от грязи, масла, окалины. Очистка может быть проведена путем прогрева нейтральным пламенем при  $O_2 : CH_4 = 1$ . При толщинах свыше 5 мм необходимо провести скос кромок под общим углом  $90-100^\circ$  ручным или механическим путем. При сложной конфигурации изделия необходимо установить наличие в конструкции остаточных литейных напряжений (рис. 100).

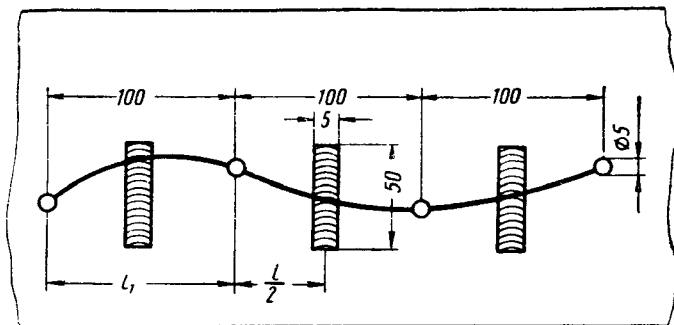


Рис. 99. Снятие термических напряжений путем наплавки поперечных валиков

Для получения в сером чугуна сварного шва, близкого по качеству к основному металлу, необходимо выполнять следующие требования:

- 1) тщательно следить за чистотой предварительной разделки шва;
- 2) особое внимание обращать на химический состав и на очистку присадочного металла;
- 3) подбирать соответствующий флюс, обращая внимание на обезвоживание его перед сваркой;
- 4) подбирать правильную мощность горелки;
- 5) регулировать сварочное пламя и вести сварку средней части наружной зоны (с максимальной температурой);
- 6) для чугуна очень важно иметь зону захвата пламенем больше, чем при сварке стали.

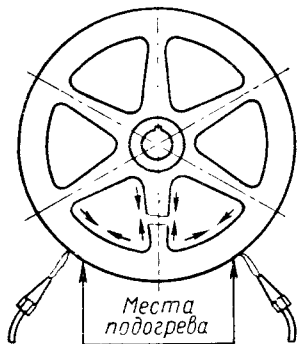


Рис. 100. Предварительный нагрев перед сваркой

При нагреве металла во время сварки создается факел пламени окружающий свариваемое место, с защитой от воздействия атмосферного воздуха. Если пламя отрывать от ванны, т. е. допускать частые перерывы в работе, шов будет насыщаться кислородом и азотом окружающего воздуха, что будет приводить к ухудшению механических свойств и несвариваемости чугуна. Расплавление присадочного стержня вне сварочной ванны недопустимо в связи с возможностью окисления и азотирования шва и образования отбеленных участков. При организации сва-

рочного поста могут быть два варианта подачи горючего газа в горелки. Газ может подаваться от газовой магистрали с установкой около отвода газа предохранительного затвора водного или мембранного типа (см. рис. 7). На тех заводах или предприятиях, где нет газовых магистралей, устраивают сварочные посты с использованием природного газа из баллонов.

При всех существующих способах сварки чугуна требуются сложные подготовительные работы для предварительного нагрева и последующего замедленного охлаждения. В результате сварочных работ появляется наплавленный слой, не поддающийся механической обработке. В чугунных изделиях сварка применяется для исправления пороков и поломок в новых отливках, а также для восстановления деталей, бывших в эксплуатации. К дефектам новых отливок относятся: трещины в литье, поломки кромок, шлаковые, усадочные, земляные, песчаные, а также газовые раковины, которые обнаруживаются при механической обработке. У деталей, бывших в эксплуатации, сварка или наварка бывает вызвана наличием трещин, поломкой кромок или износом рабочих поверхностей.

Серый чугун как материал для конструкций деталей машин имеет широкое распространение, поэтому объем сварочных работ как в литейных цехах машиностроительных заводов, так и в ремонтных базах и заводах, очень большой. В табл. 28—30 приведены данные о химическом составе и механической прочности серых чугунов, которые могут свариваться природным газом.

Для заполнения разделки шва рекомендуется чугунные прутки диаметром 5—8 мм, длиной 300—400 мм. Изготавливают их отливкой в любом чугунолитейном цехе. Химический состав прутков и основного металла должны быть аналогичными, однако количество кремния в прутках должно быть 3—4%. Содержание в присадочных прутках до 2% Si почти не влияет на графитообразование, и графит целиком растворяется в железе. Повышенное содержание кремния (до 6—10%) приводит к отбеливанию чугуна. Надежным условием хорошей графитизации является присутствие в присадочном металле одновременно двух составляющих (углерода и кремния) примерно в одинаковых количествах (3—4%). В присутствии графита улучшается жидкотекучесть чугуна, чем достигается хорошее формирование наплавленного металла. Серые чугуны с хорошей графитизацией имеют усадку меньше, чем белые, поэтому опасность появления трещин в них незначительная.

Между кристаллами чугуна в связи с быстрым затвердеванием его могут появиться твердые включения окислов железа. Окислы  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ , как нежелательные примеси, уменьшают прочность шва и не растворяются в металле, так как их температура плавления около  $1350^{\circ}C$  (выше температуры плавления серого чугуна  $1150—1250^{\circ}C$ ). Двоокись кремния  $SiO_2$ , возник-

Металлы	Химический состав в %										Применение отливок
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo			
Отливки из чугуна малой прочности (СЧ 00, СЧ 12-28)	3,3—3,6	1,8—2,5	0,6—1,0	0,1—0,8	0,08—0,12						а) Строительные отливки: колонны, оконные рамы, радиаторы, канализационные трубы и фасонные части к ним и т. д. б) Машиностроительные отливки: предохранительные коробки, небольшие ремонные шквы, малоответственные части сельхозмашин, части швейных машин, плиты, планшайбы а) Машиностроительные отливки: автотракторное литье, ответственные части сельхозмашин, крупные шквы и маховики, корпуса насосов компрессорное литье, поршни, поршневые кольца и т. д. б) водо- и паропровод отливки: вентили, задвижки, крышки, напорные трубы, фитинги и др. а) Машиностроительные отливки, паровозные и дизельные цилиндры, для автомобилей блоки цилиндров, коленчатые и кулачковые валы, а также штифты и т. д.
	3,2—3,6	1,5—3,0	0,6—1,0	0,3—0,8	0,08—0,12						
Отливки из чугуна средней прочности (СЧ 15-32; СЧ 18-36, СЧ 21-40)	2,8—4,0	1,3—3,0	0,6—1,0	0,2—0,8	0,08—0,12	До 0,5	До 0,5	До 0,5			
	3,0—3,4	1,5—2,5	0,6—1,0	0,2—0,5	0,08—0,12	До 0,5	До 0,5	До 0,5			
Отливки из чугуна повышенной прочности (СЧ 24-44, СЧ 28-48, СЧ 32-52, СЧ 38-60)	2,5—3,2	1,0—2,2	0,8—1,2	0,1—0,2	0,08—0,12	До 3,0	До 1,0	—			

\* Молибден применяется только для отливок специального назначения.

## Механические свойства чугуна

Марка чугуна	Предел прочности при растяжении в $\text{Мн/м}^2$	Предел прочности на изгибе в $\text{Мн/м}^2$	Стрела изгиба в мм		Предел прочности при сжатии в $\text{Мн/м}^2$	Твердость HB
			на 600 мм длины	на 300 мм длины		
СЧ 12-28	12·9,8	28·9,8	6	2	50·9,8	143—229
СЧ 15-32	15·9,8	32·9,8	8	2,5	65·9,8	163—229
СЧ 18-36	18·9,8	36·9,8	8	2,5	70·9,8	170—229
СЧ 21-40	21·9,8	40·9,8	9	3	75·9,8	170—241
СЧ 28-48	28·9,8	48·9,8	9	3	100·9,8	170—241
СЧ 24-44	24·9,8	44·9,8	9	3	85·9,8	170—124
СЧ 32-52	32·9,8	52·9,8	9	3	110·9,8	197—248

Таблица 30

## Химический состав в %

Марка чугуна	C	Si	Mn	P	S
СЧ 00	3,0—3,5	3,2—3,6	0,5—0,8	0,1—0,5	0,02—0,05
СЧ 12-28 СЧ 15-32 СЧ 18-36	3,1—3,3	3,3—3,8	0,6—1,0	0,2—0,5	0,05—0,08
СЧ 21-40 СЧ 28-48 СЧ 32-52	3,2—3,5	3,5—4,0	0,6—1,2	0,3—0,8	0,02—0,05

кающая в результате избытка кремния, задерживает процесс графитизации, ухудшает жидкотекучесть чугуна и может привести к быстрому затвердеванию шва и, следовательно, к появлению газовых раковин.

Применение флюса способствует разжижению чугуна и снижению температуры плавления окислов. В результате флюсования шлак имеет температуру плавления около  $746^\circ\text{C}$ , т. е. ниже температуры образования расплава. Флюс способствует растворению и окислению марганца, железа и фосфора.

**Сварка тонкостенных деталей.** Сварку тонкостенных чугунных деталей (3—10 мм) необходимо выполнять с некоторыми предосторожностями для уменьшения напряжений. Чугунные прутки берут малого сечения (3—4 мм) и применяют пониженную мощность пламени. Весь шов разбивают на участки длиной 50—80 мм, на границах участков сверлят отверстия диаметром 5 мм. По середине участков делают прихватки. Заварку ведут обратно-

ступенчатым способом (рис. 101). При длине трещин больше 500 мм разделяют всю трещину на участки 1—4 длиной по 100 мм с зашлифовыванием отверстий диаметром 5 мм на концах участков. Затем делают прихватки посередине участков и сваривают левым способом. В этом же случае возможно применить зигзагообразный метод наплавки при полном перекрытии всей трещины. Следует наплавлять только строго необходимое количество металла. Из-

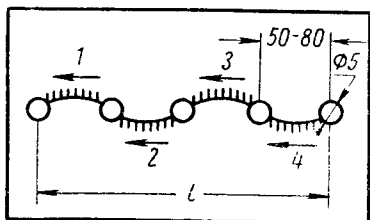


Рис. 101. Схема сварки тонкостенных деталей

лишние наплавленный металл вызывает новые трещины в чугуне вдоль кромки наплавки, а иногда и под тем или другим углом к наплавке. Часто трещины расположены около самой наварки перпендикулярно к ней. При сварке нельзя допускать очень концентрированного местного нагрева. Кратер рекомендуется держать не на основном металле, а на наплавленном. Этим устраняется перегрев металла. Жидкий металл расплавляет под собой слой чугуна. Расплавленный слой чугуна получается очень тонким и при наплавке следующих слоев получается отжиг.

**Внедрение в производство.** Внедрение нового метода в производство производилось в содружестве с работниками Саратовского завода тяжелого машиностроения. Вначале были выполнены металлографические исследования макро- и микроструктуры чугуна, сваренного односторонней сваркой чугунными прутками припод-

Таблица 31

Химический состав в %

Материал	C	Si	Mn	P	S
Присадочный пруток диаметром в мм:					
5	3,28	2,84	0,78	0,14	0,09
8	3,31	3,0	0,55	0,16	0,05
8	3,31	3,0	0,56	0,16	0,05
Детали толщиной в мм:					
5	3,20	2,04	0,65	0,25	0,06
10	3,20	2,06	0,69	0,25	0,06
16	3,24	2,24	0,65	0,28	0,062
Наплавленный металл в деталях толщиной в мм:					
5	3,31	2,10	0,52	0,19	0,070
10	3,32	2,30	0,49	0,16	0,080
16	3,28	2,40	0,52	0,17	0,080

ным газом (без подогрева). Целью исследования было определение макро- и микроструктуры сварных швов (табл. 31).

На рис. 102 показана макроструктура образца, вырезанного из пластины толщиной 5 мм, при У-образном шве без усиления. В зоне термического влияния микро- и макротрещин не обнаружено. Макроструктурой обнаружено вполне удовлетворительное сплавление металла с основным. Твердость основного металла *НВ* 198—209, переходной зоны *НВ* 228—236, наплавленного металла *НВ* 225—229.

*Основной металл* (рис. 103, I). Шлиф ( $\times 383$ ) травлен 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в спирте. Количество перлита 80—89%. Феррит выделился в виде оторочек вокруг графита 11—20%. Площадь включений фосфидной эвтектики менее  $2000 \text{ мкм}^2$ . Распределение отдельными включениями.

*Переходная зона* (рис. 103, II). Шлиф ( $\times 483$ ) травления 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в спирте. Количество перлита 90—97%. Феррит выделился в виде оторочек вокруг графита и в виде зерен. Площадь включений фосфидной эвтектики менее  $2000 \text{ мкм}^2$ . Распределение отдельными включениями. Свободно выделенный цементит отсутствует.

*Наплавленный металл*. Шлиф ( $\times 383$ ) травлен 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в спирте (рис. 103, III). Количество перлита 100%. Расстояние между полосками цементита 0,23—0,32 мм. Площадь включений фосфидной эвтектики менее  $2000 \text{ мкм}^2$ . Распределение отдельными включениями. Свободно выделенный цементит отсутствует.

Затем были проведены многочисленные работы, связанные с ликвидацией литейного брака на заводе. В числе свариваемых деталей были: коллекторы (тройники) от солерастворителя весом 16 кг с толщиной стенок 8 мм и фланцев 25 мм; колена весом 20 кг с диаметром фланцев 340 мм при толщине стенок 5 мм; метатели весом 150 кг с толщиной стенок 26 мм (рис. 104).

В результате установлено, что получение сварочной ванны в шве происходит вполне нормально на всю глубину свариваемого шва. Плот-

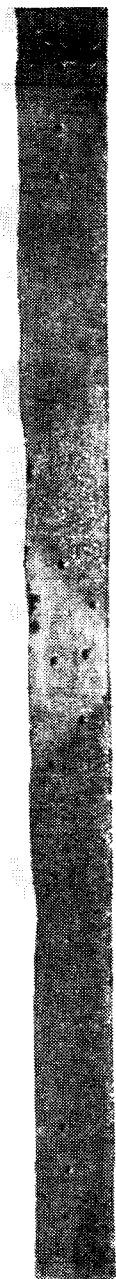


Рис. 102. Макроструктура сварного образца

ность металла на заваренных местах у деталей, работающих под давлением, проверялась на стенде в ОТК завода и была признана хорошей. Во всех случаях сварки твердость наваренного слоя не превышала установленных норм, в шве отсутствовали отбеленные участки. Такая структура обеспечивает хорошую обрабатываемость.

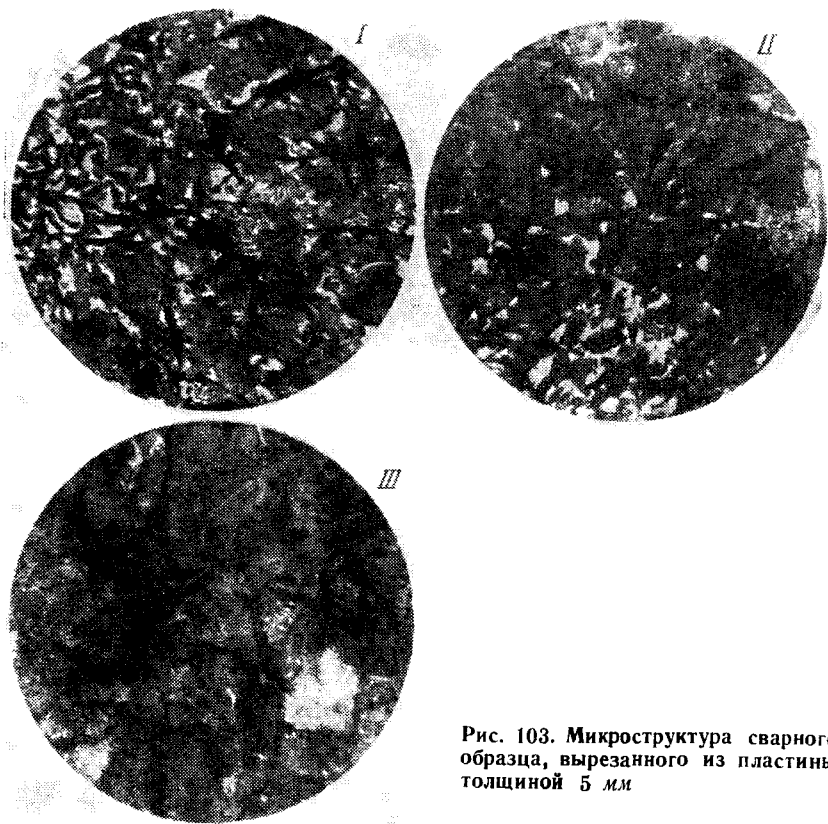


Рис. 103. Микроструктура сварного образца, вырезанного из пластины толщиной 5 мм

Саратовский завод тяжелого машиностроения внедрил способ сварки серого чугуна природным газом. На Саратовском заводе строительных машин научные работники кафедры технологии металлов Саратовского политехнического института и работники завода в производственных условиях сваривали чугунные детали природным газом. Газ поставлялся в баллонах под давлением 200 ат и из газовой магистрали с давлением 0,3 ат. На заварку

подавались с литейным браком детали 5-тонных лебедок, изготовляемых заводом, грузовые барабаны и корпуса редукторов. Толщина стенок завариваемых мест составляла 15—30 мм. Разделка швов односторонняя У-образная, с углом скоса 90°/100°. Давление горючего газа при баллонном снабжении при сварке поддерживалось в пределах 0,5—0,75 атм с использованием кисло-

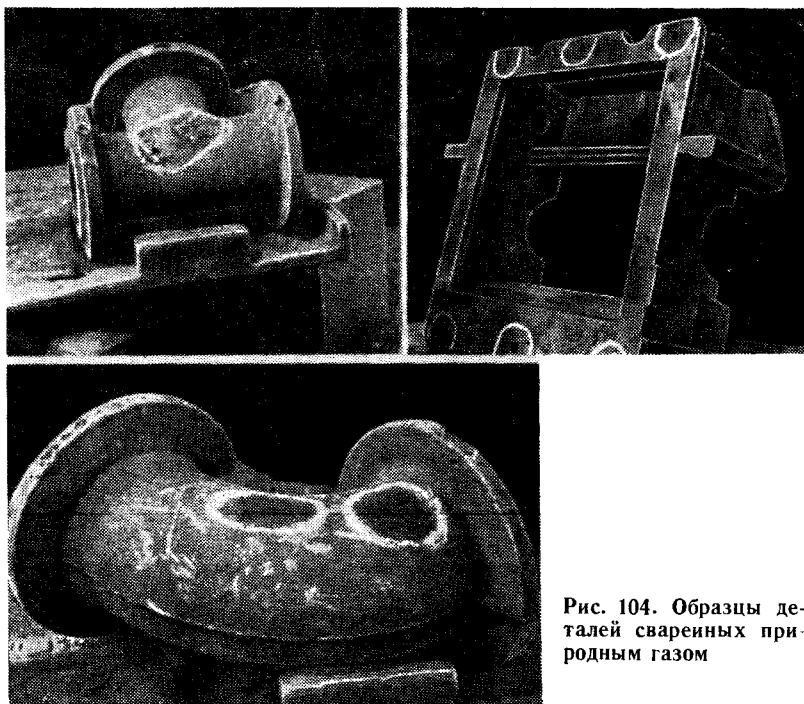


Рис. 104. Образцы деталей сваренных природным газом

родного редуктора, приспособленного для природного газа. Давление кислорода 1,0—1,5 ат. Горелка применялась модифицированная № 5 (см. табл. 7, 8). Химический состав завариваемых деталей: 3,4% С; 2,8% Si; 0,7% Mn; 0,08% P; 0,03% S. Присадочный металл был приготовлен в виде чугуновых прутков диаметром 8 мм длиной 400 мм с химическим составом: 3,31% С; 3,1% Si; 0,52% Mn; 0,13% P; 0,04% S. При сварке использовали флюс, составляющий из 100% обезвоженной буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ).

Результаты заварки были хорошие (рис. 105). Наваренные места легко обрабатывались. После механической обработки шов был плотный, твердость в зоне влияния и в наплавленном металле не превышала допустимых давлений.

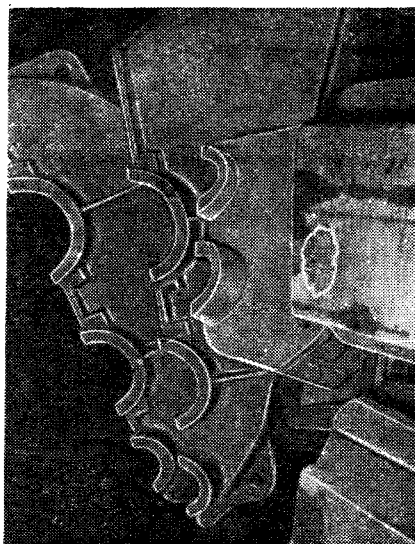
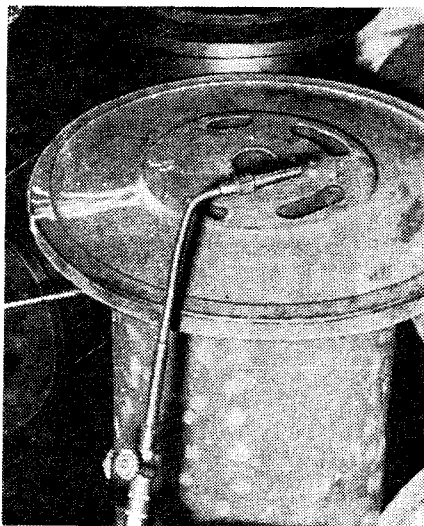


Рис. 105. Детали, сваренные природным газом в производственных условиях

## СВАРКА СТАЛИ

Тонколистовую сталь толщиной до 8 мм можно сваривать пропано-бутано-кислородным пламенем «левым» способом (по ходу движения горелки справа налево впереди находится присадочный пруток). В отдельных случаях при большей толщине от 4 до 8 мм во избежание получения закаленной поверхности может применяться и «правый» способ сварки при движении вправо за ней передвигается присадочный пруток. В сварочную горелку газы подаются из баллонов. На баллонах, из которых поступает парообразная пропано-бутановая фракция, устанавливаются редукторы, окрашенные в красный цвет. На кислородных баллонах установлены редукторы синего цвета. Давление рабочих газов при входе в горелку рекомендуется следующее: пропан-бутан:  $p_{г. изб} = (0,2 \div 0,5) \cdot 0,1 \text{ Мн/м}^2$  [ $(0,2 \div 0,5) \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ]; кислорода:  $p_{г. изб} = (2,0 \div 4,0) \cdot 0,1 \text{ Мн/м}^2$ ; [ $(2,0 \div 4,0) \cdot 10^1 \text{ кг/м}^2$ ]. Перед сваркой кромки детали должны быть тщательно очищены от грязи, масла и окалины. Металл с толщиной стенок до 4 мм сваривают без разделки кромок. Зазор между свариваемыми кромками устанавливают несколько больше, чем при сварке ацетилено-кислородным пламенем:

Толщина металла в мм . . . . .	1—2	3	4	4—8
Зазор в мм . . . . .	1—1,5	1,5—2	2,5—3	3,5—4

При сварке труб или других конструкций, требующих соосности, необходимо вначале проводить центровку с помощью прихваток. Жидким газом можно сваривать во всех пространственных положениях.

В качестве присадочного металла при сварке пропано-бутано-кислородным пламенем следует применять металл, обеспечивающий раскисление расплавленного металла сварочной ванны, так как пламя при жидких газах бывает окислительным. Поэтому применяют легированную сварочную проволоку марки С8-10ГС, Св-12ГС или Св-08ГМ. Применение низкоуглеродистой проволоки Св-09 и т. п. не рекомендуется (табл. 32).

Для сварки следует применять проволоку диаметром  $d = 2 \div 3 \text{ мм}$ ;  $d = 0,5\delta \div 1$ , где  $\delta$  — толщина свариваемой детали в мм. Применяемая проволока (присадочной металл) должна иметь

Т а б л и ц а 32

Химический состав в %

Проволока	С	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
				Не более			
Св-10ГС	Не более 0,14	0,80 ÷ 0,10	0,60 ÷ 0,90	0,20	0,30	0,03	0,04
Св-12ГС	0,14	0,80 ÷ 1,10	0,60 ÷ 0,90	0,02	0,03	0,03	0,03

паспорт, подтверждающий качество в соответствии с ГОСТ. Применение легированной проволоки Св-10ГС, Св-12ГС позволяет вести газовую сварку пропано-бутано-кислородным пламенем не только нормальным, но и окислительным ( $\beta = 3,5 \div 3,8$ ), так как химический состав этого присадочного металла обеспечивает раскисление расплавленного металла сварочной ванны. Правильное соотношение между кислородом и горючими газами устанавливается по длине пламени и по состоянию сварочной ванны: спокойная поверхность без пузырения и разбрызгивания. В наших исследованиях в горелку подавалась смесь пропана и бутана с соотношением  $\beta = \frac{V_{\kappa}}{V_{\varepsilon}} = 3,8$ . Температуру по зонам измеряли с помощью оптического пирометра, причем были определены следующие данные: устье сопла горелки —  $300^{\circ}\text{C}$ ; середина ядра  $a^1$  —  $700^{\circ}\text{C}$ ; конец ядра  $a^1$   $1000^{\circ}\text{C}$ ; на расстоянии от ядра  $6$ — $8$  мм в зоне  $\varepsilon^1$   $2200$ — $2400^{\circ}\text{C}$ ; конец зоны  $\varepsilon$   $2000^{\circ}\text{C}$ , конец зоны  $\varepsilon^1$   $1400^{\circ}\text{C}$ .

Пропано-бутановая смесь, т. е. жидкий газ, имеет более высокую теплотворную способность, чем ацетилен, т. е.  $Q_{\text{н}}(\text{C}_3\text{H}_8) = 21022 \cdot 4,19 \text{ кДж/м}^3$ ,  $Q_{\text{н}}(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 27400 \cdot 4,19 \text{ кДж/м}^3$ ;  $Q_{\text{н}}(\text{C}_2\text{H}_2) = 11500 \cdot 4,19 \text{ кДж/м}^3$ . Скорость распространения пламени жидкого газа в кислороде  $v_{(\text{C}_3\text{H}_8)} = 4,5 \text{ м/сек}$ ,  $v_{(\text{C}_4\text{H}_{10})} = 3,7 \text{ м/сек}$  значительно меньше, чем у ацетилена  $v_{(\text{C}_2\text{H}_2)} = 13,7 \text{ м/сек}$ , что приводит к понижению температуры сварочного факела. При соотношении газов кислорода и горючего жидкого  $\beta = \frac{V_{\kappa}}{V_{\varepsilon}} = 3,4 \div 3,5$  появляется шлаковая пленка, равномерно покрывающая расплавленный металл при спокойном состоянии поверхности ванны шва. Очертание ядра  $a^1$  имеет сглаженные края длиной  $l = 10 \div 15 \text{ мм}$ .

При увеличении соотношения газов до  $\beta = \frac{V_{\kappa}}{V_{\varepsilon}} = 3,8$  шлаковая пленка начинает разжижаться и ванна становится подвижной. Ядро  $a^1$  становится более жестким, острым длиной  $l = 15 \div 20 \text{ мм}$ . Эффективная мощность пламени повышается с увеличением температуры зоны  $\varepsilon^1$ . Однако избыток кислорода приводит к выгоранию отдельных элементов в расплаве шва и поэтому требуется активное раскисление расплавленного металла. Применение присадочных проволок типа Св-10ГС и Св-12ГС обеспечивает раскисление, кроме этого, пропуск горючей смеси перед сжиганием через восстановители, как например, никелевая стружка и др., способствует уменьшению окисления металла в шве.

Наибольшая температура сварочного факела создается во второй трети длины зоны  $\varepsilon^1$  на расстоянии не менее  $4$ — $6 \text{ мм}$  и даже  $8$ — $10 \text{ мм}$  от ядра  $a^1$ . Объясняется это тем, что первоначальный распад составляющих сжиженный газ (пропана и бутана) проходит по эндотермической реакции, поэтому располагать свариваемую поверхность рядом с зоной  $a^1$  нельзя, однако увеличенное соотноше-

ние кислорода и горючего газа  $\beta = 3,5 \div 3,8$  позволяет приблизить свариваемую зону к ядру.

При проведении сварочного процесса важно правильно расположить присадочный пруток и выбрать угол наклона сварочной головки. При сварке жидким газом оптимальный угол наклона присадочного прутка должен составлять  $35\text{--}40^\circ$  к оси шва, а горелка  $45\text{--}60^\circ$  С в зависимости от толщины свариваемого металла. Во время сварки конец присадочной проволоки все время находится в ванне. Во избежание пережога присадочного прутка движение его должно быть волнообразным, с периодическим перемешиванием от зоны  $v^1$  сварочного пламени и концу зоны  $c^1$ . Для монолитности структуры наваренного металла следует образовавшийся расплав энергично перемешивать концом присадочного металла. При вынужденном перерыве процесса сварки, как например, повороте детали или смене присадочной проволоки, рекомендуется хорошо нагреть место остановки (окончание 1-го участка), затем продолжать сварку на расстоянии  $30\text{--}50$  мм от нагретого места в сторону наваренного металла, с продолжением окончания сварки от начала 2-го участка сварки.

Этот способ уменьшает коробление свариваемой детали. При сварке жидким газом ширина шва должна быть в пределах  $3\text{--}5\delta$ . Усиление шва для неповоротных стыков  $2\text{--}3$  мм для поворотных  $1\text{--}2$  мм. Мощность пламени при стыковой сварке с зазором  $1,0\text{--}3,5$  мм устанавливается из расчета расхода пропана-бутана на  $1$  мм толщины металла  $70\text{--}90$  л/ч. Следовательно, расход газов при сварке стали толщиной  $\delta = 4$  мм при  $\beta = 3,4 \div 3,8$  составляет для жидкого газа  $320$  л/ч; для кислорода  $1080\text{--}1216$  л/ч.

---

**РЕЗКА МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

**В**ажнейшей особенностью газокислородной резки металлов является использование местного сосредоточенного нагрева. Этот способ разъединения металла основан на химических реакциях соединения железа с кислородом, дающих окислы  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  или  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с последующим удалением их из полости реза. Процесс окисления идет значительно быстрее, если металл предварительно нагреть до температуры воспламенения. В связи с этим температура воспламенения разрезаемого металла должна быть ниже температуры его плавления. Таким свойствам удовлетворяют стали с содержанием до 0,7% С.

Рассматривая кривую температур воспламенения в связи с диаграммой железо-углеродистых сплавов, следует обратить внимание на то, что резать сплавы с содержанием  $\sim 1,10\%$  С практически весьма трудно. Температура начала горения повышается с увеличением содержания углерода в металле, в то же время температура плавления уменьшается. Так, чистое железо имеет температуру воспламенения около  $1050^\circ\text{C}$ , а плавится при температуре  $1635^\circ\text{C}$ . При увеличении содержания до 0,7% С температура воспламенения стали снижается до  $1300^\circ\text{C}$  и совпадает с началом плавления. Температура воспламенения железоуглеродистого сплава с содержанием 2,2% С равна  $1400^\circ\text{C}$ , т. е. совпадает с концом плавления. Газокислородная резка может иметь высокое качество только при сжигании металла в твердом состоянии. При горении металла в расплавленном состоянии металл вытекает из полости реза. Форма граней реза в этом случае получается широкой и неправильной.

Чугуны как высокоуглеродистые сплавы обычной газокислородной резке не поддаются, так как их температура плавления составляет  $1200^\circ\text{C}$ , а температура горения  $1350^\circ\text{C}$ — $1400^\circ\text{C}$ , т. е. в этом случае возможно только выплавление металла, а не его резка. Цветные металлы также не поддаются резке по ряду причин. Так, у меди и алюминия температура плавления ниже температуры воспламенения, кроме того, появляющиеся окислы чрезмерно тугоплавки. Температура плавления красной меди  $1083^\circ\text{C}$  ее

окислов  $\text{CuO}$   $1148^\circ \text{C}$ , а  $\text{Cu}_2\text{O}$   $1255^\circ \text{C}$ . Высокая теплопроводность меди и малое количество тепла, выделяемое при сгорании, отрицательно влияет на резку. Алюминий не поддается газовой резке в связи с большой разницей в температурах плавления: температура плавления чистого металла  $657^\circ \text{C}$ , его окислов  $2050^\circ \text{C}$ . Резка высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей возможна только с применением специальных флюсов, которые могут повысить температурный режим резки, а также растворить тугоплавкие окислы.

Наиболее распространенным резаком для резки металла является резак УР с концентрическим расположением мундштуков подогревательного пламени и режущего кислорода. Этот резак обеспечивает свободное направление резки металла. Подогревательное пламя имеет строение, состав, химические свойства и температуру такие же, как и сварочное пламя.

До последнего времени для подогревательного пламени применяли искусственные углеводородные газы, интенсивно горящие в смеси с кислородом, например, ацетилен.

Использование ацетилена в смеси с кислородом позволяет получать тепловую энергию высокой концентрации, необходимую для нагрева разрезаемого металла. Несмотря на целый ряд положительных качеств ацетилено-кислородного пламени (высокая температура, быстрота нагрева линии реза и др.), оно имеет и целый ряд недостатков — это получение структур металла на гранях реза с большой глубиной закалки, трудно поддающихся механической обработке. Кроме того, при высокотемпературном факеле ацетиленового пламени появляются опасные напряжения в металле, которые способствуют появлению трещин на гранях реза. Для сравнения целесообразности применения природного газа параллельно использовался газ ацетилен. В работах применялся саратовский газ с химическим составом:  $94,8\% \text{CH}_4$ ;  $1,8\% (\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10})$ ;  $3,4\% \text{N}_2$ . В начальный момент подогрева в течение  $10\text{--}20$  сек скорость резки с использованием ацетилена на  $25\text{--}60\%$  выше, чем природного газа, однако при установившемся режиме различия в скорости резки не наблюдалось (рис. 106).

При использовании природного газа мундштук нагревательного пламени подбирался на номер больше обычного мундштука. Так, для мундштука режущего кислорода № 1, при толщине разрезаемого металла  $10\text{--}25$  мм устанавливали мундштук нагревательного пламени № 2 и т. д. При больших толщинах металла диаметр подогревательного мундштука увеличивали на  $40\%$ . При

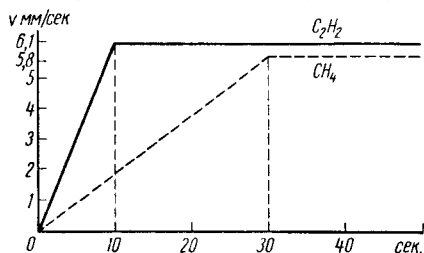


Рис. 106. Отставание начала резки при использовании природного газа

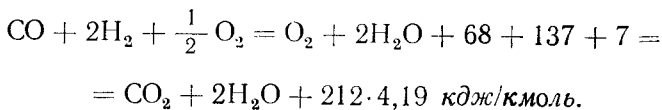
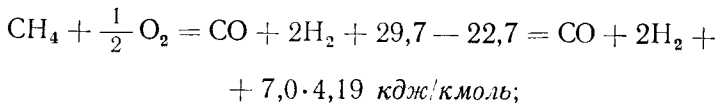
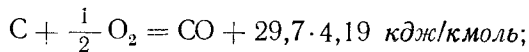
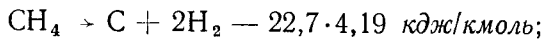
## Технологическая характеристика сварки

Толщина металла в мм	№ внутреннего из- конечника *	Давление природ- ного газа в ат	Давление кислорода в ат	Скорость резики		Расход при- родного газа		Расход кислорода			
								на подогрев		на резку	
				в мм/мин	в м/ч	в л/л пог. м	в л/ч	в л/л пог. м	в л/ч	в л/л пог. м	в ч/л
10	1	0,2	2,5	320	19,2	30	575	22	420	70	1 340
15	1	0,2	3,0	285	17,1	40	634	27	470	107	1 830
20	2	0,25	3,5	257	15,4	50	770	34	530	150	2 300
25	2	0,25	4,0	237	14,2	55	785	40	570	195	2 770
30	3	0,25	4,5	220	13,2	65	860	47	620	243	3 220
35	3	0,3	5,0	202	12,2	75	915	54	660	300	3 650
40	3	0,3	5,5	192	11,5	85	960	61	700	357	4 100
45	4	0,35	6,0	182	10,9	90	990	67	730	420	4 570
50	4	0,35	6,5	175	10,5	100	1050	72	770	483	5 080
55	4	0,4	6,5	167	10,0	110	1100	80	800	555	5 550
60	4	0,4	7,0	158	9,5	120	1140	88	835	627	5 965
65	4	0,45	7,0	151	9,1	130	1190	95	860	705	6 420
70	5	0,45	7,5	147	8,9	140	1250	99	880	781	6 980
75	5	0,5	7,5	141	8,5	150	1280	110	930	880	7 470
80	5	0,5	8,0	137	8,2	160	1320	117	960	963	7 920
85	5	0,5	8,0	133	8,0	170	1360	122	980	1060	8 470
90	5	0,6	8,0	130	7,8	180	1410	130	1010	1160	9 020
95	5	0,6	9,0	127	7,6	190	1450	137	1040	1253	9 560
100	5	0,6	9,0	124	7,5	200	1500	142	1060	1358	10 180

Наружный наконечник № 2.

резке устанавливали давление в зависимости от толщины металла (табл. 33).

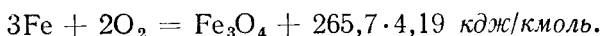
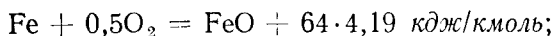
Для подтверждения целесообразности использования природного газа в подогревательном пламени, резаков, приводит расчет количества выделяемого тепла:



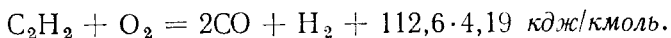
Из зоны полного сгорания используется 40—60% тепла, т. е. с среднем 80—120·4,19 кдж/кмоль. Следовательно при сгорании 1 м<sup>3</sup> природного газа выделится

$$Q_{(C_2H_2)} = \frac{100}{6} \cdot 0,711 \cdot 1000 = 1160 \cdot 4,19 \text{ кдж/м}^3.$$

На 1 пог. м реза при толщине 25 мм расходуется 25·1,353 = = 34 л природного газа, следовательно подогревательное пламя выделит около 150·4,19 кдж. Одновременно с теплом, получаемым от горючего газа тепло будет выделяться от сгорания металла. Так, при ширине реза 3 мм на 1 пог. м при толщине 25 мм выгорит 0,585 кг железа:



При сгорании 2 кг Fe в FeO выделится 1160·4,19 кдж и 1 кг Fe в Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> выделится 1680·4,19 кдж. При сгорании одной весовой единицы железа часть металла образует окислы, а часть остается несгоревшей. Так, например, 0,5 вес. ч. железа сгорает 6FeO, 0,35 вес. ч. в Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, а остаток в 0,15 вес. ч. остается несгоревшей и выдувается из места реза. Следовательно, общее количество тепла, выделяемое в резе от сгорания железа, будет равно: 0,5·1160 + 0,35·1680 = 1168·4,19 кдж. Это дополнительное тепло примерно в 4 раза больше получаемого от подогревательного пламени с природным газом. При резке ацетиленом в средней зоне горения происходит реакция



При сгорании 1 м<sup>3</sup> C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> выделяется

$$Q_{(C_2H_2)} = \frac{112,6}{26} \cdot 1,162 \cdot 1000 = 5050 \cdot 4,19 \text{ кдж/м}^3.$$

Если на 1 пог. м реза при толщине 25 мм расходуется 25 л ацетилена, то в подогревательном пламени выделится около 125 кдж. Из графика выделения тепла видна целесообразность использования природного газа как заменителя ацетилена (рис. 107).

При резке металла подогревательное пламя, образуемое за счет подачи кислорода и горючего газа в резак, нагревает металл на небольшую глубину 2—5 мм. Нижележащий слой разрезаемого металла нагревается от тепла, полученного в результате химических реакций окисления железа. Подогревательное пламя нужно для поверхностных слоев каждого разрезаемого места, так как при продвижении резака струя режущего кислорода будет встречать холодные участки, в результате чего нарушится процесс сжигания

металла. Образующиеся при сгорании металла окислы в расплавленном состоянии выдуваются из места реза давлением струи режущего кислорода, чем и объясняется увеличение расхода и давления его по сравнению со сварочным процессом. Кислород при резке, во-первых, участвует в химических реакциях; во-вторых, удаляет несгоревший металл, превратившийся в окислы. Для более легкого подогрева металла до температуры воспламенения количество тепла от сгорания металла должно быть возможно

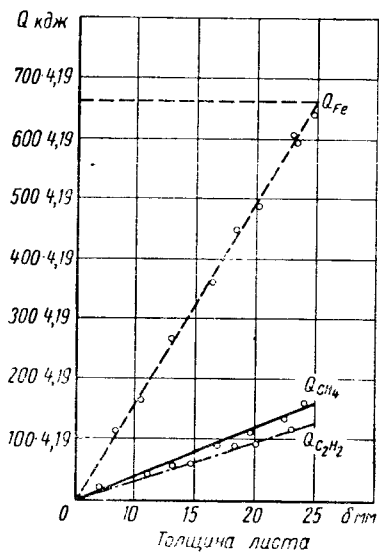


Рис. 107. Выделение тепла в процессе резки

можно резать только с применением специальных флюсов: повышающими температурный режим резки и растворяющими тугоплавкие окислые шлаки для облегчения удаления их из полости реза.

Учитывая эндотермический распад метана в зоне  $a$ , нельзя располагать нагреваемое место перед резкой вблизи этой зоны из-за низкой температуры; нагревать металл до температуры воспламенения следует зоной  $c$ , устанавливая место реза в конце зоны  $b$  (рис. 108). Важное значение имеет длина подогревательного пламени, обеспечивающего температуру воспламенения металла при глубоких резах. Горючие газы характеризуются определенной длиной пламени в связи со скоростью сгорания. Газы, у которых скорость сгорания высокая, дают короткое пламя (ацетилен и др.). Природный газ метан, при умеренной скорости сгорания, дает длинное пламя, что важно при резке металла больших толщин (рис. 109). Скорость выхода кислорода из центрального отверстия

большим. Теплопроводность же металла не должна быть высокой, так как она усиливает охлаждение зоны резки и создает трудности в подогреве металла до воспламенения. Газокислородная резка может иметь высокое качество только при сжигании металла в твердом состоянии. При горении металла в расплавленном состоянии происходит одновременное вытекание его из полости реза. В этом случае форма граней получается широкой и неправильной. В производственных условиях способ резки может быть принят только такой, когда поверхность разреза получается ровная, гладкая при неизменяемых механических и химических свойствах.

Высокоуглеродистые и высоколегированные аустенитные хромистые и хромоникелевые стали

(внутреннего мунштука) бывает достаточно высокой 500—700 м/сек и пламя сдувает расплавленный шлак и металл.

Перед началом резки разрезаемую деталь устанавливают в положение, удобное для рабочего-резчика и свободного движения резака. Всю длину предполагаемой линии реза шириной 10—15 мм для улучшения подогрева металла тщательно очищают проволочной щеткой от окалины, ржавчины, масла, жира, краски и пр. Для лучшего отделения окалины всю поверхность реза целесообразно предварительно нагреть подогревателем до начала красного каления. Линию реза намечают мелом.

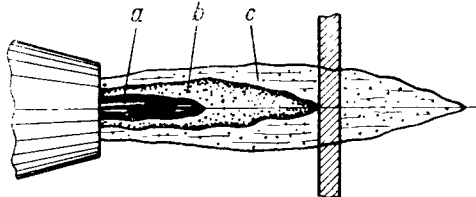


Рис. 108. Схема резки природным газом

Для беспрепятственного выхода струи режущего кислорода без завихрений, вызывающих расширение реза с противоположной стороны разрезаемого металла, должно быть свободное пространство. В начале резки подогревательное пламя направляют на край разрезаемого металла до тех пор, пока верхняя кромка не нагреется до белого каления, до температуры воспламенения. Подогревательное пламя должно быть отрегулировано таким образом, чтобы время подогрева составляло: при толщине металла 5—25 мм 5—15 сек; 25—50 мм 10—20 сек; 50—100 мм 15—25 сек, 100—300 мм 20—50 сек.

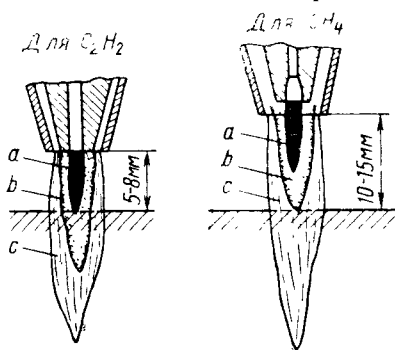


Рис. 109. Расстояние устья резака до плоскости реза в зависимости от горючих газов

3 мм. Во время действия подогревательного пламени режущего кислорода должен быть закрыт. После достаточного нагрева (белое каление) открывают вентиль режущего кислорода для прорезания (пробивания) всей толщи металла в начальном участке. После этого равномерно перемещают резаки по линии реза с нормальным подогревателем пламени и открытым вентилем режущего кислорода.

Расстояние мунштука резака до поверхности металла зависит от толщины разрезаемого металла и длины ядра пламени, характе-

ризирующего эффективность нагрева. При слишком малом расстоянии происходят обратные удары вследствие нагрева мундштука и закупорки его отверстия. При очень большом расстоянии тепло рассеивается и резка замедляется. Для метано-кислородной резки это расстояние принимается по формуле  $L = l + 3$  мм при толщинах до 100 мм;  $L = l + 5$  мм при толщинах выше 100 мм, где  $l$  — длина ядра пламени в мм (рис. 108). Струю режущего кислорода, необходимо направлять перпендикулярно к поверхности разрезаемого металла, обеспечивая этим наименьшую толщину реза. При резке больших толщин (начиная с 50 мм), несмотря на

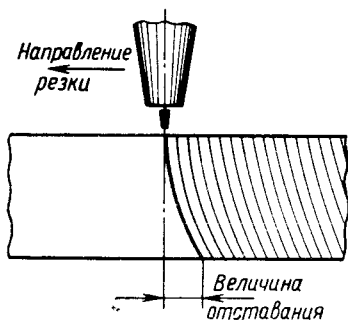


Рис. 110. Отставание режущей струи

применение более мощных мундштуков, наблюдается уменьшение скорости резки, связанное с отставанием режущей струи (рис. 110), т. е. запаздыванием в прорезании нижней кромки по сравнению с верхними слоями. Это отставание связано с неравномерным горением металла по глубине реза. Подогревательное пламя, углубляясь в массу металла, ослабевает в связи с нагревом граней реза. При этом теряется скорость и уменьшается мощность режущей струи кислорода даже при увеличившемся его

расходе на сжигание нижних слоев металла. Для устранения отставания при резке по прямой резак следует наклонять в сторону, обратную направлению резки, на 5—15°.

Ширина зависит от давления режущего кислорода, диаметра выходного отверстия внутреннего мундштука (конструкции резака) и толщины металла.

На входе струи ширина реза может быть определена по формуле

$$b = a + m \cdot k \cdot s \text{ мм,}$$

где  $a$  — коэффициент, зависящий от конструкции резака, равный 2;

$k$  — коэффициент, 0,02—0,03;

$m$  — коэффициент для природного газа, 1,4—1,5;

$s$  — разрезаемая толщина металла в мм.

При выходе струи кислорода на нижней стороне разрезаемого изделия ширина реза увеличивается в среднем от 10 до 50% в зависимости от толщины разрезаемого металла.

Для определения ширины реза с учетом металла, идущего на угар при резке, т. е. сгорающего и выдуваемого в виде окислов, следует пользоваться формулой

$$b = (a + m \cdot k \cdot s) \cdot 1,25 \text{ мм.}$$

При использовании природного газа в резаках типа УР для увеличения мощности подогревательного пламени мундштук подогревательного пламени следует подбирать на номер больше обычного.

Так, например, при толщине разрезаемого металла 5—25 мм для внутреннего мундштука № 1 режущего кислорода необходимо устанавливать наружный мундштук № 2 нагревательного пламени. При больших толщинах металла диаметр подогревательного мундштука следует увеличивать на 40% путем расточки концентрического отверстия.

Расчет отверстий для выхода горячей смеси приводится при соотношении кислорода и горючего газа  $O_2 : CH_4 = 1,0$ , хотя при эксплуатации это соотношение доходит до  $O_2 : CH_4 = 1,2 \div 1,4$ . В расчете были приняты следующие данные:

1) теплотворная способность горючего газа  $8530 \cdot 4,19 \text{ кдж/м}^3$ .

2) объемный вес горючего газа при  $0^\circ \text{C}$  и  $20^\circ \text{C}$ :  $\gamma_o^o = 0,75 \text{ кг/м}^3$ ;  $\gamma_{20}^o = 0,63 \text{ кг/м}^3$ ;

3) объемный вес кислорода при  $0^\circ \text{C}$  и  $20^\circ \text{C}$   $\gamma_o^o = 1,429 \text{ кг/м}^3$ ;  $\gamma_{20}^o = 1,312 \text{ кг/м}^3$ ;

4) объемный вес газокислородной смеси:  $\gamma_o^o = \frac{\gamma_o^o + \gamma_o^o}{V} = 1,361 \text{ кг/м}^3$ ;  $\gamma_{20}^o = \frac{\gamma_{20}^o + \gamma_{20}^o}{V} = 0,971 \text{ кг/м}^3$ ;  $V$  — количество газа в  $\text{м}^3$ .

В инжекторную горелку кислород поступает под давлением  $0,5—1,5 \text{ ат}$  с температурой, равной температуре окружающего воздуха. Давление кислорода по пути к инжектору изменяется на незначительную величину (преодоление сопротивлений в трубках и вентилях горелки). Струя кислорода из инжектора поступает в камеру смешения, где давление по экспериментальным данным  $p_{2abc} = 0,01 \div 0,02 \text{ Мн/м}^2 \cdot [(0,1 \div 0,2) \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2]$ . Так как сечение наружных каналов инжектора должно быть увеличено на 30% для прохода горючего газа, то проходное сечение для кислорода в инжекторе горелки № 5 должно быть увеличено до отверстия в инжекторе горелки № 7. Для проверки проходных сечений кислорода и горючего газа приводим теоретические расчеты.

Сечение кислородного канала инжектора определяем из уравнения

$$f = \frac{G_0}{\mu_0 \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \frac{p_1^2}{R_k T}}},$$

где  $G_0$  — секундный расход газа в  $\text{кг/сек}$ ;  $G_0 = \frac{V_{\kappa} \gamma_{20}^{\kappa}}{3600} = \frac{2,750 \cdot 1,312}{3600} = 0,001002 \text{ кг/сек}$ ;

$V_{\kappa}$  — количество подаваемого кислорода в зависимости от номера инжектора в  $\text{м}^3$ ;

$\gamma_{20}^{\kappa}$  — объемный вес кислорода;

$g$  — 9,81;

$k$  — показатель адиабаты, равный 1,4;

$\mu_0$  — коэффициент расхода, равный 0,97;

$T$  — температура кислорода  $300^{\circ} \text{К}$ ;

$R_{\kappa}$  — газовая постоянная кислорода —  $\frac{847}{32} = 26,5$ ;

$p_1$  — давление кислорода в  $0,1 \text{ Мн/м}^2$  ( $1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ );

$f = \frac{\pi d_1^2}{4} = 0,0000017 \text{ м}^2$ ;  $d_1 = 0,0015 \text{ м} = 1,5 \text{ мм}$ .

Часовой расход смеси кислорода и горючего газа равен:  $G = 2,75 \cdot 1,312 + 2,75 \cdot 0,63 = 5,34 \text{ кг/ч}$ . Откуда секундный расход горючего газа составит:  $G_0 = 0,0015 \text{ кг/сек}$ . Для газовой смеси при  $\text{O}_2 : \text{CH}_4 = 1 : 1$

$$R_{см} = g_{\kappa} R_{\kappa} + g_2 R_2 = 35,39;$$

$$g_{\kappa} = \frac{G_{\kappa}}{G_{см}} = 0,69; \quad g_2 = \frac{G_2}{G_{см}} = 0,324;$$

$$R_{\kappa} = \frac{847}{32} = 26,5; \quad R_2 = \frac{847}{16} = 52,81;$$

$p_2$  — перед смесителем по данным ВНИИАВТОГЕНМАШа  $11\,400 \cdot 9,8 \text{ н/м}^2$  ( $11\,400 \text{ кг/м}^2$ ),  $p_3$  — при выходе к шву  $10\,430 \times 9,8 \text{ н/м}^2$  ( $10\,430 \text{ кг/м}^2$ ),  $\mu_{см}$  — коэффициент расхода  $\leq 0,93$ . Сечение каналов подогревательного пламени определим по формуле

$$f = \frac{G_{см}}{\mu_{см} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_2^0}{RT_2} \left[ \left( \frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_3}{p_2} \right)^{\frac{\kappa \mu}{\kappa}} \right]}} = 0,0000122 \text{ м}^2.$$

$d_2 = 1,24 \text{ мм}$ . Давление перед смесителем принято  $p_2 = 0,11 - 0,12 \text{ Мн/м}^2$ . Смесь газов входит в атмосферу, следовательно,

$\frac{p_3}{p_2} = \frac{1}{1,2} = 0,83$ , где  $p_3$  — атмосферное давление. Давление среды при выходе из горелки горючей смеси обозначим  $p'_3$ . Принимаем  $p'_{3\text{обс}} = 0,1043 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,043 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ), где величина  $0,0043 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,043 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) будет определять сопротивление

факела пламени.  $\frac{p_2}{p_1} = \beta_{кр}$  — критическое отношение давлений.  
Скорость истечения смеси из сопла

$$v = 1 \sqrt{2gV_{см} (p_2 - p_1)} = \sqrt{2g \frac{R_{см} T_2}{\rho_2} (p_2 - p_1)} = 144 \text{ м/сек.}$$

где  $R_{см}$  — газовая постоянная для смеси состава  $O_2 : CH_4 = 1 : 1$  равна  $R_{см} = g_k R_k + g_2 R_2 = 35,39$ ;

$T_2$  — температура смеси перед соплом в °К, принята равной 330° К;

$V_{см}$  — количество горючей смеси в м<sup>3</sup>.

Скорость истечения смеси из сопла должна составлять 70—160 м/сек. Необходимость в повышенной скорости истечения природного газа подтверждается следующим: согласно кинетической теории, общее выражение для средней скорости частицы газа имеет вид:

$$v = 14530 \sqrt{\frac{T}{m}} \text{ см/сек};$$

где  $T$  — абсолютная температура;

$m$  — молекулярный вес.

Для природного газа

$$v = 14530 \sqrt{\frac{350}{16}} \approx 70 \text{ м/сек.}$$

Для ацетилена

$$v = 14530 \sqrt{\frac{350}{26}} \approx 56 \text{ м/сек.}$$

Диаметр сопла внутреннего мундштука в мм

$$d_u = \sqrt{\frac{V_k}{0,45(p+1)}},$$

где  $V_k$  — расход кислорода в м<sup>3</sup>/ч;

$p$  — давление кислорода перед дросселирующим вентилем в кг/см<sup>2</sup> (по манометру редуктора);

$V_k$  — расход режущего кислорода.

Для резки металла толщиной  $\delta = 50$  мм,  $p = 6$  ат,  $V_k = 6$  м<sup>3</sup>/ч:

$$d_u = \sqrt{\frac{V_k}{0,45(p+1)}} = \sqrt{\frac{6}{0,45(6+1)}} = 1,49 \text{ мм.}$$

Для резки металла с использованием природного газа можно применять универсальный инжекторный резак УР-48, предназначенный для ручной разделительной резки стали толщиной 5—300 мм (табл. 34). Исследования по применению природного газа

Техническая характеристика резака УР-48

Толщина металла в мм	№ мундштука		Давление в Мн/м <sup>2</sup>		Ширина реза в мм	Средняя скорость резки в мм/мин
	внутреннего	наружного	кислорода	ацетилена		
5	1	1	0,3	0,08	2—2,5	550
25	2	1	0,4	0,09	2,5—3,5	370
50	3	1	0,6	0,1	3,5—4,5	260
100	4	2	0,8	0,1	4,5—7,0	165
200	5	2	1,1	0,11	7,0—10	105
300	5	2	1,4	0,12	8,0—11	80

в подогревательном пламени показали возможность использовать стандартные резаки типа УР-48, УР-44, РР-53 и др. с некоторой модернизацией.

Так, на Саратовском заводе тяжелого машиностроения применяются резаки РЗР-55, в которых внутренний канал для режущего кислорода подрезан, мундштук «утоплен» в наружном на 1,5 мм по высоте (см. рис. 14, а, в). На Саратовском заводе строительных машин применяются резаки типа УР-48 с соответствующей переделкой ряда деталей резака (рис. 14, с, d). Кафедрой «Технология металлов» Саратовского политехнического института разработана также конструкция внутреннего мундштука (см. рис. 15).

Для ручной разделительной кислородной резки с использованием природного и других газов — заместителей ацетилена промышленность выпускает резаки РЗР. По конструкции резак относится к типу инжекторных и отличается от серийного ацетилено-кислородного резака УР-48 в основном только диаметром проходных каналов в инжекторе, смесительной камере и наружных наконечниках. Диаметр отверстия в инжекторе 0,95 мм (см. рис. 17), диаметр цилиндрического отверстия в смесительной камере (см. рис. 18) 2,8 мм, диаметр отверстия в наружных наконечниках № 1 и № 2 соответственно 6 и 7 мм (см. рис. 14, б и 19).

Выпускаемые серийно ручные ацетилено-кислородные резаки типа УР-44, УР-48, РР-53 и др. могут быть приспособлены для работы на природном газе. Для этого необходимо рассверлить или лучше развернуть отверстие в инжекторе и в смесительной камере, доведя их до указанных на рис. 17 и 20 размеров и изготовить мундштуки в соответствии с рис. 19. Для переделки внутренних мундштуков не следует сразу рассверливать или развертывать совершенно новые мундштуки. Можно использовать уже бывшие в работе мундштуки с изношенными отверстиями. Качество изготовления внутренних мундштуков, как и наружных наконечников должно быть высоким. Особенно это относится к внутренним каналам. Наличие рисок, шероховатостей, заусенцев в соплах и ин-

жекторе вредно отразится на подогревательном пламени. Все сопрягаемые детали резака должны иметь хорошее уплотнение, обеспечивающее отсутствие пропусков. Наличие пропусков помимо утечки газов создает опасность при работе резаком.

Для получения чистого и гладкого отверстия желательно применять развертки. Если мундштуки или наконечники изготавливают вновь, то необходимо правильно выбрать технологические базы, чтобы в собранном виде не было сдвига сопла (рис. 111, а, в), иначе пламя будет односторонним и неравным по высоте

(рис. 111, б). Строение подогревательного пламени такое же, как и у пламени сварочной горелки. При сдвиге сопла во время резки одна кромка сильнее нагревается, оплавляется и окисляется. В результате рез получается нечистый, часто происходит засорение концентрического отверстия, по которому проходит газовая смесь для подогревательного пламени. Пламя разбивается на отдельные струйки. Такое пламя также неравномерно подогревает кромки, оплавляет их, и в результате рез получается нечистый, а производительность резки снижается.

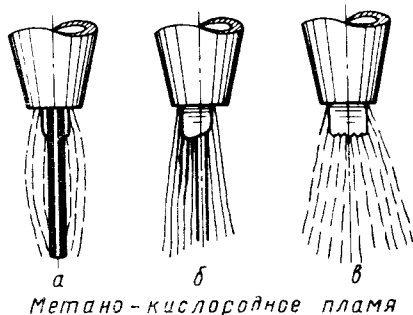


Рис. 111. Расположение режущего сопла в резаке

Процесс газовой резки требует вполне определенного количества режущего кислорода. Недостаток кислорода приводит к неполному сгоранию железа и недостаточно интенсивному удалению окислов. Избыток кислорода охлаждает металл. Количество проходящего через сопло кислорода зависит от скорости истечения струи, определяемой конструкцией сопла, его наименьшим сечением и давлением кислорода. Истекающая из режущего сопла струя кислорода должна непрерывно окислять металл по всей толщине разрезаемого листа или заготовки, причем скорость перемещения резака вдоль линии реза должна соответствовать скорости окисления металла по его толщине. В значительной мере скорость окисления металла по толщине зависит от скорости истечения режущей струи кислорода.

Кислородная струя должна интенсивно удалять из зоны резки образующиеся при сгорании металла окислы, для чего также, желательно, чтобы скорость истечения струи была возможно большей. Струя режущего кислорода должна обеспечивать равномерную ширину реза по толщине разрезаемого металла и минимально возможную величину отставания, при этом струя должна на возможно большей длине сохранять цилиндрическую форму. Максимальная скорость истечения режущего кислорода, превышающая примерно

скорость звука, и необходимая цилиндрическая форма струи достигается применением расширяющихся сопел (см. рис. 15). Такие сопла обеспечивают полное расширение газа в выходном сечении и снижение давления до атмосферного и, следовательно, полное превращение потенциальной энергии газа в кинетическую.

Согласно теории адиабатического истечения газов максимальный расход кислорода через сопло имеет место при критическом отношении давлений  $\beta_{кр} = \frac{p_2}{p_1} = 0,528$ . В условиях газовой резки абсолютное давление среды, в которую истекает кислород  $p_2 = 0,1 \text{ Мн/м}^2 (1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2)$  и, таким образом, при избыточном давлении режущего кислорода  $p_1 = 0,0893 \text{ Мн/м}^2 (0,893 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2)$  отношение давлений становится критическим, соответствующее переходу к сверхзвуковой скорости. В коническом канале наконечника (см. рис. 14, б) обеспечивается более спокойное движение без завихрений. Скорости частиц кислорода в поперечном сечении потока возрастают плавно по мере удаления от стенок к оси. Для спокойного истечения кислорода, а следовательно, и увеличения скорости резки необходимо стремиться к уменьшению вихревого движения. При нормальной скорости истечения кислорода может быть уменьшено рабочее давление, при котором производят резку. Чем ниже рабочее давление, тем меньше расход кислорода.

В соплах с каналами цилиндрической формы, когда давление кислорода при входе в сопло превышает  $0,893 \text{ атм}$ , расширение газа в выходном сечении сопла не является полным и давление в нем больше давления окружающей атмосферы. Отношение давлений в этих соплах меньше критического, т. е. меньше  $0,528$ . В цилиндрических соплах расширение кислорода происходит вне сопла и кислородная струя является менее направленной, чем в расширяющихся соплах (при тех же рабочих давлениях кислорода). При использовании сопел с каналом ступенчато-цилиндрической формы (см. рис. 20) в связи с резким переходом от одного сечения к другому, в нем во время движения кислорода создаются противодавление и вихревое движение. В ступенчатых наконечниках скорость движения кислорода по всему поперечному сечению одинакова и близка к средней скорости всего потока.

Как показывают исследования кислородных струй, относительная параллельность струи, вытекающей из сопла цилиндрической или ступенчато-цилиндрической формы, бывает только при сравнительно низких давлениях кислорода, не превышающих  $5\text{--}6 \text{ атм}$ . При дальнейшем повышении давления режущая струя заметно расширяется книзу и приобретает конусообразную форму. Особенно сильное расширение струи наблюдается у цилиндрических сопел. Расширяющиеся сопла обеспечивают параллельность струи. Применение модернизированного резака с соплом (см. рис. 15) и разработанной технологии обеспечивает: 1) увеличение скорости резки до 20%; 2) экономию метана и особенно кислорода до 10%;

3) уменьшение до 10% ширины реза за счет оплавления граней реза; 4) уменьшение грата на кромках реза; 5) уменьшение деформации деталей.

В процессе газовой распределительной резки, в особенности при резке стали значительной толщины (выноры, прибыльная часть 120 мм и более), окисление металла по толщине происходит неравномерно, верхние слои окисляются более интенсивно, чем нижние. Причины этого: 1) относительная загрязненность режущего кислорода, проходящего через рез в верхних слоях металла и увлекающего за собой различные выделяющиеся при окислении металла газы; 2) отсутствие непосредственного подогрева нижних слоев металла подогревающим пламенем; 3) падение кинетической энергии кислородной струи; 4) увеличение диаметра струи на значительном расстоянии от сопла, вследствие чего окисление нижних слоев металла происходит более широкой полосой и медленнее, чем верхних.

Отставание в процессе резки (см. рис. 110) является неизбежным и наблюдается при резке металла как большой, так и сравнительно малой толщины. Величину отставания легко определить по отклонению от вертикального направления бороздок (гребешков и впадин) на поверхности кромки реза. Отставание при резке металла толщиной до 50 мм особенного влияния не имеет. Однако при вырезке фигурных профилей из металла значительной толщины, отставание может привести к искажению формы вырезаемой детали. Для устранения этого скорость резки необходимо несколько снизить. При резке по прямой с нормальной скоростью обычными соплами отставание обычно имеет следующие значения:

Толщина стали в мм	Отставание в мм
5—30	1—5
30—60	5—8
60—100	8—12
100—130	12—15

Отставание в значительной степени зависит от конструкции режущего сопла, т. е. от скорости истечения и формы струи режущего кислорода, а также от толщины разрезаемой стали. С применением расширяющего сопла создается сверхзвуковая скорость истечения кислорода. При этом происходит равномерное окисление металла по толщине реза и энергично выдуваются окислы. Расширяющееся сопло обеспечивает высокое качество резки, характеризующееся минимальной величиной отставания, равномерной шириной реза, относительно гладкой (в зависимости от толщины металла) поверхностью реза, без значительных гребешков. Производительность резки стали особенно большой толщины при расширяющемся сопле намного выше по сравнению с применением сопел цилиндрической и ступенчатой формы.

На Саратовском заводе тяжелого машиностроения применение модернизированных ручных резаков, а также автоматических

резательных машин типа АСШ позволило полностью заменить искусственный газ ацетилен природным. Поверхность реза по чистоте обработки приближается к поверхности, обработанной на металлорежущих станках под  $\nabla$ .

Так, например, для резки стальных листов толщиной 90 мм применялись следующие оптимальные режимы резки природным газом (табл. 35).

Таблица 35

Режимы резки природным газом \*

Толщина металла в мм	Рабочее давление кислорода в ат	№ внутреннего наконечника	Резка природным газом		
			Расход метана в л/пог. м	Расход кислорода в л/пог. м	Скорость резания в мм/мин
10	3	1	30	95	320
20	4	2	45	190	390
30	5	3	60	345	240
45	5	4	90	510	200
60	6	4	140	905	170
75	8	5	170	1240	135
90	8	5	200	1500	105

\* Рабочее давление природного газа (метана) 0,2 ат; наружный наконечник № 2.

На Саратовском заводе строительных машин для резки металла заготовок при обработке литников, прибылей, резке шихтовых материалов в литейном цехе завода применяется ручная резка при помощи резаков типа РУ-48 (см. рис. 13, 14). Размеры наружного наконечника, обеспечивающего подогревательное пламя, установлены в зависимости от толщины разрезаемого металла. Так, для деталей толщиной 10—50 мм внутренний диаметр подогревательного мундштука  $d_n = 7^{+0,1}$ , наружный диаметр внутреннего мундштука режущего кислорода  $d_k = 4,9$  мм, т. е. концентрическая щель имеет размер 1,05—1,13 мм. При увеличении разрезаемых толщин металла эта щель увеличивается за счет увеличения внутреннего диаметра подогревательного мундштука с  $7^{+0,1}$  до 8,5 мм. Для увеличения устойчивости подогревательного пламени внутренний мундштук режущего кислорода подрезается (утопляется) на 2—3 мм по отношению к плоскости наружного наконечника (см. рис. 13).

Посты для резки получают кислород от баллонов через редуктор с рабочим давлением в зависимости от разрезаемых толщин металла: при отрезке литников малого сечения диаметром 30—80 мм 5—6 ат и при сечениях от 100 мм и выше 8—10 ат. Природный газ поступает от заводской магистрали с давлением 0,3 ат. Каждый пост оборудован двумя отводами для природного газа при наличии предохранительных водяных затворов. Газовая магистраль в обрубочном отделении имеет общий вентиль на все посты,

контрольный и запорный. У каждого рабочего поста для резки природным газом имеется свой рабочий кран.

При больших диаметрах или толщинах отрезки для «затравки» применялась «зажигательная» проволока из стали Ст. 3. Одновременно, для сравнения проводилась опыты с применением ацетилена. Давление кислорода 1—10 ат; ацетилена 0,2—0,6 ат; природного газа 0,2—0,4 ат. Для исследования микроструктуры и твердости использовали образцы из стали 35л (0,29% С; 0,54% Mn; 0,44% Si) 0,058% P; 0,037% S). Образцы подвергались разделительной резке при помощи резака УР-48 с использованием нормального пламени. Из образцов были сделаны микрошлифы, испытанные на твердость при помощи прибора ПМТ-3, как наиболее чувствительного к незначительным изменениям твердости. Твердость измеряли на расстоянии от края реза 0,7; 1,0; 2 и 3 мм. В среднем твердость распределилась следующим образом:

Для ацетилена

Расстояние от края реза в мм . . . . .	0,7	1,0	2,0	3,0
Твердость <i>HV</i> . . . . .	297	274	254	128

Для природного газа

Расстояние от края реза в мм . . . . .	0,7	1,0	2,0	3,0
Твердость <i>HV</i> . . . . .	205	200	160	128

Структура металла на расстоянии 3 мм от края реза состоит из перлита и феррита. При использовании природного газа: 30% перлита, 70% феррита, при использовании ацетилена: 36% перлита 60—64% феррита и, кроме этого, имеется 4—10% цементита. Скорость резки при применении природного газа только в начальный период горения металла отстает от скорости при ацетиленовой резке на 20—40%; через 20—50 сек скорость выравнивается и отставания не наблюдается. При резке природным газом *HV* 206; ацетиленом *HV* 297.

Преимущества применения природного газа в качестве заменителя ацетилена при газовой резке следующие: оплавление кромок, свойственное ацетилено-кислородной резке, при природном газе отсутствует благодаря сравнительно низкой температуре подогревательного пламени (2050—2150° С); снятие фасок с углом скоса 35—45° не вызывает технических трудностей и не имеет отклонений от заданных параметров; время предварительного подогрева начала резки природным газом в среднем на 20 сек больше, чем при ацетиленовой резке, а затем скорость нагрева одинаковая как при природном газе, так и при ацетиленовом; машинное время резки природным газом в 1 пог.м на 8—10% больше, если резка проходит с перерывом на небольших участках. При большой протяженности линии реза до 10 м увеличение это будет не более 2—5%; твердость поверхности реза, обработанной подогревательным пламенем *HV* 206, а поверхности, полученной при ацетиленовом пламени *HV* 297.

## РЕЗКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ

Для сжиженного газа подогревающее пламя дает наибольший эффект при избытке кислорода  $\beta = 3,5 \div 3,8$ , т. е. как и в сварочном пламени. Кислородную резку с использованием пропанобутановой смеси можно успешно осуществлять вручную и автоматически. Для ручной разделительной резки применяются без переделки резаки типа УРЗ, РЗП и усовершенствованный РЗР (табл. 36). По своей конструкции резак РЗР относится к типу инжекторных и отличается от серийного ацетилено-кислородного резака в основном диаметрами проходных каналов в инжекторе (0,95 мм), в смесительной камере (2,8 мм) и отверстий в наружных наконечниках (№ 1—6 мм, № 2—7 мм).

Таблица 36

Техническая характеристика резаков для резки сжиженными газами

Показатели	Толщина разрезаемой стали в мм				
	5—15	15—50	50—100	100—200	200—300
№ мунштука:					
наружного . . . . .	1	1	1	2	2
внутреннего . . . . .	1	2	3	4	5
Давление кислорода в рабочей камере редуктора типа РК-53 в $Мн/м^2$	0,3—0,35	0,35—0,4	0,4—0,6	0,6—0,1	1,1—1,4
Расход кислорода в $л^3/ч$ :					
режущего . . . . .	2,5—5	5—10	10—15	15—26	26—40
подогревающего	1,4	1,8	1,8	2,1	2,5
Расход пропана в $м^3/ч$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
Скорость резки в $мм/мин$ (при чистоте кислорода 99,5% и получении реза среднего качества) . . . . .	550—470	460—260	270—150	165—100	110—80

Чтобы приспособить ацетилено-кислородные резаки для пропано-бутановой смеси, следует рассверлить отверстия в инжекторе и смесительной камере и изготовить наружные наконечники согласно указанным размерам. Если необходимо приспособить машинный ацетилено-кислородный резак, следует помимо того рассверлить отверстия и в мунштуках.

**Р**абочее место для газопламенной обработки металла, может быть стационарным или передвижным. К стационарному рабочему месту горючий газ (главным образом сжатый метан) подведен по специальному трубопроводу, кислород подается от трубопроводной магистрали (при наличии компрессорной установки с собственной кислородной станцией) или от завозимых баллонов. К передвижному рабочему месту горючий газ и кислород подаются только от баллонов.

В каждом случае обязанности лиц, обслуживающих рабочее место, должны быть строго оговорены в специальных инструкциях. Особенности использования горючих газов при газопламенной обработке металлов должны быть точно разъяснены обслуживающим лицам.

Природный и сжиженные газы, смешиваясь в определенной пропорции с воздухом, образуют гремучие смеси, которые при наличии открытого огня, искры и т. п. дают взрыв. Например, природный газ, при содержании его в воздухе 4,8—16,7% образует взрывоопасную смесь. Газовоздушная смесь при наличии газа менее 4,8% не горит, а больше 16,7% горит в воздухе и не взрывается. Сжиженные газы пропано-бутановых фракций дают взрывоопасную смесь при содержании их в воздухе 1,5—9,5%. Пары пропана и бутана более опасны, чем ацетиленовые, так как они почти в 2 раза тяжелее воздуха и медленно рассасываются в воздухе. Кроме того, они могут скапливаться в нижних зонах помещений, в различных углублениях.

Во время эксплуатации сварочных и газорезательных постов необходимо подробно знать все основные мероприятия по технике безопасности, относящиеся к каждому газу — заменителю ацетилена. Для этого следует ясно себе представлять возможные случаи утечек газа в трубах, во всех соединениях, в рабочих органах аппаратуры, а также возможные аварии, приводящие к взрыву газовоздушной или газокислородной смеси. Газ может попасть в помещение, просачиваясь через небрежно набитый сальник, между слабо затянутыми фланцами, через неплотности плохо проварен-

ного шва. Природный газ почти в 2 раза легче воздуха, поэтому собираясь под потолочными перекрытиями, может легко проникать в вышенаходящиеся помещения.

Утечка газа из газопровода недопустима. Монтаж газопровода должен осуществляться в местах, легко доступных осмотру. Наличие утечек лучше всего проверять при помощи мыльного раствора промазывая не менее двух раз в смену подозрительные места, а также все резьбовые и фланцевые соединения. В сварочных цехах нельзя допускать курения, появления с открытым огнем. Электропроводка со светильниками должна быть взрывобезопасной. Выключатели электрического света устанавливаются вне цеха. Нельзя пользоваться переносными карманными электрическими фонарями, кроме электрических шахтерских взрывобезопасных фонарей со щелочным аккумулятором и магнитным затвором. Перед началом работ в сварочном цехе необходимо проводить приточно-вытяжную вентиляцию.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА

1. При использовании природного газа для газопламенной обработки металлов необходимо соблюдать «Правила техники безопасности при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработки металлов», утвержденные постановлением президиума ЦК профсоюза рабочих машиностроения.

2. При закупорке каналов аппаратуры возможно перетекание кислорода в трубопровод природного газа, в результате чего в последнем образуется взрывчатая смесь. Во избежание этого запрещается работа без водяных затворов, предохраняющих трубопровод горючего газа от перетекания в него кислорода и проникновения взрывной волны при обратном ударе пламени.

3. При отборе природного газа из трубопроводов, находящихся под давлением  $0,07 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,7 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) и выше, следует обязательно устанавливать регулятор давления, а после него водяной предохранительный затвор; при давлении менее  $0,07 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,7 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) — устанавливать только водяной затвор, присоединяемый непосредственно к трубопроводу.

4. Для природного газа с давлением в трубопроводе свыше  $0,002 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,02 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) могут применяться такие же предохранительные водяные затворы, как и для ацетилена.

5. При работе от трубопровода с давлением природного газа свыше  $0,01 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) должны применяться водяные затворы закрытого типа.

6. При работе от трубопровода с давлением природного газа ниже  $0,002 \text{ Мн/м}^2$  ( $0,02 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$ ) должны применяться специальные водяные затворы ЗГГ.

7. При использовании водяных затворов для природного газа должны соблюдаться те же требования, что и для ацетилена.

8. Работа двух и более постов от одного затвора воспрещается.
9. Длина шлангов в зависимости от условий работы должна быть в пределах 8-20 м.
10. Не следует допускать регулировку пламени с избытком горючего во избежание отравления выделяющейся при этом в заметных количествах окисью углерода (угарным газом).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОПАНО-БУТАНОВЫХ СМЕСЕЙ**

1. К газовой сварке могут быть допущены сварщики, прошедшие технический минимум по данному виду сварки и имеющие удостоверение на право работать газосварщиком.

2. При сварке пропан-бутановыми смесями следует соблюдать правила по технике безопасности, относящиеся к ацетилено-кислородной сварке.

3. Каждый газосварщик предварительно должен пройти специальный инструктаж по производству сварки этими смесями и по технике безопасности.

4. Результаты инструктажа должны записываться в журнал, в котором рабочие расписываются после прохождения инструктажа.

5. Проверка знаний газосварщиков производится в полном объеме в общем порядке один раз в год специальной комиссией, назначаемой начальником монтажного управления.

6. При получении баллонов необходимо проверить, не просрочена ли дата очередного испытания и не имеют ли повреждений оболочка баллона и вентиль. Следует проверить отсутствие на кислородных баллонах следов масел и жиров. Необходимо помнить что при соприкосновении сжатого кислорода с маслами и жирами возможен взрыв.

7. Совместная перевозка и хранение пропано-бутановых и кислородных баллонов запрещается.

8. Перевозить пропано-бутановые баллоны, полные или пустые, без накрученных на них колпаков не разрешается. При перевозке должны быть приняты меры против ударов баллонов друг о друга.

9. Баллоны должны храниться в вертикальном или наклонном положении, но так, чтобы головка была выше башмака. В таком же положении баллоны должны находиться во время работы. Во избежание падения баллоны должны быть укреплены на рабочих местах.

10. На постоянных местах работы баллоны со сжиженным газом должны помещаться в закрытых шкафах, имеющих отверстия для естественной вентиляции в нижней и верхней частях. Размеры отверстий должны быть такими, чтобы сумма их площадей была не менее половины сечения шкафа. Отверстия должны быть защищены козырьками или расположены так, чтобы искры с места работы не могли попасть в отверстия.

11. Запасные баллоны со сжиженным газом должны храниться в специальном помещении из несгораемых или трудносгораемых материалов.

12. Баллоны с пропано-бутановой смесью должны оберегаться от нагрева солнечными лучами, радиаторами центрального отопления и т. д., так как при нагреве давление в баллоне резко повышается.

13. Строго воспрещается отогревание замерзших редукторов баллонов открытым огнем. Отогревание ведется горячей водой или паром.

14. Отворачивание туго завернутых колпаков путем ударов запрещается. Вентили следует отворачивать специальным ключом.

15. На одном рабочем месте должны находиться не более двух баллонов с пропано-бутановой смесью: используемый и запасной.

16. Чтобы избежать попадания искр на пропано-бутановые и кислородные баллоны, необходимо их размещать на расстоянии не менее 5 м от места сварки.

17. Баллоны необходимо предохранять от соприкосновения с токоведущими проводами.

18. Запрещается подходить к баллонам с зажженной горелкой.

19. Расходовать газ из баллонов разрешается только через редуктор.

20. До присоединения редуктора к баллону или баллона к трубопроводу ramпы нужно продуть вентиль баллона, открывая его на непродолжительное время. Стоять против вентиля и пробовать рукой струю газа при продувке строго воспрещается.

21. Необходимо систематически проверять при помощи мыльной воды герметичность соединений трубопроводов, арматуры и приборов. Обнаруженные утечки газа должны быть немедленно устранены.

22. Так как пропан разъедает обычную резину, необходимо систематически следить за состоянием шлангов.

23. Сварка внутри резервуаров, барабанов и в тесных закрытых пространствах должна вестись с перерывами и выходом рабочих на свежий воздух. При этом снаружи должен постоянно находиться наблюдающий рабочий.

24. При устройстве вентиляции в помещении ramпы с пропано-бутановыми баллонами необходимо предусматривать отсос воздуха из нижней части помещения.

25. В случае возникновения хлопков во время сварки необходимо закрыть на горелке сначала газовый вентиль, а затем кислородный и охладить мундштук в воде.

26. При возникновении обратного удара следует быстро закрыть вентиль на горелке, а также на пропано-бутановом и кислородном баллонах. При ведении сварки от разводов нужно быстро закрывать вентили на горелке, а также на пропано-бутановой и кислородной линиях к сварочному посту.

27. После обратного удара необходимо тщательно проверить герметичность шлангов и сменить у водяного затвора разрывную мембрану.

28. В помещениях рампы с пропано-бутановыми баллонами должны иметься сухой или углекислый огнетушитель ящик с сухим песком, лопатой и двумя пожарными ведрами, а также обычный противопожарный инвентарь.

29. Как и всякая газопламенная обработка металлов, резка с применением сжиженных газов связана со следующими опасностями: а) возможностью взрыва газа и газовой смеси; б) вредным действием на организм человека газов и паров, выделяющихся при резке металла; в) вредным действием на органы зрения излучений пламени; г) возможными ожогами и тепловым действием пламени на организм; д) возможным пожаром и др.

30. К производству работ по газопламенной обработке металлов допускаются лица не моложе 18 лет, изучившие техминимум, выдержавшие соответствующие испытания и прошедшие медицинское освидетельствование.

31. Хранить сжиженные газы разрешается в закрытых емкостях, рассчитанных на работу под давлением; хранение сжиженных газов в открытых емкостях категорически запрещается, так как, испаряясь даже при температуре ниже 0° С, газы образуют с воздухом взрывчатые смеси. Запрещается наполнять емкости выше допустимого предела (более 85—90% объема), так как в противном случае может произойти взрыв от сильного расширения газов с изменением температуры окружающего воздуха.

32. Сжиженный газ при небольших его расходах следует перевозить и хранить в специальных баллонах, вмещающих 20—23 кг сжиженного газа.

33. Перевозка, хранение, выдача и получение баллонов должны производиться лицами, сдавшими экзамены по техминимуму, предусматривающему правила обращения с баллонами для кислорода и горючих газов. Переливание газа из баллонов в другие баллоны запрещается.

34. Все средства, применяемые для перевозки баллонов с сжиженным газом, должны быть рессорными. Можно перевозить их на автокарах, ручных тележках, переносить на носилках. Транспортировка баллонов грузоподъемными кранами запрещается.

35. Транспортировка баллонов с сжиженным газом должна производиться с выполнением следующих требований:

а) автомобили и прицепы к ним должны быть исправными и иметь средства, предохраняющие от попадания искр и выхлопных газов в кузов. Пол кузова должен быть очищен от сора, щепок, бумаги и прочих посторонних горючих предметов. В путевом листе должно быть указано об исправности автомобиля и подготовленности его в соответствии с указанными выше требованиями. На автомобиле должен быть установлен красный флажок;

б) баллоны как наполненные, так и использованные перевозятся только в вертикальном положении с прокладками (рамами) между ними. Последние должны состоять из деревянных реек с прибитыми к ним двум брускам, соответствующими высоте баллона. На брусках вырезаются гнезда для баллонов. При отсутствии реек допускается обвязка баллонов пеньковым канатом толщиной 25 мм. Можно также надевать на баллоны резиновые кольца толщиной 25 мм (по два кольца на баллон);

в) при погрузке и разгрузке не допускается сбрасывание баллонов и удары их друг о друга, особенно в зимнее время при больших морозах, когда металл становится хрупким;

г) баллоны необходимо предохранять от воздействия солнечных лучей, покрывая их брезентом или чем-либо другим. Следует также принимать меры предосторожности при проезде или установке автомобилей вблизи источников искр, огня и т. п.;

д) при перевозке баллонов в передней части кузова автомобиля с разрешения местного отдела техники безопасности могут находиться не более двух специально обученных рабочих, которые получают и сопровождают баллоны;

е) во время движения автомобиля с баллонами не должно быть встряхиваний и резких колебаний кузова.

36. Совместная транспортировка наполненных и пустых кислородных и пропановых баллонов запрещается. Исключение составляют перевозки одного-двух пропано-бутановых баллонов для ремонтных работ. В этом случае баллоны с сжиженным газом устанавливаются и закрепляются в вертикальном или горизонтальном положении в стороне от кислородных баллонов. Пропановые баллоны отделяются от кислородных прокладками и обращаются вентилями в сторону, противоположную от вентилях кислородных баллонов. Вентили пропановых баллонов, завернутые до отказа и закрытые колпаками, располагаются боковыми штуцерами вверх. За всем этим должно следить лицо, ответственное за перевозку.

37. Баллоны для пропана и бутана разрешается хранить только в вертикальном положении, в специальных запирающихся и вентилируемых складах или металлических шкафах, расположенных вне помещений, где производятся работы с открытым огнем. При большом количестве баллонов склад должен располагаться на расстоянии не менее 20 м от производственных и других помещений.

38. На рабочих местах, где производится резка или пайка, разрешается держать один пропано-бутановый баллон и два кислородных баллона.

39. На рабочем месте пропано-бутановые баллоны устанавливают свободно стоящими с предохранением от падения. Баллоны должны быть защищены от нагрева, попадания искр, брызг металла, масла; должны стоять на расстоянии не менее 10 м от печей и других источников тепла, не менее 5 м от рабочего места

резки и пайки, не менее 1 м от приборов паро-водяного отопления и на 1—2 м от кислородных баллонов.

40. Необходимо регулярно производить проверку плотности закрытия вентилях баллонов и их исправности. Проверка наличия давления сжиженного газа в баллоне или в газоразборном посту должна производиться осторожно, путем медленного и плавного поворота маховика на один оборот. При этом нельзя допускать попадания струи газа на нагретые предметы, в нагретый воздух, на одежду, обувь и открытые части тела.

41. При низких температурах (ниже +10°С) применение бутана на открытых работах и в неотапливаемых помещениях, а также подогрев его для подачи по шлангам к резакам и горелкам запрещается.

В баллоне с пропаном и бутаном должно оставаться избыточное давление (по манометру рабочего давления 0,02÷0,05 Мн/м<sup>2</sup>). При отсутствии давления в баллоне, в него через открытый вентиль попадает воздух, образуя с газом гремучую смесь.

42. Перед присоединением редуктора, понижающего давление паров пропана и бутана, должна производиться продувка вентиля баллона, проверка достаточности подсоса через газовый ниппель в резаке (при присоединенном шланге к кислородному ниппелю) и подачи кислорода (при открывании вентиля подогревающего кислорода). При отсутствии достаточного подсоса резак проверяют и устраняют имеющиеся дефекты. Разрежение должно быть не менее 300 мм рт. ст.).

43. При загорании газа в местах утечки его из вентиля баллона, шлангов или газопровода, тушить пламя нужно песком, одеждой, огнетушителем и другими средствами, преграждая доступ воздуха к огню. Гасить пламя водой нельзя. Струю огнетушителя следует направлять вдоль пламени, а не навстречу ему.

44. При слишком малом расстоянии от торца мундштука резака или горелки до металла значительно уменьшается скорость истечения горючего газа, и пламя может войти внутрь резака или горелки, вызвав обратный удар (резкие хлопки). После такого случая необходимо отбросить резак или горелку в сторону, быстро перекрыть вентили баллонов или сорвать шланги, идущие от них, сорвать или перерубить шланги на газоразборных постах.

45. Смена баллонов кислорода или сжиженного газа при их израсходовании может производиться только после тушения пламени резака или горелки. После смены баллона перед зажиганием пламени необходимо продуть резак или горелку от гремучей смеси.

Не допускается подогрев металла одним горючим без кислорода или без подачи сжатого воздуха (в горелках).

46. При производстве работ, связанных с резкой и сваркой пропан-бутановой смесью, необходимо строго выполнять правила общей техники безопасности при газопламенной обработке металлов и правила, указанные в данной инструкции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алов А. А. Вопросы теории сварочных процессов, М., Машгиз, 1959.
2. Асиновская Г. А. и Зеликовская Н. М. Газовая сварка латуни и наплавка ее на черные металлы, Труды ВНИИАВТОГЕНМАШ, 1960.
3. Бунин К. П. Структура чугуна М., Машгиз, 1952.
4. Бродский А. И. Применение сжиженных пропана, бутана и их смесей для газопламенной резки и пайки металлов. М., Мособлсвархоз ЦБТИ 1961.
5. Воцанов К. П. Сварка чугуна. Труды ЦНИИТМАШ, 1961.
6. Гаврилов П. И. Сварка чугуна природным газом «Сварочное производство», 1961, № 12.
7. Гаврилов П. И. Сварка чугуна естественным газом в заводских условиях. Труды САДИ, сб. № 15. 1957.
8. Гаврилов П. И. Сварка чугуна и резка металлов естественным газом. Саратовское книжное изд-во, 1958.
9. Гаврилов П. И. Обработываемость серого чугуна, сваренного природным газом. Технология машиностроения, 1963, № 3.
10. Гаврилов П. И. Применение естественного газа для сварки чугуна. Вестник Саратовского СНХ, 1960, № 2.
11. Гаврилов П. И. Применение сжатого и сжиженного газов для сварки и резки металлов. ЦБТИ Саратовского СНХ. 1962.
12. Гаврилов П. И. Исследование и практика сварки природным газом. Изд-во Саргосуниверситета, 1964.
13. Гаврилов П. И. Влияние отдельных компонентов присадочного металла на качество шва при сварке чугуна природным газом. Известия вузов СССР. «Машиностроение», 1965.
14. Гаврилов П. И. К вопросам металлургии сварки чугуна природным газом. М., Известия вузов СССР, 1963.
15. Герцик С. А. Цветные металлы и сплавы. Госиздат стандартов, М., 1960.
16. Глизманенко Д. Л. и Евсеев Г. Б. Газовая сварка и резка металлов. М., Машгиз, 1961.
17. Гиршович Н. Г. Чугунное литье. М., Металлургиздат, 1949.
18. Гузов С. Г. Расчет истечения газов из круглых отверстий, Госхизиздат, 1953.
19. Гуляев П. П. Металловедение. М., Оборонгиз, 1951.
20. Дворецкий А. И. и Гатищев С. В. Саратовский природный газ. Гостехиздат. М.—Л., 1947.
21. Елистратов П. С. Металлургические основы сварки чугуна, М., Машгиз, 1957.
22. Кащенко Г. А. Основы металлостроения. М., Машгиз, 1949.
23. Казанский А. Н. Исследование устойчивости пламени сварочной кислородной горелки. «Сварочное производство», 1957, № 8.
24. Клименко А. П. Жидкие углеводородные газы. М., Госоптехиздат, 1959.

25. Лашко Н. Ф. и Лашко-Авакян С. В. *Металловедение сварки*. М., Машгиз, 1954.
26. Назаров С. Т. *Контроль качества сварных соединений*. М., Машгиз, 1950.
27. Нехедзи Ю. А. *Стальное литье*. М., Металлургиздат, 1948.
28. Николаев Г. А. *Сварные конструкции*. М., Машгиз, 1952.
29. Николаев Г. А. и Прохоров Н. Н. *Напряжения в процессе сварки*. Изд. АН СССР, 1948.
30. Нинбург А. К. *Замена ацетилена другими горючими газами*. «Автогенное дело», 1952, № 5.
31. Нинбург А. К. *Использование природного газа для газопламенной обработки металлов*. ВНИИАВТОГЕНМАШ, ЦБТИ, Московский СНХ, 1960.
32. Окерблом Н. О. *Сварочные деформации и напряжения*. М., Машгиз, 1948.
33. Патон Е. О. *Автоматическая электродуговая сварка*. М., Машгиз, 1953.
34. Патон Б. Е. *Автоматическая сварка под флюсом*. М., Машгиз, 1957.
35. Погодин-Алексеев Г. И. *Теория сварочных процессов*. М., Машгиз, 1950.
36. Погодин-Алексеев Г. И., Назаров С. Т. и Гайченко М. П. *Методы испытаний сварных соединений и конструкций*. М., Машгиз, 1952.
37. Прохоров Н. Н. *Горячие трещины при сварке*. М., Машгиз, 1952.
38. Пухов Г. А. *Сварка легких металлов и их сплавов*. М.—Л., Машгиз, 1959.
39. Рыжиков А. А. *Теоретические основы литейного производства*. М., Машгиз, 1954.
40. Рыжиков А. А. *Улучшение качества отливок*. М., Машгиз, 1952.
41. Рыкалин Н. Н. и Шоршоров М. X. *Нагрев металла ацетиленокислородным пламенем*. «Автогенное дело», 1950, № 9.
42. Смирягин А. П. *Промышленные цветные металлы и сплавы*. М., Металлургиздат, 1949.
43. Тамман Г. *Металлография*. М., Машгиз, 1931.
44. Фролов В. В. *Физико-химические процессы в сварочной дуге*. М., Машгиз, 1954.
45. Фукс С. И. *Термическая обработка чугуна*. М., Машгиз, 1954.
46. Хренов К. К. *Сварка реза и пайка*. М., Машгиз, 1952.
47. Шашков А. Н. *Образование чугуна в электродах с легирующими покрытиями*. М., Машгиз, 1955.
48. Шашков А. Н. *Технология газовой сварки*. Труды ЛПИ. 1943.
49. Шашков А. Н. *Основы регулирования состава Газосварочного пламени*. Автогенное дело, 1946, № 7.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
Глава I. Газы --заменители ацетилена . . . . .	5
Природный газ . . . . .	5
Питание сварочных постов . . . . .	26
Технико-экономическая эффективность применения газов-заменителей . . . . .	28
Глава II. Конструктивные особенности огневой аппаратуры . . . . .	31
Сварочные горелки . . . . .	31
Резаки . . . . .	40
Баллоны и редукторы . . . . .	47
Глава III. Сварка алюминия и его сплавов . . . . .	50
Металлургия сварки . . . . .	54
Технология сварки . . . . .	61
Глава IV. Сварка меди и ее сплавов . . . . .	68
Сварка меди . . . . .	68
Сварка бронзы . . . . .	79
Сварка латуни . . . . .	89
Глава V. Сварка чугуна и стали . . . . .	107
Сварка чугуна природным газом . . . . .	107
Сварка стали . . . . .	151
Глава VI. Резка металлов . . . . .	154
Резка с использованием природного газа . . . . .	154
Резка с использованием сжиженных газов . . . . .	170
Глава VII. Техника безопасности . . . . .	171
Использование природного газа . . . . .	172
Использование пропаново-бутановых смесей . . . . .	173
Литература . . . . .	178

Гаврилов Петр Иванович

**Сварка и резка металлов  
с применением газов — заменителей ацетилена**

Редактор издательства *Т. Е. Черешнева*

Технический редактор *Л. П. Гордеева*

Корректор *Г. И. Сурова*

Переплет художника *А. Рыбакова*

Сдано в производство 7/VIII 1967 г. Подписано к печати 11/XII 1967 г. Т-16433  
Тираж 15 000 экз. Печ. л. 11,25 Бум. л. 5,63 Уч.-изд. л. 11,5 Формат 60 × 90/16  
Цена. 79 коп. Зак. № 1658

Издательство «Машиностроение», Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3.

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома Комитета по печати  
при Совете Министров СССР. Ленинград, ул. Моисеенко, 10