

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. С. П. КОРОЛЕВА

Л. А. ДУДАРЬ, Ф. И. КИТАЕВ, М. Д. РУДМАН

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО СВАРКЕ

Утвержден редакционным советом института
30 апреля 1968 года

КУЙБЫШЕВ 1969

ПРЕДИСЛОВИЕ

По учебным планам факультетов № 1 и 2 студенты изучают дисциплину, называемую «Обработка металлов давлением и сварка». На факультетах № 3 и 4 изучается курс, называемый «Сварка металлов». Количество часов, отводимое на изучение этих курсов, невелико и составляет от 16 до 52 часов на лекции и от 8 до 24 часов — на лабораторные занятия. Организовать лабораторные занятия так, чтобы они шли после того, как прочтен соответствующий материал на лекции, в большинстве случаев не удастся. Поэтому студентам нужно пособие, по которому они могли бы получить необходимый минимум знаний в порядке подготовки к выполнению лабораторных работ. С этой целью описанию каждой лабораторной работы предшествует «введение», где кратко освещаются основные вопросы теории процесса.

Всего приведено двенадцать описаний лабораторных работ. Они выполняются в зависимости от фактически отведенного по учебному плану времени и специальности студентов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Целью работы является изучение электрических схем и основных характеристик источников питания сварочной дуги постоянного и переменного тока: генераторов, выпрямителя и трансформатора.

Задание

1. Ознакомившись с методической запиской, собрать электрическую схему установки одного из источников питания.
2. Снять внешние статические характеристики и построить графики.
3. Составить отчет по выполненной работе.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКИ

Статические характеристики сварочной дуги

Электрическая сварочная дуга является одной из разновидностей дугового разряда и характеризуется высокой температурой (порядка 6000°), большой плотностью тока и относительно низкой разностью потенциалов между электродами.

На рис. 1 показана статическая характеристика дуги, то есть зависимость $U = f(I)$ при $L = \text{const}$; $d_э = \text{const}$.

Характеристику можно разбить на три участка: I участок — с увеличением тока напряжение уменьшается; II участок — на про-

тажении которого характеристика становится почти жесткой, то есть напряжение дуги очень мало изменяется с увеличением тока; III участок, где характеристика становится возрастающей, — при увеличении тока напряжение дуги также увеличивается.

Таким образом, электрическая дуга является нелинейным элементом цепи, то есть ее сопротивление не остается постоянным и зависит при прочих равных условиях от величины тока. На протяжении первого участка статической характеристики дуги, соответствующего небольшим величинам тока, площадь катодного и анодного активных пятен растет почти пропорционально току. Поэтому падения напряжений в этих областях остаются практически постоянными: в катодной области около 8—12 в и в анодной около 2,5 в.

С ростом тока на рассматриваемом участке характеристики дуги площадь сечения столба дуги увеличивается быстрее тока, в результате чего сопротивление столба уменьшается. В среднем можно принять, что падение напряжения на столбе дуги составляет 20—30 в на 1 см. В итоге на первом участке характеристики напряжение дуги при увеличении тока уменьшается.

Жесткость характеристики дуги на втором участке (рис. 1), то есть при нормальных сварочных режимах, объясняется тем, что площадь сечения столба дуги увеличивается пропорционально току ($Sc \approx kI_d$), а электропроводность изменяется мало.

Плотность тока в столбе практически постоянная, а $E_c = \frac{j_c}{\gamma_c} = \text{const}$.

Сопротивление столба дуги $R_{с.д.}$ (при $I_d = \text{const}$) изменяется обратно пропорционально току, а падение напряжения в столбе дуги U_c не зависит от тока. При таких режимах

$$U_d = U_{к.а.} + E_c l_d = f(I_d) = \text{const}, \quad (1)$$

где $U_{к.а.} = U_k + U_a$.

Напряжение дуги не зависит от тока, причем U_d и E_c достигают своего минимального значения для данной длины дуги, среды и материала электрода.

При большой плотности тока в электроде (III участок кривой $U=f(I)$), когда катодное пятно и площадь сечения столба дуги не могут увеличиваться с возрастанием сварочного тока, плотность тока в столбе дуги возрастает пропорционально току, а температура и электропроводность столба несколько повышаются. Следовательно, сопротивление столба дуги будет изменяться незначительно, а напряженность электрического поля и градиент

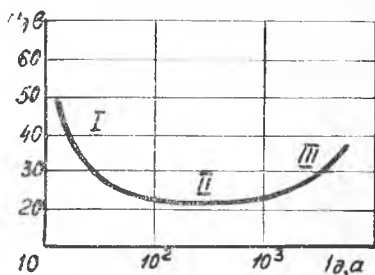


Рис. 1. Общий вид U-образной статической характеристики дуги $U_d = f(I_d)$ при $l_d = \text{const}$; $d_a = \text{const}$

потенциала в столбе дуги будут расти с увеличением тока. При сварке под флюсом плотность тока в столбе дуги повышается также и в результате давления, оказываемого жидким флюсом на газовую полость, образуемую парами металла и компонентов флюса. При этом давление газов возрастает почти пропорционально току.

Повышение плотности тока и падения напряжения в столбе дуги имеет место и при газозлектрической сварке в результате охлаждающего действия потока защитного газа.

Статическая устойчивость системы «Источник питания—дуга»

Установившийся режим системы, состоящий из источника питания и потребителя энергии — сварочной дуги, определяется равенство напряжений и токов в них. Следовательно, в установившемся состоянии

$$U_{др} = U_{ир} = U_p; \quad (2)$$

$$I_{др} = I_{ир} = I_p, \quad (3)$$

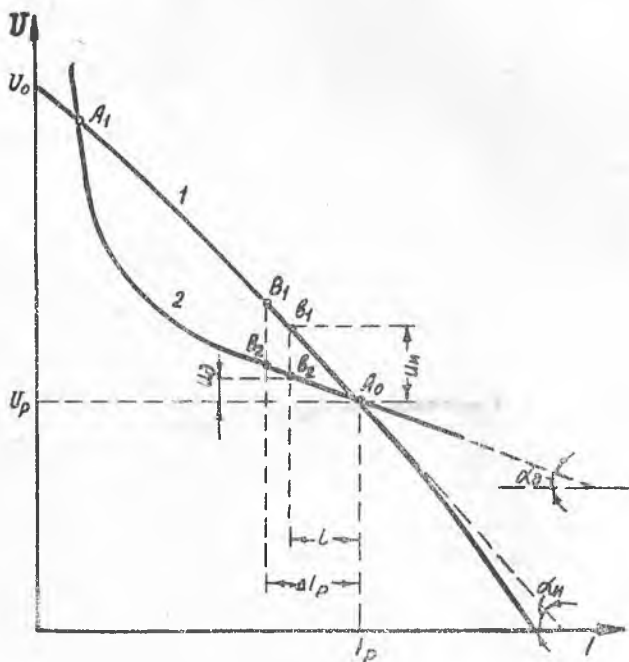


Рис. 2. К выводу условия устойчивости энергетической системы при дуговой сварке:
 1 — статическая внешняя характеристика источника питания $U_d = f_1(I)$; 2 — статическая характеристика сварочной дуги $U_d = f_2(I)$

где $U_{др}$, $U_{ир}$ — соответственно, напряжения дуги и источника питания при установившемся рабочем режиме;

$I_{др}$, $I_{ир}$ — соответственно, токи дуги и источника питания в установившемся рабочем режиме.

На рис. 2 изображены внешняя характеристика источника питания $U_{и} = f_1(I)$ (кривая 1) и статическая характеристика дуги $U_{д} = f_2(I)$ (кривая 2). Как видно из рис. 2, установившееся состояние системы определяется точками пересечения этих характеристик A_0 и A_1 , удовлетворяющих уравнениям (2) и (3).

Для определения условий статической устойчивости системы следует проанализировать поведение системы при весьма малых отклонениях от состояния равновесия.

Для упрощения анализа принимается, что источник питания обладает электромагнитной инерцией, обусловленной только индуктивностью сварочной цепи (рис. 3). Кроме того, не учитываются явления саморегулирования дуги с плавящимся электродом.

Уравнение динамического равновесия такой системы имеет вид:

$$U_{и}(I) = U_{д}(I) + L_c \frac{dI}{dt}. \quad (4)$$

Если допустить, что в момент времени $t=0$ ток по какой-либо причине (например, внезапное случайное изменение степени ионизации) получил малое отклонение ΔI_p , то в следующий момент при $t>0$ это отклонение начнет изменяться в функции времени и ток в цепи будет равен:

$$I = I_p + i,$$

где i — текущее значение отклонения тока.

В соответствии с этим уравнение (4) для переходного неустановившегося состояния примет вид:

$$U_{и}(I_p + i) = U_{д}(I_p + i) + L_c \frac{d(I_p + i)}{dt}. \quad (5)$$

Уравнения для $U_{и}(I)$ и $U_{д}(I)$ в общем случае не являются линейными, но при малых отклонениях допустима линеаризация*, то есть можно считать, что характеристики на участках A_0B_1 и A_0B_2 будут прямолинейными и совпадут с касательными к характеристикам в рабочей точке равновесия A_0 , имеющими угол наклона α_d и $\alpha_{и}$.

* Линеаризация уравнений основана на принципе Ляпунова о разложении в ряд $U_{и} = U_{и}(I_p + i)$ и $U_{д} = U_{д}(I_p + i)$ по степеням i и отбрасывании членов, содержащих i в степенях второй и выше.

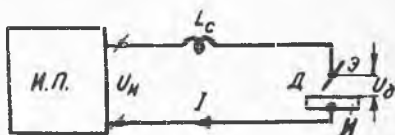


Рис. 3. Схема энергетической системы при дуговой сварке; И. П. — источник питания; Д — сварочная дуга; Э — электрод; И — изделие

В этом случае для текущего значения i можно записать (см. рис. 2, точки b_1 и b_2):

$$U_n(I_p + i) = U_p + U_n = U_p + \left(\frac{\partial U_n}{\partial I}\right)_{I_p} \cdot i$$

и

$$U_n(I_p + i) = U_p + U_n = U_p + \left(\frac{\partial U_n}{\partial I}\right)_{I_p} \cdot i,$$

где

$$\left|\frac{\partial U_n}{\partial I}\right|_{I_p} = \operatorname{tg} \alpha_n; \quad \left|\frac{\partial U_n}{\partial I}\right|_{I_p} = \operatorname{tg} \alpha_n.$$

Подставляя эти выражения в уравнение (5), после некоторых преобразований получим:

$$i \left(\frac{\partial U_n}{\partial I}\right)_{I_p} = i \left(\frac{\partial U_n}{\partial I}\right)_{I_p} + L_c \frac{di}{dt}.$$

Это уравнение преобразуется к виду:

$$L_c \frac{di}{dt} + ik_y = 0, \quad (6)$$

где $k_y = \left(\frac{\partial U_n}{\partial I} - \frac{\partial U_n}{\partial I}\right)_{I_p}$ — коэффициент устойчивости энергетической системы.

Уравнение (6) есть обыкновенное линейное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами. Решение этого уравнения с учетом начальных условий ($i = \Delta I_p$ при $t = 0$) таково:

$$i = \Delta I_p e^{-\frac{k_y}{L_c} t} = \Delta I_p e^{-\frac{t}{T_c}}, \quad (7)$$

где $T_c = \frac{L_c}{k_y}$ — постоянная времени системы «источник питания — дуга», сек.

Система будет находиться в состоянии устойчивого статического равновесия при условии, если малое отклонение тока от заданного значения с течением времени будет уменьшаться. Если, наоборот, это отклонение растет, то равновесие системы будет неустойчивым.

Анализируя уравнение (7), можно сделать вывод, что основным условием статической устойчивости системы является:

$$T_c > 0$$

или

$$k_y = \left(\frac{\partial U_n}{\partial I} - \frac{\partial U_n}{\partial I}\right)_{I_p} > 0, \quad (8)$$

так как L_c всегда больше нуля.

Как видно из уравнения (8), выполнение условия $k_y > 0$ зависит от соответствия формы внешней характеристики источника питания заданной форме статической характеристики дуги.

Таким образом, требования к наклону внешней характеристики источника питания с точки зрения устойчивого горения дуги зависят от режимов сварки.

Возвращаясь к трем рассмотренным участкам статической характеристики дуги, можно сделать вывод, что при режимах, соответствующих первому участку кривой, то есть падающей (отрицательной) части характеристики дуги и малым плотностям тока, характеристика источника питания должна быть крутопадающей. Для работы на втором (жестком) участке характеристики дуги крутизна наклона характеристики источника питания может быть незначительной — пологопадающей. Устойчивое горение дуги на третьем (положительном) участке характеристики дуги может быть обеспечено не только при жесткой (пологопадающей), но даже при слегка возрастающей внешней характеристике источника питания.

ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Для ручной сварки открытой дугой покрытыми электродами применяются только генераторы с крутопадающими внешними характеристиками. Ток короткого замыкания генератора не должен быть чрезмерно большим как по условиям работы машины, так и для удовлетворительного процесса сварки. При недопустимо больших токах короткого замыкания перегревается электрод, оплавляется покрытие и возрастает разбрызгивание. У сварочного генератора при этом перегреваются обмотки и обгорают края пластин коллектора и угольные щетки. При слишком малом токе короткого замыкания затрудняется зажигание дуги. Поэтому для источников питания, имеющих падающую внешнюю характеристику, приняты следующие соотношения между током короткого замыкания и рабочим током:

$$1,25 < \frac{I_k}{I_p} < 2.$$

Сварочные генераторы должны обеспечивать достаточно большой диапазон сварочных работ, для чего необходимо иметь возможность регулировать сварочный ток в широких пределах. Чем шире этот диапазон сварочных токов, тем универсальнее генератор. Для однопостовых генераторов предусматривается четырехкратное регулирование сварочного тока, то есть

$$I_{\min} = \frac{I_{\text{ном}}}{4}.$$

Верхнее значение напряжения холостого хода не должно превышать 90 в по условиям техники безопасности, а также по соображениям экономичности, так как излишнее повышение этого напряжения приводит к увеличению веса и габаритов генератора и

снижению его к. п. д. Нижний предел напряжения холостого хода зависит от условий сварки, величины сварочного тока, покрытия электрода и обычно должен быть не меньше 40—50 в.

Динамические свойства источников питания дуги

Процесс сварки дугой с плавящимся электродом характеризуется динамической нагрузкой источника питания, режим работы которого может изменяться в промежутки времени, измеряемые долями секунды. При этом в дуге может происходить следующий

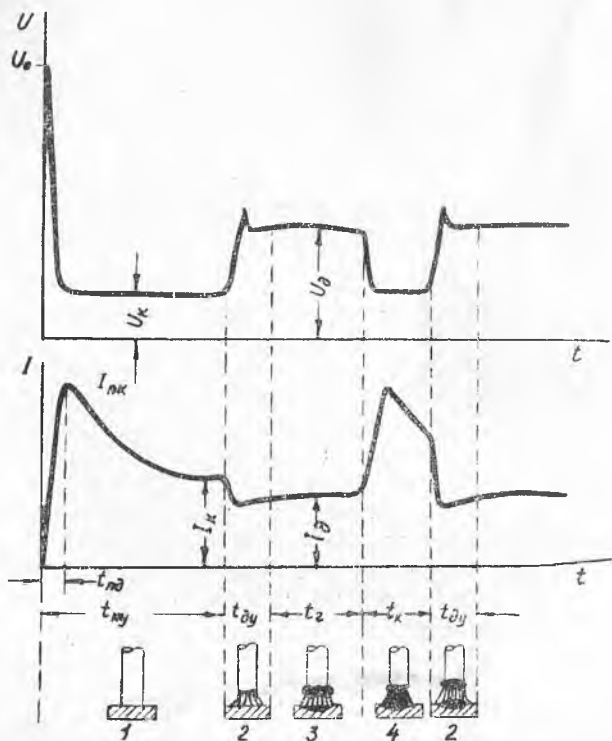


Рис. 4. Кривые изменения тока и напряжения сварочного генератора при сварке плавящимся электродом: 1 — переход от холостого хода к короткому замыканию цепи при первоначальном зажигании дуги; $t_{к.з.}$ — время установления тока короткого замыкания $I_{к.з.}$; $t_{п.д.}$ — время достижения пикового значения тока короткого замыкания $I_{п.к.}$; U_k — напряжение на клеммах генератора при коротком замыкании; 2 — переход от короткого замыкания к устойчивому горению дуги; $t_{д.у.}$ — время установления дуги; 3 — устойчивое горение дуги и образование капли; t_r — время горения дуги; 4 — переход от устойчивого горения дуги к короткому замыканию цепи при переходе капли; $t_{к.з.}$ — время короткого замыкания при переходе капли

периодически повторяющийся цикл явлений. Первой фазой этого цикла является зажигание дуги и переход к режиму ее устойчивого горения. Затем во время горения дуги на конце электрода образуется капля расплавленного металла, которая постепенно увеличивается в объеме и вытягивается по направлению к изделию.

По мере вытягивания капли длина и напряжение дуги несколько уменьшается, а ток соответственно увеличивается. При короткой дуге капля может замкнуть дуговой промежуток, что приведет к короткому замыканию сварочной цепи и угасанию дуги. Под действием электродинамических сил капля разрывается, после чего дуга должна возникнуть вновь. Таким образом, при разрыве капли происходит переход от короткого замыкания к рабочему режиму нормального горения дуги, аналогичный по характеру первоначальному зажиганию дуги, но происходящий в более благоприятных для возбуждения дуги физических условиях.

Далее этот цикл явлений в дуге с плавящимся электродом периодически повторяется (см. рис. 4).

Как видно из рис. 4, переход от одного установившегося состояния к другому не совершается мгновенно. Это объясняется тем, что каждый источник питания обладает электромагнитной инерцией. При большой электромагнитной инерции источников питания переходный процесс протекает медленно, а напряжения и ток в цепи могут иметь значения, отличные от режима устойчивого горения дуги. Вследствие этого сварочная дуга при динамическом изменении режима может угаснуть или зажигание ее будет затруднено. Скорость и вид кривых изменения тока и напряжения при переходных процессах характеризуют динамические свойства источников питания.

Критерием оценки динамических свойств сварочного генератора может служить характер и скорость нарастания напряжения на клеммах генератора при переходе от короткого замыкания к холостому ходу. В этом случае особенно важным является время, в течение которого напряжение достигает величины, достаточной для возбуждения дуги, то есть 25 в, оно не должно превышать 0,05 сек.

Основные схемы однопостовых источников питания сварочной дуги

Электродвижущая сила E генератора постоянного тока выражается уравнением:

$$E = \frac{P}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot N \cdot \Phi_n \cdot 10^{-8} \text{ в,} \quad (9)$$

где p , a , n , N — соответственно, число пар полюсов, параллельных ветвей обмотки якоря, скорость вращения, n об/мин, и число проводников обмотки якоря, то есть конструктивные постоянные данные машины;

$\Phi_{н}$ — магнитный поток в воздушном зазоре под главным полюсом. Следовательно, можно написать:

$$E = C \cdot \Phi, \quad (10)$$

где C — постоянная, равная $\frac{P}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot N \cdot 10^{-8}$.

При работе под нагрузкой напряжение генератора:

$$U_{г} = E \cdot I_{г} \cdot R_{я}, \quad (11)$$

где $I_{г}$ — ток нагрузки генератора;

$R_{я}$ — внутреннее сопротивление цепи якоря генератора.

Так как активное падение напряжения в сварочной цепи невелико, то для снижения напряжения генератора с ростом нагрузки, го есть для получения крутопадающей внешней характеристики необходимо, чтобы автоматически уменьшался магнитный поток.

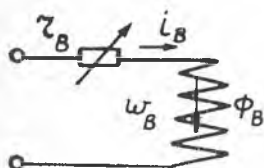
На принципе снижения полезного магнитного потока с увеличением нагрузки построены все современные однопостовые сварочные генераторы с крутопадающими характеристиками.

В нашей промышленности применяются три основные схемы генераторов:

схема с независимым питанием намагничивающей обмотки и последовательной размагничивающей обмоткой;

схема с самовозбуждением, питанием намагничивающей обмотки от дополнительной щетки с последовательной размагничивающей обмоткой;

схема с расщепленными полюсами и самовозбуждением.



Принцип действия генераторов с независимым питанием намагничивающей обмотки и последовательной размагничивающей обмоткой

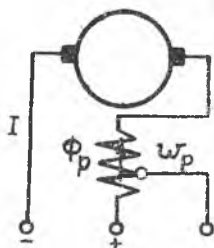


Рис. 5. Принципиальная схема сварочного генератора с независимым питанием намагничивающей обмотки и последовательной размагничивающей обмоткой

Принципиальная схема такого генератора приведена на рис. 5. На главных полюсах размещены две обмотки возбуждения: намагничивающая обмотка, имеющая большое число витков, питаемая от отдельного источника тока, и последовательная размагничивающая обмотка с небольшим числом витков, обтекаемая полным током генератора. Магнитодвижущие силы (м. д. с.) обмоток направлены навстречу друг другу.

Как было сказано выше, э. д. с., индуцированная в якоре генератора,

имеет следующую зависимость от магнитного потока в воздушном зазоре:

$$E = C \cdot \Phi_{\text{я}}. \quad (12)$$

Магнитный поток $\Phi_{\text{я}}$ является результирующим двух магнитных потоков: $\Phi_{\text{в}}$, возникающего под действием м. д. с. намагничивающей обмотки, и $\Phi_{\text{р}}$, создаваемого м. д. с. размагничивающей обмотки.

Тогда

$$E = C (\Phi_{\text{в}} - \Phi_{\text{р}}) = C \left(\frac{W_{\text{в}} i_{\text{в}}}{R_{\text{м. в}}} - \frac{W_{\text{р}} I_{\text{г}}}{R_{\text{м. р}}} \right), \quad (13)$$

где $W_{\text{в}}$, $i_{\text{в}}$, $R_{\text{м. в}}$ — число витков, ток возбуждения и магнитное сопротивление магнитопровода на пути потока $\Phi_{\text{в}}$;
 $W_{\text{р}}$, $I_{\text{г}}$, $R_{\text{м. р}}$ — число витков последовательной размагничивающей обмотки, ток цепи якоря или сварочный ток и сопротивление магнитопровода размагничивающей системы.

При ненасыщенной магнитной системе магнитным сопротивлением стали магнитопроводов можно пренебречь и считать $R_{\text{м. в}} = R_{\text{м. р}} \approx R_{\text{м. \delta}}$, где $R_{\text{м. \delta}}$ — магнитное сопротивление зазора.

В этом случае уравнение (13) при постоянном коэффициенте $\frac{C}{R_{\text{м. \delta}}} = C_1$ будет иметь вид:

$$E = C_1 (W_{\text{в}} i_{\text{в}} - W_{\text{р}} I_{\text{г}}). \quad (14)$$

Тогда напряжение $U_{\text{г}}$ на зажимах генератора:

$$U_{\text{г}} = C_1 W_{\text{в}} i_{\text{в}} - I_{\text{г}} (R_{\text{я}} + C_1 W_{\text{р}}) \quad (15)$$

и сварочный ток:

$$I_{\text{г}} = \frac{C_1 W_{\text{в}} i_{\text{в}} - U_{\text{г}}}{R_{\text{я}} + C_1 W_{\text{р}}}. \quad (16)$$

При холостом ходе генератора $I_{\text{г}} = 0$ напряжение генератора будет равно:

$$U_{\text{г}} = E = C_1 W_{\text{в}} i_{\text{в}}. \quad (17)$$

При коротком замыкании, когда $U_{\text{г}} = 0$, ток короткого замыкания $I_{\text{г. к. з.}}$ вычисляется по формуле

$$I_{\text{г. к. з.}} = \frac{C_1 W_{\text{в}} i_{\text{в}}}{R_{\text{я}} + C_1 W_{\text{р}}}. \quad (18)$$

Из уравнения (16) видно, что регулирование сварочного тока может осуществляться изменением тока возбуждения. Однако при этом, как видно из уравнения (14), одновременно изменяется и напряжение E холостого хода.

Так как при минимальном значении сварочного тока напряжение холостого хода для устойчивого возбуждения и горения дуги должно быть не ниже 40—45 в, то при обеспечении всего диапазона регулирования сварочного тока на его верхнем пределе напряжение холостого хода может достичь чрезмерно больших значений.

Частично этот недостаток генератора рассматриваемой системы может быть устранен ступенчатым изменением числа витков W_p последовательной обмотки. Как видно из уравнений (16) и (17), с уменьшением, например, числа витков размагничивающей обмотки при неизменном сварочном токе ток возбуждения уменьшается. Таким образом, верхний предел напряжения холостого хода генератора может быть снижен. Обычно в таких генераторах применяется смешанное регулирование: грубое — двумя ступенями числа витков размагничивающей обмотки и плавное — реостатом в цепи намагничивающей обмотки в пределах каждой из двух ступеней.

Принцип действия генераторов с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Принципиальная схема подобного генератора приведена на рис. 6. В отличие от предыдущей схемы намагничивающая обмотка питается не от независимого источника, а от одной из главных щеток a и дополнительной щетки c , установленной посредине между основными a и b . Таким образом, питание намагничивающей обмотки осуществляется от напряжения, действующего на половину обмотки якоря.

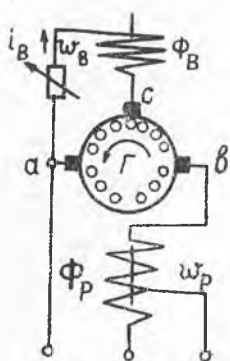


Рис. 6. Принципиальная схема сварочного генератора с самовозбуждением с питанием намагничивающей обмотки от дополнительной щетки с последовательной размагничивающей обмоткой

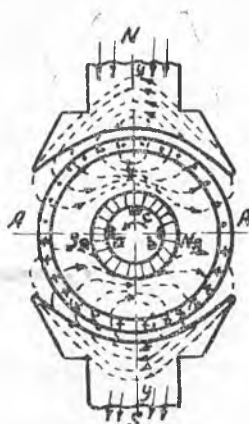


Рис. 7. Распределение магнитных потоков с учетом реакции якоря

Напряжение, индуктированное в обмотке якоря, зависит от результирующего поля, определяемого магнитодвижущими силами намагничивающей и размагничивающей обмоток главных полюсов и обмотки якоря.

Как известно из теории машин постоянного тока, обмотка якоря создает поле по линии AA (рис. 7), перпендикулярной к линии полюсов и поэтому называемой поперечной реакцией якоря.

Магнитодвижущая сила (м. д. с.) реакции якоря пропорциональна току I и числу витков обмотки якоря $W_{\text{я}}$. Из рис. 7 видно, что в левом краю верхнего полюса и в правом краю нижнего полюса, то есть в сбегающих краях полюсов, поле якоря действует согласно (намагничивающему) с основным полем, а в набегающих краях — встречно (размагничивающе).

Для упрощения примем, что магнитопровод генератора не насыщен. При этом магнитным сопротивлением стали можно пренебречь и считать, что сопротивление магнитным линиям определяется только сопротивлением зазора между якорем и полюсами. Обозначим сопротивление зазора $R_{\text{мс}}$.

Э. д. с. $E_{\text{ас}}$ (рис. 7), индуцируемая между основной щеткой a и вспомогательной c , пропорциональная результирующему потоку в зазоре под сбегающими половинами полюсов

$$E_{\text{ас}} = \frac{C}{2} (\Phi_{\text{в}} - \Phi_{\text{р}} + \Phi_{\text{я}}), \quad (19)$$

где $\Phi_{\text{я}}$ — поток поперечной реакции якоря.

$$\begin{aligned} E_{\text{ас}} \approx U_{\text{ас}} &= \frac{C}{2} \left(\frac{W_{\text{в}} i_{\text{в}}}{R_{\text{м, в}}} - \frac{W_{\text{р}} I_{\text{р}}}{R_{\text{м, в}}} + \frac{W_{\text{я}} I}{R_{\text{м, в}}} \right) = \\ &= \frac{C_1}{2} W_{\text{в}} i_{\text{в}} - \frac{C_1}{2} I_{\text{Г}} (W_{\text{р}} - W_{\text{я}}). \end{aligned}$$

В генераторах с самовозбуждением параметры размагничивающей обмотки и обмотки якоря подбираются таким образом, что $W_{\text{р}} \approx W_{\text{я}}$. Тогда $E_{\text{ас}} \approx U_{\text{ас}} = \frac{C_1}{2} W_{\text{в}} i_{\text{в}}$, то есть напряжение между щетками $a-c$ при изменениях сварочного тока остается практически постоянным.

Этим напряжением питается намагничивающая обмотка возбуждения. Очевидно, что э. д. с. $E_{\text{св}}$ между щетками c, b , где реакция якоря размагничивает соответствующие края полюсов, определяется уравнением:

$$E_{\text{св}} = \frac{C_1}{2} W_{\text{в}} i_{\text{в}} - \frac{C_1}{2} I_{\text{Г}} (W_{\text{р}} + W_{\text{я}}). \quad (20)$$

Таким образом, напряжение $E_{\text{св}}$ с увеличением тока I резко уменьшается, проходит через нулевое значение при $W_{\text{в}} i_{\text{в}} = I_{\text{Г}} (W_{\text{р}} + W_{\text{я}})$, а затем меняет знак. Э. д. с. генератора между щетками $a-b$ $E_{\text{ав}}$ (рис. 8) равно сумме э. д. с. $E_{\text{ас}}$ и $E_{\text{св}}$ может быть выражена уравнением:

$$E_{\text{ав}} = E_{\text{ас}} + E_{\text{св}} = C_1 (W_{\text{в}} i_{\text{в}} - W_{\text{р}} I_{\text{Г}}), \quad (21)$$

откуда напряжение $U_{\text{ав}}$ может быть определено выражением:

$$U_{\text{ав}} = U_{\text{Г}} = C_1 W_{\text{в}} i_{\text{в}} - I_{\text{Г}} (R_{\text{я}} + C_1 W) \quad (22)$$

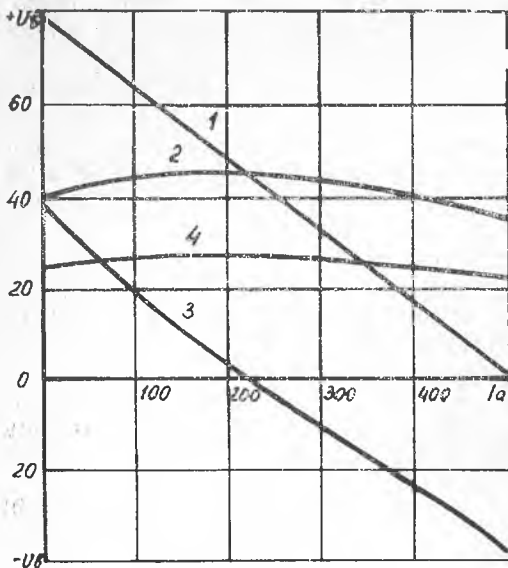


Рис. 8. Внешняя характеристика $U_{an}=f(I)$ (1) сварочного генератора и кривые зависимости напряжений на щетках U_{ac} (2), $U_{св}$ (3) и тока возбуждения i_n (4) от сварочного тока

и сварочный ток

$$I_{\Gamma} = \frac{C_1 W_B i_B - U_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + C_1 W_B}. \quad (23)$$

Таким образом, сварочный ток регулируется также, как в генераторе с независимым возбуждением, изменением тока намагничивающей обмотки. При увеличении тока возбуждения напряжение холостого хода генератора возрастает (рис. 9) и при неизменном размагничивающем действии последовательной обмотки вся внешняя характеристика в рабочей части переместится приблизительно параллельно, но соответственно выше, с большим рабочим током и током короткого замыкания.

Крутизну внешних характеристик и, следовательно, сварочный ток можно регулировать числом витков размагничивающей обмотки W_p . При увеличении числа витков размагничивающее действие последовательной обмотки усиливается, наклон внешней характеристики делается круче, рабочий ток и ток короткого замыкания уменьшается (рис. 10).

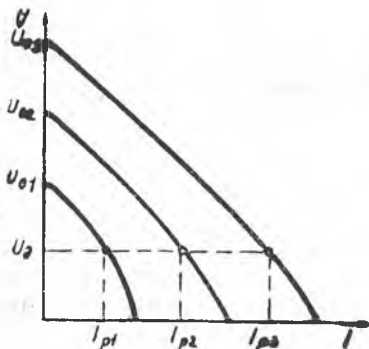


Рис. 9. Внешние характеристики источника питания при регулировании тока путем изменения напряжения холостого хода

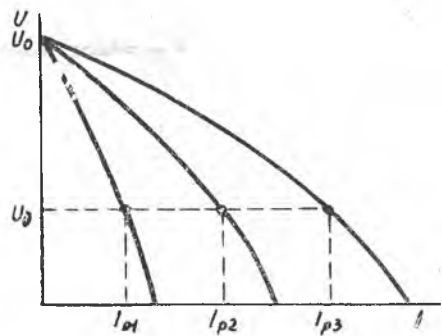


Рис. 10. Внешние характеристики источника питания тока при регулировании путем изменения эквивалентного сопротивления z_0 и неизменном напряжении холостого хода

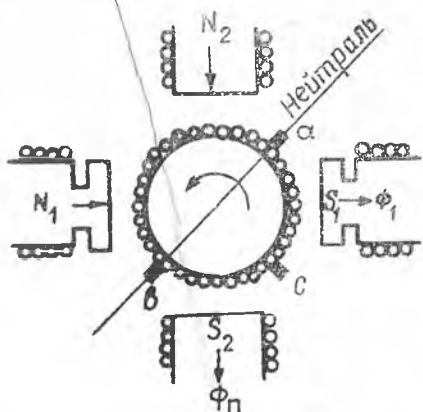
Принцип действия сварочных генераторов с расщепленными полюсами

В отличие от нормальной машины постоянного тока у генератора с расщепленными полюсами полюсы не чередуются, как обычно, а два северных полюса и два южных расположены рядом. Таким образом, этот генератор имеет четыре полюса, является в магнитном отношении двух-

полюсной машиной с северным расщепленным полюсом N_1-N_2 и южным расщепленным полюсом S_1-S_2 , как это изображено на принципиальной схеме рис. 11. У такой машины будет одна нейтральная линия, на которой расположены рабочие щетки коллектора (а—в). Посредине между рабочими щетками расположена вспомогательная щетка с.

Полюсы N_1 и S_1 , называемые главными полюсами, имеют настолько небольшое сечение, что их сердечники не насыщены. Полюсы N_2 и S_2 имеют большое сечение сердечников так, что их сердечники не насыщены.

Рис. 11. Принципиальная схема сварочного генератора с расщепленными полюсами



сильно насыщены. Полюсы N_2 и S_2 имеют большое сечение сердечников так, что их сердечники не насыщены.

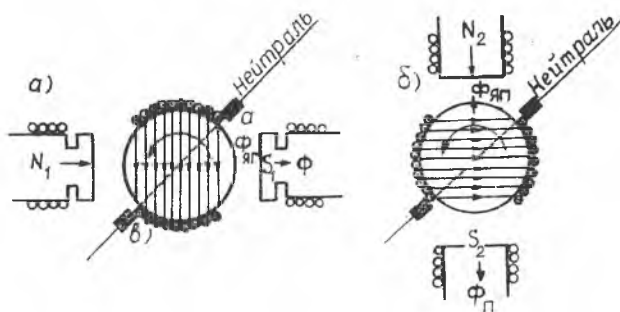


Рис. 12. Влияние реакции якоря:

а — на магнитный поток главных полюсов; б — на магнитный поток поперечных полюсов

Такая конструкция генератора позволяет эффективно использовать влияние реакции якоря на распределение магнитных полей в машине и на распределение потенциалов напряжения на коллекторе.

Проводники обмотки якоря можно условно разбить на две группы (рис. 12), магнитные оси которых взаимно перпендикулярны. Рассмотрим первую группу с эквивалентным числом витков (рис. 12, *a*), у которой ось симметрии расположена горизонтально, по линии главных полюсов.

Магнитный поток $\Phi_{я.г.}$, создаваемый этой половиной проводников якоря, направлен по линии главных полюсов и подмагничивает их. Вследствие сильного насыщения магнитной цепи действие реакции якоря скажется незначительно на величине главного потока. Это обстоятельство служит причиной постоянства или, вернее, незначительного изменения э. д. с. $E_{а.с.}$, индуцированной в группе проводников между щетками *a—c*.

Упрощенно, не учитывая насыщения магнитной цепи, можно записать:

$$E_{а.с.} = \frac{C}{2} (\Phi_{г.} + \Phi_{я.г.}) = \frac{C}{2} \left(\frac{W_{г.} i_{г.}}{R_{м.г.}} + \frac{W_{я.г.} I_{г.}}{R_{м.г.}} \right) = \text{const}, \quad (24)$$

где $W_{г.}$, $i_{г.}$ — число витков и ток обмотки возбуждения главных полюсов;

$R_{м.г.}$ — магнитное сопротивление по цепи главных полюсов;

$W_{я.г.}$ — эквивалентное число витков группы проводников якоря, взаимодействующей с потоком главных полюсов;

$I_{г.}$ — сварочный ток, т. е. ток цепи якоря.

М. д. с. второй группы проводников (рис. 12, *б*) создает магнитный поток $\Phi_{я.п.}$, который направлен навстречу потоку $\Phi_{п.}$ поперечных полюсов и разматничивает их.

При соответствующем токе якоря поперечный поток может не только быть равен нулю, но также и изменить свое направление. Электродвижущая сила $E_{с.в.}$ между щетками *c—b*, определяемая потоком поперечных полюсов, также будет менять не только величину, но и знак.

Э. д. с. $E_{с.в.}$ может быть выражена уравнением:

$$E_{с.в.} = \frac{C}{2} (\Phi_{п.} - \Phi_{я.п.}) = \frac{C}{2} \left(\frac{W_{п.} i_{п.}}{R_{м.п.}} - \frac{W_{я.п.} I_{г.}}{R_{м.п.}} \right), \quad (25)$$

где $W_{п.} i_{п.}$ — число витков и ток обмотки возбуждения поперечных полюсов;

$R_{м.п.}$ — магнитное сопротивление цепи поперечных полюсов;

$W_{я.п.}$ — эквивалентное число витков группы проводников якоря, взаимодействующей с потоком поперечных полюсов.

Таким образом, э. д. с. $E_{а.в.}$ (рис. 13), равная сумме $E_{а.с.} + E_{с.в.}$, имеет при холостом ходе максимальное значение. С появлением тока в обмотке якоря э. д. с. между рабочими щетками *a—b* падает и при некотором значении тока станет равной падению напряжения внутри машины. Этот момент соответствует короткому замыканию генератора.

Пренебрегая внутренним падением напряжения в цепи якоря, можно полагать:

$$E_{a.c} \approx U_{a.c}; \quad E_{c.v} \approx U_{c.v}; \quad E_{a.v} \approx U_{a.v}.$$

Следовательно,

$$E_{a.v} \approx U_{a.v} \approx U_{a.c} + U_{c.v} \approx E_{a.c} + E_{c.v} = \\ = \frac{C}{2} \left(\frac{W_{\Gamma} i_{\Gamma}}{R_{m.\Gamma}} + \frac{W_{я.\Gamma} I_{\Gamma}}{R_{m.\Gamma}} \right) + \frac{C}{2} \left(\frac{W_{п} i_{п}}{R_{m.п}} - \frac{W_{я.п} I_{\Gamma}}{R_{m.п}} \right),$$

откуда

$$E_{a.v} \approx U_{a.v} = \frac{C}{2} \left(\frac{W_{\Gamma} i_{\Gamma}}{R_{m\Gamma}} + \frac{W_{п} i_{п}}{R_{mп}} \right) - I_{\Gamma} \left(\frac{W_{яп}}{R_{mп}} - \frac{W_{я\Gamma}}{R_{m\Gamma}} \right)$$

$$I_{\Gamma} = \frac{\frac{C}{2} \left(\frac{W_{\Gamma} i_{\Gamma}}{R_{m.\Gamma}} + \frac{W_{\Gamma} I_{п}}{R_{mп}} \right) - U_{в}}{\frac{W_{яп}}{R_{mп}} - \frac{W_{я\Gamma}}{R_{m\Gamma}}}. \quad (26)$$

Как видно из уравнения (26), регулирование сварочного тока может быть осуществлено изменением токов возбуждения i_{Γ} , $i_{п}$, либо изменением эквивалентных витков обмотки якоря $W_{я.\Gamma}$ и $W_{я.п}$. Очевидно, что при увеличении токов возбуждения сварочный ток возрастает, но при этом одновременно увеличивается напряжение холостого хода. Это, как известно, является существенным недостатком.

В связи с этим в некоторых системах генераторов с расщепленными полюсами для регулирования сварочного тока применяется дополнительная регулировка сдвигом щеток на коллекторе. При сдвиге щеток с нейтрали по направлению вращения эквивалентное число витков $W_{я.п}$ группы проводников якоря, размагничивающих поперечные полюсы, увеличивается, а $W_{я.\Gamma}$ уменьшается, как это видно из сравнения рис. 14, а и б. В результате сварочный ток уменьшится. В противном случае, то есть при сдвиге щеток с нейтрали против вращения, число витков $W_{я.п}$ уменьшается, $W_{я.\Gamma}$ увеличивается и сварочный ток возрастает. Очевидно, что при регулировании сварочного тока сдвигом щеток напряжение холостого хода остается почти неизменным. Действие реакции якоря в данной схеме аналогично действию последовательной размагничивающей обмотки в машинах с независимым питанием намагничивающей обмотки, которые мы рассмотрели выше.

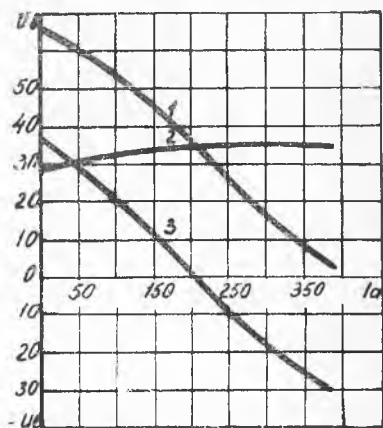


Рис. 13. Внешняя характеристика $U_{a.v} = f(I)$ (1) сварочного генератора с расщепленными полюсами и кривые зависимости напряжений U_{ac} (2), U_{cv} (3) от сварочного тока

В генераторах с расщепленными полюсами также может быть применено смешанное регулирование: ступенчатое — сдвигом щеток и плавное — в пределах каждой ступени реостатом в цепи

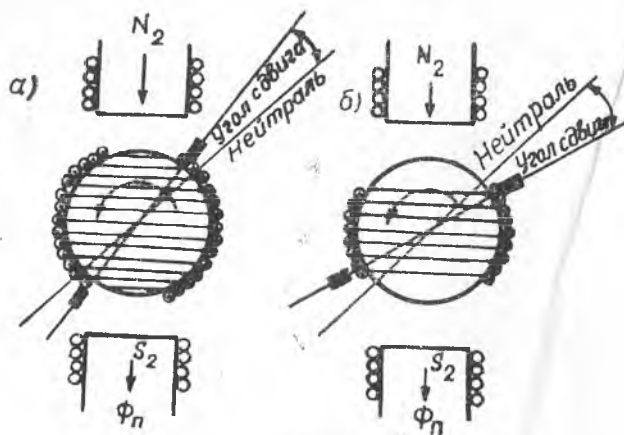


Рис. 14. Влияние сдвига щеток: а — по вращению якоря; б — против вращению якоря

обмоток главных и поперечных полюсов. Технические данные преобразователей ПСО-500, ПС-500 и ПС-300 приведены в табл. 1.

Исследование внешних статических характеристик сварочного выпрямителя ВСС-300

Сварочные выпрямители с полупроводниковыми вентилями являются статическими установками для преобразования переменного тока сети в постоянный с такими вольтамперными характеристиками на выходе, которые требуются для дуговой сварки.

Преимуществами сварочных выпрямителей по сравнению с мотор-генераторными установками являются более высокий к. п. д., меньшие потери холостого хода, большие кратности регулирования сварочного тока и меньший вес.

Сварочные выпрямители с крутопадающими внешними характеристиками состоят из понижающего трансформатора с регулируемым индуктивным сопротивлением и выпрямительного блока. На рис. 15 приведена схема серийного сварочного выпрямителя. Трехфазный трансформатор выпрямителя выполнен с подвижными катушками. При увеличении расстояния между первичными и вторичными обмотками магнитные потоки рассеяния и индуктивное сопротивление в трансформаторе повышаются, в результате чего сварочный ток уменьшается. Для расширения диапазона

регулирования сварочного тока в выпрямителе применено переключение обмоток.

При соединении первичных и вторичных обмоток в звезду выпрямитель работает при малых токах. При одновременном переключении первичных и вторичных обмоток в треугольник коэффициент трансформации не изменяется, но индуктивность обмоток уменьшается и при тех же положениях катушек ток увеличивается в 3 раза. На рис. 16 показан характер изменения сварочного тока в зависимости от расстояния между катушками.

Действительно, обозначим линейные и фазные значения токов и напряжений при соединении обмоток λ/λ через $I'_\lambda, U'_\lambda, I'_\phi, U'_\phi$, соответственно, при соединении обмоток Δ/Δ через $I''_\lambda, U''_\lambda, I''_\phi, U''_\phi$.

Обозначим через z_ϕ полное сопротивление фазы трансформатора. Имеем:

$$I'_\lambda = I'_\phi = \frac{U'_\phi}{z_\phi} = \frac{U'_\lambda}{\sqrt{3}z_\phi}$$

$$I''_\lambda = \sqrt{3} I''_\phi = \frac{\sqrt{3} U''_\phi}{z_\phi},$$

откуда $\frac{I''_\lambda}{I'_\lambda} = 3$.

На каждом стержне трансформатора размещены первичные и вторичные катушки одной фазы обмоток. Вторичные катушки неподвижны и закреплены наверху. Первичные катушки перемещаются при помощи регулировочного механизма.

Выпрямительный блок собран по трехфазной мостовой схеме и состоит из трех соединенных в параллель стандартных селеновых столбов типа АВС-400-126С, собранных из

Таблица 1

Тип агрегата или преобразователя	Генератор			Двигатель			Агрегат или преобразователь				
	номинальный ток, а	пределы регулирования тока, а	номинальное напряжение, в	схема	тип	мощность, квт	скорость вращения, об/мин	исполнение	вес, кг	к. п. д. при номинальной нагрузке	$\cos \phi$
ПСО-500	500	120—600	40	Н	А71-2	28	2900	Однокорпусное на колесах	540	0,54	0,89
ПС-500	500	120—600	40	С	А72-4	28	1450	»	970	0,55	0,88
ПС-300	340	70—380	35	Р	А-62	14	1450	»	620	0,57	0,87

Схема Н с независимым питанием намагничивающей обмотки и последовательной размагничивающей обмоткой; схема С с самовозбуждением и последовательной обмоткой; схема Р с расцепленными полюсами.

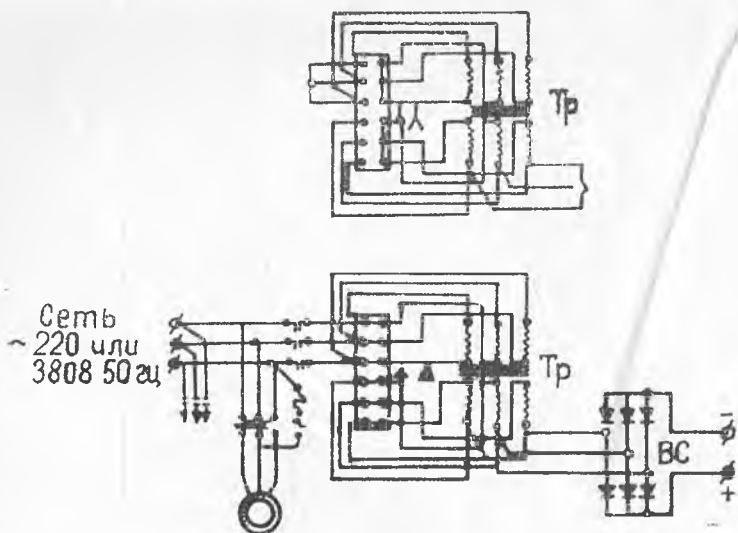


Рис. 15. Схема сварочного выпрямителя ВСС-300 с падающими характеристиками

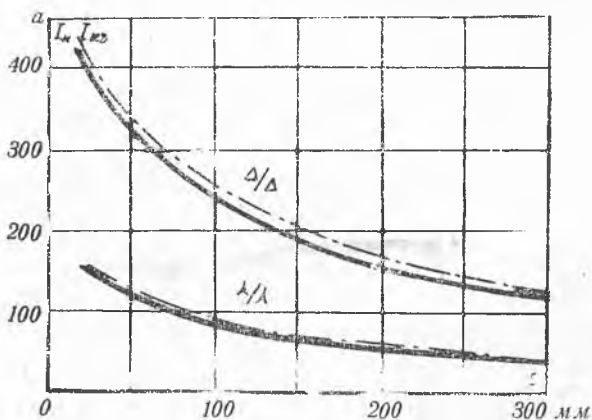


Рис. 16. Зависимость сварочного тока от расстояния между катушками трансформатора выпрямителя ВСС-300

12 вентиляй размером 100×400 мм по схеме $6 \times 2 \times 1$ (6 плеч, 2 элемента в плече соединены последовательно, 1 элемент включен в параллель). Для лучшего использования селеновых элементов выпрямительный блок интенсивно обдувается вентилятором.

Технические данные выпрямителя

Номинальный сварочный ток, a	300
Пределы регулирования сварочного тока, a	35—300
Номинальное вторичное напряжение под нагрузкой, b	30
Вторичное напряжение холостого хода, b	60
Первичное напряжение, b	380/220
Номинальная мощность, $квт$:	
Полезная	9
Потребляемая	13,2
К. п. д., %	68
Номинальный первичный ток при 220/380 b , a	56/32,8
Коэффициент мощности	0,615
Потери холостого хода, $квт$	0,65
Пульсация, %	4,2

Особенности сварочной дуги переменного тока

Физические явления в дуге переменного тока значительно отличаются от физических явлений в дуге постоянного тока, и в связи с этим к источникам питания дуги переменного тока предъявляются некоторые специфические требования.

В дуге постоянного тока напряжение и ток по своему направлению остаются неизменными во времени. Активные пятна не меняют своего положения, то есть каждое из них постоянно остается либо на изделии, либо на электроде.

В дуге переменного тока напряжение и ток непрерывно меняют свои значения и направление и при промышленной частоте (50 $гц$) 100 раз в секунду проходят через нулевое значение.

При нулевом значении тока дуга гаснет, температура и ионизация дугового промежутка снижаются. Деионизация дугового промежутка усиливается также в результате перемещения активных пятен в каждый момент изменения полярности приложенного напряжения. В

итоге для повторного зажигания дуги требуется повышенное напряжение U_3 , превышающее напряжение U_d , необходимое для поддержания стационарного горения дуги.

Рассмотрим процесс горения сварочной дуги переменного тока при наличии в сварочной цепи только активных сопротивлений.

На рис. 17 представлена кривая 1 синусоидального напряжения $U = U_m \sin \omega t$, приложенного к дуговому промежутку. До того

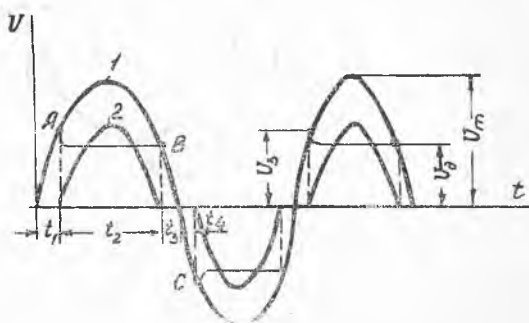


Рис. 17. Кривые напряжения и тока дуги при активном сопротивлении сварочной цепи

момента, пока напряжение не достигает значения U_3 в точке A , дуга не горит, и на протяжении времени t_1 сварочный ток равен 0. После возникновения дуги сварочный ток изменяется по кривой 2. Напряжение зажигания U_3 на дуговом промежутке в точке A снижается до значения U_d , соответствующего напряжению $U_d = f(I)$ вольтамперной характеристики дуги. С достаточной точностью можно принять, что дуга имеет жесткую характеристику, в связи с чем напряжение в течение времени t_2 до точки B остается неизменным. После времени $t_1 + t_2$ в точке B напряжение, приложенное к дуговому промежутку, становится недостаточным, и дуга гаснет. Ток снижается до нуля и вновь появляется в сварочной цепи только через промежуток времени $t_3 + t_4$, то есть, когда напряжение в точке C достигнет значения U_3 и произойдет повторное возбуждение дуги.

Таким образом, в рассматриваемом случае чисто активного сопротивления сварочной цепи дуга переменного тока горит с большими перерывами. Для установления зависимости времени восстановления t_n горения дуги от параметров сварочной цепи можно принять:

$$t_1 = t_3 = t_4; \quad t_n = 2t_1.$$

В момент t_1 имеем:

$$U_3 = U_m \sin \omega t, \quad (27)$$

откуда

$$t_1 = \frac{\arcsin \frac{U_3}{U_m}}{2\pi f}. \quad (28)$$

Время восстановления горения дуги:

$$t_n = \frac{\arcsin \frac{U_3}{U_m}}{\pi f}. \quad (29)$$

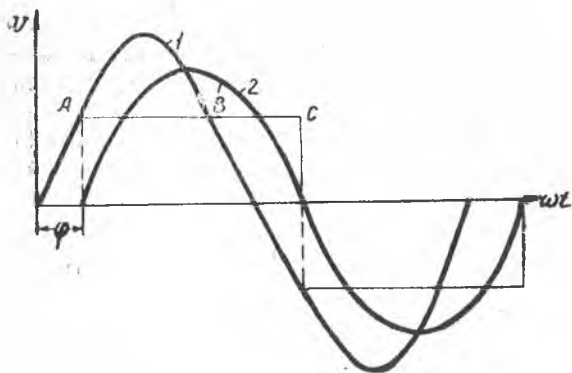


Рис. 18. Кривые напряжения и тока при индуктивном сопротивлении сварочной цепи

Следовательно, время восстановления дуги уменьшается и устойчивость дуги повышается с увеличением амплитудного значения напряжения зажигания.

Рассмотрим процесс горения дуги при наличии индуктивного сопротивления в сварочной цепи, например, индуктивности в обмотке источника питания.

На рис. 18 изображена кривая 1 напряжения источника питания и кривая 2 сварочного тока I дуги. В результате введения в сварочную цепь индуктивности L э. д. с. самоиндукции поддерживает горение дуги от B до точки C , соответствующей моменту перехода тока через нуль. В этот момент полярность напряжения источника питания, приложенного к дуговому промежутку, изменит-

ги и напряжение скачком достигнет значения, необходимого для повторного возбуждения дуги, если угол сдвига фаз между током и напряжением таков, что в момент перехода тока через нулевое значение в напряжение источника питания на дуговом промежутке U_n будет:

$$U_n \geq U_3. \quad (30)$$

При этих условиях дуга будет гореть непрерывно. Переходные процессы в индуктивном сварочном контуре определяются уравнением:

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = U_n + L \frac{di}{dt}. \quad (31)$$

Решением этого уравнения определяется $\cos \varphi$ необходимого угла сдвига φ между напряжением источника и тока дуги:

$$\cos \varphi = 1,11 \frac{U_d}{U_0}, \quad (32)$$

где U_d и U_0 — действующие значения напряжения дуги и холостого хода источника питания.

Установлено, что для устойчивого горения сварочной дуги отношение напряжения холостого хода сварочного трансформатора к напряжению дуги должно быть не меньше 1,8—2,5. При этом значение $\cos \varphi$ находится в пределах 0,61—0,44. Как видно из последней формулы, повышение напряжения холостого хода увеличивает сдвиг между током и напряжением и благоприятствует устойчивости дуги. Однако повышение напряжения ограничивается соображениями экономической целесообразности, так как при этом увеличиваются вес и габариты трансформатора, уменьшаются его к. п. д. и $\cos \varphi$.

Кроме того, при повышении напряжения холостого хода трансформатора возрастает опасность поражения током.

Исследование внешних статических характеристик сварочного трансформатора с подвижными катушками

Принцип действия любого сварочного трансформатора можно выяснить из рассмотрения упрощенной векторной диаграммы, рис. 19.

Напряжение холостого хода:

$$U_0 = \sqrt{(R_d I_c + R_{тр} I_c)^2 + X_{тр}^2 I_c^2}, \quad (33)$$

откуда

$$I_c = \frac{U_0}{\sqrt{X_{тр}^2 + (R_d + R_{тр})^2}}, \quad (34)$$

где R_d и $R_{тр}$ — соответственно активное сопротивление дугового промежутка и трансформатора;

$X_{\text{тр}}$ — индуктивное сопротивление сварочного трансформатора.

Ток короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з}} = \frac{U_0}{\sqrt{X_{\text{тр}}^2 + R_{\text{тр}}^2}} \quad (35)$$

Пренебрегая активным сопротивлением $R_{\text{тр}}$, которое значительно меньше индуктивного $X_{\text{тр}}$, имеем:

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{X_{\text{тр}}^2 + R_{\text{д}}^2}} \quad (36)$$

$$I_{\text{к.з}} = \frac{U_0}{X_{\text{тр}}} \quad (37)$$

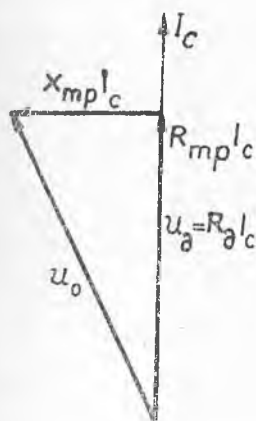


Рис. 19. Векторная диаграмма сварочного трансформатора

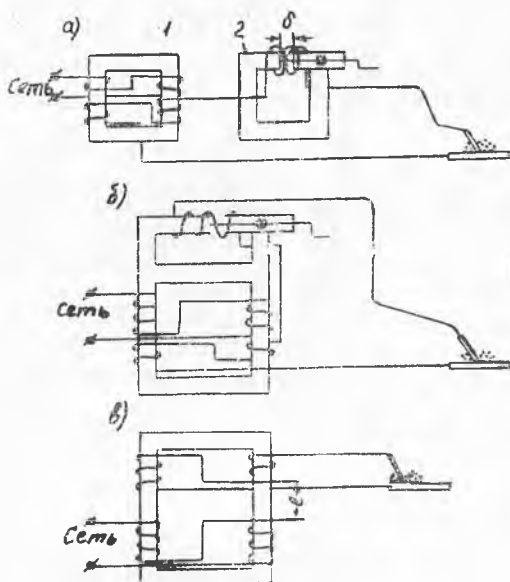


Рис. 20. Основные принципиальные схемы сварочных трансформаторов:

a — трансформатор с отдельным дросселем, тип СТЭ; *б* — трансформатор со встроенным дросселем, тип СТИ; *в* — трансформатор с подвижными катушками, тип ТС

Таким образом, из приведенных уравнений видно, что сварочный ток и ток короткого замыкания можно регулировать изменением индуктивного сопротивления трансформатора. Этот способ регулирования наиболее экономичный и рациональный, так как регулирование с помощью активного сопротивления приводит к значительным потерям и к снижению стабильности процесса сварки.

В современных сварочных трансформаторах используются схемы, приведенные на рис. 20, *a*—*в*.

Комплект сварочного трансформатора состоит из понижающего трансформатора *I* (рис. 20, *a*) и отдельного дросселя 2. При

уменьшении длины зазора δ в сердечнике магнитопровода дросселя его индуктивное сопротивление увеличивается и статическая характеристика трансформатора (понижающего трансформатора плюс дроссель) становится более крутопадающей, как видно из уравнений (36) и (37). В результате сварочный ток уменьшается. Увеличение длины зазора в магнитопроводе дросселя приводит к уменьшению его индуктивного сопротивления и к повышению сварочного тока.

Конструктивная схема трансформатора, показанного на рис. 20, б, отличается от предыдущего общим ярмом магнитопровода понижающего трансформатора и дросселя. На нижней части сердечника расположены обмотки понижающего трансформатора, на верхней — обмотки дросселя.

По принципу действия и регулированию сварочного тока эти однокорпусные трансформаторы ничем не отличаются от двухкорпусных.

К недостаткам следует отнести значительную вибрацию и перекосы подвижной части магнитопровода реактора, особенно при небольших зазорах, то есть при сварке на малых токах. В результате существенных динамических нагрузок ходовой механизм часто нуждается в ремонте. По той же причине обмотка реактора работает с заметной вибрацией, что приводит к порче изоляции.

Весьма распространенной разновидностью сварочных трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием являются трансформаторы с подвижными обмотками (рис. 20, в). В большинстве случаев такие трансформаторы выполняются с сердечниками броневого типа и дисковыми катушками.

На рис. 21 изображена часто применяющаяся конструкция плоского броневого сердечника, состоящего из двух отдельных сердечников с четырьмя стержнями одинакового сечения. Средний стержень броневого сердечника состоит из двух отдельных стержней, между которыми имеется свободное пространство. Обмотки трансформатора располагаются на среднем стержне на некотором расстоянии l_0 друг от друга. Это расстояние можно изменить путем перемещения катушек одной или обеих обмоток.

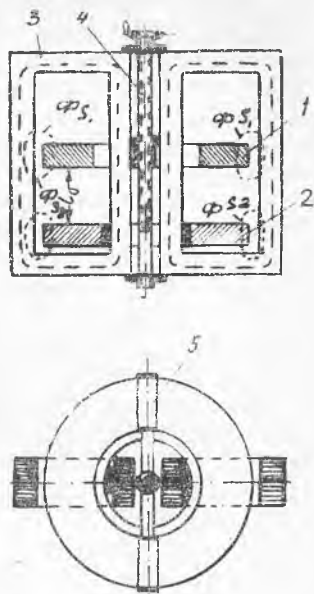


Рис. 21. Схема конструкции сварочного трансформатора с подвижными обмотками: 1 — дисковая катушка подвижной первичной обмотки; 2 — катушка неподвижной вторичной обмотки; 3 — составной сердечник; 4 — винт механизма перемещения подвижной обмотки; 5 — крепление подвижной обмотки

Подвижная обмотка (обычно первичная) при помощи винтового механизма, на котором она закреплена, может перемещаться вдоль стержня сердечника.

Регулирующее устройство обычно снабжено указателем, перемещающимся по шкале, градуированной в амперах, что позволяет осуществлять предварительную настройку режима до начала сварки.

Падающие характеристики в трансформаторах с подвижными катушками получаются за счет искусственно развитого магнитного рассеяния между первичной и вторичной обмотками.

Очевидно, что чем дальше находится первичная обмотка от вторичной, тем больше магнитные потоки рассеяния Φ_{s_2} и Φ_{s_1} и тем больше индуктивное сопротивление обмоток. Каждому положению первичной обмотки соответствует своя внешняя характеристика трансформатора. Таким образом, трансформатор обеспечивает получение семейства внешних характеристик с плавным регулированием сварочного тока, с максимальным значением его при нижнем положении первичной катушки и минимальным — при верхнем.

С увеличением расстояния l между обмотками возрастают потоки рассеяния Φ_{s_1} и Φ_{s_2} и, следовательно, уменьшается общий основной поток Φ . Вследствие этого вторичное напряжение холостого хода U_0 при неизменном напряжении сети и постоянном коэффициенте трансформации не остается постоянным, оно несколько уменьшается при увеличении расстояния между обмотками. Практически напряжение холостого хода изменяется незначительно: при номинальном значении 60—65 в не более чем на 1,5—2 в.

Индуктивность рассеяния определяется из приближенного выражения:

$$L = W_1^2 \mu_0 g (l - l_0) + L_0, \quad (38)$$

где W_1 — число витков первичной обмотки;

l_0 — минимальное расстояние между обмотками, при котором имеет место прямая пропорциональность между L и l ;

L_0 — индуктивность рассеяния, соответствующая расстоянию между обмотками $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-8}$;

g — проводимость при $\mu = 1$ между средним и крайними стержнями магнитной системы, отнесенная к единице длины стержней.

При этом в целях упрощения допущено, что магнитные линии полей рассеяния перпендикулярны стержням сердечника и магнитное сопротивление стали сердечников ничтожно мало.

Выполнение работы

При выполнении работ по исследованию внешних статических характеристик источников питания участвуют по 3—4 студента на каждой установке.

Собирается схема, и правильность соединения проверяется лаборантом или преподавателем.

Для удобства проведения отсчета указательные приборы (амперметры и вольтметры класса 1,5), а также переключатели обмоток возбуждения смонтированы на электрошите, вынесенном из кабины.

Изменение тока в обмотках возбуждения осуществляется реостатом, закрепленным непосредственно на корпусе генератора.

Изменение тока нагрузки осуществляется переключением рубильников реостата РБ-300, расположенного в сварочной кабине.

Грубое регулирование тока за счет изменения числа витков размагничивающей обмотки осуществляется переключением перемычек, вынесенных на бортовую доску генератора.

Грубое регулирование тока у генератора с расщепленными полюсами осуществляется перемещением щеток по коллектору за рукоятку, выведенную на наружную поверхность нижней части корпуса генератора.

Снятие статических характеристик сварочного выпрямителя в режиме λ и Δ осуществляется рубильниками, смонтированными на стене в кабине. Плавное регулирование тока осуществляется при помощи штурвала, расположенного над крышкой выпрямителя.

Изменение положения первичной обмотки трансформатора СТПК по отношению ко вторичной осуществляется рукояткой горизонтального винта. Положение обмотки фиксируется по визирной линейке, закрепленной на торцевой части корпуса ниже щелевой прорези.

Отсчеты показаний приборов должны проводиться точно и быстро, поэтому при проведении опыта перед включением источника питания следует уточнить задачи каждого студента. После анализа полученных замеров электрическая схема разбирается.

Отчет по выполненным работам должен содержать:

1. Краткое описание работы одного из источников питания сварочной дуги и принципиальную электрическую схему.
2. Протокол записи показаний приборов и построенный график.
3. Сравнение полученных кривых с литературными данными.

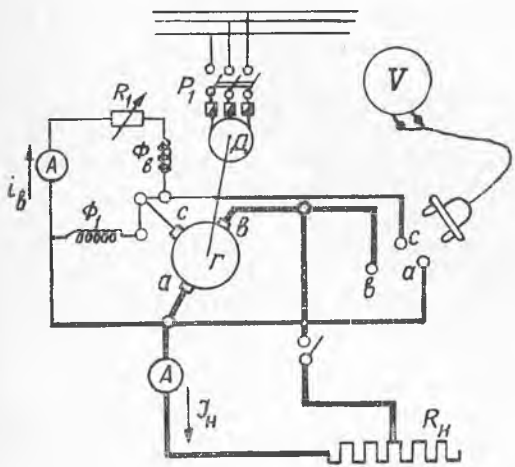
ЛИТЕРАТУРА

1. И. Я. Рабинович. Оборудование для дуговой электрической сварки, Машгиз, 1958.
2. С. Г. Сарафанов и др. Электросварочное оборудование и автоматизация сварочных работ в строительстве, изд-во 1962.
3. Г. П. Петров, А. С. Тумарев. Теория сварочных процессов, изд. «Высшая школа», М., 1967.

Лабораторная работа 1а

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование статических х-к генератора с расщепл. полюсами	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки



Краткие выводы по частям работы

Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Сварочный преобразователь ПС-300.
2. Нагрузочный балластный реостат.
3. Вольтметр сетевого питания на 380 в.
4. Амперметр переменного тока на 50 а.
5. Вольтметр постоянного тока на 75 в.
6. Амперметр постоянного тока на 300 а.
7. Переключатели на 3 положения.

Результаты наблюдений и вычислений

Пор. №	Таблица замеров					
	щетки сдвинуты по направлению вращения якоря			щетки сдвинуты против направления вращения якоря		
1	$i_{возд. (a)}$	1	3	1	3	3
2	$J_{нар. (a)}$					
3	$U_{ав (B)}$					
4	$U_{ас (B)}$					
5	$U_{вс (B)}$					

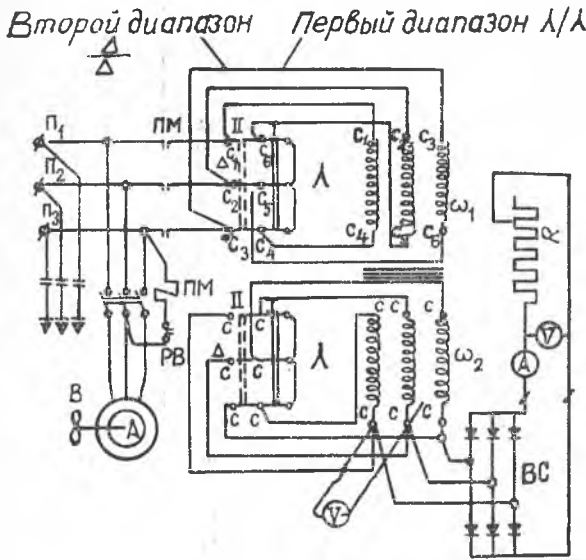


Работа зачтена _____ 19 ____ г.
 Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 16

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование статических х-к сварочного выпрямителя	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки



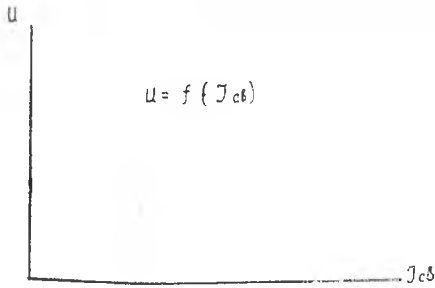
Краткие выводы по частям работы

Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Сварочный выпрямитель типа ВСС-300.
2. Балластный реостат.
3. Вольтметр сетевого питания на 380 в.
4. Амперметр переменного тока на 10 а.
5. Вольтметр постоянного тока на 75 в.
6. Амперметр постоянного тока на 300 а.

Результаты наблюдений и вычислений

№ п/п	Таблица замеров			
	первый диапазон λ/λ		второй диапазон Δ/Δ	
	Ток нагрузки, сварочный ток I_2 (а)	Выпрямленное напряжение U_2 (в)	Ток нагрузки I_2 (а)	Выпрямленное напряжение U_2 (в)
1				
2				
3				
4				



Работа зачтена _____ 196 г. Подпись преподавателя _____

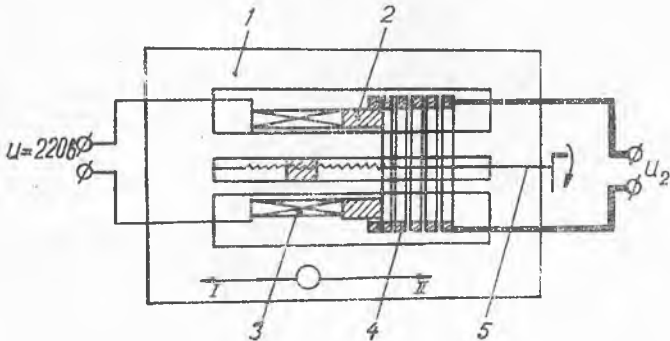
Лабораторная работа № 1в

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование статических х-к сварочного трансформатора	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки

Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Сварочный трансформатор —СТПК.
2. Нагрузочный балластный реостат.
3. Вольтметр сетевого напряжения 220 в.
4. Амперметр переменного тока на 50 а.
5. Вольтметр переменного тока на 75 в.
6. Амперметр на 300 а.

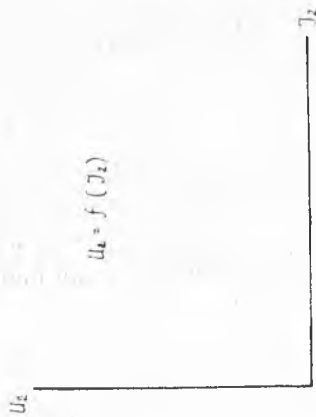


Краткие выводы по частям работы

Результаты наблюдений и вычислений

Таблица замеров

Пор. №	положение первичной обмотки	крайнее левое	среднее	крайнее правое (совмещенное)
	Ток нагрузки $I_2 (a)$ Напряжение $U_2 (a)$			



Работа зачтена

19 ____ г.

Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Целью работы является практическое ознакомление с условиями возбуждения и устойчивого горения электрической дуги — одного из основных источников нагрева при сварке плавлением.

З а д а н и е

1. Изучить влияние катодных пятен на процесс возбуждения и устойчивость горения дуги.
2. Исследовать влияние отдельных химических соединений и элементов на устойчивость горения дуги и ее форму.
3. Составить отчет по выполненной работе.

Роль катодных пятен в возбуждении дуги

Как известно, сварочная дуга представляет собой разновидность электрического разряда в газовой среде, характеризующегося высокой температурой (до 6000—7000°K), высокой плотностью тока (от 10—15 *a* на квадратный миллиметр сечения электрода при ручной сварке, до 200 *a/мм*² при автоматической и полуавтоматической сварке) и небольшим напряжением — около 12—50 *v*.

Практическим способом возбуждения дуги является короткое замыкание между электродом и изделием.

Мгновенное повышение температуры в месте контакта приводит к испарению материала электрода и свариваемого металла и созданию в воздушном зазоре после отрыва электрода газовой среды с высокой степенью ионизации.

Как показано в работе [1], одним из условий образования и существования электрической сварочной дуги является мощная электронная эмиссия с катода.

При неплавящемся электроде, способном перегреваться до высоких температур, решающее значение имеет термоэлектронная

эмиссия, плотность тока которой определяется уравнением Ричардсона-Дэшмена:

$$j_0 = A \cdot T_k^2 \cdot e^{-\frac{\varphi_0}{k \cdot T_k}} \text{ а/см}^2,$$

где A — константа данного вещества, $\text{а/см}^2 \cdot \text{град}^2$;

T_k — температура катода, $^\circ\text{K}$;

φ_0 — эффективная работа выхода электрона, эв (таблица 1);

k — постоянная Больцмана, равная $8,36 \cdot 10^{-5}$ э. в/град.

При сварке плавящимся электродом существенная роль в устойчивом горении дуги принадлежит, по-видимому, автоэлектронной эмиссии, когда энергия, необходимая для вырыва электронов с поверхности катода, сообщается дуге внешним электрическим полем источника питания.

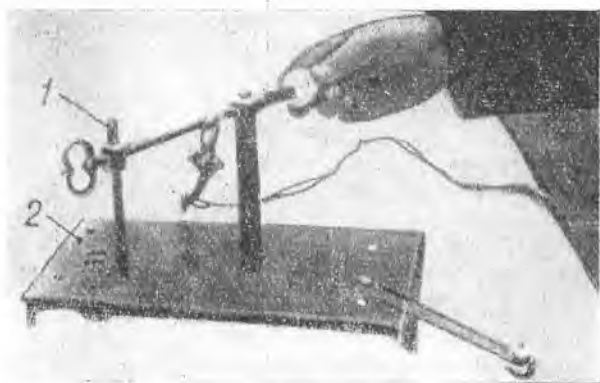


Рис. 1. Внешний вид установки для исследования влияния катодных пятен на устойчивость горения сварочной дуги: 1 — подвижный электрод; 2 — неподвижный электрод

Плотность тока автоэлектронной эмиссии определяется по формуле

$$j_e = j_0 \cdot e^{\frac{439 \sqrt{E}}{T_k}} \text{ а/см}^2,$$

где E — напряженность поля, в/см .

К установке (рис. 1) подключается источник постоянного тока так, чтобы подвижный графитовый электрод был катодом, а графитовая пластина — анодом. Коротким замыканием возбуждают дугу. Воздушный зазор содержит кислород и азот воздуха, отличающиеся высоким потенциалом ионизации, и пары углерода (табл. 1). Перенос электрических зарядов через дуговой промежуток осуществляется, главным образом, электронами, излучающимися раскаленной поверхностью катода. Под воздействием

поля источника электроны устремляются к аноду и путем неупругих соударений с атомами веществ, заполняющих промежутки, ионизируют их.

Таблица 1

Потенциалы возбуждения (U_b), ионизации (U_j) и работы выхода (φ_a) некоторых элементов (электронвольты) [3]

Химические элементы	Потенциалы		φ_a
	U_b	U_j	
Cs	—	3,90	—
K	1,60	4,32	2,26
Na	2,10	5,12	2,33
Ba	1,56	5,19	2,55
Al	—	5,96	4,25
Ca	1,90	6,08	2,96
Ti	3,30	6,81	3,92
Mn	3,10	7,60	3,76
Fe	4,79	7,83	4,18
C	—	11,24	4,34
H	10,20	13,54	—
O	7,90	13,57	—
N	6,30	14,51	—
Ar	11,60	15,70	—
F	—	18,70	—
He	19,30	24,50	—

Через некоторое время после возбуждения дуги перемещают электрод относительно графитовой пластины, сохраняя постоянный зазор между ними, при этом дуга продолжает устойчиво гореть. Это явление можно пояснить тем обстоятельством, что одновременно с электродом перемещаются и источники излучения электронов — катодные пятна, расположенные на торце раскаленного электрода. В любом положении вдоль графитовой пластины создаются условия для нормального поддержания дуги.

Если изменить полярность, то есть присоединить положительный полюс источника тока к подвижному электроду, а отрицательный полюс — к графитовой пластине (пластина-катод) и повторить опыт с перемещением электрода, то можно наблюдать неустойчивое горение дуги и ее обрыв. Теперь источник излучения электронов — катодные пятна остаются неподвижными на угольной

пластине и при некотором удалении от них торца электрода напряжение источника оказывается недостаточным для ионизации большего воздушного промежутка. В реальных условиях сварки металлов, благодаря их высокой теплопроводности, катодные пятна перемещаются по изделию со скоростью сварки — дуга горит устойчиво и на обратной полярности.

Влияние отдельных химических элементов на устойчивость горения дуги и ее форму

Процесс образования заряженных частиц (электронов и ионов из нейтральных атомов называется ионизацией, а энергия, выраженная в электроно-вольтах, необходимая для возбуждения и ионизации атомов, соответственно потенциалом возбуждения и ионизации.

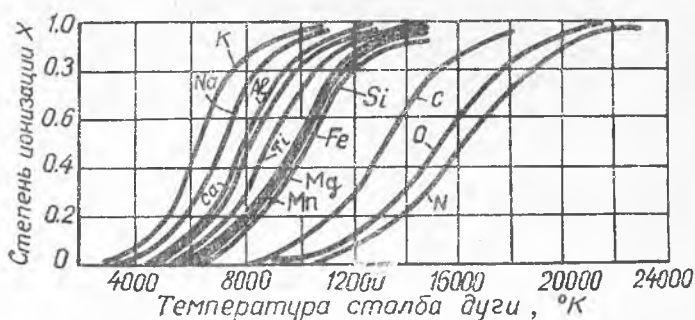


Рис. 2. Зависимость между температурой столба дуги и степенью ионизации газов

Энергия, необходимая для ионизации газов и паров, заполняющих дуговой промежуток, выделяется при неупругих соударениях атомов с электронами, излучаемыми с поверхности катода, неупругих соударений частиц газа между собой и ультрафиолетовых излучений дуги. Степень ионизации, определяемая как отношение числа пар заряженных частиц к общему числу нейтральных атомов, существовавших в данном объеме газа до начала ионизации, зависит от температуры и потенциала ионизации газа (рис. 2).

Известно, что устойчивость горения сварочной дуги во многом зависит от эффективного потенциала ионизации газовой среды ($U_{Jэф}$), под которым понимают потенциал ионизации некоторого однородного газа (U_i), имеющего при одинаковых условиях (температура, давления, концентрация) такую же степень ионизации, что и смесь газов. Величина эффективного потенциала ионизации определяется, в основном, элементом, имеющим низкий потенциал ионизации. Введение в сварочную дугу таких элементов оказывает благоприятное влияние на устойчивость ее горения (табл. 2).

Влияние концентрации элемента с низким потенциалом ионизации на эффективный потенциал ионизации смеси газов

Количество атомов К (%)	0	1	2	5	10	20	50	100
Количество атомов Fe (%)	100	99	98	95	90	80	50	0
Эффективный потенциал ионизации (U_j эф) э. в.	7,83	6,35	6,08	5,88	5,46	5,08	4,61	4,33

Академиком К. К. Хреновым [2] предложен способ объективной оценки влияния отдельных химических соединений и элементов на устойчивость горения дуги по величине разрывной длины дуги.

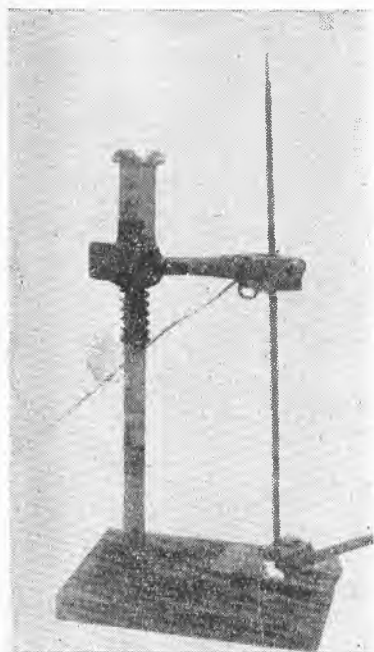


Рис. 3. Внешний вид установки для исследования критической длины дуги

На установке (рис. 3), подключенной к источнику переменного тока, закрепляют электродную проволоку так, чтобы между ее торцом и пластиной оставался зазор в 1—2 мм. Пользуясь осциллятором, возбуждают дугу, которая будет гореть до достижения критической длины дугового промежутка (l дуги крит.), определяемого в данном слу-

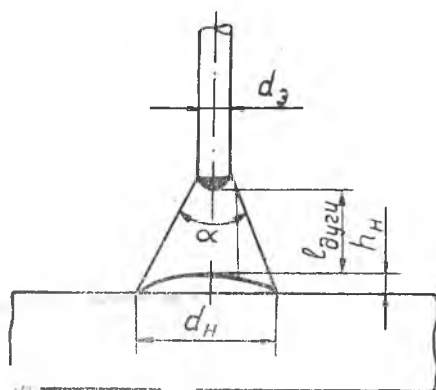


Рис. 4. Форма «стоячей» дуги в момент ее обрыва

чае величиной потенциала ионизации железа (7,83 эв). Последовательно вводя в дуговой промежуток различные химические соединения, при неизменной силе тока и напряжении холостого хода трансформатора, и измеряя критическую длину дуги, мы можем изучить их влияние на устойчивость горения дуги.

Известно благотворное влияние на устойчивость горения дуги элементов щелочно-земельной группы — К, Na, Ba, Ca, имеющих

потенциал ионизации значительно меньший, чем у железа. Введение в дуговой промежуток соединений, содержащих хлор и фтор, приводит к значительному уменьшению критической длины дуги. Это явление можно пояснить высоким потенциалом ионизации галогенов и образованием отрицательных ионов путем поглощения электронов из дугового промежутка и на границе между расплавленным металлом и газом.

Дуга, горящая без перемещения по изделию, образует наплавку с очертаниями правильного круга. Если измерить длину дуги после ее естественного обрыва (l дуги крит.) и диаметр наплавки (d_n), то по проекциям дуги можно определить ее форму (рис. 4).

Круговая форма наплавки вызвана симметричным, относительно оси электрода, магнитным полем.

Столб дуги, не искаженный дутьем, имеет форму усеченного конуса, вершина которого упирается в торец электрода, а основание — в наплавку. По мере удлинения дуги диаметр наплавки увеличивается, а угол конуса — уменьшается. Конусная форма столба дуги вызывается пинч-эффектом: сжимающее действие тока в дуге наиболее интенсивно у выхода из электрода, в котором линии тока параллельны; по направлению к наплавке параллельность нарушается выделяющимися газами, сила сжатия уменьшается и дуга расширяется.

Движущаяся дуга окружена несимметричным магнитным полем, отклоняющим ее на расплавленный металл, однако ширина основания дуги — ширина наплавки по-прежнему определяется длиной дуги и ее напряжением.

На ширину шва также влияет род тока (постоянный или переменный) и полярность. Наименьшая ширина шва наблюдается при сварке на прямой полярности (табл. 3); при прочих равных условиях ширина шва пропорциональна напряжению на дуге. При постоянной силе тока увеличение напряжения на дуге (при сварке под флюсом) не сопровождается увеличением коэффициента плавления проволоки, так как увеличивается доля тока, шунтирующаяся расплавленным флюсом.

Таблица 3 [3]

Влияние полярности тока на ширину провара (сварка под флюсом АН-348А)

Напряжение, в	Ширина шва, мм	
	прямая полярность	обратная полярность
30—32	21—23	22—24
40—42	25—27	28—30
50—52	26—28	33—35

Примечание. Сварочный ток 500 а.

Диаметр электродной проволоки 5 мм.

Скорость сварки 24 м/ч.

Состав флюса приведен в таблице 4.

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Ознакомиться и сдать зачет по правилам техники безопасности при электросварочных работах с использованием дуги В. В. Петрова.

2. Проверить схему установки по рис. 1 без включения источника сварочного тока и предъявить её преподавателю или лаборанту.

3. Провести исследование влияния катодного пятна на устойчивость горения дуги при прямой и обратной полярности.

4. Снять показания приборов и занести их в протокол.

5. Проверить схему установки для определения критической длины дуги по рис. 3, без включения сварочного трансформатора, и предъявить ее преподавателю или лаборанту.

6. Провести исследование стабилизирующего влияния различных элементов на устойчивость горения дуги и ее форму. Для каждого опыта использовать новую электродную проволоку и пластину, проводя не менее трех замеров. Возбуждать дугу кратковременным включением осциллятора.

Измерения длины дуги и диаметра наплавки производить только после выключения источника сварочного тока.

7. Показания приборов и результаты измерений занести в протокол.

8. Отключить установки, убрать рабочее место.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Зарисовать схемы установок и эскиз сварочной дуги.

2. Сделать выводы о влиянии катодного пятна на устойчивость горения дуги.

3. Используя результаты опытов и литературные данные табл. 1, 2, 3, 4, сделать выводы о влиянии различных химических элементов на устойчивость горения сварочной дуги и ее форму.

Таблица 4

Состав флюсов для сварки углеродистых сталей

Марка флюса	Содержание, %									
	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	S	P	Прочие
ОСЦ-45	38,0—44,0	38,0—47,0	до 4,5	до 6,5	до 2,5	до 2,0	6,0—9,0	до 0,15	до 0,15	—
АН-348А	41,0—44,0	34,0—38,0	до 4,5	до 6,5	5,0—7,5	до 2,0	4,0—5,5	до 0,15	до 0,12	—

ЛИТЕРАТУРА

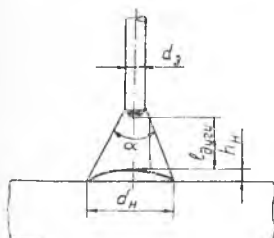
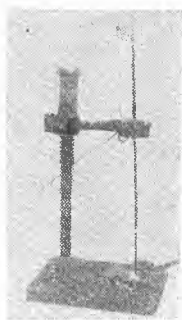
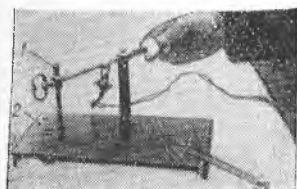
1. Л. Р. Нейман, П. А. Калантаров. Теоретические основы электротехники, часть I, «Физические основы электротехники», 1948.
 2. К. К. Хренов. Электрическая сварочная дуга, Машгиз, 1949.
 3. Технология электрической сварки плавлением. Под редакцией академика Б. Е. Патона, Машгиз, 1962.
-

Лабораторная работа № 2

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование свойств электрической сварочной дуги	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схемы установок

Перечень применяемых приборов и оборудования



1. Источник питания дуги постоянным током (сварочный преобразователь или выпрямитель).
2. Сварочный трансформатор.
3. Осциллятор.
4. Амперметр постоянного тока до 300 а.
5. Амперметр переменного тока до 500 в.
6. Гальтметр переменного тока до 60 в.
7. Вольтметр постоянного тока до 60 в.
8. Установка для исследования роли катодного пятна (рис. 1).
9. Установка для определения критической длины дуги (рис. 3).
10. Линейка металлическая длиной до 200 мм.
11. Штангенциркуль.
12. Навески по 5 г химических соединений, содержащих К.
13. Сварочная проволока 3 Св-08 ГОСТ 2246-60 длиной 350—400 мм.
14. Электроды металлические для дуговой сварки сталей, диаметром 3 мм различных марок с различными видами составов покрытий — рудно-кислым (Р), рутиловым (Т), фтористо-кальциевым (Ф) и органическим (О).
15. Навески по 10 г флюсов АН348А, ОСЦ45.

Краткие выводы по частям работы

Результаты наблюдений и вычислений

Пор. №	I часть работы			II часть работы						
	полярность	характерист. устойчив. горения дуги	№№ опытов	химическое соединение марка электрода флюса	$d_{э}$, мм	$I_{св}$, А	$i_{эд}$, а/мм ²	$U_{д}$, В	$L_{д}$, крит. мм	$i_{сн}$, мм
	Прямая Обратная		1 2 3 4 5 6							

Примечание: $i_{эд}$ — плотность тока на электроде.

Работа зачтена

19 ____ г.

Подпись преподавателя _____

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Целью работы является практическое определение основных технологических характеристик электродов для дуговой электрической сварки сталей.

З а д а н и е

Найти для заданных марок электродов коэффициент веса покрытия, коэффициент расплавления, коэффициент наплавки, коэффициент потерь, номинальное напряжение дуги.

Применяемые для сварки сталей электроды разделяются на группы — электроды для сварки углеродистых, легированных конструкционных, легированных теплоустойчивых сталей и электроды для наплавочных работ. Внутри групп электроды подразделяются на типы по механическим свойствам металла шва и наплавленного металла, а электроды для сварки теплоустойчивых сталей, кроме того, — по химическому составу наплавленного металла (табл. 1).

Основными факторами, определяющими свойства электродов, являются состав и диаметр электродной проволоки, состав и относительный вес покрытия.

Стержни электродов изготавливаются из стальной сварочной проволоки (ГОСТ 2246-60), состав которой зависит от назначения электрода, в частности, от требуемого химического состава и свойств наплавленного металла. В соответствии с этим требованием применяют сварочную проволоку углеродистую (Св—08А, Св—08ГА и др.), легированную (Св—12ГС, Св—18ХМА, Св—18ХГСА и др.) и высоколегированную (Св—02Х19Н9, Св—08Х19Н10Б и др.). Сварочная стальная проволока

Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей по ГОСТу

Тип электрода	Механические свойства металла шва или наплавленного металла при уменьшении электродов диаметром более 2,5 мм		Механические свойства сварного соединения при применении электродов диаметром 2,5 мм и менее		Содержание серы и фосфора в металле шва или наплавленном металле		Основное назначение электродов	
	предел прочности при растяжении, кг/мм ²	относительное удлинение, %	ударная вязкость, кг/мм ²	предел прочности при растяжении, кг/мм ²	угол загиба, град	S, %		P, %
Э-42 Э-42А	42	$\frac{18}{22}$	$\frac{8}{14}$	42	$\frac{120}{180}$	$\frac{0,05}{0,04}$	$\frac{0,05}{0,04}$	не более
Э-50 Э-50А	50	$\frac{16}{20}$	$\frac{6}{13}$	50	$\frac{90}{150}$	$\frac{0,05}{0,04}$	$\frac{0,05}{0,04}$	
Э60 Э60А	60	$\frac{16}{18}$	$\frac{6}{10}$	—	—	0,04	0,04	

Для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей

Для сварки легированных сталей повышенной прочности

Электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей по ГОСТу

Тип электрода	Механические свойства при 20° С			Химический состав, %								
	Время, мин.	Сопротивление разрыву, кг/мм ²	Относительная удлинение, %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	S	
											не более	P
Э-М	50	8	18	0,06—	не более	0,4—0,8	—	0,4—0,7	—	—	не более	
				0,12	0,35	0,5—0,9	0,7—1,0	—	0,05	0,05		
Э-ХМ			16		0,15—							
					0,45							
Э-ХМФБ	55	6	14	0,08—	0,15—	0,5—0,9	1,0—1,4	0,7—1,0	0,15—0,4	0,1—0,25	0,04	
				0,13	0,45					0,04	0,04	

и готовится диаметром 0,3—12 мм. Длина электрода зависит от диаметра стержня и его химического состава (табл. 2).

Таблица 2

Материал стержня	Диаметр стержня, мм	Длина электрода, мм
Электроды со стержнем из углеродистой и легированной проволоки	1,6—2,0	225 или 250
	2,5—3,0	350
	4,0	400 или 450
	≥5,0	450
Электроды со стержнем из высоколегированной проволоки	2,5—3,0	250
	4,0	350
	≥5,0	350—450

Покрyтия на электродах предназначены для стабилизации дyги, защиты расплавленного металла и его легирования. Стабилизирующие покрyтия, содержащие обычно соединения щелочных и щелочно-земельных металлов, наносятся на стержень тонким слоем, защитные и легирующие — толстым слоем. Электроды со стабилизирующим покрyтием не улучшают качества металла шва; при сварке происходит значительное окисление наплавленного металла и насыщение его азотом воздуха, что снижает механические свойства сварного соединения.

Для защиты расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха на электрод наносятся покрyтия, образующие при расплавлении шлаки и газы. Кроме того, в покрyтия вводятся раскислители — ферромарганец, ферросилиций, ферроитан и др. Электроды с защитным покрyтием заметно улучшают качество наплавленного металла по сравнению с электродами со стабилизирующим покрyтием. Защитные покрyтия должны обладать также и стабилизирующими свойствами.

Для получения металла шва с определенными механическими свойствами в него вводятся специальные элементы (марганец, хром, молибден и др.). Легирование металла шва указанными элементами осуществляется как через сварочную проволоку, так и через покрyтия на электродах. Легирующие покрyтия должны одновременно защищать металлы от окисления и насыщения азотом, а также обеспечивать стабильное горение дyги.

По металлургическому воздействию на металл шва защитные и легирующие покрyтия на отечественных электродах относятся к рудно-кислому, фтористо-кальциевому, рутиловому или газозащитному типу.

Количество покрyтия на электроде влияет на состав и свойства наплавленного металла и оценивается коэффициентом веса покрyтия, который представляет собой отношение веса покрyтия к весу стержня электрода.

Коэффициент веса покрытия вычисляют по формуле

$$K = \frac{G_{эл} - G_{ст}}{G_{ст}} 100\%,$$

где $G_{эл}$ — вес электрода с покрытием;

$G_{ст}$ — вес стержня.

Коэффициент расплавления α_p представляет собой удельную производительность процесса расплавления электрода:

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I \cdot t} \text{ г/а час}, \quad (1)$$

где G_p — вес расплавленного электродного металла;

I — сварочный ток;

t — время плавления электрода (горения дуги).

Коэффициент расплавления зависит от состава сварочной проволоки, состава и относительного веса покрытия, рода тока (постоянный, переменный) и полярности (электрод-катод или анод при сварке на постоянном токе). Влияние различных факторов на величину коэффициента расплавления можно учесть, рассмотрев баланс энергии на электроде при горении сварочной дуги.

Если электрод является катодом, то уравнение баланса энергии имеет вид:

$$(1 - f)IU_k + (1 - f)(U_n - \varphi)I = fI\varphi + W_k + R,$$

где $(1 - f)IU_k$ — кинетическая энергия ионов, бомбардирующих катод;

$(1 - f)(U_n - \varphi)I$ — энергия, которая отдается катоду при нейтрализации ионов; эта энергия равна энергии, затраченной на ионизацию атомов за вычетом энергии, израсходованной на эмиссию электронов с поверхности катода;

$fI\varphi$ — энергия, расходуемая катодом на эмиссию электронов;

W_k — энергия, расходуемая на нагревание, плавление и испарение материала катода;

R — энергия, расходуемая на радиацию;

f — доля электронного тока ($1 - f$) — доля ионного тока;

I — полный ток сварочной дуги;

U_k — катодное падение напряжения;

U_n — потенциал ионизации среды, в которой горит сварочная дуга;

φ — работа выхода электронов.

Уравнение баланса энергии на аноде:

$$IU_a + I\varphi = W_a + R,$$

где IU_a — кинетическая энергия электронов, получивших ускорение при прохождении через анодную область дуги;

$I\varphi$ — потенциальная энергия электронов при вхождении в анод, пропорциональная работе выхода φ ;

W_a — энергия, расходуемая на нагревание, плавление и испарение материала анода;

R — энергия, расходуемая на радиацию.

Из приведенных уравнений баланса энергии можно определить W_k и W_a ; при этом можно пренебречь потерями на радиацию R , как величинами малыми, а также считать, что $U_k = U_n$.

Тогда

$$W_k = I [2(1 - f)U_n - \varphi], \quad W_a = I(U_a + \varphi). \quad (2)$$

Количество расплавляемого в единицу времени электродного металла равно:

$$G_p = \frac{W}{i_m}, \quad (3)$$

где i_m — теплосодержание расплавленного металла, $дж/г$.

Подставляя значения G_p и W из (3) и (2) в формулу (1), определим коэффициент расплавления при прямой полярности (электрод плавится катодом):

$$\alpha_p = \frac{3600 [2(1 - f)U_n - \varphi]}{i_m},$$

а также при обратной полярности:

$$\alpha_p = \frac{3600 (U_a + \varphi)}{i_m}.$$

Из приведенных формул видно, что коэффициент расплавления α_p при прямой полярности повышается с увеличением доли ионного тока и потенциала ионизации среды и с уменьшением работы выхода электронов; при обратной полярности α_p повышается с увеличением анодного падения напряжения и работы выхода электронов. Известно, что потенциал ионизации среды U_n зависит от состава среды, в том числе от присутствия в дуговом промежутке элементов, входящих в состав электродной проволоки и покрытия. Работа выхода электронов φ для различных металлов и веществ различна: при наличии окисных пленок на поверхности катода она уменьшается.

При питании дуги переменным током плавящийся электрод попеременно является анодом и катодом.

В этом случае:

$$W_s \approx \frac{W_k + W_a}{2}; \quad \alpha_p = \frac{1800 [2(1 - f)U_n + U_a]}{i_m}.$$

При сварке не весь расплавленный электродный металл попадает в шов, часть его теряется в результате испарения,

разбрызгивания и окисления. Потери металла при расплавлении оцениваются коэффициентом потерь:

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} 100\%,$$

где G_n — вес наплавленного металла.

Коэффициент потерь зависит от состава сварочной проволоки, состава и относительного веса покрытия, а также от режима сварки. При значительном увеличении плотности тока и длины дуги коэффициент потерь возрастает. Следует отметить, что потери электродного металла могут в той или иной мере компенсироваться переходом в шов металла из покрытия.

Коэффициент наплавки α_n характеризует удельную производительность процесса плавления:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I \cdot t} \text{ г/а час.}$$

Коэффициент наплавки α_n связан с коэффициентами α_p и ψ следующей зависимостью:

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi).$$

Коэффициенты расплавления α_p , наплавки α_n и потерь ψ для различных марок электродов определяются экспериментально.

Номинальное напряжение дуги — напряжение при нормальной длине дуги, характерной для данной марки электрода. Практически нормальная длина дуги легко устанавливается сварщиком по характеру горения дуги и плавлению электрода, по поведению шлаков и внешнему виду шва. При короткой дуге могут наблюдаться частые замыкания дугового промежутка, погружение дуги в шлак, примерзание электрода, шов получается высокий бугристый; при длинной дуге отмечается неспокойное горение, блуждание дуги, разбрызгивание металла, шов получается плоским, широким. При определении номинального напряжения дуги в качестве стандартных приняты условия, когда наплавка производится на пластину в нижнем положении, электрод наклонен к изделию под углом $90 \pm 15^\circ$; сила тока — в соответствии с табл. 3; напряжение дуги регистрируется вольтметром класса не ниже 1,5 при визуальном наблюдении.

Таблица 3

Диаметр электродного стержня, мм	Сила тока, а	
	электроды из углеродистой и низколегированной стали	электроды из легированной стали
3	100	90
4	150	140
5	200	170

Выполнение работы

1. Взвешиванием определяют вес исследуемых электродов с покрытием $G_{эл}$, вес электродной проволоки (стержней) $G_{ст}$, вес образцов (пластин) для наплавки валика $G_{пл}$ — по одному образцу на каждую марку электрода. Образцы предварительно очищают от окиси, окалины, масла, маркировки.

2. Вычисляется коэффициент веса покрытия K .

3. Устанавливается режим наплавки валика. Род тока и полярность должны соответствовать требованиям паспорта на данный электрод.

4. Исследуемым электродом производят наплавку валика на пластину. При наплавке валика по приборам измеряют напряжение на дуге и силу тока в сварочной цепи. Номинальное напряжение на дуге определяется как среднее арифметическое значение максимального и минимального показаний вольтметра при устойчивом горении дуги. Время плавления электрода (время горения дуги) определяют по электросекундомеру или секундомеру.

5. Образец после наплавки охлаждают и очищают от шлака. Определяют вес огарка $G_{ог}$ и вес пластины с наплавленным валиком $G_{пл,н}$.

6. Вычисляется вес расплавленного металла электрода по формуле

$$G_p = (G_{эл} - G_{ог}) \frac{100}{K + 100} \%,$$

и также вес наплавленного на образец металла:

$$G_n = G_{пл,н} - G_{пл} \%.$$

7. Определяется коэффициент расплавления электрода α_p , коэффициент наплавки α_n , коэффициент потерь ψ .

В отчет по выполненной работе входят:

1. Краткое описание работы с указанием режимов наплавки валиков.

2. Перечень оборудования, приспособлений, приборов.

3. Протокол измерений и расчетов.

4. Сравнение полученных характеристик электродов со справочными данными.

ЛИТЕРАТУРА

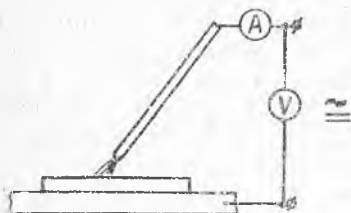
1. Справочник по сварке под ред. Е. В. Соколова, т. 2, М., 1961.

2. Г. Л. Петров, А. С. Тумарев. Теория сварочных процессов, М., 1967.

Лабораторная работа № 3

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Определение технологичес- ких характеристик сварных электродов	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки



*Перечень применяемых приборов и
оборудования*

1. Источник питания дуги (постоянного и переменного тока).
2. Амперметр.
3. Вольтметр.
4. Весы лабораторные.

Краткие выводы по частям работы

Работа зачтена _____ 19 _____ г. Подпись преподавателя _____

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Целью работы является практическое ознакомление с процессом ручной дуговой сварки.

З а д а н и е

1. Определить расход электродов и электроэнергии при сварке.
2. Оценить визуально качество сварного соединения.
3. Составить отчет о выполненной работе.

В зависимости от расположения свариваемых элементов различают стыковые, тавровые, угловые и нахлесточные сварные соединения (рис. 1). Типы сварных соединений и их геометрические размеры для ручной дуговой сварки регламентируются ГОСТом 5264—58.

Вид разделки кромок зависит от толщины свариваемого металла, способа сварки, марки металла, типа изделия и применения различных приемов и методов формирования шва. При ручной дуговой сварке углеродистых сталей при одностороннем шве разделка кромок необходима при толщине металла выше 6 мм. Для металлов, имеющих значительную теплопроводность и теплоемкость, угол раскрытия кромок делается на 10—15% больше, чем для металлов с меньшей теплопроводностью и теплоемкостью.

Сварные швы характеризуются следующими основными размерами (рис. 2): глубиной провара h_1 , высотой усиления h_2 , шириной шва b , толщиной шва H , коэффициентом формы усиления $\frac{b}{h_2}$ и коэффициентом формы провара $\frac{b}{h_1}$.

На форму, размеры и качество сварного шва большое влияние оказывает режим сварки, под которым понимают совокупность условий проведения процесса сварки. К основным параметрам режима

рушной дуговой сварки относятся: сварочный ток в a , род и полярность тока, напряжение на дуге в b , диаметр электрода в mm .

Некоторые дефекты в сварных швах показаны на рис. 3. Процесс сварки начинается с возбуждения дуги (чаще всего коротким замыканием электрода на свариваемый металл в месте стыка) и образования ванны расплавленного металла.

При сварке электроду сообщается движение в трех направлениях: поступательное движение по направлению оси электрода,

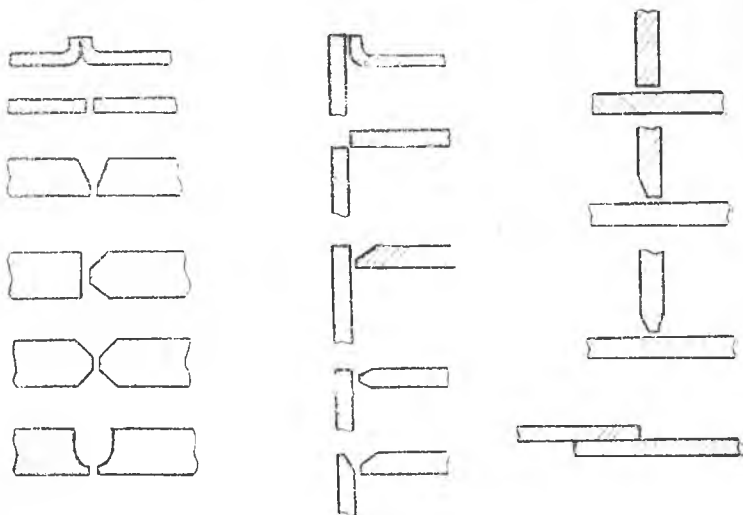


Рис. 1. Типы сварных соединений

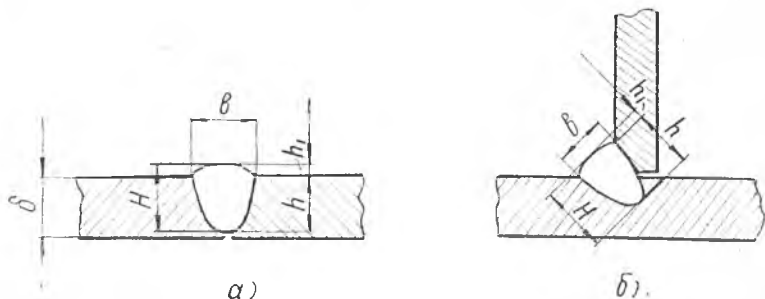


Рис. 2. Основные размеры сварного шва

которым поддерживается необходимая длина сварочной дуги; движение вдоль стыка свариваемых элементов для образования сварного шва; колебательное движение поперек шва, необходимое для образования шва большей ширины (уширенного валика). Правильно выбранная скорость сварки обеспечивает необходимое качество сварного шва. При большой скорости основной металл не

успевае проплавляться на нужную глубину, из-за чего образуется непровар. Если скорость перемещения электрода мала, происходит перегрев и прожог (сквозное проплавление) металла, снижается производительность сварки. При сварке металлов небольших толщин поперечное движение электроду не сообщается, при этом получается так называемый ниточный шов, ширина которого на 2—3 мм больше диаметра электрода.

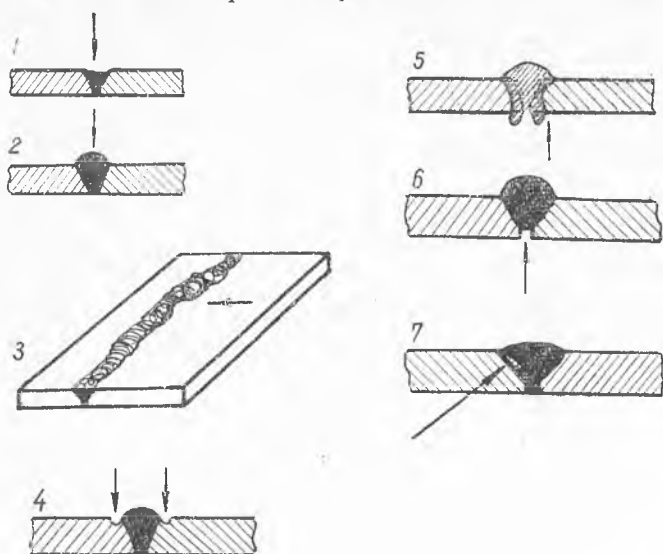


Рис. 3. Некоторые дефекты сварных швов: 1 — ослабленный шов; 2 — чрезмерное усиление шва; 3 — неравномерная высота усиления и ширина шва; 4 — подрезы; 5 — прожоги; 6 — непровар по сечению; 7 — непровар по кромке

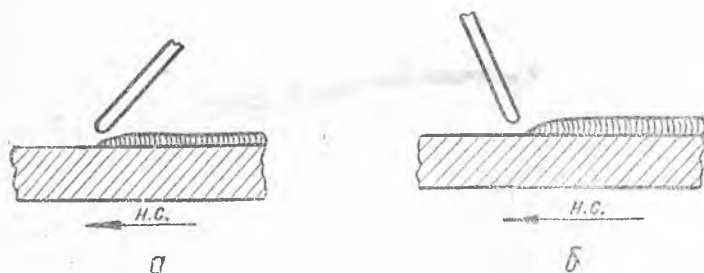


Рис. 4. Положение электрода при сварке: а — положение электрода углом вперед; б — положение электрода углом назад

Наклон электрода вдоль шва может быть углом вперед или назад по отношению к направлению сварки (рис. 4). При сварке углом назад создаются лучшие условия для оттеснения жидкого металла сварочной ванны из-под дуги, улучшается теплопередача

дуги к основному металлу. В результате глубина провара возрастает, а ширина шва уменьшается. При сварке углом вперед глубина провара уменьшается, а ширина шва увеличивается.

Необходимый расход электродов определяется по весу наплавленного металла по формуле

$$G_{эл} = (1 + 0,9K) \frac{\lambda G_{н}}{1 - \psi},$$

где $G_{н} = \rho F_{н} \cdot L$ — вес наплавленного металла;

ρ — плотность металла;

$F_{н}$ — площадь поперечного сечения наплавленного металла;

L — длина шва;

K — коэффициент веса покрытия;

λ — отношение длины стержня электрода к длине расплавляемой его части;

ψ — коэффициент потерь.

При сварке образца фактический расход электрода может быть определен по расходу электродной проволоки:

$$G_{р} = \frac{\pi d_c^2}{4} (l_1 - l_2) \rho; \quad G_{эл} = G_{р} (1 + 0,9K),$$

где $G_{р}$ — вес расплавленного металла электродного стержня;

d_c — диаметр стержня;

l_1 — длина электрода до сварки;

l_2 — длина электрода после сварки.

Расход электроэнергии при сварке шва длиной L :

$$A = \frac{U_d I_{св}}{1000 \cdot \eta_{уст}} \tau_{пл} + \frac{I_{хх} U_1}{1000} \cos \varphi_{хх} (\tau_{св} - \tau_{пл}),$$

где U_d — напряжение на дуге, v ;

$I_{св}$ — сила сварочного тока, a ;

$\eta_{уст}$ — коэффициент полезного действия сварочной установки

(в среднем можно принять для сварочных преобразователей $\eta_{уст} = 0,6$, для трансформаторов $\eta_{уст} = 0,8$);

$\tau_{пл}$ — время горения дуги (плавления электрода), $час$;

$\tau_{св}$ — время сварки, $час$;

$I_{хх}$ — ток холостого хода, a ;

U_1 — напряжение сети, v .

При питании сварочной установки от сети трехфазного тока второй член в формуле умножается на $\sqrt{3}$.

Время горения дуги может быть замерено электросекундометром, а также рассчитано приближенно по формуле

$$\tau_{пл} = \frac{G_{р}}{I_{св} a_p},$$

где a_p — коэффициент расплавления электрода.

Общее время сварки:

$$\tau_{\text{св}} = \frac{\tau_{\text{пл}}}{K'}$$

Здесь K^1 — коэффициент удобства работы, учитывающий перерывы в горении дуги. При сварке нижних швов при хорошо оборудованных сварочных постах $K^1=0,8-0,9$.

Расход электроэнергии на погонный метр шва или на один килограмм расплавленного металла электрода определяется соотношений:

$$a = \frac{A \text{ квт час}}{L \text{ п. м.}}; \quad a = \frac{A \text{ квт час}}{G_p \text{ кг}}$$

Выполнение работы

Перед началом работы необходимо ознакомиться с правилами техники безопасности при дуговой электросварке.

Работа выполняется в следующей последовательности:

- 1) практическое ознакомление с процессом возбуждения дуги и наложения валика на пластину;
- 2) сварка образца встык;
- 3) оценка качества сварного шва.

Пользуясь табл. 1, выбираем режим сварки образцов встык. Соответствующей регулировкой устанавливаем необходимую силу сварочного тока; полярность при сварке на постоянном токе устанавливается в соответствии с маркой электрода. По приборам определяем напряжение и ток холостого хода сварочной установки.

Образцы закрепляются в приспособлении с равномерным по всей длине зазором между кромками (табл. 1).

Таблица 1

Режим сварки стыковых швов без скоса кромок

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Тип шва	Зазор между кромками, мм	Величина сварочного тока, а		
				нижнее положение	вертикальное положение	горизонтальное положение
1,5	2,0	Односторонний	0—1	30—50	—	—
2,0	2,5	»	0—1	45—70	—	—
3—4	4	»	1—2	160—200	140—180	130—170
5—6	4	Двусторонний	1—2	200—240	180—220	160—200
7—8	5	»	1—2	240—300	230—250	170—210

Замеряется длина электрода до сварки и после сварки образца. Напряжение на дуге и сила сварочного тока определяются по приборам при устойчивом горении дуги.

После сварки поверхность шва очищают от шлака и брызг. Наружным осмотром выявляются дефекты шва — неравномер-

ность высоты усиления и ширины шва, грубую чешуйчатость, непровар, прожоги, трещины, наплавы, подрезы и др. Замеряются геометрические размеры шва; полученные размеры (высоту усиления и ширину) сравнивают с нормативными (табл. 2).

Таблица 2

Нормативы на размеры стыкового одностороннего шва без скоса кромок (рис. 2, а)

Толщина металла, мм	Ширина шва, мм	Высота усиления, мм	Площадь поперечного сечения наплавленного металла F, мм ²
2	9	1,5	11
3	9	1,5	15
4	10	2,0	22

Производят технологическую пробу сваренного образца; образец устанавливается в приспособление на гидропрессе и испытывается на загиб.

Рассчитывается расход электродной проволоки на образец G_p и на погонный метр шва G_p^H , расход электродов на погонный метр $G_э^H$, расход электроэнергии на образец A и на килограмм наплавленного металла a ; полученные величины сравнивают с нормативными данными при сварке встык.

В среднем, при ручной сварке на постоянном токе на односторонних сварочных установках:

$$a = 6 \div 8 \frac{\text{кВтч.}}{\text{кг}}$$

при сварке на переменном токе на сварочных трансформаторах:

$$a = 3 \div 4 \frac{\text{кВтч.}}{\text{кг}}$$

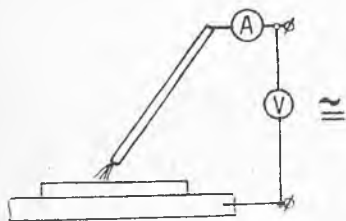
Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Эскизы сварного шва и его поперечного сечения, схему испытания образца на загиб, описание дефектов сварного шва.
2. Перечень оборудования, приборов, приспособлений.
3. Протоколы измерений и расчетов.
4. Сравнение полученных результатов с нормативными данными.

Лабораторная работа № 4

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Ручная дуговая электрическая сварка металлическим электродом	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки



Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Источник питания дуги (постоянного и переменного тока).
2. Распределительный щит сварочного поста с измерительными приборами.
3. Приспособление для закрепления образца.
4. Гидравлический пресс с приспособлением для загиба образца.

Краткие выводы по частям работы

Протокол № 1

Свариваем. материал		Сварной шов				Электрод						
Марка	Толщ., мм	Тип шва	δ_1 , мм	h_1 , мм	$F_{\text{н}}$, мм ²	L , мм	Марка	Род тока и полярность	$d_{\text{э}}$, мм	K	$\alpha_{\text{р}}$, град/час	ϕ

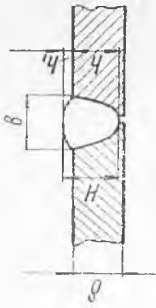
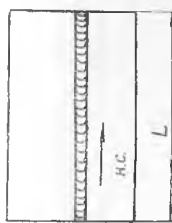


Схема испытания образца



Протокол № 2

Замеяемые величины		Расчетные данные					Нормативные данные						
$U_{\text{кх}}$, в	$I_{\text{кх}}$, а	$U_{\text{д}}$, в	$I_{\text{д}}$, мм	l_2 , мм	$G_{\text{р}}$, кг	$T_{\text{пн}}$, час	$T_{\text{св}}$, час	P_0 , кВт	A , кВт/час	a , калч/кг	$G_{\text{э}}^{\text{н}}$	$G_{\text{э}}$, кг	a , калч/кг

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗОНЫ ПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОСВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Целью работы является практическая проверка инженерных методов расчета режимов автоматической электросварки под флюсом, обеспечивающих заданные размеры шва и сплошность сварного соединения.

Задание

1. Произвести расчет формы и размеров зоны проплавления и наплавки.
2. Сварить образцы на выбранном режиме и определить макроанализом фактические форму и размеры шва.
3. Сопоставить расчетные и фактические данные, оформить отчёт по работе.

Автоматическая сварка под флюсом — высокопроизводительный процесс, обеспечивающий получение доброкачественных сварных соединений сталей, алюминиевых и титановых сплавов.

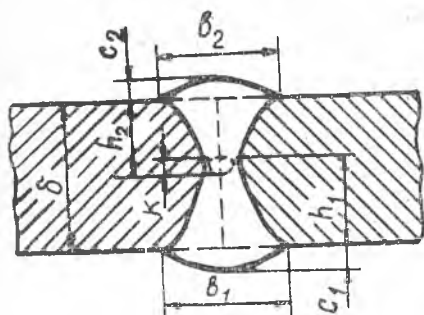


Рис. 1. Геометрические элементы шва

Обычно режим сварки назначается производственными инструкциями, исходя из заданной толщины материала и вида соединения. При сварке ответственных изделий требуется определить форму и размеры швов — глубину проплавления h_m , ширину шва b и высоту валика c , зависящих от параметров режима (рис. 1).

Влияние отдельных составляющих режима сварки под флюсом на размеры швов видно из табл. 1.

Влияние отдельных составляющих режима сварки на размеры и форму сечения швов

Характеристика шва	Изменение характеристик шва при увеличении									
	Сварочного тока	Диаметра электрода	Напряжения дуги, в		Скорости сварки, м/час		Угла наклона электрода	Угла наклона изделия		Размеров зерен (различия)
			от 26—28 до 32—34	от 31—36 до 50—60	от 15—20 до 40	от 20 до 40 до 100		сварка на спуск	подъем	
Глубина провара	Интенсивно увеличивается	Уменьшается	Увеличивается	Уменьшается	Немного увеличивается	Остается неизменной	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается	Немного уменьшается
Ширина шва	Немного увеличивается	Увеличивается	Увеличивается	Уменьшается	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается	Уменьшается	Уменьшается	Немного увеличивается
Высота валика	Интенсивно увеличивается	Уменьшается	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается, но очень значительно	—	Уменьшается	Увеличивается	Уменьшается	Немного уменьшается
Кэфф.ц. формы провара	Интенсивно уменьшается	Увеличивается	Увеличивается	Уменьшается	Немного уменьшается	—	Интенс. увеличивается	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается
Кэфф.ц. формы валика	То же	То же	То же	Уменьшается	Уменьшается	—	То же	То же	То же	То же
Доля ос. нового металла в металле шва	Интенсивно увеличивается	Немного увеличивается	Остается неизменной	Увеличивается	Увеличивается	—	Уменьшается	Немного увеличивается	Немного увеличивается	Немного уменьшается

Примечание: При прочих равных условиях швы, сваренные под пемзвидным флюсом, имеют меньшую глубину и большую ширину провара, чем швы, сваренные под стекловидным флюсом.

Воспользуемся для определения формы и размеров швов инженерными методами расчета [1].

Расчет формы и глубины зоны проплавления

Очертание зоны проплавления приближенно описывается кривой нормального распределения:

$$h_y = h_m \cdot e^{-ky^2}, \quad (1)$$

где h_y — глубина проплавления в любом месте сечения шва, *см*;
 h_m — максимальное значение глубины проплавления, *см*;
 k — коэффициент, характеризующий форму кривой нормального распределения (коэффициент остроты зоны проплавления), *см⁻²*.

Значение коэффициента k приведены в табл. 2.

Площадь зоны проплавления при этом определится так:

$$F_{\text{пр. расч.}} = 2 \int_0^{\infty} h_m \cdot e^{-ky^2} \cdot dy = h_m \cdot \sqrt{\frac{\pi}{k}}. \quad (2)$$

Максимальное проплавление определим из соответствия:

$$h_m \cdot \text{расч.} = F_{\text{пр. расч.}} \cdot \sqrt{\frac{k}{\pi}}. \quad (3)$$

Площадь зоны проплавления можно определить, зная режим сварки.

$$F_{\text{пр. расч.}} = \frac{q_m}{v_{\text{св}} \cdot \gamma \cdot S_{\text{пл}}}, \quad (4)$$

где q_m — тепловая мощность дуги, расходуемая на плавление основного материала, *кал/сек*;

$v_{\text{св}}$ — скорость сварки, *см/сек*;

γ — плотность материала, *г/см³*;

$S_{\text{пл}}$ — теплосодержание единицы массы расплавленного материала при температуре плавления, включая скрытую теплоту плавления, *кал/г*.

Подставив в формулу (4) соответствующие значения параметров режима сварки и приняв для малоуглеродистой стали $S_{\text{пл}} = 325$ *кал/сек*, $\gamma = 7,8$ *г/см³*, получаем:

$$F_{\text{пр. расч.}} = \eta_{\text{пр.}} \cdot \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}}}{10500 \cdot v_{\text{св}}}, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{пр.}}$ — полный тепловой коэффициент полезного действия дуги; зависит от величины сварочного тока и для практически применяемых режимов сварки изменяется в пределах 0,12 — 0,3.

Значение коэффициента остроты k зоны проплавления при различных режимах сварки

$J_{св}, \alpha$	$r_{св},$ $м/ч$	Коэффициент k , с.м-2															
		$d_{э.л}=3 \text{ м.м.}$				$d_{э.л}=4 \text{ м.м.}$				$d_{э.л}=5 \text{ м.м.}$				$d_{э.л}=6 \text{ м.м.}$			
		$U_{д,в}$				$U_{д,в}$				$U_{д,в}$				$U_{д,в}$			
		32	36	40	41	32	36	40	44	32	36	40	44	32	36	40	44
400	15	3,3	3,0	2,6	2,3	2,6	2,3	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	
	30	4,7	4,3	3,8	3,5	3,0	2,6	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—	
	45	6,2	5,7	5,3	4,8	4,2	3,8	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	
	60	7,9	7,4	6,8	6,3	5,5	5,0	4,2	—	—	—	—	—	—	—	—	
500	15	3,9	3,4	2,8	2,4	2,7	2,4	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	
	30	5,4	4,8	4,1	3,6	3,4	3,1	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	
	45	7,2	6,4	5,5	5,0	4,4	4,0	3,1	—	—	—	—	—	—	—	—	
	60	8,7	8,1	7,1	6,5	5,7	5,3	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	
600	15	4,8	3,9	3,0	2,5	2,9	2,5	1,9	2,4	2,2	1,9	1,5	—	—	—	—	
	30	6,6	5,5	4,5	3,8	3,8	3,3	2,8	3,0	2,8	2,4	2,0	—	—	—	—	
	45	8,4	7,3	6,3	5,4	4,8	4,2	3,7	3,9	3,6	3,1	2,7	—	—	—	—	
	60	9,9	9,4	8,0	7,0	6,2	5,5	5,0	4,8	4,5	4,0	3,6	—	—	—	—	
700	15	—	—	—	—	3,4	2,8	2,4	2,6	2,3	2,0	1,6	2,3	2,1	1,7	1,4	
	30	—	—	—	—	4,3	3,6	3,1	3,3	2,9	2,5	2,1	2,9	2,6	2,2	1,7	
	45	—	—	—	—	5,4	4,6	4,1	4,4	3,6	3,2	2,8	3,8	3,4	2,9	2,3	
	60	—	—	—	—	6,8	6,0	5,4	5,1	4,6	4,1	3,7	4,9	4,5	3,9	3,1	

		32	36	40	41	32	36	40	44	32	36	40	44
800	15	—	—	—	—	4,1	3,2	2,7	2,2	2,8	2,4	2,1	1,7
	30	—	—	—	—	5,1	4,0	3,4	2,9	3,4	3,0	2,6	2,2
	45	—	—	—	—	6,3	5,1	4,2	3,8	4,3	3,8	3,3	2,9
	60	—	—	—	—	8,0	6,7	5,7	5,0	5,2	4,8	4,2	3,9
900	15	—	—	—	—	4,7	3,7	3,0	2,5	3,2	2,6	2,2	1,8
	30	—	—	—	—	5,8	4,6	3,8	3,3	3,9	3,3	2,8	2,3
	45	—	—	—	—	7,2	5,8	4,9	4,3	4,8	4,1	3,5	3,0
	60	—	—	—	—	9,0	7,7	6,4	5,6	5,8	5,0	4,4	4,0
1100	15	—	—	—	—	—	—	—	—	3,6	3,0	2,5	1,9
	30	—	—	—	—	—	—	—	—	4,2	3,6	3,0	2,5
	45	—	—	—	—	—	—	—	—	5,1	4,5	3,8	3,2
	60	—	—	—	—	—	—	—	—	6,1	5,5	4,8	4,1
1200	15	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	3,4	2,8	2,3
	30	—	—	—	—	—	—	—	—	4,8	4,1	3,4	2,8
	45	—	—	—	—	—	—	—	—	5,8	5,0	4,3	3,5
	60	—	—	—	—	—	—	—	—	6,8	6,0	5,2	4,4
1200	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1200	15	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	3,1	2,5	2,2
	30	—	—	—	—	—	—	—	—	4,8	3,8	3,1	2,5
	45	—	—	—	—	—	—	—	—	6,1	4,8	4,0	3,2
	60	—	—	—	—	—	—	—	—	7,4	6,0	5,0	4,2

Ширина зоны проплавления — ширина шва

Ширина зоны проплавления теоретически равна бесконечности (при $h_y=0$). Практически за ширину шва можно принять участок, ограниченный глубиной проплавления, равной 0,03 см.

Учитывая это, по формуле (1) определим ширину зоны проплавления:

$$h_y = h_m \cdot e^{-ky^2} = 0,03,$$

откуда

$$b_{расч} = 2 \sqrt{\frac{\ln h_m + 3,5}{k}}, \text{ см.} \quad (6)$$

Расчет формы и размеров зоны наплавки.

Площадь наплавки определяется:

$$F_{н расч} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{100 \gamma \cdot v_{св}} \text{ см}^2, \quad (7)$$

где α_n — коэффициент наплавки электродной проволоки, г/а. ч;

$v_{св}$ — скорость сварки, м/ч.

Коэффициент наплавки зависит от сварочного тока, напряжения на дуге, диаметра проволоки. Значения α_n для некоторых режимов сварки приведены на рис. 2.

Высота валика C определяется из формулы:

$$C_{расч} = \frac{F_{н расч.}}{\mu_v \cdot b_{расч.}} \text{ см}, \quad (8)$$

где μ_v — коэффициент полноты валика;

$b_{расч.}$ — ширина валика по формуле (6).

Для широкого диапазона режимов сварки, обеспечивающих хорошее формирование шва, $\mu_v = 0,73$, тогда

$$C_{расч} = \frac{F_{н расч.}}{0,73 \cdot b_{расч.}} \quad (9)$$

Фактические форма и размеры зоны плавления определяются по макрошлифам и сопоставляются с расчетными.

Указания по выполнению работы

1. Изучить устройство автомата АДС-1000 и трансформатора ТСД-1000, правила безопасной работы на них и порядок настройки

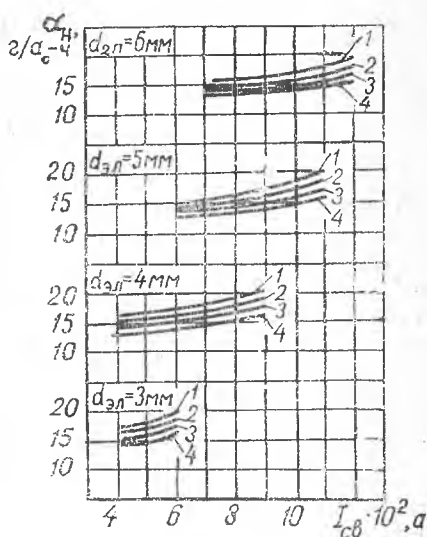


Рис. 2. Зависимость коэффициента наплавки α_n от параметров режима сварки.

1 — $U_d = 32$ в; 2 — $U_d = 36$ в; 3 — $U_d = 40$ в; 4 — $U_d = 44$ в; флюс ОСЦ—45.

Таблица 3 [2]

Типичные режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов на флюсовой подушке без разделки кромок с обязательным зазором

Толщина, мм	Зазор, мм	Тип шва	Диаметр электродной проволоки, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в		Скорость сварки, м/ч
					переменный ток	постоянный ток*	
3	0—1,5	Односторонний	2	275—300	28—30	26—28	48—50
5	0—2	»	2	400—425	28—30	26—28	38—40
			4	575—625	28—30	26—28	48—50
8	2—4	»	5	675—725	32—36	26—28	30—35
8	2—4	Двусторонний	5	650—700	34—38	30—32	35—37
			4	625—675	34—38	30—32	35—37
10	2—4	Односторонний	5	700—750	34—38	30—32	28—30
10	1—3	Двусторонний	4	625—675	34—38	30—32	32—34
			5	650—700	34—38	30—32	32—34
12	4—5	Односторонний	5	750—800	36—40	30—34	25—27
12	2—4	Двусторонний	5	675—725	36—40	30—34	30—33
			4	650—700	36—40	30—34	30—33
14	4—6	Односторонний	5	850—900	36—40	30—34	25—27
14	2—4	Двусторонний	5	700—750	36—40	30—34	28—30
			4	675—725	36—40	30—34	28—30
16	5—7	Односторонний	5	900—950	38—42	30—34	20—22
16	2—4	Двусторонний	5	725—775	36—40	30—34	27—29
			4	700—750	36—40	30—34	27—29
20	5—7	Односторонний	5	950—1000	40—44	32—36	18—20
20	2—4	Двусторонний	5	775—825	38—42	32—36	22—24
			4	750—800	38—42	32—36	22—24
30	6—8	»	5	950—1000	40—44	—	16—18
40	8—10	»	5	1100—1200	40—44	—	12—14
50	10—12	»	5	1200—1300	44—48	—	10—12

* Обратная полярность

на заданный технологический режим сварки. Отчитаться перед преподавателем по этим вопросам, проверить готовность установок к работе.

2. Выбрать режим сварки встык или наплавки валикового шва материала заданной толщины, пользуясь табличными данными (табл. 3).

3. С разрешения лаборанта произвести сварку образцов на выбранном режиме.

4. Сварить образцы на скорости большей и меньшей табличной.

5. После полного остывания образцов очистить их от шлака и изготовить макрошлифы поперечного сечения швов. Резку пластин рекомендуется производить пропан-кислородным пламенем на автомате АСШ-2.

При резке пластины и изготовлении макрошлифов необходимо знать и строго соблюдать правила техники безопасности.

6. Занести в протокол режимы сварки (показания приборов), размеры швов.

7. Выполнить расчет размеров швов для табличного режима.

8. Убрать рабочее место и сдать его лаборанту.

Содержание отчета

1. Дать упрощенную схему установки для дуговой электро-сварки под флюсом с указанием основных ее элементов.

2. Дать эскизы поперечного сечения швов, сваренных на различных режимах, с указанием основных размеров швов.

3. Построить графики зависимости размеров швов от скорости сварки.

4. Сопоставить расчетные и опытные данные размеров шва, выполненного на табличном режиме.

ПРИЛОЖЕНИЯ

В приложениях даны технические характеристики автоматов и сварочного трансформатора: в приложении 1 краткое описание автоматов и принципа их работы, а в приложении 2 — основные правила техники безопасности.

Сварочные тракторы [2]

Характеристика	Тип трактора	
	ТС-17 МУ, ТС-17 М	АДС-1000-2
Назначение	Универсальные сварочные тракторы	Универсальные сварочные тракторы
Способ защиты зоны сварки	Флюс	Флюс
Ток, <i>a</i>	200—1200	400—1200
Диаметр электродной проволоки, <i>мм</i>	1,6—5	3—6
Скорость подачи электродной проволоки, <i>м/ч</i>	50,4—40,2	30—120
Настройка скорости подачи электродной проволоки	Сменными шестернями	Изменением числа оборотов двигателя (автом.)
Скорость сварки, <i>м/ч</i>	16—126	10—70
Настройка скорости сварки	Сменными шестернями	Изменением числа оборотов двигателя
Род тока	Переменный или постоянный	Переменный или постоянный
Система подачи электрода	Постоянная скорость подачи	Регулируемая скорость подачи
Характер связи подачи электрода с движением дуги	Общий двигатель для механизмов подачи и движения	Имеет свой отдельный двигатель
Габариты трактора, <i>мм</i>		
длина	740	1010
ширина	350	350
высота	520	660
Вес, <i>кг</i>	42	65

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 2 [2]

Техническая характеристика трансформатора ТСД-1000-3

Характеристика	Тип трансформатора
	ТСД-1000-3
Исполнение	Однокорпусное
Система построения трансформатора	С нормальным рассеянием в комбинации с реактивной обмоткой
Номинальный ток, <i>a</i>	1000
Номинальный режим работы ПВ, %	60
Способ сварки	Автоматическая и полуавтоматическая с дистанционным управлением
Первичное напряжение, <i>в</i>	220/380 или 500
Вторичное напряжение, <i>в</i> (при номинальном токе)	42
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	71 и 78

Пределы регулирования тока, <i>a</i>	100—1200
Номинальная мощность, <i>квa</i>	76
К.п.д.	0,90
Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,62
Габаритные размеры, <i>мм</i> :	
длина	950
ширина	818
высота	1215
вес, <i>кг</i>	540

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ АВТОМАТА АДС-1000-2

Универсальный сварочный автомат АДС-1000-2 предназначен для сварки под флюсом стыковых и угловых швов проволокой диаметром 3—6 мм.

Автомат состоит из самоходной тележки (трактора) со стойкой и коромыслом, сварочной головки, бункера для флюса, пульта и шкафа управления (рис. 4).

Сварочная головка состоит из электродвигателя постоянного тока, редуктора, ведущего и прижимного роликов, правильных роликов и токоподвода. Токоподвод может подниматься и опускаться, регулируя вылет электродной проволоки.

Бункер для флюса крепится в сварочной головке: для отсева шлаковых корок он снабжен сеткой. Внизу под бункером имеется воронка для круговой подачи флюса и заслонка с маховичком.

Пульт управления и кассета укреплены на коромысле. На пульте расположены амперметр, вольтметр, потенциометры для плавного регулирования подачи проволоки и скорости движения трактора и кнопки управления «Электрод: вверх и вниз», «Сварка: пуск и стоп», «Ток: больше и меньше», а также переключатели: «Тележка: влево и вправо» и «Холостой ход — сварка».

Трактор соединяется со шкафом управления кабелем через штепсельные разъемы.

Сварочная головка с бункером крепится к коромыслу на шарнире, фиксируемом зубчатыми полумуфтами. Такое крепление позволяет устанавливать головку для сварки «углом вперед» и «углом назад». Головка с коромыслом может поворачиваться вокруг горизонтальной оси и вокруг оси стойки на 90° в обе стороны. Это позволяет наклонять электрод вдоль и поперек шва. Кроме того, возможен подъем токоподвода до 80 мм и смещение вертикальной стойки перпендикулярно шву на 60 мм.

Тележка трактора на четырех обрешиненных колесах через червячный редуктор приводится в движение двигателем и зубчатой муфтой.

Сцепление и расцепление задних ведущих колес с приводом производится рукояткой, разводящей зубчатые полумуфты. Скорость движения трактора регулируется в пределах 10—70 м/час.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СХЕМА АВТОМАТА

Электрическое оборудование автомата расположено на тракторе и в шкафу управления (рис. 3).

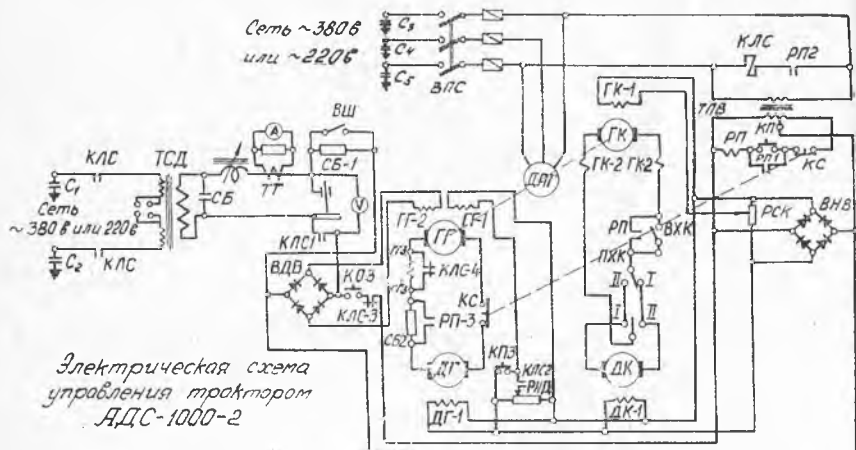


Рис. 3. Электрическая схема управления трактором АДС-1000-2

На тракторе установлены: двигатель головки ДГ, двигатель каретки ДК, амперметр А и вольтметр V, потенциометры для регулирования напряжения дуги РНД и скорости движения трактора РСК, кнопки: КОЭ — опускания электрода и КПЭ — подъем электрода, КП — пуск и КС — стоп, переключатели «холостой ход-сварка» и «тележка влево-вправо» ПНК.

Для дистанционного регулирования тока при питании автомата от трансформатора ТСД-1000 на пульте имеются две кнопки «ток больше» и «ток меньше».

Шкаф управления и его аппаратура выполняются на напряжение 220—380 в.

В шкафу установлены асинхронный двигатель ДАГ с двумя генераторами постоянного тока ГГ и ГК для питания соответственно двигателей головки ДГ и каретки ДК, силовой контактор КЛС, промежуточное реле РП, понижающий трансформатор ТПВ для питания обмоток возбуждения и цепей управления, селеновые выпрямители ВНВ и ВДВ, балластные сопротивления СБ-1, СБ-2 и трансформатор тока ТТ.

Сварочная головка автомата работает по принципу автоматически регулируемой подачи проволоки в зависимости от напряжения дуги.

Генератор ГГ, питающий якорь двигателя головки ДГ, подающего электродную проволоку, снабжен двумя основными обмотками возбуждения: независимой ТГ-1, питаемой напряжением сети

через выпрямитель *ВНВ*, и встречной *ГГ-2*, питаемой через выпрямитель *ВДВ* от напряжения дуги.

Направление и скорость вращения двигателя головки *ДГ*, а следовательно, направление и скорость подачи электродной проволоки зависят от соотношения ампервитков обмоток *ГГ-1* и *ГГ-2* генератора; при равенстве ампервитков этих обмоток двигатель неподвижен; если преобладают ампервитки обмотки *ГГ-1* — двигатель отводит проволоку от изделия; при преобладании ампервитков обмотки *ГГ-2* электрод подается к изделию.

При всяком изменении длины дуги изменяется скорость подачи проволоки. Например, если длина дуги уменьшилась, то напряжение в обмотке *ГГ-2* также уменьшится. Это вызовет уменьшение напряжения генератора *ГГ* и скорости вращения двигателя *ДГ*; скорость подачи проволоки уменьшится и длина дуги восстановится. Таким образом, напряжение дуги поддерживается постоянным.

Требуемое напряжение устанавливается потенциометром *РНД*, включенным в обмотку *ГГ-1*. Уменьшение напряжения в обмотке *ГГ-1* вызывает уменьшение длины дуги и наоборот. При включении сварочного тока проволока накоротко замкнута на изделие, поэтому в обмотке *ГГ-2* тока не будет: возбуждение генератора *ГГ* создается обмоткой *ГГ-1* и проволока будет подаваться вверх, произойдет зажигание дуги. С появлением напряжения на дуге в действие вступит обмотка *ГГ-2*, генератор *ГГ* поменяет полярность, двигатель *ДГ* изменит направление вращения и проволока начнет подаваться вниз.

Генератор двигателя каретки *ГК* имеет две обмотки возбуждения — последовательную *ГК-2* и независимую *ГК-1*, питаемую от трансформатора *ТПВ* через выпрямитель *ВНВ*, и потенциометр *РСК* регулирования скорости сварки. Изменение направления движения каретки осуществляется переключателем *ПНК*.

Выключатель *ВХК* служит для перемещения трактора вхолостую.

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

1. Подготовка автомата к работе

Пакетным выключателем *ВПС* шкаф управления подключается к трехфазной цепи, при этом начинают вращаться двигатель *ДАГ* и генераторы *ГГ* и *ГК*.

Потенциометрами *РНД* и *РСК* устанавливается нужное напряжение дуги и скорость сварки. Устанавливается сила тока источника питания и направление движения трактора (переключателем *ПНК*).

Трактор вручную подкатывается к началу шва. Кнопками *КОЭ* и *КПЭ* электрод доводится до легкого соприкосновения с

изделием, затем открывается подача флюса и колеса каретки соединяются с приводом.

2. Пуск автомата

При нажатии на кнопку *КП* срабатывает реле *РП*, замыкает цепь линейного контактора *КЛС* и шунтирует кнопку *КП*. Контактор *КЛС* включает своими силовыми контактами сварочную цепь; контакт *РП-3* шунтирует сопротивление *СБ-2*; контактом *КЛС-1* подключается обмотка *ГГ-2* на зажимы дуги, а контактом *КЛС-2* обмотка *ГГ-1*; замыкается цепь якоря двигателя каретки (контакты *РП*), размыкается (контакт *КЛС-3*) переключатель между выпрямителями *ВДВ* и трансформатором *ТПВ* для отключения кнопки *КОЭ* на время сварки. При этом электродная проволока начнет отрываться от изделия, после зажигания дуги произойдет реверс двигателя головки и проволока начнет подаваться к изделию.

Одновременно начнется движение тележки трактора.

3. Сварка

В процессе сварки головка трактора подает проволоку со скоростью, зависящей от разности заданного настройкой напряжения и напряжения на дуге. Каретка с заданной скоростью сварки движется вдоль шва.

4. Выключение автомата

При первом нажатии кнопки *КС* останавливается двигатель головки *ДГ*, подача проволоки прекращается и дуга горит до естественного обрыва, происходит заварка кратера. При втором нажатии кнопки *КС* разрывается цепь питания реле *РП*, выключается контактор *КЛС* и схема возвращается в первоначальное положение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

При автоматической сварке под флюсом электрические цепи значительно сложнее и напряжение их выше, чем при ручной сварке, поэтому требуется более тщательный уход за ними.

1. К работе на установке студенты допускаются только после усвоения общих правил техники безопасности при электросварочных работах.

2. Провода управления сварочным автоматом должны иметь хорошую изоляцию. Подвижные гибкие провода должны быть за-

включены в резиновые шланги и предохранены от механических повреждений.

3. Конец вторичной обмотки сварочного трансформатора, идущий к свариваемому изделию, а также металлические части установки, которые являются токоведущими частями, должны быть заземлены, чтобы в аварийных случаях не могли оказаться под высоким напряжением.

4. Категорически запрещается пользоваться заземленным корпусом одной установки для заземления другой; заземляющий провод от каждого аппарата необходимо присоединять параллельно к общему заземлению.

5. Категорически запрещается использовать контур заземления как обратный сварочный провод.

6. Нормальный ток плавких предохранителей не должен превышать указанного в схеме.

7. Устройство для включения должно быть защищено кожухом от случайных прикосновений.

8. Рабочее место освещается так, чтобы ясно были видны образцы и все части автомата, за которыми необходимо наблюдать при эксплуатации установки.

9. Контактные соединения должны быть надежными, а подвижные контакты, рубильники, переключатели — чистыми, без следов подгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. О. Ожерблом, В. П. Демянцевич, И. П. Байкова. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций. Судпромгиз, Ленинград, 1963.

2. Технология электрической сварки плавлением. Под редакцией академика Б. Е. Патона, Машгиз, 1962

Лабораторная работа № 5

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование формы и размеров зоны плавления при дуговой электросварке под флюсом	Лаборатория сварки
дата выполнения	группа	фамилия студента	Подпись студента
работы			

Схема установки

Перечень применяемых приборов, оборудования и материалов

1. Автомат АДС-1000-2.
2. Сварочный трансформатор ТСД-1000-1000 м.м².
3. Линейка металлическая.
4. Штангенциркуль.
5. Секундомер.
6. Рабочее место для изготовления макрошлифов.
7. Проволока 4 Св-08 или Св-08А по ГОСТу 2246-60.
8. Пластины стали 10 или 20 по ГОСТу 1050-60 размером 200×100 толщиной 10—16 м.м.
9. Флюс сварочный АН348А или ОСЦ-45.

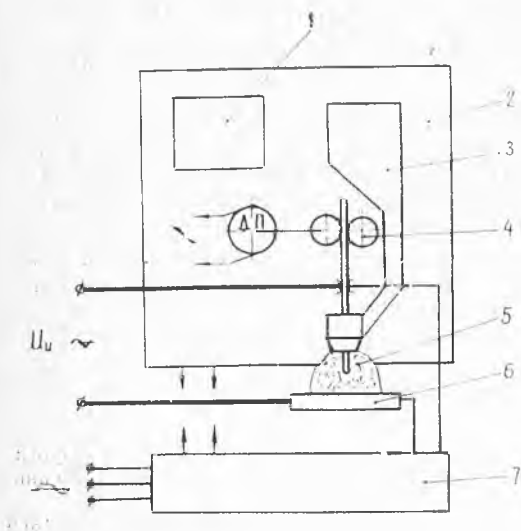


Рис. 4:

- 1 — пульт управления; 2 — самоходная тележка;
 3 — бункер для флюса; 4 — сварочная головка;
 5 — флюс; 6 — свариваемое изделие; 7 — шкаф управления.

Краткие выводы по частям работы.

Результаты наблюдений и вычислений

Режим сварки				Расчетные данные							Факт. размеры шва							
δ , мм	ϵ , мм	$I_{св}$, а	$U_{д}$, в	$V_{св}$, м/ч	$V_{пол}$, м/ч	ϵ , мм	Угол наклона электрода	$I_{э}$, м/м ²	$I_{пр}$, см ²	K_1 , см ⁻²	h_m , см	$l_{шм}$	θ_1 , см	$\alpha_{ш}$, г/а ⁴	$R_{ш}$, см ²	$R_{пр}$, см ²	$R_{ш}$, см ²	$G_{ш}$, см

Примечание. Скорость сварки ($V_{св}$) и скорость подачи электродной проволоки ($V_{пол}$) в м/ч определяются расчетом, измерив перемещение трактора и расход проволоки в сантиметрах за 36 сек. Измерение расхода проволоки производить только после выключения сварочного трансформатора, повернув сварочную головку так, чтобы проволока при выходе из мундштука не касалась пластины и стола. Соблюдать осторожность, помнить, что проволока находится под напряжением холостого хода трансформатора.

Работа зачтена

19 ____ г. Подпись преподавателя _____

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ
В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ**

Целью работы является ознакомление с оборудованием для автоматической сварки плавящимся электродом в углекислом газе и процессом сварки.

Задание

Определить влияние силы тока, полярности, расхода углекислого газа и вылета электрода на производительность наплавки.

Сварка в углекислом газе является одним из видов сварки в защитной газовой среде и характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. В углекислом газе могут свариваться углеродистые и легированные стали. Сварка может производиться постоянным током прямой и обратной полярности и переменным током с осциллятором; в большинстве случаев сварку ведут постоянным током обратной полярности. Особенностью сварки в углекислом газе является применение электродных проволок с повышенным содержанием элементов-раскислителей (табл. 1), благодаря чему компенсируется их выгорание в зоне сварки. Основными раскислителями в проволоке, предназначенной для сварки углеродистых и низколегированных сталей, являются кремний и марганец.

Таблица 1

Сварочная проволока, рекомендуемая для сварки в углекислом газе

Марка проволоки	Назначение
Св-08ГС	Сварка углеродистых и низколегированных сталей токами до 300—400 а
Св-10ХГ2С	Сварка низколегированных сталей повышенной прочности
Св-18ХГСА	Сварка низколегированных сталей повышенной прочности
Св-08ХГСМФ	Сварка теплоустойчивых сталей

Производительность процесса сварки характеризуется количеством наплавленного электродного и расплавленного основного металла. Производительность наплавки оценивается коэффициентом наплавки α_n или косвенно коэффициентом расплавления α_p . Коэффициенты α_n и α_p определяются из следующих соотношений:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I \cdot \tau} \text{ г/а. час,}$$

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I \cdot \tau} \text{ г/а. час,}$$

где G_n и G_p — соответственно вес наплавленного и вес расплавленного электродного металла, г;

I — сварочный ток, а;

τ — время горения дуги, час.

Разность $\alpha_p - \alpha_n$ показывает потерю металла на разбрызгивание, удар и испарение. Коэффициент потерь находится по формуле:

$$\Psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} 100\% .$$

Количество проплавленного основного металла за 1 час горения дуги может быть определено по формуле

$$G_0 = F_0 \gamma_0 v_{св} \text{ г/час,}$$

где F_0 — площадь зоны проплавления основного металла, мм²;

γ_0 — удельный вес металла, г/см³;

$v_{св}$ — скорость сварки, м/час.

В данной работе определяется только производительность наплавки в зависимости от параметров режима сварки, основными из которых являются полярность и величина тока, диаметр электродной проволоки, напряжение дуги, скорость подачи проволоки, скорость сварки, расход углекислого газа. Кратко рассмотрим влияние величины тока, полярности, расхода газа и вылета электрода на производительность процесса.

Для каждого диаметра электродной проволоки существует диапазон токов, в котором обеспечивается устойчивость процесса сварки и удовлетворительное формирование шва. Рекомендуемые значения тока при сварке на обратной полярности приведены в табл. 2. С увеличением тока (плотности тока) коэффициенты расплавления и наплавки увеличиваются, увеличивается производительность сварки. При этом расход электроэнергии на 1 кг

Таблица 2

Рекомендуемые значения тока при сварке в углекислом газе на обратной полярности

Диаметр электродной проволоки, мм	Пределы сварочного тока, а	Пределы плотности тока, а/мм ²
0,8	50—130	100—260
1,0	70—180	90—230
1,2	100—240	89—210
1,6	150—400	71—199
2,0	200—550	64—175

наплавленного металла снижается, увеличивается глубина проплавления основного металла и уменьшается разбрызгивание.

Полярность при сварке постоянным током оказывает влияние на устойчивость дуги, глубину проплавления основного металла, химический состав металла шва и производительность наплавки. При сварке на прямой полярности отмечается меньшая устойчивость дуги, меньшая глубина проплавления металла, склонность к образованию пор и большая производительность наплавки.

Эффективность защиты зоны сварки от воздействия окружающей среды зависит как от расхода углекислого газа, так и от расстояния между изделием и соплом горелки. С увеличением расстояния при одном и том же расходе газа нарушается стабильность газовой защиты и воздух поступает в зону дуги.

Расход газа и расстояние между соплом и изделием влияют также на производительность наплавки. С увеличением расхода углекислого газа коэффициенты α_p и α_n снижаются, что связано по-видимому, с увеличением степени охлаждения столба дуги. Заметное изменение этих коэффициентов от расхода газа наблюдается при расходах от 0 до 2000 л/час; при дальнейшем увеличении расхода газа коэффициенты α_p и α_n практически не изменяются.

С изменением расстояния от изделия до сопла горелки изменяется вылет электродной проволоки, что сказывается на производительности наплавки. С увеличением вылета электродной проволоки коэффициенты расплавления и наплавки увеличиваются. Это объясняется тем, что проходящий через конец электродной проволоки ток увеличивает степень предварительного подогрева. В связи с этим сварку в углекислом газе целесообразно вести при максимально допустимом вылете электрода при таком расходе газа, который обеспечивал бы надежную защиту наплавленного металла.

Электрооборудование сварочного автомата АДСП

Принципиальная электрическая схема (рис. 1) обеспечивает дистанционное включение газа, сварочного тока, двигателей для перемещения каретки (в случае сварки прямолинейных швов) и подачи электродной проволоки. Все управление схемой производится при помощи кнопок и тумблеров, установленных на пульте управления. Электрооборудование размещено на автомате и в распределительном пульте (шкафе управления).

На автомате находятся: два электродвигателя (для перемещения каретки и подачи электродной проволоки); пульт управления, включающий в себя кнопки и тумблеры управления, переключатели для регулировки скорости сварки и скорости подачи проволоки, приборы контроля сварочного тока и напряжения, реле сопротивления и клеммник.

В шкафу управления расположены понижающий трансформатор, селеновые выпрямители, электромагнитный клапан, контактор

варочный, реле, клеммник и выключатель. Шкаф управления связан с автоматом с помощью разъемов кабелем с проводами управления, сварочным кабелем и шлангом, проводящим газ.

В комплект аппаратуры, питающей автомат, входят сварочный выпрямитель *ВС-300*, баллон с газом и редуктором, ротаметр.

Подготовка схемы к сварке. Перед сваркой автомат с помощью кнопок «каретка вправо» или «каретка влево» устанавливается в место начала сварки.

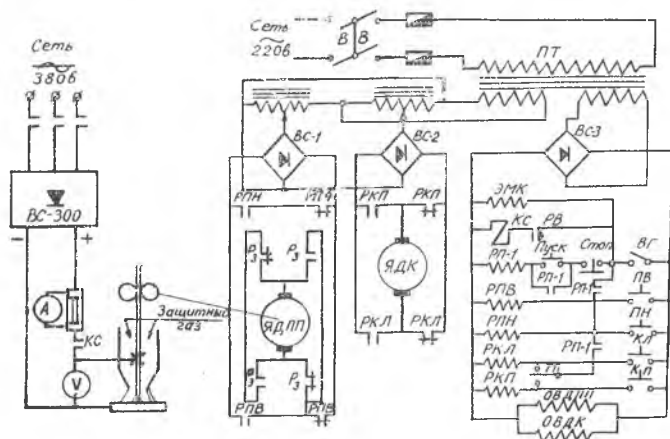


Рис. 1

Электродная проволока замыкается на изделие с помощью кнопки «Проволока вперед». С помощью тумблера *ВГ* включается подача газа.

Тумблером *ТП* задается нужное направление сварки. Ручки автотрансформатора и потенциометра устанавливаются в нужное положение. Автотрансформатором регулируется скорость подачи электродной проволоки, скорость передвижения каретки (скорость сварки). Включение всей схемы управления производится с помощью вводного выключателя *ВВ*.

Сварка. Нажимается кнопка «Пуск». Замыкается цепь катушки сварочного контактора *КС* и реле *РП*. Контактор срабатывает и замыкает сварочную цепь. Реле *РП* своими нормально разомкнутыми контактами замыкает цепь якоря двигателя подачи электродной проволоки *ЯДПП*, одновременно разрывая нормально замкнутые контакты, блокирует кнопки «Проволока назад» — *ПН* и «Проволока вперед» — *ПВ*.

Электрический ток, проходя через якорь *ЯДПП* в направлении, определяемом нормально замкнутыми контактами реле зажигания, создает вращение двигателя в направлении «проволока от изделия». При отрыве электрода от изделия возбуждается сварочная дуга, появляется напряжение в цепи катушки реле

зажигания РЗ. Срабатывая, РЗ размыкает нормально замкнутые и замыкает нормально разомкнутые контакты, в результате чего изменяется направление тока в обмотке якоря двигателя подачи проволоки ЯДПП и последний реверсирует в направлении «провода к изделию». Скорость подачи проволоки равна скорости ее плавления.

При нажатии кнопки «Пуск» срабатывает реле «каретка влево» или реле «каретка вправо» (что определяется положением тумблера ТП), разрывая свои нормально замкнутые и замыкая нормально разомкнутые контакты, создавая, таким образом, ток в обмотке якоря двигателя каретки ЯДК, определяющий вращение двигателя в направлении, заданном тумблером ТП.

Таким образом, при нажатии кнопки «Пуск» возбуждается сварочная дуга, начинается подача электродной проволоки и передвижение тележки автомата вдоль линии сварки. Контроль за режимом во время сварки осуществляется по амперметру А и вольтметру V.

Цепь управления питается от сети через понижающий трансформатор и селеновые выпрямители ВС-1, ВС-2 и ВС-3.

Окончание сварки. Нажимается кнопка «Стоп». Сначала разрывается цепь ЯДПП двигателя подачи электродной проволоки следовательно, прекращается подача проволоки в зону дуги. Однако горение сварочной дуги в это время продолжается, поэтому происходят заделки кратера в месте окончания сварки. При дальнейшем нажатии кнопки «Стоп» выключается контактор сварочного тока, промежуточное реле РП и реле «Тележка вправо» (или реле «Тележка влево»), т. е. процесс сварки прекращается полностью.

После окончания сварки выключается сварочный выпрямитель отключается цепь управления автомата.

Выполнение работы

Работа проводится в следующей последовательности.

1) Определяются коэффициенты α_p и α_n при двух значениях силы сварочного тока $I_{св}$ ($V_{св} = \text{const}$, $G_r = \text{const}$, $l = \text{const}$); необходимая величина тока устанавливается изменением скорости подачи электродной проволоки;

2) определяются коэффициенты α_p и α_n при двух значениях расхода углекислого газа G_r ($V_{св} = \text{const}$, $I_{св} = \text{const}$, $l = \text{const}$);

3) определяются коэффициенты α_p и α_n при различном вылете электрода l ($v_{св} = \text{const}$, $I_{св} = \text{const}$, $G_r = \text{const}$);

4) определяются коэффициенты α_p и α_n при сварке на прямой полярности при двух значениях $I_{св}$ ($v_{св}$, G_r , l , $I_{св}$ устанавливаются такими же, как в п. 1),

Эксперименты по п. 1—3 проводятся на обратной полярности

Техническая характеристика автоматов АДСП-1 и АДСП-2

Тип автоматов	Толщина сваряемого материала, мм		Род тока	Максимальный сварочный ток, а	Скорость сварки, м/час	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/час	Номинальное напряжение питающей сети, в	Расход охлаждающей воды, л/мин
	сталь	алюминиевый сплав							
АДСП-1	от 0,8 и более	от 1,5 и более	Постоянный обратный полярности	400	12—100	1—3	100—1000	220 и 380 с нулем	до 6
АДСП-2	»	»	»	»	10—80	»	100—800	»	»

Вес наплавленного металла определяется взвешиванием пластины до наплавки и после наплавки валика:

$$G_n = G_{\text{пл. н}} - G_{\text{пл. з.}}$$

После наплавки валика, перед взвешиванием, пластина должна быть очищена от брызг металла. Время наплавки валика измеряется электросекундомером или секундомером.

Вес расплавленного электродного металла:

$$G_p = \frac{\pi d^2}{4} \gamma v_{\text{пр}} \tau,$$

где d — диаметр электродной проволоки, *см*;

γ — $7,8 \text{ г/см}^3$ — удельный вес металла;

$v_{\text{пр}}$ — скорость подачи электродной проволоки (замеряется при проведении эксперимента), *см/мин*.

τ — время наплавки валика, *мин*.

Отчет о проделанной работе должен содержать:

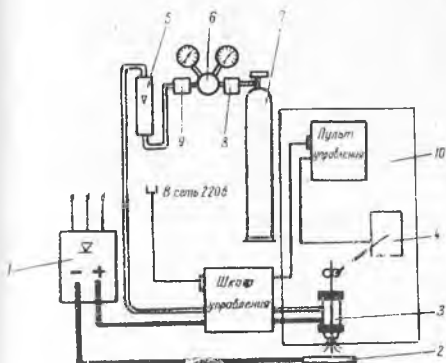
1. Монтажную схему внешних соединений автомата.
2. Протокол отчета.
3. Сравнение полученных данных с литературными.

Лабораторная работа № 6

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Влияние параметров режима на производительность процесса сварки в углекислом газе	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Монтажная схема внешних соединений автомата АДСП-1

Перечень применяемых приборов и оборудования



1. Автомат АДСП-1 (или АДСП-2)
2. Сварочный выпрямитель ВС-300
3. Весы лабораторные.
4. Электросекундомер (или секундомер).

Краткие выводы по частям работы.

Результаты наблюдений и вычислений

Режим сварки

I св, а	Полярность	U _н , в	V _{св} , м/час	l, мм	r, мм	V _{нр} , см/мин	Расход CO ₂	G _{нп} , г	G _{пш} , г	G _ш , г	G _д , г	t _{нп} , мин	α _р , г/а.час	α _н , г/а.час	φ

Работа зчитена _____ 19 _____ г. Подпись преподавателя _____

ИССЛЕДОВАНИЕ АРГОНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Целью настоящей работы является практическое ознакомление с аппаратурой, технологией механизированной аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов и исследование влияния отдельных параметров режима на геометрические размеры шва и прочность соединения.

Задание

1. Ознакомившись с технологическими особенностями аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся (вольфрамовым) электродом, исследовать влияние режимов сварки на геометрические размеры шва.
2. Провести сварку встык с последующим определением качества сварки визуальным осмотром и коэффициента прочности.
3. Составить отчет по выполненной работе.

Основным затруднением при сварке алюминия и его сплавов является необходимость удаления с поверхности свариваемых кромок плотной и тугоплавкой окисной пленки, образующейся на поверхности металла и препятствующей получению качественного сварного соединения.

При сварке в защитных газах окисная пленка удаляется своеобразным воздействием электрического тока в процессе горения дуги.

При сварке постоянным током обратной полярности на протяжении всего процесса горения дуги происходит очищающее действие тока, а при сварке переменным током только в те полупериоды, когда изделие является катодом. В течение другого полупериода, когда изделие является анодом, в сварочную ванну вводится основная часть тепловой энергии, расплавляющей основной металл.

Наиболее вероятный механизм действия электрического тока состоит в том, что движущиеся с большой скоростью положительные ионы бомбардируют поверхность сварочной ванны, разрушают пленку окиси и путем так называемого катодного распыления удаляют ее.

Действием тока может быть удалена сравнительно тонкая пленка окиси. Поэтому при подготовке образцов под сварку удаление толстой пленки окиси алюминия производят химическим путем в следующем порядке:

обезжириванием в органических растворителях (авиационный бензин, ацетон или др.);

травлением в 5%-ном растворе NaOH в течение 1 минуты при температуре раствора 60—65°C;

промывкой в проточной холодной воде;

осветлением в 30%-ном растворе HNO₃ в течение 2—5 минут;

промывкой в проточной холодной воде;

сушкой до полного испарения влаги.

Продолжительность хранения очищенного основного и присадочного материала допускается не более 5 суток.

При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом питание дуги осуществляется от источника переменного тока. Необходимость сварки переменным током вызвана тем, что при сварке постоянным током обратной полярности происходит расплавление вольфрамового электрода, а при сварке на прямой полярности не удаляется окисная пленка.

Вместе с тем известно, что при различном теплофизическом состоянии электродов кривая тока электрической дуги становится несимметричной, в результате чего возникает постоянная составляющая тока, отрицательно воздействующая на процесс сварки и качество сварных соединений. С увеличением составляющей постоянного тока нарушается стабильность процесса сварки; резко ухудшается чистота поверхности шва, появляются подрезы, чешуйчатость и другие дефекты; снижается прочность сварных соединений и пластичность металла шва.

Поэтому для устранения постоянной составляющей в сварочной цепи переменного тока и учета других особенностей сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов разработаны специальные схемы источников питания.

Описание установки

Работа проводится на автомате типа АДСВ с питанием сварочной дуги переменным током от источника УДАР-300. Основные элементы схемы установки (рис. 1) таковы.

1. Силовая часть источника питания состоит из трансформатора 1 и дросселя насыщения 2. Для повышения устойчивости горения дуги, что особенно важно при сварке на малых токах, дроссель насыщения выполнен таким образом, что сварочный ток имеет ускоренный переход через нуль. Обмотка управления дросселя

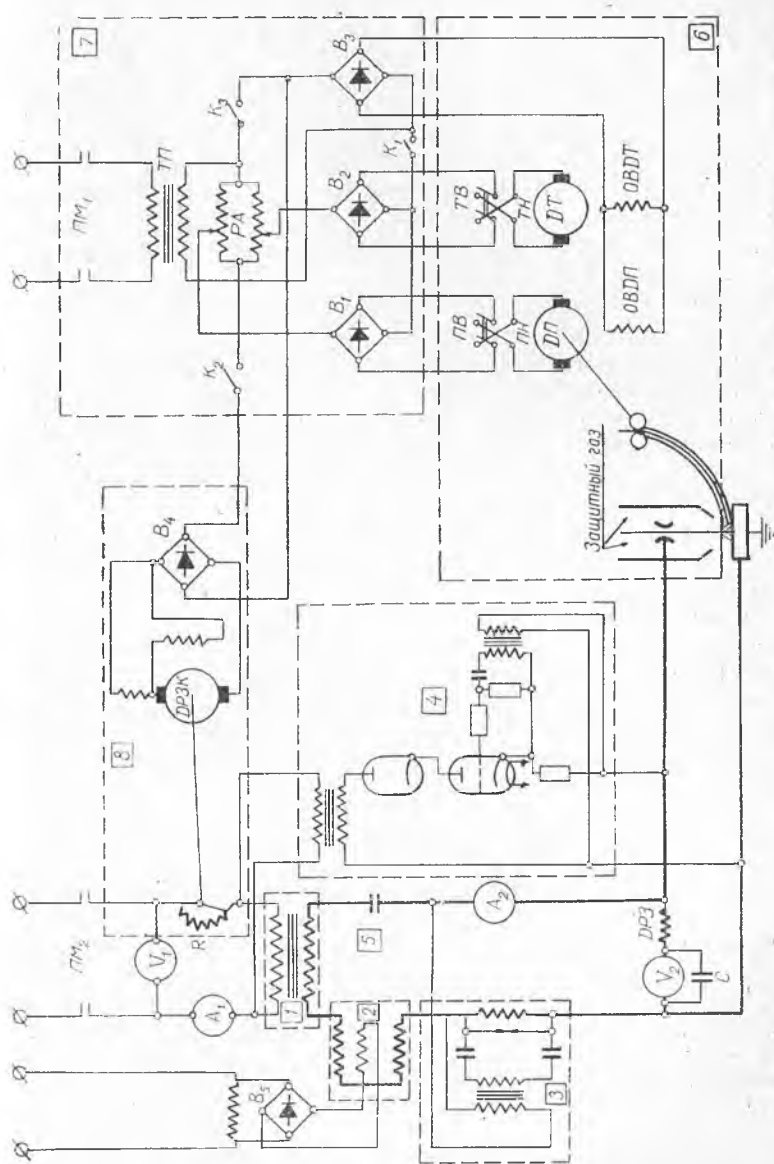


Рис. 1. Принципиальная схема установки для автоматической аргоно-дуговой сварки неуправляемым вольфрамовым электродом

питается через селеновый мостик и вариатор от сети переменного тока.

2. Осциллятор 3, который обеспечивает возбуждение дуги без прикосновения вольфрамового электрода к изделию, включен после дросселя насыщения. Таким образом, после возбуждения дуги и падения напряжения в дросселе под действием сварочного тока напряжение на зажимах повышающего трансформатора осциллятора уменьшается, и он оказывается практически отключенным. В результате, за исключением момента зажигания дуги, весь процесс сварки протекает при отключенном осцилляторе.

3. Стабилизатор горения дуги 4 представляет собой электронное устройство, подающее на дугу в начале каждого полупериода обратной полярности (минус на изделии) кратковременный импульс напряжения, обеспечивает повторное возбуждение дуги. Применение стабилизатора позволяет значительно снизить напряжение холостого хода источника питания.

Для надежной работы стабилизатора при понижении напряжения сети питание осуществляется через феррорезонансный стабилизатор напряжения. Синхронное управление работой осциллятора и стабилизатора обеспечивается соответствующим перераспределением напряжений на различных участках сварочной цепи при прохождении сварочного тока.

4. Батарея конденсаторов 5, включенная последовательно в сварочную цепь для компенсации постоянной составляющей сварочного тока.

Помимо элементов, показанных на принципиальной схеме, в установках УДАР предусмотрены устройства, обеспечивающие предварительную подачу аргона в зону дуги с регулируемой автоматической выдержкой времени от 0,15 до 3,8 сек до начала сварки и прекращением подачи через 0,5—10 сек после окончания сварки.

Технические данные установок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные	УДАР-300	УДАР-500
Первичное напряжение, <i>в</i>	380 или 220	380 или 220
Вторичное напряжение холостого хода, <i>в</i>	60—65	60—65
Номинальный сварочный ток при ПР-60%, <i>а</i>	300	500
Пределы регулирования тока, <i>а</i>	50—300	60—500
Диаметр электродов, <i>мм</i>	2—6	2—10
К. п. д., %	83	86
Коэффициент мощности	0,5	0,53
Номинальный первичный ток, <i>а</i>	60 или 105	79 или 135

Принципиальная электрическая схема автомата обеспечивает дистанционное включение аргона, сварочного тока, двигателей для маршевой скорости каретки (в случае сварки продольных швов) и подачи присадочной проволоки.

Все управление схемой производится при помощи кнопок и тумблеров, установленных на пульте управления.

Электрооборудование (схема, рис. 1) размещено на тракторе 6, в распределительном пульте 7 (шкафу управления) и шкафу с реостатом заварки кратера 8.

На сварочном тракторе находятся два электродвигателя (для перемещения каретки и подачи присадочной проволоки), пульт управления, включающий в себя кнопки и тумблеры управления, приборы сварочного тока и напряжения, клеммники.

В шкафу управления находятся понижающий трансформатор цепи управления, селеновые выпрямители, электромагнитный клапан включения газа, реле управления.

Шкаф с реостатом для заварки кратера имеет магнитный пускатель, селеновый выпрямитель и реле.

Шкаф управления связан со сварочным трактором с помощью разъемов кабелем, включающим провода цепи управления, сварочным кабелем и шлангом, подводящим аргон.

Выполнение работы. Подготовка установки к сварке

Перед сваркой автомат с помощью переключателя *ТВ* «Тележка вправо» или *ТЛ* «Тележка влево» устанавливается в месте начала сварки. Между вольфрамовым электродом и изделием устанавливается зазор 1—3 мм.

С помощью переключателя *ПВ* «Проволока вперед» и *ПН* «Проволока назад» присадочной проволоке придается нужный вылет из направляющего наконечника.

Включение схемы управления производится пускателем *ПМ₁*.

Сварка. При включении магнитного пускателя *ПМ₂* включается в работу сварочная установка УДАР-300. С помощью осциллятора *ОСЦ* зажигается сварочная дуга. После создания ванночки расплавленного металла включается переключатель *ПВ*. Начинается подача присадочной проволоки и передвижение каретки. Скорость подачи проволоки и скорость передвижения каретки (скорость сварки) регулируются автотрансформатором *РА*. Якорь двигателя подачи проволоки *ДП* питается через селеновый выпрямитель *В₂*. Обмотки возбуждения *ОВДП* и *ОВДТ* включены параллельно и питаются через селеновый выпрямитель *В₃*.

В процессе сварки контроль за режимом осуществляется по амперметру *А₂* и вольтметру *В₂*. Вольтметр с помощью защитного дросселя *ДРЗ* и конденсатора *С* защищается от токов высокой частоты осциллятора. Цепь управления питается от понижающего трансформатора *ТП*, который подключается в сеть магнитным пускателем *ПМ₁*.

Окончание сварки. Нажатием выключателя *К₁* «стоп» разрывается цепь якоря двигателя подачи присадочной проволоки *ДП* и якоря двигателя каретки *ДТ*, то есть прекращается подача присадочной проволоки и движение каретки.

Одновременно с этим выключателем K_2 автоматически замыкается цепь якоря ДРЗК и обмотки возбуждения ОВДРЗК двигателя реостата для заварки кратера. Двигатель начинает вращаться. При его вращении происходит переключение контактов реостата заварки кратера в сторону увеличения сопротивления. В результате этого достигается плавное уменьшение силы сварочного тока и качественная заделка кратера. Двигатель реостата заварки кратера питается через селеновый выпрямитель. Прекращение вращения двигателя производится конечным выключателем $В_1$.

При этом автоматически разрывается цепь катушки магнитного пускателя ПМ₂, что, в свою очередь, приводит к выключению сварочного трансформатора, а, следовательно, к прекращению горения сварочной дуги. После окончания сварки выключается подача аргона.

Исследование влияния режима сварки на геометрические размеры шва

На пластину толщиной 3 мм из алюминиевого сплава (АМГ-6/АМГ-6), предварительно протравленную, наплавляется шесть валиков на режимах, указанных в табл. 2.

Таблица 2

№ опыта	Сила тока, a	Скорость сварки, м/час	Напряжение на дуге, в	Геометрические размеры шва, мм				
				b	h	h_2	a	n
1	J_{\min} J_{\max}							
2	J	V_{\max}	U_{\max}					
3	J	V_{\min}	U_{\min}					

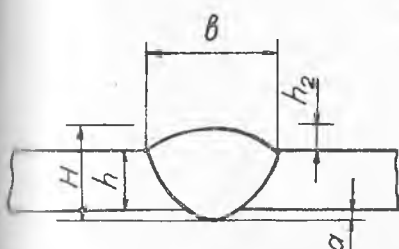
Таблица 3

Толщина листов, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, a	Расход аргона, л/мин	Примечание
1,0—1,5	2,0	100—120	7—8	Диаметр сопла 8—10 мм
1,5—2,5	2,5	120—150	10—12	Диаметр присадочной проволоки 1,6—2,0
2,5—3,0	3,5	140—180	12—16	Скорость подачи присадочной проволоки 80—100 м/час

Сварка образцов встык. Режим сварки выбирается, исходя из толщины и марки материала. Ориентировочные режимы механизированной аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов системы Al—Mg приведены в табл. 3.

Размеры швов должны соответствовать нормативным данным, приведенным в табл. 4.

Таблица 4



Толщина листов, мм	Параметры шва, мм		
	<i>b</i>	<i>h₂</i>	<i>a</i>
1,5—2,0	5,0—8,0	0,5—1,5	0—3,0
2,5—3,0	6,0—9,0	0,5—2,0	0—3,0

При визуальном осмотре как с внешней стороны, так и со стороны проплава швов не должно быть пор, трещин, свищей, пропусков и подрезов. Проплав должен быть равномерным.

Определение коэффициента прочности сварного соединения

Из сваренных пластин и основного материала изготавливаются образцы для испытания на разрыв и определяется коэффициент прочности сварного соединения по формуле

$$K = \frac{\sigma_{в. св.}}{\sigma_{в. осн.}}$$

где $\sigma_{в. св.}$ — среднее значение 3 образцов.

Результаты механических испытаний заносятся в протокол.

№ обр.	<i>F</i> , мм ²	<i>P</i> , кг	$\sigma_{в. св.}$, кг/мм ²	<i>K</i>	Характер разрушения образца
1					
2					
3					

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Краткое описание работы и узловой схемы установки.
2. Протокол записей показаний приборов и измерений и обработку результатов опытов.
3. Сравнение полученных результатов с нормативными и заключение о качестве сварки.

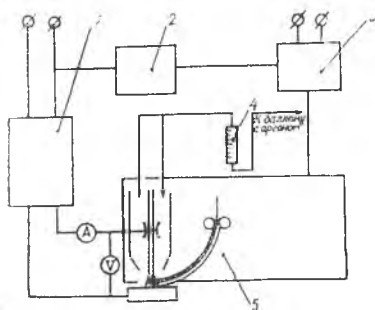
ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Сарафанов и др. Электросварочное оборудование и автоматизация сварочных работ в строительстве, 1962.

Лабораторная работа № 7

Кафедра «Производство металлических аппаратов»		Исследование аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов		Лаборатория сварки	
Дата выполнения работы	группа	фамилия студента		подпись студента	

Схема установки



*Перечень применяемых приборов
и оборудования*

1. Источник питания УДАР-300.
2. Устройство для заделки кратера.
3. Шкаф управления.
4. Ротаметр.
5. Сварочный трактор АДСВ.
6. Баллон с аргоном.
7. Амперметр.
8. Вольтметр.

Краткие выводы по частям работы.

Результаты наблюдений и вычислений

Сила тока, a	Скорость сварки, $m/час$	Напряжение на дуге, v	Геометрич. размеры шва, mm					Эскиз сечения шва
			b	h	h_2	a	H	
I_{min} I_{max}	V_{min} V_{max}	U_{min} U_{max}						

F, mm^2	$P, кг$	$\sigma_{в св}, кг/mm^2$	K	Характер разрушения образца

Работа зачтена _____ 19 _____ г. Подпись преподавателя _____

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ТОКА В ДЕТАЛЯХ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ НА ПЛОСКИХ БУМАЖНЫХ МОДЕЛЯХ

Целью работы является овладение методикой исследования поля тока в деталях при точечной контактной сварке на плоских бумажных моделях.

З а д а н и е

1. Определить положение линий тока и равного потенциала в деталях, свариваемых точечной сваркой, на плоских бумажных моделях.

2. Провести анализ влияния безразмерных параметров $\left(\frac{d}{b_0} \text{ и } \frac{D}{b_0}\right)$ на конфигурацию поля в деталях.

3. Составить отчет по выполненной работе.

Общее сопротивление в зоне точечной сварки складывается из переходных (контактных) и собственных сопротивлений свариваемых деталей (рис. 1):

$$\sum R_{\text{св}} = \sum_2 R_{\text{э-д}} + \sum_{n-1} R_{\text{к}} + \sum_n R_{\text{д}},$$

где n — число деталей в пакете.

Сопротивление холодного пакета определяется переходными сопротивлениями, а горячего пакета — собственным сопротивлением деталей: при нагреве переходные сопротивления быстро понижаются, а собственное сопротивление деталей сначала растет из-за повышения удельного электрического сопротивления, а затем медленно уменьшается в результате увеличения площади контакта «электрод — деталь» и между деталями.

Так, при точечной сварке малоуглеродистой стали толщиной 2 мм электродами диаметром 8 мм при усилии сжатия 400 кг сопротивление холодного пакета равно 358 мком ($2R_{\text{э-д}} = 144 \text{ мком}$;

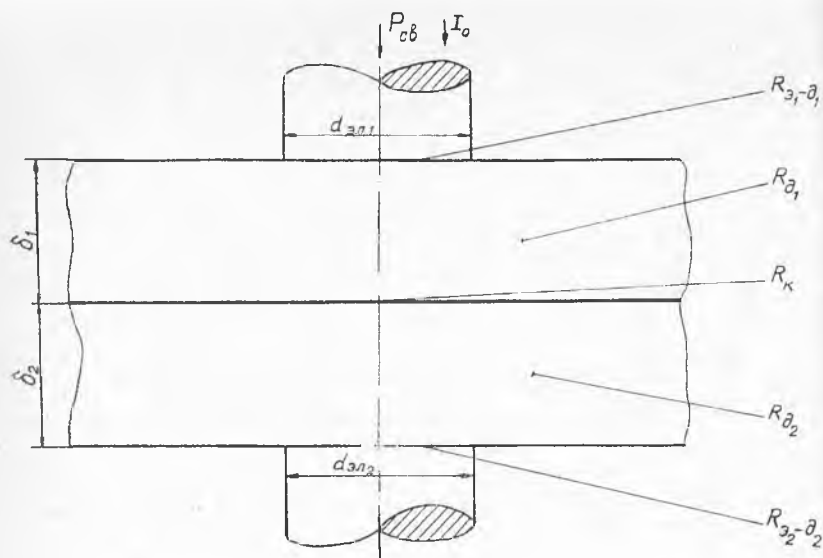


Рис. 1

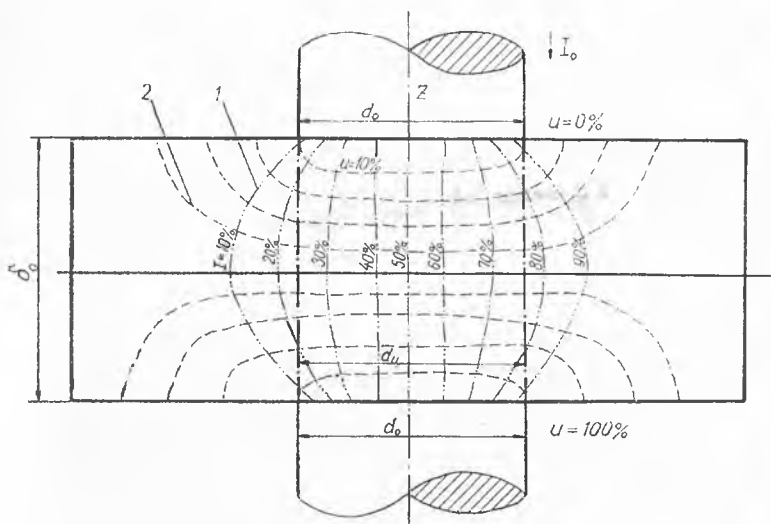


Рис. 2

$R_k = 144 \text{ мком}$; $2R_d = 70 \text{ мком}$), а к концу сварочного нагрева длительностью около $0,5 \text{ сек.}$, когда переходные сопротивления практически равны нулю, сопротивление горячего пакета равно 48 мком ($\sum R_{св} = 2R_d = 48 \text{ мком}$). [2]

Собственное сопротивление деталей из данного материала определяется полем электрического тока в них.

Рассмотрим поле тока в бесконечно протяженной пластине толщиной δ_0 , ток к которой подводится двумя плоскими контактами диаметром d_0 , расположенными на одной оси (рис. 2). При постоянном удельном электрическом сопротивлении, что соответствует равномерно нагретому проводнику, конфигурация поля тока в пластине определяется одним параметром — отношением диаметра токоподводящего контакта к толщине пластины. Линии тока совпадают с его направлением в любой точке поля, а их густота характеризует плотность тока [1].

Степень неравномерности плотности тока зависит от параметра d_0/δ_0 : чем это отношение больше, тем равномернее протекает ток в центральной зоне пластины — в объеме столбика диаметром d_0 .

Как показал проф. А. С. Гельман, омическое сопротивление равномерно нагретой пластины в указанных выше условиях токоподвода равно:

$$R_d = A \cdot \frac{\rho_r \cdot \delta_0}{\pi d_0^2} = A \cdot R_{\text{цил}},$$

где ρ_r — удельное сопротивление в *ом. см* (при холодной пластине оно равно ρ_0);

$R_{\text{цил}}$ — омическое сопротивление цилиндрического столбика длиной δ_0 и диаметром d_0 .

Сопротивление пластины всегда меньше сопротивления цилиндрика. Чем меньше параметр d_0/δ_0 , тем меньше A . При $d_0/\delta_0 = 1,5$ из-за почти линейной зависимости A от d_0/δ_0 сопротивление пластины теоретически не зависит от d_0/δ_0 . Зная величину коэффициента A , можно определить сопротивление свариваемых деталей.

Поле тока при точечной сварке пространственное, с осевой симметрией; в однородном проводнике она описывается дифференциальным уравнением Лапласа, принимающем в цилиндрической системе координат вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0,$$

где r, z — текущие координаты;

U — потенциал в исследуемой точке поля.

Возможность использования плоской модели для исследования поля тока в свариваемых деталях и оценки их относительного сопротивления была показана в работах [4, 5].

Были исследованы модели с отношением ширины токоподводящего контакта B к толщине δ , равным 0,75; 1,00; 1,50; 2,25 и 3,00 (см. рис. 4, 5).

Для выяснения влияния конечных размеров модели на распределение тока при заданных значениях B/δ_0 были исследованы модели различной относительной длины L/δ_0 от 3,7 до 15 (табл. 1).

Таблица 1

Сопоставление решений, найденных при помощи интегратора ЭГДА-9/60 с литературными данными [2]

B/δ_0 для модели и d_0/δ_0 для расчета	I_c/I_0 для модели конечной длины			I_c/I_0 для бесконечно протяженной осесимметричной пластины по литературным данным (2)
	$L/\delta_0 = 3,7$	$L/\delta_0 = 7,5$	$L/\delta_0 = 15$	
0,75	0,50	0,52	—	0,21
1,00	0,56	0,62	—	—
1,50	0,68	0,72	—	0,46
2,25	0,80	0,78	0,78	0,60
3,00	0,88	0,81	0,82	0,66

Качественная картина электрического поля полностью соответствует теоретическим предпосылкам.

Таблица 2

Значения параметров d_3/δ_0 при точечной сварке различных материалов

Толщина детали δ_0 , мм	Диаметр контактной поверхности электрода d_3 , мм	d_3/δ_0	Материал детали
1,0	5	5,0	Малоуглеродистая сталь 10А [3]
2,0	8	4,0	» » » » »
1,0	5—6	5—6	Низколегированная сталь 30ХГСА [3]
2,0	7—9	3,5—4,5	» « » » »
1,0	5	5,0	Нержавеющая сталь Х18Н9 [2]
2,0	8	4,0	» » » » »
1,5	5,5	3,7	Дуралюмин [2]
2,0	7,0	3,5	» » » » »
4,0	13	3,3	» » » » »

Таблица 3

Сопоставление результатов моделирования на интеграторах ЭГДА (бумажная модель) и ЭИ-12 (электрическая модель)

B/δ_0	L/δ_0	I_c/I_0	
		ЭГДА-9/60	ЭИ-12
0,75	3,7	0,50	0,555
3,00	3,7	0,88	0,870
3,00	15,0	0,82	0,877

В качестве критерия для сопоставления опытных данных с результатами опубликованных расчетов [2] принято отношение $I_{ц}/I_0$ где $I_{ц}$ — ток, протекающий в стержике, ограниченном диаметром контакта D или его шириной B ; I_0 — полный ток.

Анализируя данные, приведенные в таблице 1, можно установить следующее: с увеличением относительной длины модели L/δ_0 отношение $I_{ц}/I_0$ для больших значений B/δ_0 несколько уменьшается, а при малых значениях B/δ_0 — наоборот, незначительно возрастает. Увеличение L/δ_0 сверх 7,5 почти не влияет на отношение $I_{ц}/I_0$. Соотношение $L/\delta_0 = 7,5$ может быть принято при изготовлении моделей; с увеличением отношения B/δ_0 сходимость опытных данных с расчетными увеличивается, однако даже при $B/\delta_0 = 3,00$ погрешность в определении $I_{ц}/I_0$ для плоской задачи достигает 20% величины, найденной расчетным путем для пространственной задачи; для $B/\delta_0 = 1,50$ погрешность превышает 50%. При сварке деталей малой толщины, когда B/δ_0 больше 3,00 (табл. 2), результаты моделирования могут быть непосредственно использованы в практике.

Решения, полученные на бумажных плоских моделях, хорошо согласуются с результатами исследований, выполненных на электроинтеграторе ЭИ-12 (табл. 3).

2. Указания по выполнению работы

Работу выполняют два студента. Студенты данной учебной группы (подгруппы) получают задание на исследование поля тока в деталях при различных отношениях d_0/δ_0 (B/δ_0) и D/δ_0 (L/δ_0). При оформлении результатов работы используются данные, полученные студентами всей учебной группы (подгруппы).

Интегратор ЭГДА представляет собой установку для решения плоских задач математической физики, описываемых дифференциальными уравнениями Лапласа. Интегратор (рис. 3) питается постоянным током, подводимым к модели от делителя напряжения. Значения потенциала 0 и 100% регулируются с помощью реостатов, компенсирующих падение напряжения на присоединительных проводах. Измерительное устройство измеряет потенциал с точностью до 0,1% от максимального значения. Оно состоит из декады сопротивлений и реохорда. В качестве нуль-прибора использован стрелочный гальванометр, чувствительность которого изменяется сопротивлением.

Модель вырезается из электропроводящей бумаги в определенном масштабе с соблюдением геометрического подобия модели и исследуемого объекта. Модель 1 (рис. 4) укладывается на панель интегратора. В местах, соответствующих местам подвода напряжения при сварке, устанавливаются токоподводящие шины-зажимы 2 и 3 или гибкие шины, закрепляемые винтовыми стойками. К зажимам от делителя напряжения интегратора подводят напря-

жение, соответствующее падению напряжения на свариваемых дедах. Игла-щуп 4 подключается к интегратору.

Приступают к нахождению эквипотенциальных линий. Для этого последовательно устанавливается декадой сопротивлений и

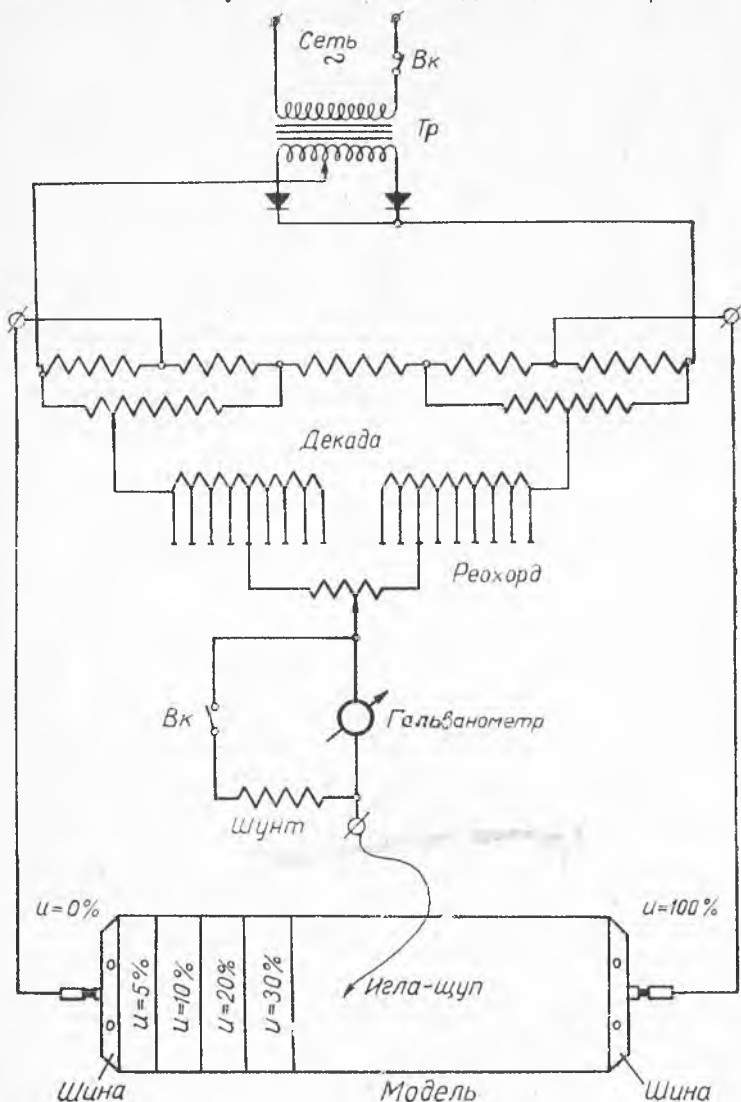


Рис. 3.

реохордом искомое напряжение (например, 10%, 20% и т. д.) и перемещением щупа находится на модели положение отдельных точек, в которых гальванометр устанавливается на нуле. Получен-

ные точки лежат на искомым эквипотенциальных линиях, их соединяют плавными линиями.

Линии тока проводят на той же модели, исходя из того, что они совпадают с эквипотенциальными линиями, соответствующими случаю подвода напряжения к тем местам обреза модели (рис. 4, б), к которым в действительности напряжение не подводится.

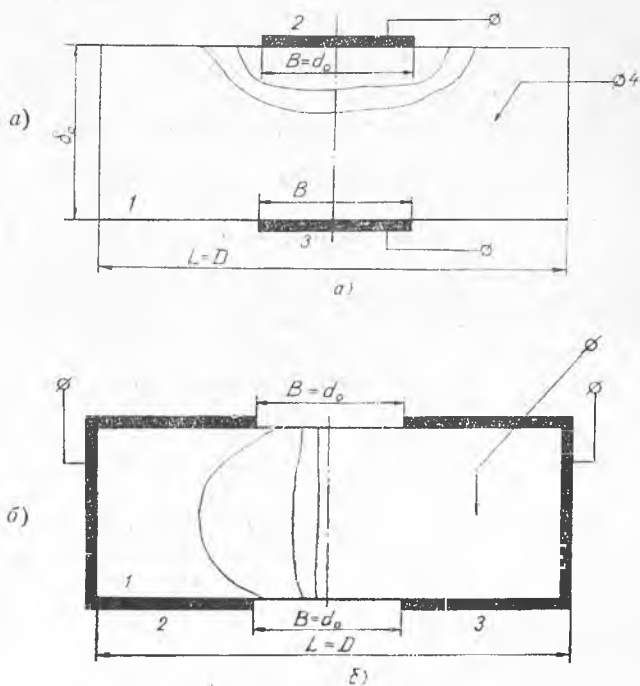


Рис. 4

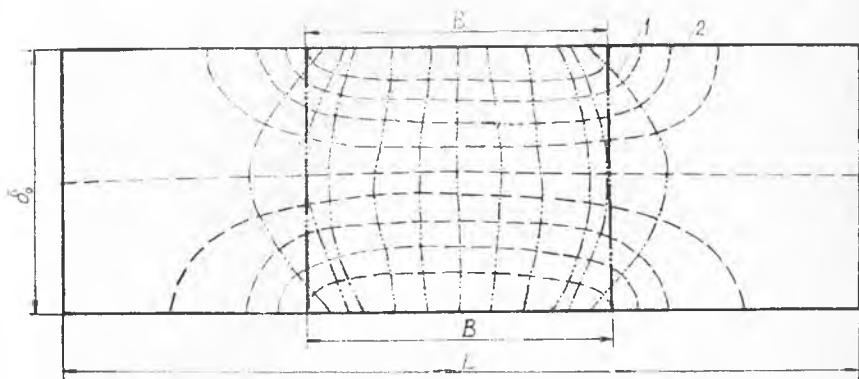


Рис. 5

В заключение определяются линии тока, касающиеся образующих цилиндра в сечении модели, где потенциал равен 50%.

Для большей наглядности линии тока I и равного потенциала 2 наносят карандашами разных цветов (рис. 5).

3. Последовательность выполнения работы

1. Вырезать модель заданной конфигурации по шаблону.
2. Собрать схему для нахождения положения эквипотенциальных линий на модели (рис. 4, а).
3. Определить положение эквипотенциальных линий и нанести их цветным карандашом.
4. Собрать схему для нахождения на модели линий тока (рис. 4, б).
5. Определить положение линий тока и нанести их карандашом другого цвета.
6. Определить отношение $I_{ц}/I_0$ по данным исследования.
7. Заполнить протокол исследования.
8. После предъявления модели преподавателю и с его разрешения демонтировать измерительную схему, убрать рабочее место, выключить питание интегратора.

Содержание отчета

Студент представляет модель с найденными линиями тока и равного потенциала и протокол отчета. Анализируя полученные данные, необходимо сделать заключение о влиянии параметров d_0/δ_0 и D/δ_0 на конфигурацию поля тока в деталях при контактной электросварке.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Гельман. Теоретические основы контактной сварки. НТО МАШ-ПРОМ, Москва, 1962.
2. А. С. Гельман. Контактная электросварка. Машгиз, 1949.
3. Д. С. Балковец, Б. Д. Орлов, П. Л. Чулошников. Точечная и роликовая сварка специальных сталей и сплавов. Оборонгиз, Москва, 1957.
4. М. Д. Рудман. Исследование поля тока в деталях, свариваемых точечной сваркой, на плоских моделях. Куйбышевский авиационный институт. Труды, вып. 7, 1958.
5. М. Д. Рудман. Исследование электрического сопротивления при рельсфной сварке на моделях. «Автоматическая сварка», № 3, 1961.

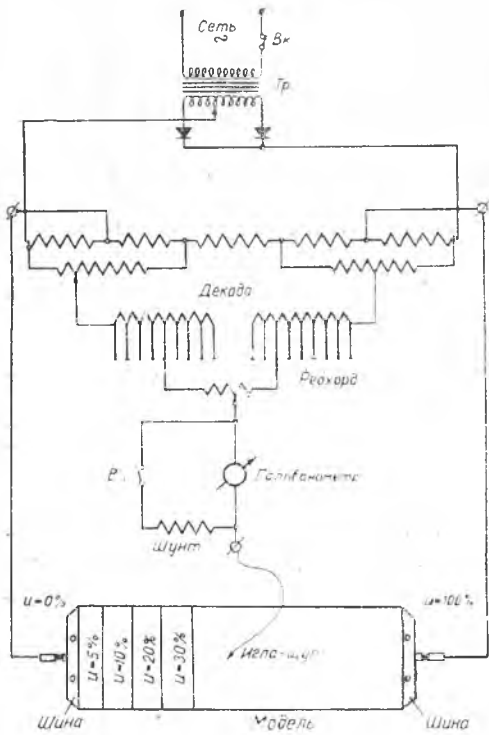
Лабораторная работа № 8

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование поля тока в деталях при контактной сварке па моделях	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки

Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Интегратор ЭГДА.
2. Электропроводящая бумага.
3. Шаблоны для изготовления моделей.
4. Ножницы.
5. Цветные карандаши.



Краткие выводы по частям работы.

Результаты наблюдений и вычислений

№ п/п	δ_0 , мм	B_1 , мм	B_2 , мм	L, мм	B_1/δ_0	B_2/δ_0	L/ δ_0	L/B	I _н (% I ₀)	Примечание
1										Модели прилагаются к отчету
2										
3										

Работа зачтена _____ 19 ____ г. Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ

Целью работы является практическое ознакомление с оборудованием для точечной сварки, методикой выбора режима сварки и исследование влияния параметров режима на прочность сварных соединений.

Задание

1. Произвести расчет основных параметров режима точечной сварки.
2. Сварить образцы на расчетном режиме и определить качество сварных соединений.
3. Составить отчет по работе.

Точечная сварка — один из высокопроизводительных процессов контактной сварки, при котором соединяемые изделия (наложенные обычно внахлестку) свариваются в отдельных точках.

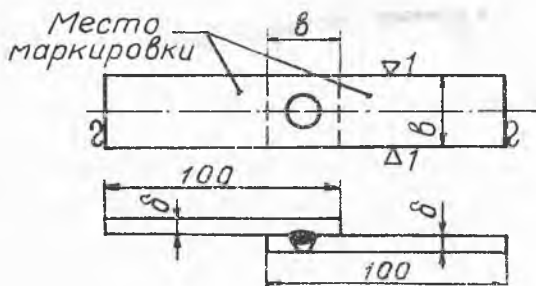


Рис. 1

Соединения, выполненные точечной сваркой, согласно ГОСТ 6996—51 испытываются на срез путем растяжения образца по рис. 1 или на разрыв (отрыв) растяжением образца по рис. 2.

Размеры образцов зависят от толщины материала (табл. 1, рис. 1, 2). Минимальные допустимые усилия среза на одну точку приведены в табл. 2.

Высокой и стабильной прочностью обладают лишь точки с литым ядром заданных размеров. Максимальный диаметр ядра точки $d_{я}$ обычно связан с диаметром контактной поверхности электрода $d_э$ зависимостью

$$d_{я} = (0,9 \div 1,4) d_э,$$

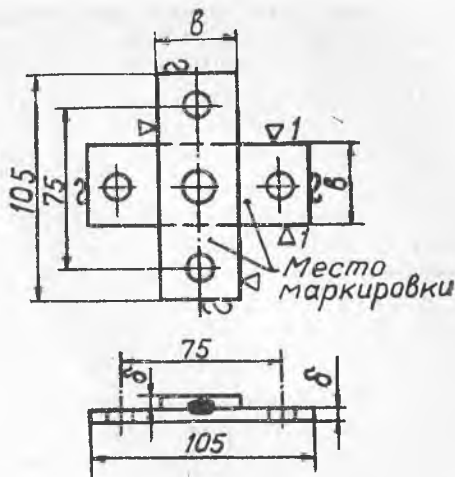


Рис. 2

Таблица 1 [3]

Размеры образцов для испытаний сварных соединений на срез и на отрыв, мм

Толщина материала, δ	Ширина образцов, b
До 1	20
более 1,1—2	25
более 2—3	30
более 3	40

а проплавление лежит в пределах 40—80% суммарной толщины свариваемых деталей. Точки больших размеров нежелательны, так как вероятны выплески расплавленного металла и значительные вмятины от вдавливания электродов в поверхность свариваемых деталей [1]. Основными параметрами режима точечной сварки являются диаметр контактной поверхности электрода $d_э$, усилие сжатия деталей $P_{св}$, сила сварочного тока $I_{св}$ и продолжительность его включения $t_{св}$.

С увеличением $I_{св}$ и $t_{св}$ размеры литого ядра точки растут. Увеличение усилия сжатия деталей $P_{св}$ уменьшает контактное и собственное сопротивление деталей и снижает плотность тока в них. При постоянной силе тока и продолжительности его включения увеличение усилия сжатия деталей ведет к уменьшению размеров и прочности сварной точки. Если увеличение $P_{св}$ сопровождается соответствующим увеличением $I_{св}$ и $t_{св}$, так что размеры сварной точки не уменьшаются, то прочность точек с увеличением $P_{св}$ становится более стабильной.

Сварочный ток и усилие сжатия деталей должны обеспечить плотность тока и давление в сварочном контакте, необходимые для образования литой зоны заданных размеров.

Так, при сварке малоуглеродистых сталей на «жестком» режиме плотность тока в контакте «электрод — деталь» лежит в пределах 200—400 a/mm^2 , а удельное давление — 5—12 $кГ/мм^2$. Минимально необходимая длительность прохождения сварочного тока, обеспечивающая получение сварных точек заданных размеров и прочности без выплесков при сварке, устанавливается опытным путем.

Режим, рассчитанный и опробованный для одной толщины данного материала, может быть пересчитан для другой толщины, используя критерии подобия температурных полей и условий деформации [2].

$$P_1 = \frac{l^2}{at} \quad (1), \quad P_2 = \frac{\rho \lambda T}{U_{э-э}^2} \quad (2), \quad P_3 = \frac{P}{l^2 \sigma_s} = \frac{\rho}{\sigma_s} \quad (3),$$

где l — линейный размер — толщина свариваемых деталей, $см$;

a — температуропроводность, $см^2/сек$;

λ — коэффициент теплопроводности, $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$;

ρ — удельное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$;

$U_{э-э}$ — напряжение на электродах сварочной машины, $в$;

P и ρ — соответственно, усилие сжатия деталей и удельное давление, $кГ, кГ/мм^2$;

σ_s — предел текучести материала, $кГ/мм^2$.

Из критериев подобия (1, 2, 3) следует:

1. Время сварки подобно l^2 .
2. Напряжение на электродах не зависит от размера детали.
3. Сварочный ток $I_{св} \equiv l$.
4. Усилие сжатия детали $P_{св} \equiv l^2$.

Ориентировочные режимы сварки некоторых материалов приведены в табл. 2.

При подборе режимов сварки используют технологическую пробу на вырыв точки, руководствуясь минимальными значениями диаметров вырыва, согласно табл. 2.

Указания по выполнению работы

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж и сдавшие зачет по правилам техники безопасности работы на контактных сварочных машинах.

Каждый студент сваривает и испытывает один-два образца; в отчете обобщаются данные, полученные всеми студентами группы (подгруппы).

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Ознакомиться с конструкцией машины (см. приложение).

Опробовать работу сварочной машины без включения сварочного тока, включить и отрегулировать контрольные приборы.

2. Из табл. 2 выбрать режим сварки образцов и занести данные в бланк отчета.

Ориентировочные режимы точечной сварки сталей

Марка стали	$\delta_1 + \delta_2$, мм	$d_{э}$, мм	$t_{св}$, сек	$P_{св}$, кгс	$I_{св}$, ка	$F_{срез}$, кгс на точку	Диаметр вырыва точки, мм
Стали 10, 20	0,5+0,5	3,5—4,0	0,1—0,3	40—120	3—5	145	2,5
	0,8+0,8	4,0—5,0	0,1—0,3	50—150	5—6	300	3,0
	1,0+1,0	5,0—6,0	0,2—0,5	80—200	6—8	400	3,8
	1,5+1,5	6,0—7,0	0,3—0,7	140—350	7—9	800	5,0
	2,0+2,0	7,0—9,0	0,4—0,9	250—500	8—10	1100	6,0
	3,0+3,0	9,0—10,0	0,8—1,5	500—800	12—16	1900	7,0
30ХГСА	0,5+0,5	3,5—4,0	0,3—0,7	30—40	2,5—4,0	170	2,5
	0,8+0,8	4,0—4,5	0,5—0,8	45—55	3—5	360	3,0
	1,0+1,0	5,0—6,0	0,8—1,2	70—80	4—6	480	3,8
	1,5+1,5	6,0—7,0	1,0—1,5	120—140	5—7	900	5,0
	2,0—2,0	7,0—9,0	1,4—2,0	190—220	6—8	1300	6,0
	3,0+3,0	9,0—10,0	1,5—2,5	380—420	9—12	2000	7,0
X18H10T	0,5+0,5	3,5—4,0	0,06—0,08	150—200	3,5—4,5	200—270	—
	0,8+0,8	4,0—4,5	0,10—0,12	240—300	5,0—6,2	380—500	3,5
	1,0+1,0	4,5—5,0	0,12—0,16	300—400	5,8—6,7	500—750	4,0
	1,5—1,5	5,5—6,5	0,16—0,20	500—650	7,2—8,5	750—1000	5,0
	2,0+2,0	7,0—8,0	0,24—0,26	750—850	8,5—10,0	1000—1350	6,2
	3,0+3,0	1,0—10	0,26—0,30	1100—1200	11,0—13,0	1700—2300	—

3. Провести настройку сварочной машины на выбранный режим сварки.

4. Сварить образцы технологической пробы, замерив величину и продолжительность сварочного тока прибором ДТС-2 [4] и наблюдая циклограмму процесса сварки на экране осциллографа.

5. Испытать образцы технологической пробы и сопоставить фактический диаметр вырыва с требуемым табл. 2.

6. Определить расчетом силу сварочного тока, усилие сжатия, необходимые для получения сварной точки заданных размеров, и сопоставить их с табличными данными (табл. 2).

7. Сварить образцы для испытаний сварных соединений на срез или отрыв на различных режимах, изменяя сварочный ток или длительность импульса и замеряя их величину прибором ДТС-2.

8. Испытать сварные образцы, определить разрушающее усилие в кГ на одну точку.

9. Занести фактические и расчетные данные в протокол лабораторной работы.

10. Выключить электрическое питание сварочной машины и приборов, перекрыть трубопроводы воздуха и воды, убрать рабочее место.

Содержание отчета

1. Дать упрощенную схему сварочной машины с обозначением основных узлов и циклограмму ее работы.
2. Дать эскизы образцов для испытаний сварных соединений на срез и отрыв.
3. Построить график зависимости разрушающего усилия на точку от величины сварочного тока или его продолжительности.
4. Сопоставить расчетные и табличные значения параметров режима сварки, требуемую и фактическую прочность сварных соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Гельман. Технология и оборудование контактной электросварки, Машгиз, 1960.
2. А. С. Гельман. Теоретические основы контактной сварки, НТО Машпром, Москва, 1962.
3. Сварка металлов. Издательство стандартов, 1964.
4. М. Д. Рудман, А. С. Ивашин. Прибор ДТС-2 для одновременного измерения длительности и величины тока при точечной сварке. «Сварочное производство», № 11, 1965.
5. Ю. Н. Бобринский, Н. П. Сергеев. Устройство и наладка контактных сварочных машин. «Машиностроение», 1967.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
МАШИНЫ МТП-75-9

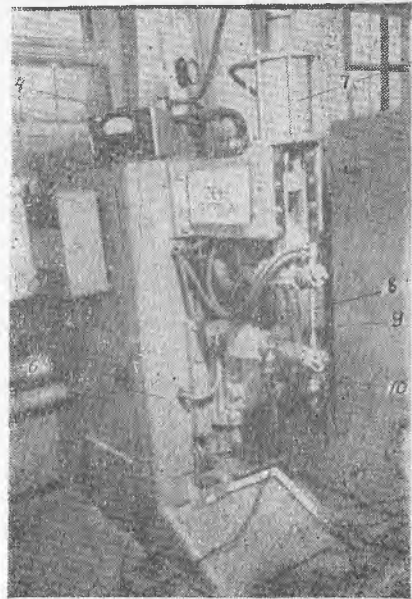
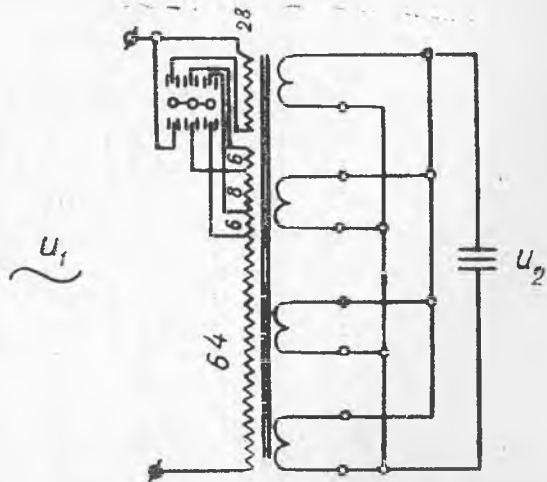


Рис. 1*. Общий вид сварочной машины МТП-75-9:

- 1 — трансформатор; 2 — переключатель ступеней; 3 — прерыватель ПИТ; 4 — прибор ДТС-2;
5 — РВЭ-7; 6 — станина; 7 — пистолец; 8, 9 — электроды; 10 — тороид прибора ДТС-2

Рис. 2*. Схема сварочного трансформатора машины МТП-75-9 [5].



Машина предназначена для точечной сварки сталей и титановых сплавов. Машина состоит из станины с трубчатыми стойками — ресиверами сжатого воздуха, сварочного трансформатора, переключателя ступеней, прерывателя сварочного тока, механизма сжатия и регулятора времени (рис. 1*).

Сварочный трансформатор бронзового типа; первичная обмотка секционирована (рис. 2*) с возможностью включения от 64 до 112 витков; вторичная обмотка содержит один виток.

Напряжение холостого хода трансформатора изменяется ступенчато с мощностью трех вильчатых переключателей; всего ступеней — восемь.

Число витков первичной обмотки, напряжение холостого хода и сварочные токи по ступеням регулировки приведены в табл. 1*.

Таблица 1*

№ ступеней	Шифр включения	ω_1 , витки	$U_{2хх}$, в	$I_{св}$, а
1	2—2—2	112	3,12	7500
2	1—2—2	106	3,36	8000
3	2—1—2	98	3,62	8700
4	1—1—2	92	3,96	9500
5	2—2—1	84	4,37	10 500
6	1—2—1	78	4,88	11 700
7	2—1—1	70	5,43	12 800
8	1—1—1	64	6,24	15 000

Продолжительность отдельных составляющих цикла (предварительное сжатие, сварка, проковка и пауза) задается настройкой регулятора времени РВЭ-7 (таблица 2*). Если машина укомплектована прерывателем тока типа ПИТ, то длительность сварки определяется соответствующей его настройкой.

Техническая характеристика машины дана в табл. 3*.

Таблица 2*

Техническая характеристика регулятора времени РВЭ-7

Положение указателя	$t_{сж}$, t_k , $t_{паузы}$, сек.	$t_{св}$, сек		Положение указателя	$t_{сж}$, t_k , $t_{паузы}$, сек.	$t_{св}$, сек	
		I диапазон	II диапазон			I диапазон	II диапазон
0	0,04	0,04	0,23	8	0,51	0,51	2,68
1	0,06	0,06	0,44	9	0,59	0,59	3,10
2	0,10	0,10	0,75	10	0,67	0,67	3,47
3	0,15	0,15	1,07	11	0,78	0,78	4,02
4	0,22	0,22	1,32	12	0,90	0,90	4,47
5	0,28	0,28	1,58	13	1,02	1,02	5,04
6	0,36	0,36	1,98	14	1,15	1,15	5,80
7	0,48	0,43	2,36	15	1,40	1,40	6,75

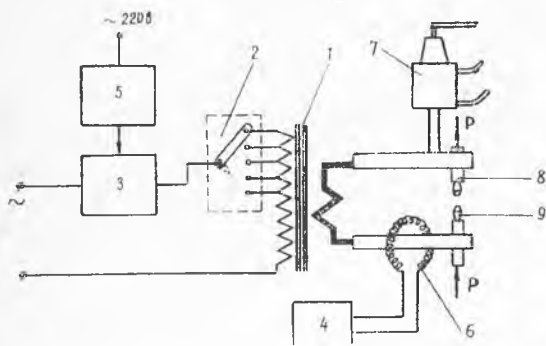
Техническая характеристика точечной машины МТП-75-9

Показатели	Един. измер.	Величина показателя
Первичное напряжение	<i>в</i>	380
Номинальная мощность	<i>квв</i>	75
Номинальное ПВ	<i>%</i>	20
Номинальный ток в первичной цепи	<i>а</i>	197
Число ступеней регулирования	<i>шт.</i>	8
Пределы регулирования вторичного напряжения	<i>в</i>	3,12—6,24
Ориентировочный наибольший сварочный ток	<i>а</i>	12 000
Тип контактора	—	Игнитронный, асинхронный или синхронный
Продолжительность включения сварочного тока	<i>сек</i>	От 0,04 до 6,75 при асинхронном контакторе и от 0,02 до 0,38 при синхронном
Характер действия машины	—	Автоматический
Полезный вылет	<i>мм</i>	500
Ход верхнего электрода	<i>мм</i>	80
Привод механизма сжатия	—	Пневматический
Максимальное усилие сжатия	<i>кгс</i>	540
Максимальная толщина свариваемых деталей при автоматической работе с асинхронным прерывателем	<i>мм</i>	2,5+2,5
То же, при работе с синхронным прерывателем	<i>мм</i>	2+2
Число ходов при автоматической работе	$\frac{\text{сварок}}{\text{час}}$	4200
Габаритные размеры:		
Высота	<i>мм</i>	2120
Ширина	<i>мм</i>	680
Длина	<i>мм</i>	1370
Вес машины	<i>кг</i>	650

Лабораторная работа № 9

Кафедра «Производство летательных аппаратов»	Исследование влияния параметров режима точечной сварки на прочность соединений	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	подпись студента
фамилия студента		

Схема установки



Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Машина МТП-75-9.
2. Прибор ДТС-2.
3. Датчик тока ДСТ-2М.
4. Датчик усилия сжатия деталей ДД-60.
5. Коммутатор К-63.
6. Осциллограф С-1-4.
7. Машина для механических испытаний сварных соединений.
8. Штангенциркуль.
9. Образцы для испытаний соединений на отрыв срез.
10. Образцы технологической пробы.

Обозначения даны на рис. 1

Краткие выводы по частям работы.

Результаты наблюдений и вычислений

Задано	Табличные значения	Расчетные	Фактические данные
$\delta_1, \text{мм}$	$d_{\text{э}1}, \text{мм}$	$d_{\text{т}}, \text{мм}$	нагрев
$\delta_2, \text{мм}$	$d_{\text{э}2}, \text{мм}$	$I_{\text{св}}, \text{а}$	
$d_{\text{я}}, \text{мм}$	$I_{\text{св}}, \text{сек}$	$R_{\text{св}}, \text{кгс}$	$I_{\text{кз}}, \text{а}$
$d_{\text{э}1}, \text{мм}$	$R_{\text{св}}, \text{кг}$	$d_{\text{э}1}, \text{мм}$	$I_{\text{св}}, \text{а}$
$d_{\text{э}2}, \text{мм}$	$R_{\text{св}}, \text{кг}$ <i>точка</i>	$d_{\text{э}2}, \text{мм}$	$R_{\text{св}}, \text{кгс}$
$I_{\text{св}}, \text{а}$		n	$I_{\text{св}}, \text{сек}$
$I_{\text{св}}, \text{сек}$		n	$H, \text{мм}$
$R_{\text{св}}, \text{кг}$		n	$L, \text{мм}$
		n	$R_{\text{св}}, \text{кг}$ <i>точка</i>
		n	$d_{\text{т}}, \text{мм}$

Примечание. l — вылет сварочной машины, мм;
 H — расстояние между плечами машины, мм;
 n — ступень сварочного трансформатора машины;
 δ_1, δ_2 — толщина верхнего и нижнего образцов, мм.

Работа зачтена _____ 19 ____ г. Подпись преподавателя _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ СВАРКИ СТАЛИ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Целью работы является практическое ознакомление с аппаратурой, технологией газовой кислородно-ацетиленовой сварки сталей и цветных сплавов.

З а д а н и е

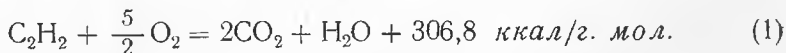
1. Провести опыты по определению формы пламени в зависимости от соотношений $O_2:C_2H_2$.
2. Провести сварку образцов, определить расход газов, присадочного металла, скорость сварки и дать оценку качества сварки.
3. Составить отчет по выполненной лабораторной работе.

Для газовой сварки сталей (до настоящего времени) применяется почти исключительно ацетилен C_2H_2 . Основное преимущество ацетилена состоит в том, что он дает максимальную температуру, на несколько сот градусов превышающую температуру, получаемую при других горючих газах.

Ацетилен дает температуру, достаточную для сварки сталей. Температура других газов явно недостаточна, поэтому невозможно широкое промышленное применение этих газов для сварки сталей.

Ацетилено-кислородное пламя характеризуется его термохимическими свойствами.

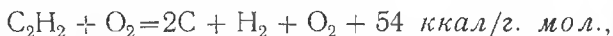
Полное сгорание ацетилена в кислороде происходит по уравнению:



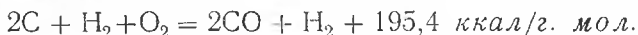
Эта формула дает лишь состав начальных и конечных продуктов сгорания ацетилена и не отражает сложных промежуточных

процессов, происходящих в пламени и имеющих существенное значение для процесса сварки.

Схематически процесс сгорания ацетилена в смеси с кислородом можно представить следующим образом. Сначала под влиянием нагрева происходит распад ацетилена на элементы по уравнению:



а затем — первая стадия сгорания ацетилена и процесс окисления углерода по формуле:



Во второй стадии CO окисляется в CO₂, а H₂ в H₂O:



Схема ацетилено-кислородного пламени показана на рис. 1. Пламя имеет три резко выраженные зоны, отличающиеся по химическому составу газов, цвету и температуре.

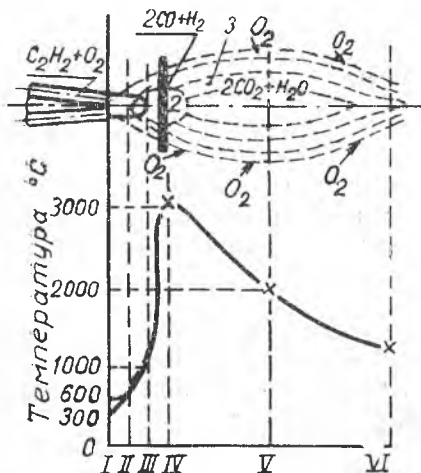


Рис. 1. Схема нормального ацетилено-кислородного пламени: I—VI — различные расстояния от сопла

Первая зона, называемая ядром пламени с продуктами механической смеси (по формуле 2), имеет форму цилиндра с закругленным окончанием.

В тонкой наружной оболочке ядра происходит распад ацетилена с выделением твердых частиц углерода. Раскаленные твердые частицы углерода ярко светятся, поэтому оболочка ядра является самой яркой частью сварочного пламени, несмотря на то, что температура относительно невысока и не превышает 1500°C. Форма ядра представляет собой как бы пространственную диаграмму скоростей истечения по сечению сопла и является хорошим индикатором для регулирования пламени по составу.

Вторая зона — сварочная, состоит из продуктов неполного сгорания ацетилена (формула 3) и иногда называется восстановительной, так как восстанавливает окислы железа и мало влияет на содержание углерода в расплавленной стали. Как видно на рис. 1, в пределах этой зоны находится граница наибольших температур, эта зона видна как слабо-фиолетовый ореол ядра пламени.

Третья зона — это факел пламени, в котором за счет кислорода атмосферного воздуха протекает вторая стадия горения ацетилена (формула 4). Двуокись углерода и пары воды при высоких температурах окисляет железо, поэтому факел пламени называется также окислительной зоной.

В соответствии с уравнением первой стадии горения кислород и ацетилен должны подаваться в горелку в равных объемах. В действительности, как показывает опыт, вследствие применения технического кислорода приходится давать в пламя больше кислорода, то есть $\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,1 + 1,2$.

С увеличением отношения $\frac{O_2}{C_2H_2} > 1,2$ ускоряются реакции окисления, ядро пламени укорачивается, уменьшается образование свободного углерода, ядро бледнеет, приобретает голубоватую окраску и коническую заостренную форму. Такое пламя будет окислительным. С уменьшением отношения $\frac{O_2}{C_2H_2} < 1,1$ реакция окисления замедляется, поэтому ядро пламени удлиняется, увеличивается количество свободного углерода, частицы которого появляются и в сварочной зоне; очертания увеличенного ядра становятся размытыми и теряют четкость, пламя становится коптящим, удлиняется и приобретает красноватую окраску. Изменения формы пламени в зависимости от состава смеси показаны на рис. 2.

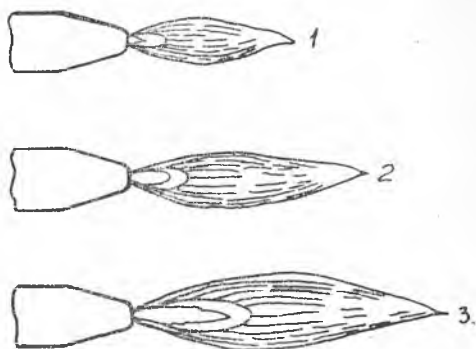


Рис. 2. Изменение формы ядра пламени в зависимости от состава смеси: 1 — избыток кислорода; 2 — нормальное пламя; 3 — избыток ацетилена

Мощность сварочной ацетилено-кислородной горелки, определяемая часовым расходом ацетилена, ориентировочно может быть определена по формуле

$$A = \kappa \cdot S, \quad (5)$$

где A — расход ацетилена, л/час;

S — толщина металла, мм;

κ — коэффициент, зависящий от свойств свариваемого материала.

Для малоуглеродистой стали и алюминия принимается среднее значение $\kappa = 100$; для меди $\kappa = 140$; для нержавеющей стали классов 18-8 $\kappa = 75$.

Диаметр присадочной проволоки выбирается в соответствии с толщиной основного металла:

$$d = \frac{S}{2} + 1, \quad (6)$$

где d — диаметр присадочного прутка, мм;

s — толщина основного металла, мм.

Зависимость угла наклона горелки от толщины свариваемого металла показана на рис. 3.

Скорость газовой сварки $V_{св}$ ориентировочно может быть определена по формуле

$$V_{св} = \frac{B}{S}, \quad (7)$$

где B — коэффициент, учитывающий способ и материал сварки; для малоуглеродистой стали правым методом $B = 14$, левым способом $B = 18$. Оба способа показаны на рис. 4;

S — толщина свариваемого материала.



Рис. 3. Угол наклона горелки при газовой сварке левым способом

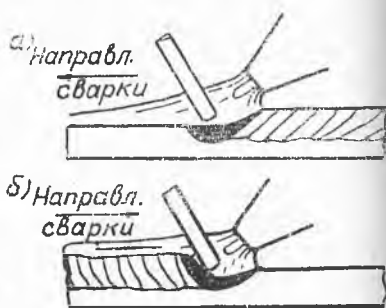


Рис. 4. Левый (а) и правый (б) способы сварки.

Примерные режимы ацетилено-кислородной сварки стыковых швов и их сечения для сталей и алюминиевых сплавов приведены в табл. 1 и 2.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Установка (рис. 5) состоит из кислородного 1 и ацетиленового 2 редукторов, кислородного 3 и ацетиленового 4 расходомеров, газовой горелки 5, соединенных дюритовыми шлангами 6.

Толщина металла, мм	Диаметр присадочной проволочки, мм	Давление кислорода, атм	Расход газов, л/час		Размеры шва, мм			Расход присадочного материала г/пог.с.м шва	Сечение шва
			ацетилен	кислород	ширина, в	усиление h_2	проплав, a		
0,5—1,0	1,0	1,5	75	85	4,5—5,0	0,25—0,50	0,064		
1,0—1,5	1,0—1,5	1,5	75—150	85—165	5—5,5	0,5—0,75	0,130		
1,5—2,5	2,0	2,0	150—300	165—330	5,5—6,5	0,75—1,25	0,29—0,48		
2,5—3,0	2,5	2,5	300	330	6,5—7,0	1,25—1,50	0,69—0,93		
					8+4 мм	0,58			
1—1,5	1,5—2,0	1,5	75	85	4,80	0,5—1,0	0,095—0,135	не более 1,5 толщин,	
1,5—3,0	2,5—4,0	2,0	150—300	165—330	6,12	толщины ма- териала	0,135—0,321	не более 2,5 мм	

Таблица 2

Примечание: Нормы учитывают суммарный расход присадочного материала на прихватку, сварку, угар и разбрызгивание.

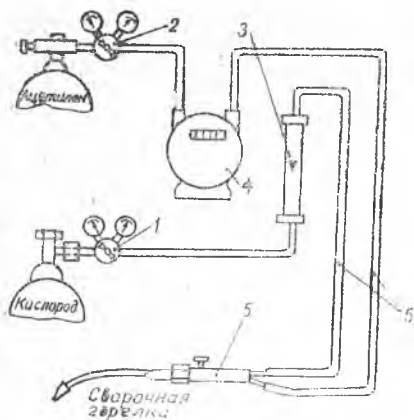


Рис. 5. Принципиальная схема установки

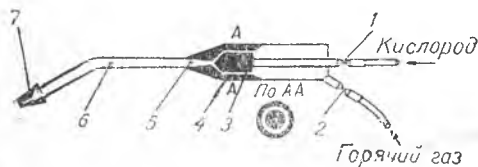
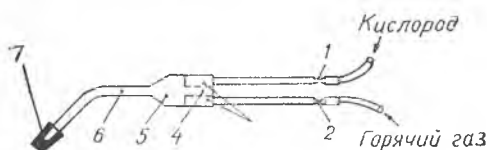


Рис. 6. Схемы устройства сварных горелок: *a* — безинжекторной; 1, 2 — регулировочные вентили, 3 — смеситель, 4 — сопло смесителя, 5 — камера смешения; 6 — наконечник, 7 — мундштук, *b* — инжекторной, 1, 2 — регулировочные вентили кислорода и ацетилена, 3 — инжектор, 4 — камера инжекторная, 5 — камера смешения, 6 — наконечник, 7 — мундштук

Сварочные горелки применяются для образования смеси кислорода с горючим газом. При поджигании горючей смеси на выходе из горелки образуется пламя, которое может быть отрегулировано в широких пределах по мощности и составу установленными на горелке вентилями. По принципу действия горелки подразделяются на горелки равного давления и инжекторные. Принципиальные схемы показаны на рис. 6.

Техническая характеристика сварочных инжекторных горелок приведена в табл. 3.

Выполнение работы. Получив образец для сварки, установить параметры режима сварки и диаметр присадочного материала в зависимости от марки основного материала, его толщины и типа соединения. Для образования пламени при использовании инжекторной горелкой необходимо сначала приоткрыть вентиль кислорода, а затем ацетилена. Этим достигается подсос ацетилена в наконечник. Спичку с огнем подносить со стороны горелки так, чтобы пламя не обожгло руку. Для получения различного пламени необходимо обеспечить соответствующее соотношение в нем газов,

что достигается регулировкой с помощью вентиля. Тушить горелку следует перекрытием вентиля в обратном порядке.

Установить нормальное пламя, провести наплавку валика, а затем сварку образцов встык, добиваясь хорошего провара. Ядро

№ закончи- ков	Расход ацетилена, л/час	Разрежение в ацетилен- ном канале, мм рт.ст.
1	50—135	700
2	135—250	1030
3	250—400	1400
4	400—700	1500

Примечание: При давлении кислорода от 1 до 4 атм и ацетилена не ниже 0,01 атм скорость истечения смеси составляет 145 м/сек.

Пламени при сварке должно находиться от поверхности металла сварочной ванны на расстоянии 2—3 мм.

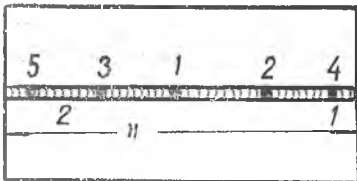


Рис. 7. Порядок прихватки и сварки

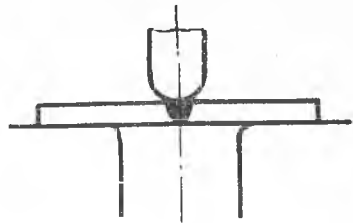


Рис. 8. Схема испытания на изгиб

До начала прихватки необходимо проверить, чтобы зазоры между прихватываемыми элементами образца толщиной до 2 мм были от $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{3}S$ и одинаковы по всему стыку. Получение равномерного зазора рекомендуется осуществлять при помощи постановки до начала прихватки соответствующих по толщине прокладок.

Процесс прихватки стальных образцов рис. 7 должен осуществляться следующим образом:

а) перед прихваткой необходимо разогреть материал до красного цвета вокруг места прихватки на расстоянии 20—35 мм и только после этого, равномерно расплавляя кромки образцов, присаживать проволоку;

б) после наложения присадки материал вновь подогревается до красного цвета пламенем горелки на участке 25 мм вокруг прихватки с постепенным отводом пламени вверх для устранения резкого охлаждения металла. Окончательный отвод пламени горелки от прихваченного участка должен производиться после снижения нагрева до темно-красного цвета.

Величина прихватки не должна превышать 75% ширины и высоты шва, что достигается наложением не более 1—2 капель присадочного материала.

Расположение прихватки должно производиться с соблюдением следующих условий:

а) шаг прихватки равен 20—35 мм — при толщине материала от 0,5 мм до 1,5 мм; 40—60 мм — при толщине материала 2 мм и выше;

б) крайние прихватки располагаются на расстоянии 10 мм от края детали, прихватка на краях и углах загиба материала не допускается, разрешается прихватка на краях по торцу;

в) прихватка всякой детали должна производиться от середины налагаемого впоследствии сварного шва.

При сварке левым и правым методом определить расход газов и присадочного металла на погонный метр шва, скорость сварки и качество соединения.

Качество сварки определить внешним осмотром и пробой на загиб образца. Хорошо выполненный шов имеет 100%-ный провар (это хорошо видно с обратной стороны шва), полное сплавление кромок, равномерную высоту и ширину шва по всей длине, мелкую и равномерную чешуйчатость с гладкой поверхностью чешуек. Должны отсутствовать прожоги, значительные проплавления, подрезы и трещины.

Пробой на загиб (рис. 8) образца параллельно шву и оправке с радиусом ребра, равным 3—4 толщинам образца, определяют угол загиба, при котором образец начинает разрушаться.

После разрушения шва хорошо обнаруживаются скрытые дефекты (несплавление кромок, наплывы, внутренние раковины, шлаковые включения, пережог металла и другие).

Результаты внешнего осмотра и технологической пробы записывают в бланк отчета.

Перед технологической пробой и после нее образцы необходимо показать преподавателю.

При сварке образцов из алюминиевых сплавов применяется флюс. Техника сварки, в основном, такая же, как и при сварке сталей, но сварку необходимо вести с большей скоростью.

Образцы после сварки очистить от остатков флюса и шлаков, промыть в горячей воде, и просушить.

Правила техники безопасности

При зажигании, регулировании и тушении пламени необходимо соблюдать осторожность и быть внимательным. Горелку необходимо держать так, чтобы вытекающая из мундштука смесь газов не была направлена на исполнителя или на окружающих.

Лучше всего горелку направлять в сторону вытяжного вентиляционного раструба или на сварочный стол.

Помнить, что при зажигании открывают вначале кислородный вентиль, а затем ацетиленовый. При тушении порядок закрытия вентиля обратный.

Подносить спичку к выходному отверстию мундштука горелки надо со стороны горелки так, чтобы пламя не могло обжечь руки.

Сварку производить только в защитных очках и в фартуке.

При освобождении образцов из приспособления и замера длины оставшейся присадочной проволоки необходимо помнить, что они сильно нагреты.

Не допускать, чтобы шланги с газом касались нагретых образцов или проволоки.

В случае появления хлопков в горелке во время сварки необходимо потушить горелку, закрывая вначале ацетиленовый вентиль, а затем кислородный, и охладить наконечник в бачке с водой.

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Краткое описание работы и схему пламени для различных отношений $O_2:C_2H_2$.
2. Принципиальную схему установки.
3. Протокол записи показаний приборов и измерений и обработку результатов опыта.
4. Сравнение полученных результатов с литературными данными и заключение.

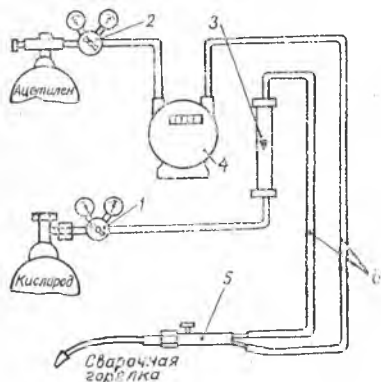
ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Хренов. Сварка, резка и пайка металлов. Машгиз.
2. Справочник по сварке под ред. Е. В. Соколова, 1960.

Лабораторная работа № 10

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование по газовой сварке	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки



Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Редуктор ацетиленовый.
2. Редуктор кислородный.
3. Ротаметр ацетилена.
4. Расходомер.
5. Сварочная горелка.
6. Шланги для подвода газов.

Краткие выводы по частям работы

1. Порядок включения зажигания регулирования и тушения горелки.

2. Эскиз пламени в зависимости от соотношения $\frac{O_2}{C_2H_2}$

3. Наплавка валика на пластину. Материал пластины _____

толщина _____ мм.
Режим наплавки и сварки:

- а) тип горелки
б) № наконечника
в) рабочее давление кислорода _____

г) рабочее давление ацетилена _____

д) марка присадочной пров. _____
% _____ мм

е) марка флюса
ж) состав флюса

4. Порядок наплавки валика на пластину.

5. Эскиз прихватки и сварки образцов

6. Эскиз испытания сварного соединения

- a) Начальная и
- б) конечная длина присадочной проволоки
- в) Расход присадочной проволоки _____ мм на длине шва _____
- г) Расход присадочной проволоки на погонный метр шва _____ кг
- д) Расход кислорода в литрах на погонный метр шва _____
- е) Расход ацетиленового газа на погонный метр шва _____ л

7. Оценка качества сварки внешним осмотром и технологической пробой

Работа зачтена _____ 196 г.

Подпись преподавателя _____

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕЗКИ СТАЛИ

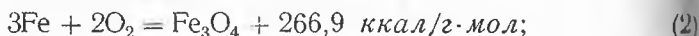
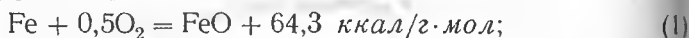
Целью работы является ознакомление с аппаратурой и выявление некоторых закономерностей процесса газовой разделительной резки стали.

Задание

1. Провести опыты по газовой разделительной резке при разных давлениях режущей струи кислорода и разных скоростях перемещения резака.
2. Определить величину отставания Δ в зависимости от изменения давления кислорода и скорости резки.
3. Составить отчет по выполненной работе.

Газовая резка основана на свойстве железа сгорать в струе чистого кислорода с выделением значительного количества тепла.

Тепловой эффект горения железа достаточно высок:



Первое требование, которое необходимо предъявлять к металлу с точки зрения эффективности его резки кислородом, таково:

$$T_{\text{гор}} < T_{\text{пл}\cdot\text{м}}. \quad (4)$$

Образующийся при резке шлак, состоящий преимущественно из окислов металла, должен быть в расплавленном состоянии. Отсюда второе требование к разрезаемому материалу:

$$T_{\text{пл}\cdot\text{ок}} < T_{\text{пл}\cdot\text{м}}. \quad (5)$$

Существенное значение имеет также теплопроводность металла; высокая теплопроводность усиливает охлаждение зоны резки и затрудняет необходимый подогрев металла. Образующийся при резке шлак, состоящий преимущественно из окислов металла, должен быть легкоплавким, легко выдвигаться из полости реза, а режущий кислород иметь беспрепятственный доступ к нижележащим слоям металла. Практически указанным условиям удовлетворяет лишь железо и его технические сплавы — стали.

Кислородная резка складывается из нескольких процессов: подогрева металла, сжигания металла в струе кислорода, выдувания расплавленного шлака из полости реза. Схема газокислородной резки показана на рис. 1, где: 1 — разрезаемый металл, 2 — режущая струя кислорода, 3 — режущий мундштук, 4 — подогревательный мундштук, 5 — подогревательное пламя, 6 — рез и 7 — шлак.

Для резки необходим возможно более чистый кислород, даже незначительное количество примесей заметно снижает скорость резки и сильно повышает расход кислорода, что видно из следующего примера:

Чистота кислорода в %	Время резки 1-го погонного метра в %	Расход кислорода на 1 погон. метр реза в %
99,5	100	100
98,5	112,9	129,2
97,5	131	168,1

Подогревательное пламя

Как уже указывалось, для того, чтобы обеспечить протекание процесса горения, необходимо создать соответствующую начальную температуру — температуру воспламенения. Степень нагрева зависит от интенсивности отвода тепла, которое выделяется в результате реакции окисления поверхностных слоев и, следовательно, от массы реагирующего с кислородом металла.

В качестве горючих для подогревательного пламени могут использоваться газы и пары горючих жидкостей меньшей тепловой эффективности, чем ацетилен. В нашем случае используется пропанбутановая смесь состава $C_3H_8 + C_4H_{10}$.

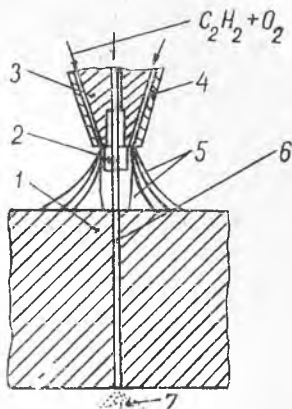


Рис. 1. Процесс газокислородной резки:

1 — разрезаемый металл, 2 — режущий кислород, 3 — режущий мундштук; 4 — подогревательный мундштук; 5 — подогревательное пламя, 6 — рез, 7 — шлак

Мощность пламени для подогрева требуется значительно меньшая, чем при сварке. Характерными значениями мощности ацетилено-кислородного подогревательного пламени являются следующие:

Толщина разрезаемой стали, мм.	3—25	25—50	50—100	100—200	200—300
Мощность пламени, м ³ /час	0,3—0,55	0,55—0,75	0,75—1,0	1,0—1,2	1,2—1,3

При указанных мощностях пламени время предварительного подогрева до пуска кислорода и начала горения составляет при толщине 10—20 мм примерно 5—10 сек, а при толщине 100—200 мм — около 25—40 сек.

Высота расположения мундштука от разрезаемого металла определяется длиной ядра пламени.

Наиболее эффективным является нагрев, когда ядро располагается над поверхностью разрезаемого металла на 1,5—2 мм.

Соотношение кислорода и горючего в подогревательном пламени лучше регулировать с несколько повышенным содержанием кислорода. Это улучшает качество реза и интенсифицирует нагрев.

Кислород режущей струи

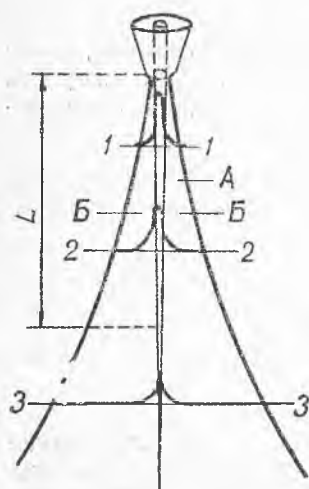


Рис. 2. Струя режущего кислорода

Сжигание металла и удаление продуктов сгорания осуществляется струей режущего кислорода, скорость которой, как показывает опыт, 500—700 м/сек.

Кроме скорости струи кислорода, качество реза зависит также от ее длины и сечения. Длина зависит от начального сечения, конструкции сопла и скорости на выходе.

Строение струи и распределение скоростей в ней схематически показано на рис. 2. Струя режущего кислорода А имеет коническую форму и постепенно сходит на нет. Струя кислорода увлекает с собой окружающий воздух, образуя постепенно расширяющуюся наружную зону В, заполненную смесью кислорода с воздухом. Газы наружной оболочки В перемещаются в осевом направлении, но со значительно меньшей скоростью, быстро уменьшающейся в радиальном направлении.

Примерное распределение скоростей в сечениях струи 1-1, 2-2 и 3-3 показано на рис. 2.

По мере удаления от среза мундштука уменьшается сечение кислородной струи, скорость движения кислорода в ней, и, наконец, струя становится практически не пригодной для резки. Уменьшение сечения и скорости струи служит основной причиной так называемого отставания при резке.

Активная длина струи L , пригодная для резки, определяется несколькими факторами, наиболее важными из которых являются начальные скорость и сечение струи, правильность ее очертания, наличие ламинарного движения кислорода в ней.

Давление кислорода для резки металла толщиной от 5 до 300 мм изменяется от 3 до 14 атм. Оно зависит от толщины разрезаемого металла и может определяться по эмпирической формуле

$$P = \left(0,71 + \frac{2}{\delta}\right) \sqrt{\delta}_{\text{атм}}, \quad (6)$$

где P — давление кислорода перед резаком, атм;

δ — толщина разрезаемого металла, мм.

Расход кислорода режущей струи в общей форме можно представить так:

$$V_{\text{кр}} = V_{\text{кок}} + V_{\text{квыд}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{кок}}$ — расход кислорода на окисление (химическую реакцию горения) разрезаемого металла;

$V_{\text{квыд}}$ — расход кислорода на выдувание (удаление окислов).

Количество кислорода, необходимого для окисления разрезаемого металла, определяется количеством сжигаемого металла и средним расходом кислорода на его сжигание.

Количество кислорода на сжигание железа (малоуглеродистой стали) с точки зрения получения шлака и теплового эффекта горения может быть определено следующим образом:

$$G_{\text{кок}} = \frac{16}{56} a \cdot l \cdot \delta \cdot \gamma_{\text{Fe}}, \quad (8)$$

где a — ширина реза, см;

l — длина реза, см;

δ — толщина разрезаемого металла, см;

γ_{Fe} — удельный вес железа, г/см³.

Соответственно на единицу площади поверхности реза ($S = l\delta$) удельный расход кислорода на окисление равен:

$$G_{\text{кок}} = \frac{16}{56} \gamma_{\text{Fe}} \cdot a, \quad (9)$$

или в количестве кислорода на 1 см² поверхности реза:

$$V_{\text{кок}} = \frac{16}{56} 7,86 a \frac{1}{\alpha_{\text{к}}}, \quad (10)$$

где $\alpha_{\text{к}}$ — 1,43 г/л — вес одного литра кислорода, отнесенный к 0 °С.

Так как ширина разреза α при резке средних толщин (6—50 мм) изменяется относительно мало (от 0,25 до 0,35 см, в среднем 0,3 см), то удельный расход окисляющего кислорода на единицу площади поверхности реза равен 0,47 л/см² (при возможном изменении ширины реза от 0,4 до 0,55 л/см²).

Для получения общего расхода режущего кислорода необходимо учесть либо удельный расход кислорода на выдувание, либо коэффициент использования кислорода режущей струи на окисление, который равен:

$$\eta = \frac{v_{\text{кок}}}{v_{\text{кок}} + v_{\text{к выд}}} = \frac{G_{\text{кок}}}{G_{\text{кок}} + G_{\text{к выд}}}. \quad (11)$$

При разделительной резке стали средних толщин коэффициент использования кислорода на окисление металла составляет 40—55%.

Отсюда суммарный удельный расход кислорода на единицу площади разрезаемого металла $\frac{v_{\text{кок}}}{\eta_{\text{кр}}}$ составляет при резке средних толщин от $\frac{0,4}{0,55}$ до $\frac{0,55}{0,4}$ л/см², т. е. от 0,73 до 1,37 л/см².

Обычно для машинной резки толщин — 10—60 мм этот удельный расход составляет 0,75—0,95 л/см², а при ручной резке 1,1—1,3 л/см².

Изменение свойств поверхностных слоев металла и влияние параметров режима на качество реза

Состав металла на поверхности реза и на некоторой глубине от поверхности реза, как правило, отличается от состава разрезаемого металла.

Такое изменение состава на кромках реза определяется взаимодействием разрезаемого металла с контактирующей с ним средой.

В связи с тем, что процессы окисления металла при резке не доходят до конца, вследствие чего в шлаке имеется некоторое количество неокисленного железа, происходит перераспределение кислорода между отдельными элементами, находящимися в реакционном пространстве, в зависимости от их степени сродства к кислороду. При этом происходит как бы выборочное окисление элементов с большим сродством к кислороду в сравнении с основой сплава (железом), а элементы с меньшим сродством к кислороду окисляются в меньшей степени.

Наоборот, элементы с большим сродством к кислороду, чем Fe, будут выгорать сильнее. На поверхности разреза их концентрация понижается, в связи с чем из объемов металла, находящихся вблизи кромки реза, появляется диффузионный ток, приводящий к конечному распределению элементов.

Наиболее сложным является поведение углерода. Углерод как элемент с большим, чем железо, сродством к кислороду должен выгорать. Такой процесс происходит на месте непосредственного контакта струи кислорода с металлом.

Однако позади режущей струи кислорода поверхность металла, нагретая почти до температуры плавления, подвергается воздействию газов, содержащих углеродистые соединения (CO , CO_2). В результате этого воздействия происходит поверхностное науглероживание металла и диффузионное проникновение углерода в металл, прилегающий к кромке реза. Зона переменного содержания углерода обычно не превышает $0,3 \div 0,35$ мм.

В связи с большой скоростью охлаждения кромка реза закаливается и получает высокую твердость, вследствие чего плохо обрабатывается режущим инструментом.

Характер изменения структуры вблизи поверхности реза зависит от состава металла и характера воздействующего на него термического цикла. Термический цикл при резке аналогичен термическому циклу при дуговой сварке, в связи с этим структура вблизи реза является подобной околосшовной зоне при сварке. При резке малоуглеродистых сталей вблизи кромки наблюдается крупное зерно, далее от кромки реза зерна имеют меньший размер (в связи с термическим воздействием типа нормализации), затем идет зона неполной перекристаллизации, а для холоднокатаных сталей и зона рекристаллизации. Слой вблизи поверхности реза в связи с науглероживанием может иметь структуру закаленной углеродистой стали.

Вместе с тем, исследования образцов малоуглеродистой стали на загиб с растяжением отрезанной кромки показали, что пластичность металла в этом случае сохраняется в большей степени, чем у металла кромки после отрезки гильотинными ножницами.

Таким образом, установлено, что существовавшее длительное время представление о недопустимом ухудшении свойств металла у кромки реза, выполненного кислородом, является неправильным.

Поэтому при обеспечении необходимой точности форм, размеров и элементов точности самой кромки, при резке как деталей машин, так и заготовок для сварных конструкций, последующая механическая обработка, применяемая в ряде производств и для обычных сталей, является, как правило, излишней.

В этом случае кислородная резка может быть применена как окончательная операция изготовления ряда деталей и заготовок для сварных конструкций.

Общие требования к точности складываются из требований к получению надлежащих размеров и форм вырезанных деталей (заготовок) и из требований к элементам точности кромки реза, связанным с взаимодействием металла с кислородной струей и подогривательным пламенем в процессе резки.

К элементам точности кромки реза относятся:

допустимость отклонений заданного угла между поверхностью листа и кромкой реза;

глубина штрихов на кромках (шероховатость кромок);

степень сплавления верхней кромки.

Ручная разделительная резка, как правило, не обеспечивает желаемой точности кромок. **Машинная резка при отработанном режиме позволяет по элементам точности поверхности реза применять ее как окончательную обработку.**

Влияние различных параметров режима машинной кислородной резки на элементы точности кромки реза и на ширину разреза для малоуглеродистой стали толщиной 26 мм приведено на рис. 3.

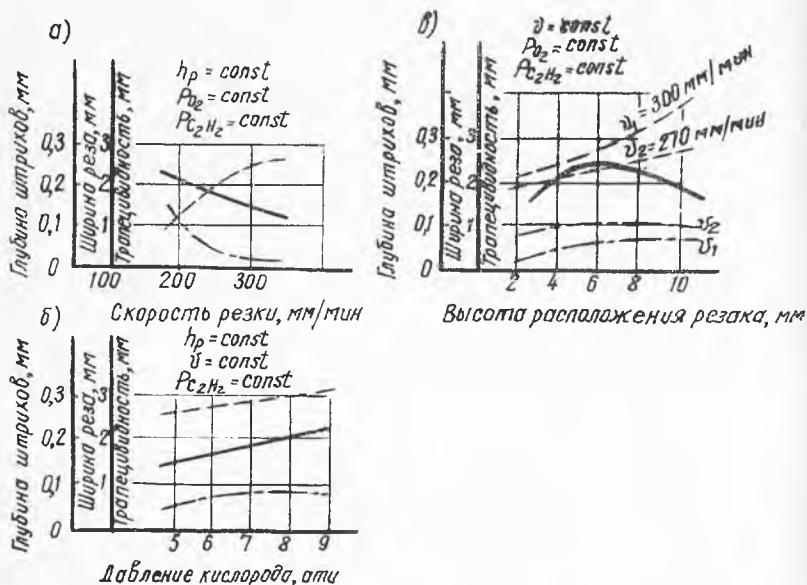


Рис. 3. Влияние параметров машинной кислородной резки на элементы точности кромок реза и ширину разреза:

а — скорость резки; б — давление кислорода; в — высота расположения резака ———; глубина штрихов —; ширина реза —.—; трапецевидность сечения разреза

Скорость перемещения резака должна быть такой, чтобы она согласовывалась с распространением окисления по толщине разрезаемого металла.

При малой линейной скорости резки след кислородной струи проходит перпендикулярно верхней поверхности разрезаемого металла (при расположении струи перпендикулярно этой поверхности) через всю толщину металла. Разрез, как правило, в этом случае имеет форму струи, т. е. при цилиндрическом канале и значительном перепаде давлений кислорода — постепенно расширяющийся (рис. 4, а).

При увеличении линейной скорости перемещения резака след струи кислорода на торцевой поверхности реза несколько отклоняется и отстает на выходе по отношению к входу у верхней поверхности на величину Δ . В поперечном сечении расширение разреза в нижней части уменьшается (рис. 4, б).

При еще большем увеличении скорости отставание Δ увеличивается (что при резке характеризуется выбрасыванием шлака со значительным отклонением в сторону, противоположную направлению резки), а разрез в нижней части становится намного уже, чем в верхней (рис. 4, в).

Дальнейшее увеличение скорости резки при том же режиме кислородной струи приведет к непрорезанию металла.

Для чистой резки величина отставания должна составлять 8—12% от толщины разрезаемого металла.

Рекомендуемые режимы машинной резки на автомате АСШ-2 приведены в таблице I.

Таблица I

Толщина разрезаемого металла, мм	№ внутр. мунштука	Давление кислорода, атм	Расход кислорода, м ³ /м рез.	Расход горючего газа в л./м реза	Средняя скорость резки, мм/мин	Расстояние мунштука до металла, мм	Ширина реза, мм
5—15	1	3—4	0,09—0,15	14—24	450—300	2—3	2,5—3
15—30	2	4—5	0,21—0,35	24—42	300—220	3,0—3,5	3—3,5
30—60	3	5—6	0,45—0,71	50—73	220—170	3,5—4	3,5—4
60—100	4	6—8	0,86—1,30	73—100	170—140	4—4,5	4—5

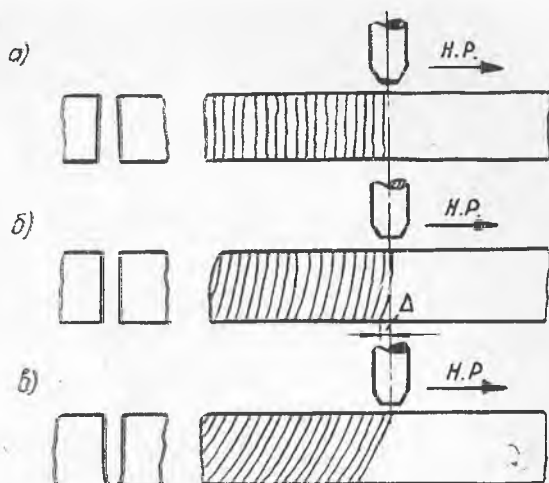


Рис. 4 Форма разреза и расположение штрихов (следов кислородной струи) на торцевой поверхности реза: а — при малой линейной скорости резки; б — при нормальной скорости резки; в — при повышенной скорости

Тепловой баланс кислородной резки

Полный тепловой баланс кислородной резки представляется следующим выражением:

$$Q_{пл} + Q_{г. ж} + Q_{г. пр} = Q_{нм} + Q_{м (г. ж + г. пр)} + Q_{нш} + (Q_{ш} - Q_{м(ш)}) + Q_{п} \quad (12)$$

- где
- $Q_{пл}$ — теплота, выделяемая подогревательным пламенем, рассчитывается, исходя из расхода горючего и его высшей теплотворной способности;
 - $Q_{г. ж}$ — теплота, выделяемая при сгорании железа (определяемая удельной теплотой образования FeO из Fe, равной 1150 ккал/г);
 - $Q_{г. пр}$ — теплота, выделяемая при сгорании примесей в железе (при обычных составах низколегированных сталей дает увеличение общего теплового эффекта реакций горения металла на 2—4%);
 - $Q_{нм}$ — расход теплоты на нагрев металла;
 - $Q_{нш}$ — теплота, требующаяся на нагрев сжигаемого металла до температуры воспламенения и для нагрева шлака до температуры, при которой он удаляется из разреза (1600°C);
 - $Q_{п}$ — потери тепла с газами (унос перегретыми газами, потери на излучение, подогрев струи кислорода);
 - $Q_{м (пп)}$ — нагрев металла подогревающим пламенем;
 - $Q_{м (г. ж + г. пр)}$ — нагрев металла сжиганием железа и примесей;
 - $Q_{м(ш)}$ — тепло, отдаваемое металлу шлаком, застывшим на кромках разрезанных частей металла (обычно 10—15% $Q_{ш}$);
 - $0,9Q_{нш}$ — расход теплоты на нагрев шлака, удаленного кислородной струей из разреза.

Примерный баланс тепла при резке стали приведен на рис. 5. Общее количество тепла, получаемого металлом при резке средних толщин, составляет 50—60% всего прихода тепла, а остальное является потерями с газами и удаляется со шлаком.

Описание установки. Установка для резки (рис. 6) состоит из кислородного 1 и пропан-бутанового 2 редукторов, кислородного 3 и пропан-бутанового 4 расходомеров, резака 5, соединенных дюритовыми шлангами 6.

Газовую разделительную резку с высокой степенью точности позволяют осуществить автоматические машины, которые обеспечивают высокую эффективность этого метода обработки металлов. В связи с этим исследования процесса резки будут проводиться на машине АСП-2 (рис. 7) шарнирного типа, предназначенной для вырезки деталей различной конфигурации из стальных листов толщиной 5—100 мм по копирам с помощью магнитной головки.

Машина состоит из колонны 1, на которой укреплен шарнирная система из двух рам 2 и 3 и хобота 4. На внешней раме

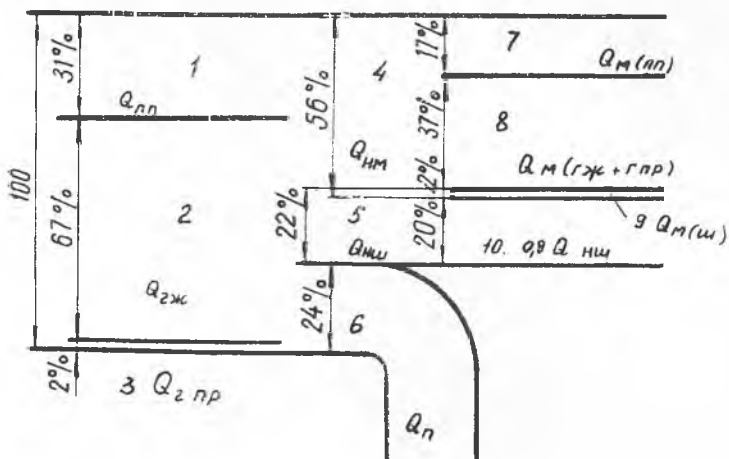


Рис. 5. Тепловой баланс ацетилено-кислородной резки стали толщиной 15 мм:

1 — приход теплоты от подогревающего пламени; 2 — приход теплоты от сгорания железа; 3 — теплота, выделяемая при сгорании примесей; 4 — расход теплоты на нагрев металла; 5 — расход на нагрев сжигаемого металла; 6 — потери тепла с газами; 7 — нагрев металла подогревающим пламенем; 8 — нагрев металла сжиганием железа и примесей; 9 — тепло, отдаваемое металлу шлаком; 10 — расход теплоты на нагрев шлака

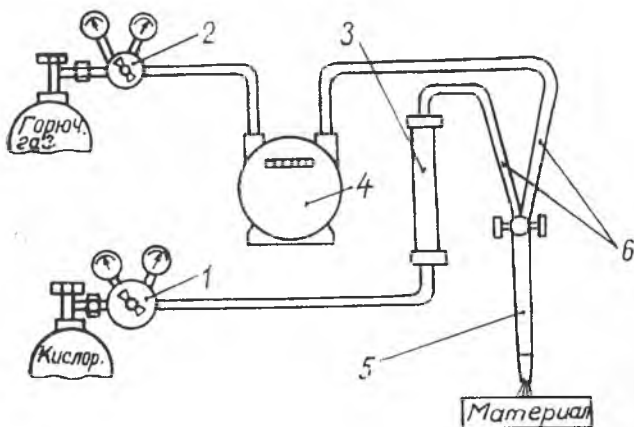


Рис. 6. Схема установки для резки:

1 — кислородный редуктор; 2 — редуктор горючего газа;
3 — ротаметр; 4 — расходомер горючего газа; 5 — резак;
6 — шланги для подвода газов

смонтированы ведущий механизм 5, щит управления 6 и суппорт с резакон 7. На хоботе 4 болтами закреплены две линейки 8, на которых крепится копир 9. Хобот 4 может поворачиваться вокруг оси колонны.

Ведущий механизм машины состоит из электродвигателя мощностью 22 вт, редуктора и магнитной головки, питаемой постоян-

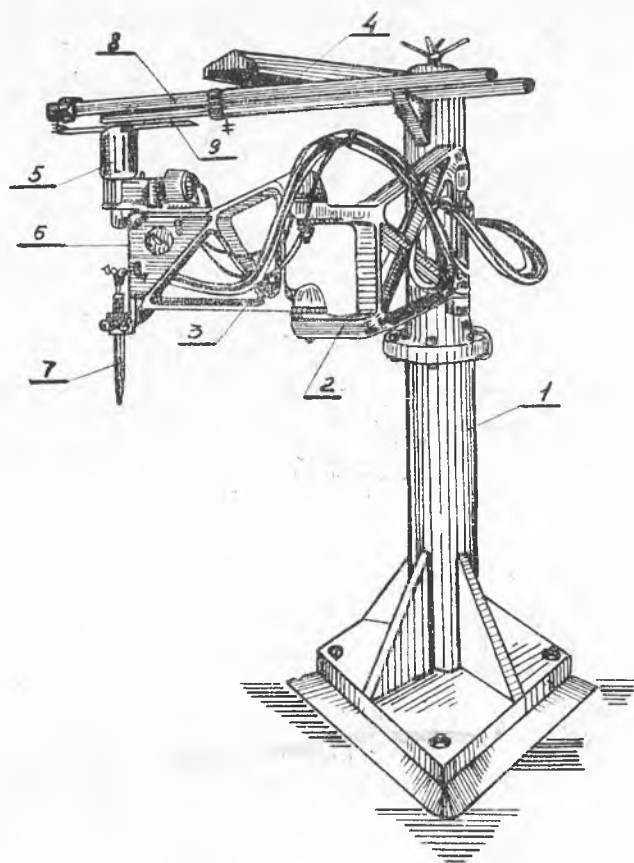


Рис. 7. Установка АСШ-2

ным током, напряжением 6—18 в от селенового выпрямителя ВСА-10.

На щите управления находятся ручка реостата и шкала для регулирования скорости, выключатели двигателя и магнитной катушки, переключатель направления хода.

На машине АСШ-2 резка возможна только при вертикальном положении резакон. Вырезаемые детали могут иметь любые кон-

гуры, которые можно получить при обкатке копира магнитным роликом диаметром 12 мм.

Ведущий механизм автомата (рис. 8) состоит из электромотора 1, редуктора 2, ведомого вала редуктора, сопряженного с магнитным пальцем 3, расположенным внутри электромагнитной катушки 4.

При помощи специального устройства 5 магнитный палец может опускаться до уровня верхней крышки катушки, что бывает необходимым при переводе пальца с наружной на внутреннюю поверхность шаблона и наоборот.

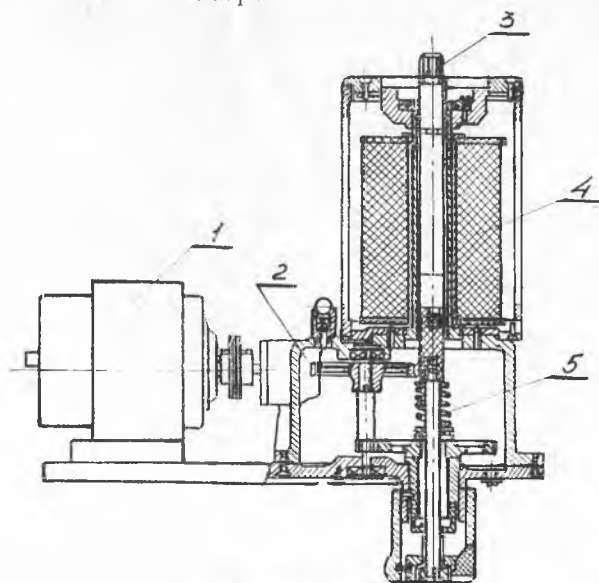


Рис. 8. Механизм привода

В отличие от сварочных горелок резак (рис. 9) имеет дополнительный со своим вентилем и мундштуком канал для подачи режущей струи кислорода. Подогревательное пламя обычно имеет кольцевую форму, так как горючая смесь выходит через кольцевое отверстие, образованное между внутренним и наружным мундштуками.

Конструкция резака имеет ряд особенностей, вызванных повышенными требованиями к точности резки на автоматах шарнирного типа.

В частности, основное требование соосности режущей струи кислорода достигается цельнометаллической конструкцией тела резака 4 и системой жестких допусков при механической обработке самого корпуса резака, накидной гайки 5 и мундштуков 6. Резак снабжается сменными мундштуками, служащими для резки сталей толщиной в пределах 5—100 мм.

На цилиндрической поверхности корпуса резака по образующей крепится зубчатая рейка 7. С зубчатой рейкой сцеплена шестерня, укрепленная в суппорте автомата. На оси шестерни укреплен маховичок, при помощи которого осуществляется перемещение резака по вертикали с целью регулировки расстояния между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого листа.

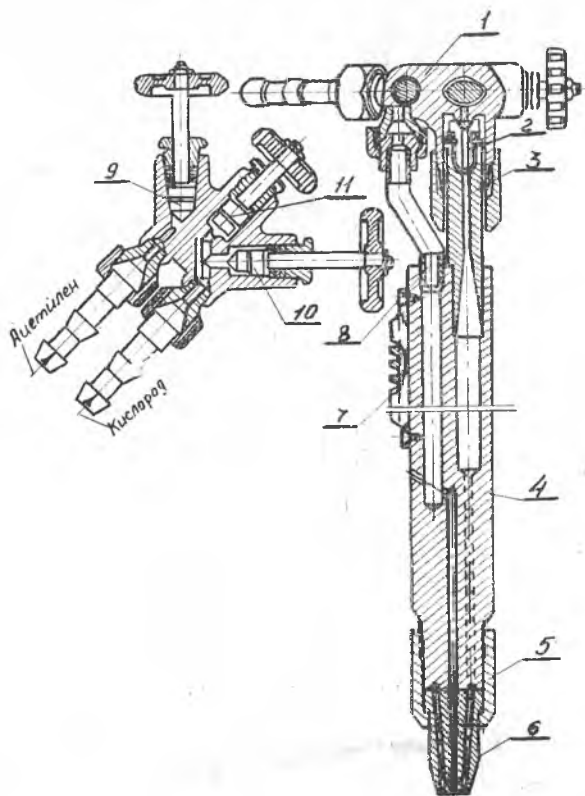


Рис. 9. Резак

Корпус резака 1 снабжен тремя вентилями — вентилем горючего газа 9, вентилем кислорода подогревающего пламени 10 и вентилем режущего кислорода 11.

Смесительная камера 3, в верхней части которой вставлен инжектор 2, и трубка режущего кислорода 8 припаиваются серебряным припоем к телу резака 4. Резак устанавливается соосно с копирным роликом, что обуславливает точность резки до $0,3 \div 0,5$ мм. Такая высокая точность, а также чистота поверхности реза, приближающаяся к чистоте поверхности, обработанной на металло-

режущих станках, позволяет вырезать не только заготовки, но и готовые детали. В ряде случаев резка на этой машине при небольших сериях изготавливаемых деталей оказывается рациональнее штамповки иковки ввиду малой стоимости изготовления копиров.

Для машин с магнитным копирным устройством применяются сплошные и наборные копиры, размеры которых определяются исходя из следующих вариантов:

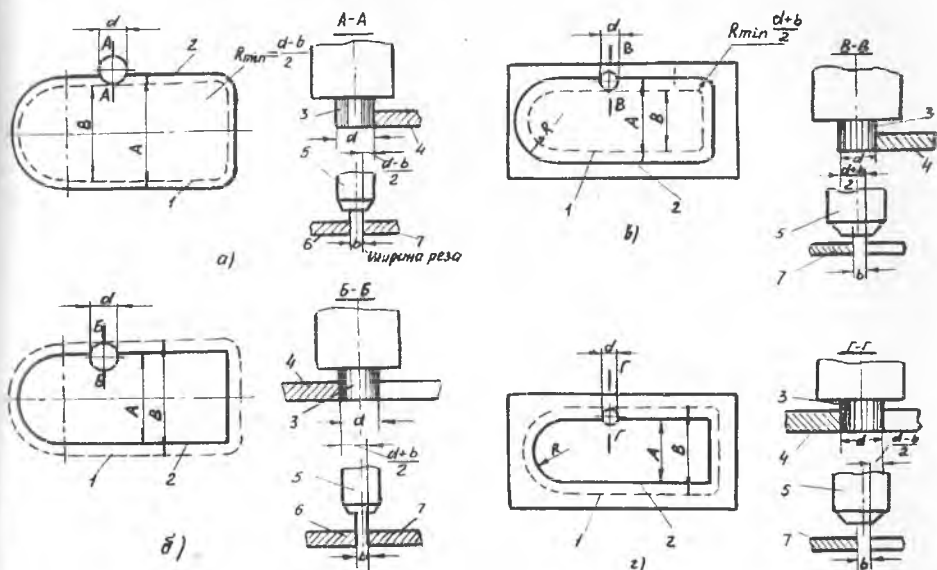


Рис. 10. Вырезка внешнего контура детали: *a* — по внешнему контуру шаблона; *б* — по внутреннему контуру шаблона; вырезка внутреннего контура детали: *в* — по внешнему контуру шаблона; *г* — по внутреннему.

Вариант 1,*a* — вырезка внешнего контура деталей с обкатыванием магнитного ролика по внешнему контуру копира;

Вариант 1,*б* — вырезка внешнего контура деталей, но с обкатыванием магнитного ролика по внутреннему контуру копира;

Вариант 2,*a* — вырезка внутреннего контура детали (окна, лаза и пр.) при обкатывании магнитного ролика по внешнему контуру копира;

Вариант 2,*б* — вырезка внутреннего контура детали при обкатывании магнитного ролика по внутреннему контуру копира.

Принцип проектирования размеров копиров по заданным размерам вырезанной детали показан на рис. 10.

Пунктирной линией показан размер копира (определяемый для произвольно взятого размера буквой *B*), штрихпунктирной линией — геометрические места точек перемещения центра магнитного

ролика (на разрезаемом листе при масштабе копирования 1:1 дает линию перемещения центра кислородной струи), а сплошными линиями (по обе стороны от штрихпунктирной) — кромки разреза при его ширине b . В этом случае для варианта 1,а размер копира B определяется в соответствии с желаемым размером детали A формулой:

$$B = A (d - b), \quad (13)$$

где d — диаметр магнитного ролика, мм.

При этом минимальный радиус закругления кромок вырезаемых деталей составляет:

$$R_{\min} = \frac{d - b}{2}.$$

Соответствующие значения размеров копиров для вариантов 1,б; 2,а; 2,б и размеры минимальных радиусов закруглений даны в следующих формулах:

$$\text{вариант 1,б} \quad B = A + \frac{1}{2}(d + b); \quad R_{\min} = 0. \quad (14)$$

$$\text{вариант 2,а} \quad B = A - (d + b); \quad R_{\min} = \frac{d + b}{2}. \quad (15)$$

$$\text{вариант 2,б} \quad B = A + (d - b); \quad R_{\min} = 0. \quad (16)$$

Сплошные копии обычно изготавливаются фрезерованием из листовой стали толщиной 5—8 мм, причем точность их изготовления должна быть на 1—2 класса выше точности вырезаемой детали.

Выполнение работы

Опыты по прямолинейной разделительной резке на автомате проводятся на пластинах листовой малоуглеродистой стали толщиной 8—20 мм, длиной 500 мм и шириной 150 мм.

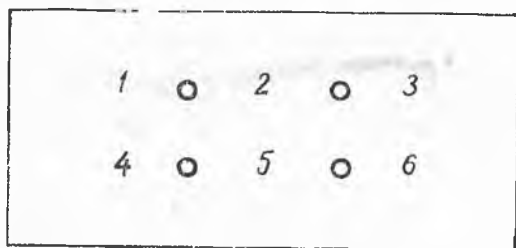


Рис. 11. Схема расположения участков реза на пластине

На разрезаемой пластине стали размечаются мелом три равных участка по схеме рис. 11. Первоначально резка пластин производится на длине первого участка и скорости, явно заниженной, против табличных данных (на 100—200 мм/мин). Затем на втором участке на оптимальной скорости, соответствующей данным таб-

лицы 2, и, наконец, на третьем участке процесс резки ведется при постепенном увеличении скорости с доведением последней до максимально возможного значения, до прекращения процесса.

Зависимость отставания от давления режущего кислорода устанавливается в процессе резки той же пластины малоуглеродистой стали на участках 4, 5 и 6. Резка проводится на постоянной скорости 450—500 мм/мин. Данные сводятся в таблицу 3.

После остывания пластины производится замер величины отставания в трех участках реза по всей длине разрезанной кромки. Отставание может быть измерено путем закрашивания бумаги, приложенной к поверхности разрезанной кромки, грифелем простого черного карандаша и получения отпечатка кромки на бумаге. Замер отставания производится штангенциркулем с точностью 0,1 мм.

Таблица 2

Толщина стали, мм	Скорость резки, мм/мин	Отставание, мм	Примечание
8—10	350		Резка производится мундштуком № 1 Давление кислорода 5 атм, которое устанавливается по манометру редуктора при перекрытом вентиле
8—10	450		
8—10	600		
15—20	250		
15—20	450		
15—20	550		

Таблица 3

Толщина стали, мм	Давление кислорода, атм	Отставание, мм	Примечание
8—10	3		Давление кислорода устанавливается по манометру на редукторе при перекрытом вентиле
8—10	4		
8—10	5		
15—20	4		
15—20	5		
15—20	6		

По полученным данным строятся кривые зависимости величины отставания от скорости резки и давления кислорода.

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Краткое описание работы и принципиальную схему установки.

2. Протокол записи показаний приборов и измерений обработки результатов опыта.

3. Сравнение полученных результатов с литературными данными и заключение.

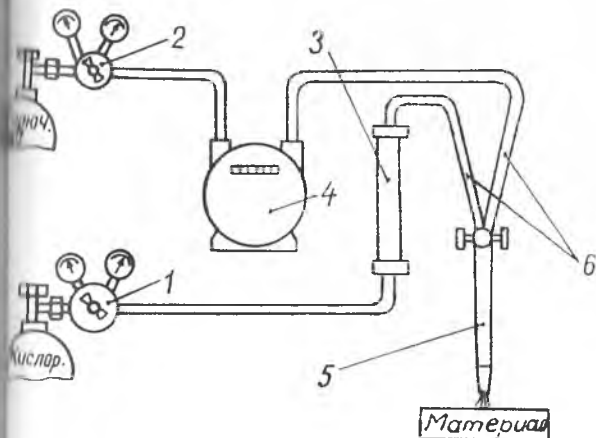
ЛИТЕРАТУРА

1. Д. П. Глизманенко, Г. Б. Евсеев. Газовая сварка и резка металлов. Машгиз, М., 1961.
 2. К. К. Хренов. Сварка, резка и пайка металлов, 1961.
 3. Г. Л. Петров, Н. Г. Буров. Оборудование и технология газовой сварки и резки, 1959.
-

Лабораторная работа № 11

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование процесса газовой разделительной резки на автомате ДСШ-2	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема установки



Перечень применяемых приборов и оборудования

1. Автомат для газовой резки типа АСШ-2.
2. Баллон с кислородом.
3. Баллон с пропан-бутаном.
4. Редукторы.
5. Расходомеры.
6. Резак машинный.
7. Штангенциркуль.

Краткие выводы по частям работы.

Результаты наблюдений и вычислений

Таблица замеров и наблюдений

№ п/п	толщина реза металла	№ мундштука	давление кислорода, <i>атм</i>	расход кислорода, $\text{л}^3/\text{м}$	расход горюч., $\text{л}/\text{м}$	скорость резки, $\text{м.м}/\text{мин}$	отстав., м.м
1							
2							
3							

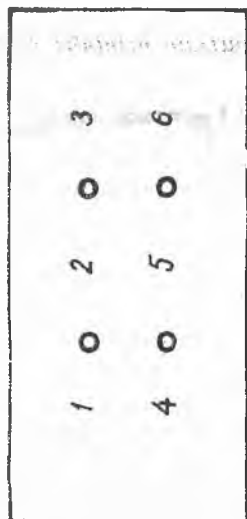


Схема расположения участков реза на пластине

Δ



Работа зачтена _____ 19 ____ г. Подпись преподавателя _____

Класс чистоты поверхности реза, определенный на двойном микроскопе МИС-11, равен _____

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ПРОЦЕСС ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ**

Целью работы является экспериментальная проверка влияния некоторых технологических факторов на растекаемость припоя и смачивание им поверхности металла, на проникновение припоя в зазор между соединяемыми деталями.

З а д а н и е

1. Определить влияние флюса, химического состава металла и состояния поверхности металла на растекаемость припоя и заполнение им зазора между паяными деталями.
2. Определить прочность паяного соединения.
3. Составить отчет о выполненной работе.

Для образования прочной связи паяемого металла с припоем необходимо, чтобы поверхностные атомы металла вступили в тесный контакт с атомами расплавленного припоя. В создании кон-



Рис. 1.

такта между припоем и металлом большое значение имеет смачивание. При смачивании металла припоем идут процессы взаимного растворения и диффузии, что всегда приводит к образованию металлической связи — твердого раствора или химического соединения. Металлы, взаимно не растворимые, не образующие между собой химических соединений или твердых растворов, не смачивают

один другого. Они образуют несмешивающиеся жидкости, причем расплавленный металл (припой) на другом твердом металле стягивается в капли.

Рассмотрим равновесие расплавленной капли припоя на поверхности металла (рис. 1).

При заданных условиях между каплей припоя и металлом устанавливается равновесие, определяемое силами поверхностного натяжения на границах раздела фаз. Условие равновесия припоя без учета силы тяжести будет иметь вид:

$$\sigma_{т. г} = \sigma_{т. ж} + \sigma_{ж. г} \cdot \cos \Theta,$$

где $\sigma_{т. г}$ — поверхностное натяжение на границе раздела металл — газовая среда или флюс;

$\sigma_{т. ж}$ — поверхностное натяжение на границе раздела металл — жидкий припой;

$\sigma_{ж. г}$ — поверхностное натяжение на границе раздела жидкий припой — газовая среда или флюс;

Θ — краевой угол смачивания, отсчитанный внутрь жидкой фазы.

Из уравнения можно получить

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{т. г} - \sigma_{т. ж}}{\sigma_{ж. г}}.$$

Величина $\cos \Theta$ является мерой смачивания. Если поверхностное натяжение между твердым телом и газом $\sigma_{т. г}$ больше, чем между твердым телом и жидкостью $\sigma_{т. ж}$, то краевой угол $\Theta < 90^\circ$, $\cos \Theta$ положителен и изменяется в пределах от 0 до 1. В этом случае расплав хорошо смачивает поверхность металла; при $\Theta = 0$ ($\cos \Theta = 1$) будет наблюдаться полное взаимное смачивание металлов. Если $\sigma_{т. г} < \sigma_{т. ж}$, то $\Theta > 90^\circ$, $\cos \Theta$ отрицателен и изменяется от 0 до -1 ; в этом случае говорят о плохом смачивании металла расплавом. Уменьшение $\sigma_{т. ж}$ во всех случаях вызывает увеличение $\cos \Theta$, то есть улучшение смачивания; увеличение $\sigma_{т. ж}$ во всех случаях приводит к противоположному результату.

Таблица 1

Поверхностное натяжение олова и эвтектики Sn—Pb немного выше температуры плавления

Металл	Поверхностное натяжение в <i>дин/см</i> (для различных флюсов)		
	Водород	Канифольный	Хлорид цинка и хлорид аммония
Олово	550	456	422
Эвтектика Sn—Pb . . .	490	390	331

Применение флюсов при пайке снижает поверхностное натяжение припоев (табл. 1), то есть улучшает смачивание и растекаемость припоев по поверхности металла.

Наличие на поверхности металла пленок окислов, нитридов, сернистых соединений и других пленок с неметаллической связью затрудняет смачивание паяемого металла припоем. Эти неметаллические пленки, образующиеся до пайки и в процессе пайки, мешают образованию металлической связи между припоем и соединяемыми деталями. Поэтому перед пайкой все вещества с неметаллической связью должны удаляться с поверхности металла (травлением, механической зачисткой, обезжириванием).

Неметаллические пленки, образующиеся на поверхности металла и припоя в результате химического воздействия окружающей среды при пайке, должны растворяться или разрушаться флюсом. Выбор флюса для пайки зависит от химического состава паяемого металла и типа припоя. Наиболее активные флюсы применяются при пайке сталей и сплавов, содержащих хром, так как окислы, образующиеся на поверхности указанных материалов, имеют высокую химическую стойкость.

Расплавившийся при нагревании жидкий припой затекает в зазор между деталями под действием капиллярных сил и иногда силы тяжести. Высота поднятия жидкости в капиллярах, как известно, определяется по формулам:

$$h = \frac{4 \cos \theta \sigma}{d \gamma g} \quad \text{— для круглых капилляров,}$$

$$h = \frac{2 \cos \theta \sigma}{\delta \gamma g} \quad \text{— для капилляров, образованных параллельными стенками.}$$

Здесь d — диаметр капилляра, δ — зазор между стенками,

γ — плотность жидкости, g — ускорение силы тяжести.

Из формул видно, что глубина проникновения жидкого припоя в зазор тем больше, чем больше поверхностное натяжение σ , меньше краевой угол смачивания θ и меньше зазор δ .

Величина зазора между деталями влияет также и на прочность паяного соединения. Поэтому при конструировании паяных соединений и их сборке стремятся получить наименьшие допустимые для заданного типа припоя зазоры. Рекомендуемые зазоры в соединениях для некоторых металлов и припоев приведены в табл. 2.

Растекаемость жидкого припоя по металлу зависит от шероховатости его поверхности. Шероховатая поверхность паяемого металла создает своеобразные капилляры, по которым движется

жидкий припой. Растекаемость жидкого припоя по полированной поверхности даже при наличии смачивания очень мала.

Таблица 2

Зазоры в соединениях при пайке металлов

Припой	Зазоры в соединениях (мм) при пайке металлов		
	медь	медные сплавы	стали
Медь	—	—	0,001—0,25
Латунь	0,075—0,40	0,075—0,40	0,05—0,25
Медно-фосфористые	0,02—0,1	0,025—0,12	—
Серебряно-медно-фосфористые	0,06—0,3	0,055—0,3	—
Серебряные	0,03—0,25	0,03—0,25	0,025—0,25
Легкоплавкие: (оловянно-свинцовые, оловянно-цинковые)	—	—	0,2—0,75

Выполнение работы

I. Исследование растекаемости припоя на плоских образцах из нержавеющей и малоуглеродистой стали.

1. Определить температуру пайки и убедиться, что температура в печи соответствует указанной температуре. Температура пайки устанавливается на 30—50°C выше температуры начала кристаллизации припоя (табл. 3).

2. Подготовить поверхность образцов. Для исследования берется 6 плоских образцов — 3 образца из нержавеющей и 3 образца из малоуглеродистой стали. Четыре образца (по два каждого материала) зачищаются наждачной шкуркой или металлической щеткой и обезжириваются спиртом или бензином. Два образца (по одному каждого металла) нагреваются в печи при температуре 350—400°C для образования на их поверхности окисной пленки.

3. Подготовить 6 навесок припоя по 0,5 г и 4 навески флюса по 0,3 г. Припой обезжирить спиртом или бензином. Флюс выбирается согласно табл. 4.

4. Собрать образцы с припоем и флюсом, как указано в протоколе отчета, и вместе с приспособлением поместить в печь, нагретую до температуры пайки. Образцы в печи выдерживаются до расплавления припоя, после чего несколько охлаждаются при открытой печи и осторожно извлекаются.

5. Определить характер растекания припоя и площадь, занятую припоем, на поверхности каждого образца.

II. Определение глубины затекания припоя в зазор между деталями и прочности паяного соединения на срез.

Химический состав и свойства некоторых твердых припоев

Марка припоя	Химический состав в %					Температура кристаллизации, °C		Температура пайки, °C	Свойства паяных соединений	
	Ag	Cu	Zn	Sn	Si	начало	конец		σв, Г/мм²	τср, кг/мм²
								σв, Г/мм²		
Пер-25 Л162 Л168 ЛОК59-1-03	25 ± 0,3	40 ± 1,0	35 ± 1,5	—	—	710	650	740—750	23,0	25,5
	—	60,5—63,5	35,5—36,5	—	—	905	—	940—950	43,0	27,5
	—	67—70	33—30	—	—	938	—	970—980	—	—
	—	58—60	41—39	0,7—1,1	0,2—0,4	905	—	950—960	—	—

Таблица 4

Флюсы для пайки твердыми припоями

Бура	Состав флюса в %					Область применения
	Борная кислота	Фтористый кальций	Фтористый калий	Фторборат калия		
100	—	—	—	—	—	Для пайки углеродистых сталей, меди и медных сплавов медью и медно-цинковыми припоями Для пайки нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов медью, медно-цинковыми и медно-никелевыми припоями Для пайки углеродистых, нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов медными припоями с температурой плавления выше 850°C Для пайки нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов серебряными припоями Для пайки конструкционных и нержавеющей сталей, жаропрочных сплавов серебряными припоями с температурой плавления 600—835°C
50	50	—	—	—		
12	78	10	—	—		
50	35	—	15	—		
—	25	—	35	40		

Исследования проводятся на образцах, показанных на рис. (материал трубок — нержавеющая сталь, материал кольца и стержня — малоуглеродистая сталь).

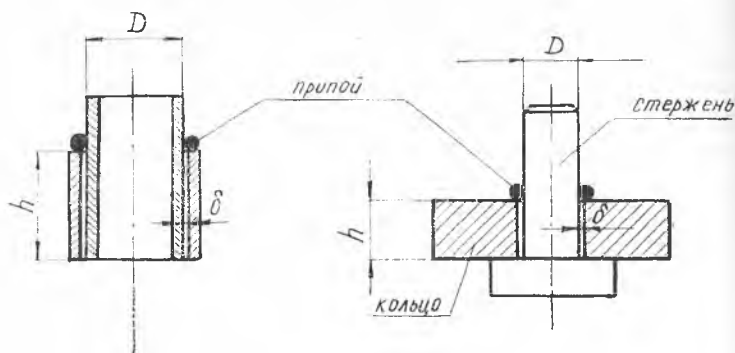


Рис. 2.

1. Собрать образцы, как показано на рис. 2; кольцо припоя должно плотно прилегать к поверхности внутренней детали. Зазор между деталями δ должен соответствовать рекомендуемому в табл. 2. Необходимый минимальный объем припоя вычисляется по формуле

$$v_n = 2\pi Dh\delta,$$

где D — диаметр стержня или внутренней трубки;

h — величина нахлестки;

δ — зазор между деталями.

Коэффициент 2 учитывает расход припоя на образование галтели, диффузию в основной металл и потери.

Перед сборкой необходимо: зачистить поверхности деталей наждачной шкуркой и обезжирить спиртом или бензином; зачистить и обезжирить проволоку — припой; нанести кистью растворенный в воде флюс на поверхности образцов (в местах пайки) и на кольцо припоя; высушить образцы и припой.

2. Установить образцы в приспособление и паять в печи.

3. После охлаждения образцы, предназначенные для испытания на срез, обработать на токарном станке (удалить опорную шайбу стержня и галтель); трубчатые образцы разрезать по диаметральной плоскости и из одной половины каждого образца приготовить макрошлифт.

4. Испытать образцы на разрывной машине и определить прочность паяного соединения на срез:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{P}{\pi Dh} \text{ кг/мм}^2,$$

где P — усилие при разрушении образца в кгГ.

5. По макрошлифам определить плотность заполнения припоём зазора между деталями, наличие раковин, пустот, непропая. Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Краткое описание работы с эскизами образцов для испытания на срез и на затекание припоя.
2. Перечень оборудования, приборов, приспособлений.
3. Протоколы испытаний.
4. Сопоставление полученных результатов со справочными данными и краткие выводы.

ЛИТЕРАТУРА

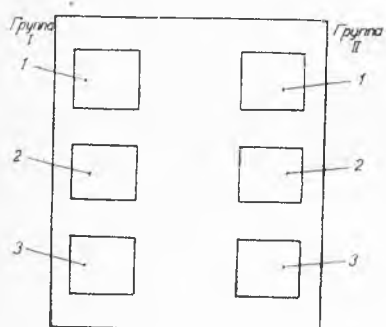
1. И. Ф. Лашко, С. В. Лашко-Авакян. Пайка металлов, Машгиз, М., 1959.
2. А. В. Лакедемонский, В. Е. Хряпин. Паяние и припой. Металлургиздат, М., 1958.

Лабораторная работа № 12

Кафедра «Производство летательных аппаратов»		Исследование влияния технологических факторов на процесс пайки металлов	Лаборатория сварки
дата выполнения работы	группа	фамилия студента	подпись студента

Схема расположения образцов при испытании припоя на растекаемость

Перечень применяемых приборов и оборудования



1. Печь лабораторная
2. Лабораторные весы.
3. Разрывная машина.
4. Приспособления для установки образцов.

Краткие выводы по частям работы

Результаты наблюдений и вычислений
Протокол № 1

Группа образцов	Материал образцов	Марка припоя	Температура пайки, °С	№ образца	Подготовка поверхности образца	Применение флюса	Характер растекания припоя и площадь, занятая припоем, мм ²
I	Малоуглеродистая сталь			1	зачистка, обезжирив.	с флюсом	
				2	»	без флюса	
				3	с окислен. поверхност.	с флюсом	
II	Нержавеющая сталь			1	зачистка, обезжирив.	с флюсом	
				2	»	без флюса	
				3	с окислен. поверхност.	с флюсом	

Протокол № 2

Материал образцов	№ образца	Припой	Флюс	Т _{напкн.} , °С	Подготовка поверхности образца	P, кг	S = π·Dh, мм ²	$\frac{кг}{\tau_{ср.} \cdot мм^2}$	$\frac{кг}{\tau_{ср.} \cdot мм^2}$	Характер затекания припоя в зазор	
Малоуглеродистая сталь	1				зачистка, обезжиривание						
	2										
	3										
Нержавеющая сталь	1				зачистка, обезжиривание						
	2					без зачистки					

Работа считана 19__ г. Подпись преподавателя _____

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Лабораторная работа № 1. Исследование внешних статических характеристик источников питания сварочной дуги	4
Лабораторная работа № 2. Исследование свойств электрической сварочной дуги	37
Лабораторная работа № 3. Определение технологических характеристик сварочных электродов	47
Лабораторная работа № 4. Ручная дуговая электрическая сварка металлическим электродом	58
Лабораторная работа № 5. Исследование формы и размеров зоны плавления при дуговой электросварке под флюсом	66
Лабораторная работа № 6. Влияние параметров режима на производительность процесса сварки в углекислом газе	82
Лабораторная работа № 7. Исследование аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов	91
Лабораторная работа № 8. Исследование поля тока в деталях при контактной сварке на плоских бумажных моделях	100
Лабораторная работа № 9. Исследование влияния параметров режима точечной сварки на прочность соединений	110
Лабораторная работа № 10. Исследование процесса газовой сварки стали и алюминиевых сплавов	119
Лабораторная работа № 11. Исследование процесса газовой раздельной резки стали	130
Лабораторная работа № 12. Исследование влияния технологических факторов на процесс пайки металлов	149

Л. А. Дударь, Ф. И. Китаев, М. Д. Рудман
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО СВАРКЕ

Ответственный редактор М. И. Разумихин
Редактор А. И. Кондратьева
Технический редактор Н. М. Каленюк
Корректор Е. М. Кошкина