

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

(Национальный исследовательский университет

СГАУ)

**РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЕЙ
ПОКРЫТЫМИ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ**

методические указания

к лабораторной работе

САМАРА 2010

УДК 621.45.0.002.2

Составители: Смелов В.Г., Нехорошев М.В.

**РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЕЙ ПОКРЫТЫМИ ПЛАВЯЩИМИСЯ
ЭЛЕКТРОДАМИ:** метод. указания/ Сост.: [Смелов В.Г., Нехорошев М.В.] – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2010. - 10 с.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальностям «Авиационные двигатели и энергетические установки»

Разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2010

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЕЙ

ПОКРЫТЫМИ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: практическое ознакомление с методиками: выбора параметров режима сварки, выявления дефектов сварных соединений; определения расхода электродов и электроэнергии.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Автоматизация процесса успешно осуществляется при дуговой сварке швов большой протяженности на плоскости или замкнутых швов на изделиях достаточно больших диаметров, главным образом, при «нижнем» положении и швов «в лодочку» [1].

Короткие швы в труднодоступных местах и в различных пространственных положениях выполняются, как правило, ручной дуговой сваркой штучными плавящимися покрытыми электродами или полуавтоматической сваркой плавящейся электродной проволокой.

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами последние выполняют несколько функций: инструмента - для возбуждения и поддержания горения сварочной дуги, присадочного материала - за счет плавления стержня электрода, защитной среды - за счет плавления и частичного испарения компонентов покрытия.

Так как в швах, выполненных дуговой сваркой, доля участия электродного металла велика (порядка 50—60%), то качество сварного соединения в значительной степени зависит от состава металла стержня и покрытия. Выбор марки электрода предопределяется маркой свариваемого материала и требованиями к свойствам сварных соединений. Электроды, применяемые для сварки сталей 10, 20, 25ХГСА и 30ХГСА, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Марка свариваемой стали	Термическая обработка сварного соединения	Марка	
		электрода	проволоки
10, 20	Без термической обработки или с последующей нормализацией	ВИ-9-6 ВИ-10-6 НИАТ-3М УОНИИ-13/45	СВ-08А --->>--- --->>--- --->>---
25ХГСА 30ХГСА	Закалка и отпуск после сварки до временного сопротивления основного материала $\sigma_{\text{в}} \geq 900$ МПа	ВИ-9-6 ВИ-9-6 НИАТ-3М ВИ-10-6	Св-08А Св-18ХМА Св-08А Св-08А
25ХГСА 30ХГСА	Без последующей термической обработки с любой прочностью материала до сварки (сварка в термообработанном состоянии)	НИАТ-5 НИАТ-5 ВИ-12-6	Св-10Х16 Св-Н25АМ6 Св-Х20Н80Т

Сварные швы, выполненные сваркой плавлением, в частности, ручной дуговой сваркой, характеризуются шириной шва e , усилением g и глубиной проплавления; при однопроходной сварке глубина проплавления равна толщине свариваемых кромок S . Перед сваркой кромки устанавливаются с равномерным зазором b (рисунок 1, таблица 2) [2, 6].

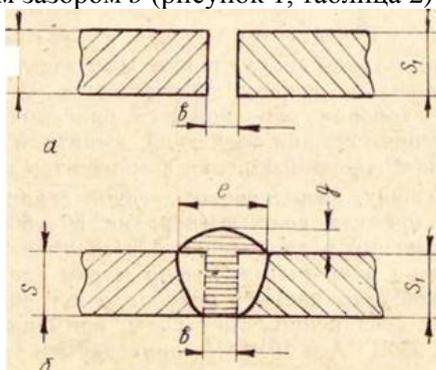


Рисунок 1 - Конструкторские элементы подготовленных кромок свариваемых деталей (а) и сварного соединения (б)

На форму, размеры и качество соединения большое влияние оказывают режим сварки и квалификация сварщика.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода, род, полярность и сила сварочного тока. Численные значения указанных параметров определяются маркой свариваемого материала, толщиной кромок и формой их подготовки перед сваркой (типом соединения), а также пространственным положением шва при сварке [1]. Режимы дуговой сварки конструкционных сталей приведены в табл. 3. Род и полярность тока должны соответствовать паспорту на электрод; сварка толстопо - крытыми электродами, как правило, проводится на постоянном токе обратной полярности.

Процесс сварки начинается с возбуждения дуги коротким замыканием электрода на деталь, отрыва электрода и образования сварочной ванны. При сварке электроду сообщается движение в трех направлениях: вдоль оси электрода для компенсации его укорочения при расплавлении и для поддержания заданной длины дуги, равной, примерно, диаметру электрода; вдоль кромок свариваемых деталей — для образования шва (по направлению скорости сварки) и, наконец, колебательные движения поперек кромок для обеспечения большей (или меньшей) ширины шва.

С увеличением скорости сварки ширина шва и глубина проплавления уменьшаются, возможно образование непроваров. При малых скоростях сварки возможно чрезмерное проплавление кромок и их прожог, ширина и усиление шва возрастают. Некоторые характерные дефекты сварных швов и причины их возникновения приведены на рисунке 2 и в таблице 4 [3].

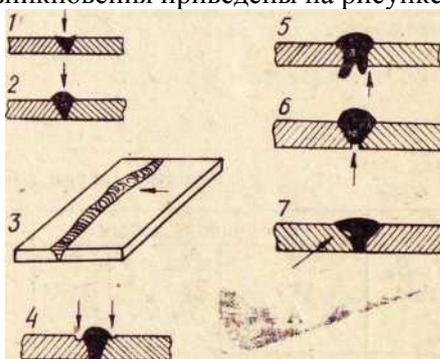


Рисунок 2 - Некоторые дефекты сварных швов:

1 - занижение размеров сечения сварного шва; 2 - превышение усиления сварного шва; 3 - неравномерное усиление и ширина шва; 4 - подрез зоны сплавления; 5 - прожог сварного шва; 6 - наплав по сечению шва; 7 - непровар по кромкам.

Таблица 2

Размеры и предельные отклонения конструктивных элементов подготовленных кромок свариваемых деталей и выполненных швов

Условное обозначение сварного соединения	S = S ₁ мм	b, мм		e, мм	g, мм		Расчетные значения	
		Номинальное значение	пред. откл.	(предел. откл. +1, -2)	Номинальное значение	Предельные отклонения	F _н , мм ²	m _н , кг/м
С2	1,5	0	+0,5	5	1,0	±0,5	4,19	0,033
	2,0	1	±1,0	6	1,5		9,30	0,072
	3,0						11,43	0,089
	4,0		±1,0	7	2,0	±1,0	22,87	0,179
	5,0	2	-0,5				25,12	0,196
	6,0			9			27,37	0,214

Режимы сварки конструкционных сталей

S = S ₁ мм	Соединения встык			Соединения в тавр			Время сварки 1м шва	
	ток А	диаметр электрода, мм	число слоев	ток А	диаметр электрод а, мм	число слоев	T ₀	T _{шт}
2,0	45... 70	2,5	1	50... 80	2,5... 3,0	1	3,9	5,8
2,5	60... 90	2,5... 3,0	1	70... 105	3,0	1	6,3	8,7
3,0	90... 130	3,0	1	90... 130	3,0... 4,0	1	6,5	-
4,0	120... 160	3,0... 4,0	1	120... 160	3,0... 4,0	1	6,9	9,2
5,0	130... 180	3,0... 4,0	1... 2	130... 180	4,0	2	7,5	9,9

Дефекты сварных соединений (по ГОСТ 19232-73)

Термин	Определение	Причина образования дефекта
Трещина в сварном шве и переходной зоне	Дефект сварного соединения в виде разрыва в сварном шве и прилегающих к нему зонах	Повышенная склонность основного металла и металла электрода к образованию трещин. Недостаточная прокатка электродов перед сваркой. Неправильно выбрана температура предварительного подогрева свариваемых кромок. Нетехнологичность конструкции изделия или неправильное расположение и порядок наложения швов, вызывающие высокую концентрацию напряжений. Большие внутренние напряжения замкнутых швов.
Пора сварного шва	Дефект сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом	Неудовлетворительное качество электродов. Увлажненность электродного покрытия. Загрязненная поверхность кромок. Неправильная техника сварки.
Неметаллическое включение	Дефект в виде неметаллических частиц в металле шва	Неудовлетворительное качество подготовки кромок.
Шлаковое включение сварного шва	-	Неудовлетворительное качество подготовки кромок. Неправильный режим или техника сварки.
Непровар	Дефект сварного соединения в виде местного несплавления кромок или поверхности ранее выполненных валиков (см. рис. 2)	Неправильный режим или техника сварки. Неудовлетворительная подготовка кромок и сборка изделия перед сваркой.
Наплыв сварного соединения	Дефект в виде натекания металла шва на поверхность основного материала или ранее выполненного валика без сцепления с ним	Неудовлетворительный режим или техника сварки. Неудовлетворительная подготовка кромок и сборка изделия перед сваркой. Неправильное положение изделия в пространстве при сварке.
Занижение размеров сечения сварного шва	(см. рис. 2)	Неправильный выбор режима или техники сварки: недостаточен сварочный ток, чрезмерная скорость сварки, мал зазор между кромками свариваемых деталей.
Превышение усиления сварного шва	(см. рис. 2)	Неправильный выбор режима или техники сварки.

Превышение проплава сварного шва	-	Неправильный выбор режима, или техники сварки. Отсутствие теплоотвода с обратной стороны кромок.
Прожег сварного шва	Дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшегося в результате вытекания сварочной ванны (см. рис. 2)	Неправильный выбор режима или техники сварки.
Подрез зоны сплавления	Дефект в виде углубления на основном материале вдоль линии сплавления сварного шва с основным материалом (см. рис. 2)	Неправильный выбор режима или техники сварки. Неправильное пространственное положение изделия при сварке.
Смещение сваренных кромок	Дефект в виде несовпадения свариваемых кромок по высоте.	Некачественная сборка деталей перед сваркой, недостаточный прижим кромок при сварке. Большое расстояние между прихватками
Кратер (по ГОСТ 2601-74)	Углубление, образуемое в сварочной ванне давлением газов дуги (ГОСТ 2601-74)	Преждевременный резкий обрыв дуги при недостаточном количестве расплавленного металла в ванне.
Брызги металла	Дефект в виде затвердевших капель металла на поверхности сварного соединения	Чрезмерная длина дуги и сила сварочного тока. Чрезмерное увлажнение электродного покрытия

Определение расхода электродов и электроэнергии

Нормы расхода H_3 (кг) покрытых электродов и $H_{пр}$ (кг) электродной проволоки при сварке шва длиной $L_{ш}$ (м) определяются исходя из фактической длины шва и удельной нормы расхода G_3 и $G_{пр}$ в килограммах на 1 метр шва данного типа

$$H_3 = G_3 L_{ш}; H_{пр} = G_{пр} L_{ш}. \quad (1)$$

Удельная норма расхода электродов и проволоки рассчитывается по формулам:

$$G_3 = K_{p3} m_H \quad (2)$$

$$G_{пр} = K_{пр} m_H \quad (3)$$

$$m_H = \rho F_H \times 10^{-3} \quad (4)$$

где m_H - расчетная масса наплавленного металла, кг/м (таблица 2);

K_{p3} - коэффициент расхода электрода, учитывающий массу покрытия, приходящуюся на единицу массы электродного стержня, а также потери на испарение, окисление, разбрызгивание и неиспользуемую часть стержня, зажатую в электрододержателе;

$K_{пр}$ - коэффициент расхода электродной проволоки, учитывающий ее потери при сварке;

ρ - плотность наплавленного металла шва, г/см³;

F_H - площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм² (см. рисунок 2, таблицу 2).

При сварке электродами с тонким покрытием принимают $\rho = 7,5$ г/см³, а при сварке толстопокрытыми электродами $\rho = 7,8$ г/см³.

Площадь F_H подсчитывается по сумме площадей элементарных геометрических фигур, на которые может быть разбита. Для соединения типа С2 (см. рис. 1) F_H определяют по формуле

$$F_H = bS + 0,75eg. \quad (5)$$

Численные значения коэффициента $K_{пр}$ расхода электродной проволоки, коэффициента K_{p3} расхода электрода и других технологических характеристик некоторых марок электродов приведены в таблице 5.

Фактический $G_{3ф}$ удельный расход электродов (кг/м) при выполнении лабораторной работы можно определить взвешиванием электродов до и после сварки и последующим вычислением по формуле

$$G_{\text{эф}} = \frac{m_{\text{э}1} - m_{\text{э}2}}{L_{\text{ш}}} \quad (6)$$

Таблица 5

Технологические характеристики электродов для ручной дуговой сварки конструкционных сталей [5]

Тип электрода по ГОСТ 9467 - 75 или ГОСТ 10052 - 75	Марка электрода	Коэффициент расхода проволоки $K_{\text{р пр}}$	Коэффициент расхода электрода $K_{\text{р э}}$	Род и полярность тока
Э85	НИАТ-3М	1,20	1,75	постоянный, обратная то же
-	НИАТ-3	1,20	1,75	
-	ВИ-9-6	1,50	1,60	постоянный, прямая то же
-	ВИ-10-6	1,40	1,90	
-	НИАТ-5	-	-	постоянный, обратная то же
Э42А	УОНИИ-13/45	1,30	1,75	
Э50А	УОНИИ-13/55	1,30	1,75	---
-	ВИ-12-6	1,25	1,70	---

Напряжение на дуге, номин. $U_{\text{дн}}$ В	Коэффициент массы покрытия $K_{\text{мп}}$ %	Коэффициент расплавления $\alpha_{\text{р}}$, г/А ч	Коэффициент потерь Ψ , %	Коэффициент наплавки $\alpha_{\text{н}}$, г/А ч
24	38-47	10	1-2	10
24	38-47	10	1-2	10
24	2-5	5-6	15-20	4-5
24	30-40	9,5	15	8
26	30-40	12,5	0	12,5
24	30-40	9,0	10	8,5
24	30-40	10,0	10	9,5
26	30-40	12,5	10	11

где $m_{\text{э}1}$ и $m_{\text{э}2}$ - масса электрода до и после сварки, г;

$L_{\text{ш}}$ - длина шва, мм.

Фактический $G_{\text{р пр ф}}$ удельный расход электродной проволоки (кг/м) определяют из соотношения

$$G_{\text{р пр ф}} = \rho \frac{l_{\text{э}1} - l_{\text{э}2}}{L_{\text{ш}}} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

где $l_{\text{э}1}$ и $l_{\text{э}2}$ - длина электрода до и после сварки, мм.

Фактическая масса направленного металла $m_{\text{нф}}$ в килограммах при сварке образцов определяется по формуле

$$m_{\text{н ф}} = \frac{m_{\text{св}} - 2m_{\text{д}}}{1000} \quad (8)$$

где $m_{\text{св}}$ - масса образца после сварки, г;

$2m_{\text{д}}$ - масса двух пластин до сварки, г.

Стандартом [5] устанавливается удельный расход электрической энергии $a_{св1}$ на 1 кг наплавленного металла: при ручной дуговой сварке на переменном токе $a_{св1} = 16,2$ МДж/кг, а при сварке на постоянном токе $a_{св1} = 23,4$ МДж/кг. Различие в численных значениях удельного расхода связано с различием в коэффициентах полезного действия $\mu_{ист}$ источников питания дуги переменным и постоянным током.

Удельный расход электрической энергии $a_{св2}$ на 1 м шва заданного поперечного сечения можно определить, зная массу одного погонного метра шва m_H (кг/м) из соотношения:

$$a_{св2} = a_{св1} m_H \quad (9)$$

Так, например, для шва типа С2 при толщине свариваемых кромок $S = S_1 = 4$ мм по табл. 2 $m_H = 0,179$ кг/м и удельный расход электрической энергии при сварке 1 м шва на переменном токе будет равен в МДж/м:

$$a_{св2} = 16,2 \cdot 0,179.$$

Фактические удельные расходы электрической энергии на 1 кг наплавленного металла $a_{св1ф}$ и на 1 м шва $a_{св2ф}$ определяются из соотношений

$$a_{св1ф} = \frac{A_{свф}}{m_{нф}} \quad (10)$$

$$a_{св2ф} = \frac{A_{свф}}{L_{шф}} \quad (11)$$

и сравниваются с нормативными данными.

Расход электроэнергии $A_{св}$ в джоулях при сварке шва длиной $L_{ш}$ определится из соотношения:

$$A_{свф} = A_{пл} + A_{хх} = \frac{U_d I_{св}}{\mu_{уст}} \tau_{пл} \cos \varphi_{св} + U_{1хх} I_{1хх} \tau_{хх} \cos \varphi_{хх} \quad (12)$$

где $A_{пл}$ и $A_{хх}$ - расход электроэнергии на плавление основного и электродного материала и на холостой ход источника питания сварочной дуги, Дж;

U - напряжение на дуге, В;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А;

$\mu_{уст}$ - коэффициент полезного действия источника питания дуги (в среднем можно принять равным для сварочных преобразователей 0,50; для сварочных выпрямителей 0,65 и для сварочных трансформаторов 0,80);

$U_{1хх}$ - напряжение сети при холостом ходе источника питания дуги, А;

$I_{1хх}$ - ток холостого хода источника, А;

$\tau_{пл}$ и $\tau_{хх}$ - время горения дуги и время холостого хода источника при сварке шва длиной $L_{ш}$, в сек.

При питании дуги от источника, включенного в сеть трехфазного тока, второе слагаемое в формуле (12) необходимо умножить на $\sqrt{3}$.

Коэффициент мощности сварочной дуги $\cos \varphi_{св}$ можно принять равным единице, т. е. считать сопротивление дуги чисто активным. Коэффициент мощности $\cos \varphi_{хх}$ цепи при холостом ходе источников питания принимают при использовании сварочного преобразователя равным 0,60, сварочных выпрямителей и трансформаторов равным 0,15.

Нормативами [7] задаются основное (T_0) и штучное ($T_{шт}$) время сварки 1 м шва (см. таблицу 3). Указанные значения необходимо сопоставить с фактическими затратами времени $\tau_{пл}$ (соответствует T_0) и $\tau_{св}$ (соответствует $T_{шт}$) на сварку шва длиной $L_{ш}$.

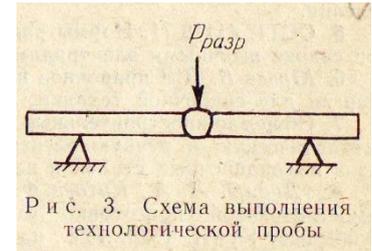
$$\tau_{св} = \tau_{пл} + \tau_{хх} \quad (13)$$

Порядок выполнения работы

К работе допускаются студенты, которые прошли инструктаж по технике безопасности и ответили на вопросы карточек контроля подготовки к выполнению лабораторных работ [8].

1. По табл. 1 выбрать марку электрода и проволоки для сварки пластин заданного материала.
2. Измерить толщину пластин S и S_1 , по таблице 2 определить форму и номинальные размеры кромок, подготовленных для сварки встык, сварного соединения (b , e , g), расчетные значения F_H и m_H ; по таблице 3 выбрать режим сварки ($I_{св}$, d_s) и значения T_0 , $T_{шт}$.
3. Ознакомиться с принципом работы заданного источника питания дуги, по приборам определить напряженное ($U_{1хх}$) и ток ($I_{1хх}$) холостого хода источника. Овладеть техникой возбуждения дуги поддержания ее устойчивого горения, направления валикового шва.

4. Взвешиванием определить массу двух пластин до сварки ($2 m_d$) и массу электрода до сварки ($m_э$), измерением определить длину этого электрода до сварки ($l_{э1}$).
 5. Приступить к процессу сварки заданных пластин встык. Закрепить пластины с равномерным зазором в приспособлении и выполнить их сварку при заданных значениях сварочного тока. Фактическое значение сварочного тока $I_{св}$ и напряжения на дуге U_d измерить по соответствующим приборам. Замерить длительность сварки $t_{св}$ (с момента включения источника питания дуги в сеть до окончания сварки) и время плавления электрода $\tau_{пл}$ - время горения дуги.
 6. Зачистить образец от шлака, взвесить образец ($m_{св}$) и огарок электрода ($m_{э2}$), замерить его длину после сварки ($l_{э2}$).
 7. Наружным осмотром определить дефекты сварного соединения, используя для их идентификации таблицу 4 и рисунок 2, и замерить фактические ширину шва $e_{ф}$ и усиление $g_{ф}$ в нескольких характерных сечениях шва, общую длину шва $L_{ш}$.
 8. Провести технологическую пробу сваренного образца на изгиб: образец уложить на опоры приспособления и нагружать по оси шва до разрушения. Необходимо определить разрушающую нагрузку $P_{разр}$ и характер разрушения образца.
 9. По формулам 1, 2 и 3 рассчитать нормы расхода электродной проволоки $H_{пр}$ и электрода $H_э$, взяв значения коэффициентов из табл. 5. Определить фактические расходы электрода и проволоки $G_{эф}$, $G_{прф}$ и массу наплавленного металла $m_{нф}$ по формулам 6, 7 и 8.
 10. По формуле 12 определить фактический расход электроэнергии $A_{свф}$ при сварке шва длиной $L_{ш}$ и фактические удельные расходы электроэнергии $a_{св1ф}$ на 1 кг наплавленного металла (формула 10) и $a_{св2ф}$ на 1 м шва (формула 11).
- Все данные наблюдений, измерений и вычислений занести в таблицу бланка отчета.



Отчет

1. Схема процесса ручной дуговой сварки (см. рис. на бланке отчета).
2. Эскиз конструктивных элементов подготовленных кромок и сварного шва (см. рисунок 1).
3. Эскиз сварного шва (вид сверху) до разрушения и после разрушения, вид на сваренные кромки с указанием фактических размеров шва в нескольких характерных сечениях, длины шва и дефектов сварного соединения.
4. Краткие выводы по работе, в которых необходимо сопоставить нормативные и фактические значения расхода электродов, электродной проволоки, электроэнергии и скорости сварки, сравнить производительность ручной дуговой и автоматической сварки под флюсом, достигаемые при сварке швов, одинакового поперечного сечения, пояснить, за счет каких факторов достигается большая производительность процесса при автоматической сварке.

Учебное издание

**РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЕЙ
ПОКРЫТЫМИ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ**

Методические указания

Составители:

Смелов Виталий Геннадьевич
Нехорошев Максим Владимирович

Компьютерная верстка:

Слепухова Елена Владимировна

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.