

621.791
С 808

Министерство высшего и среднего специального образования

С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

им. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Инж. В.А. Стихин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СЛАБОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Специальность 05.167 -

"Машины и технология сварочного производства"

05.03.06

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
1970

ЧПИ

621.791.75.032

Работа выполнена на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства" Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор И.Р.ПАЦКЕВИЧ

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор В.В.СТЕПАНОВ.
2. Кандидат технических наук, доцент М.В.АВДЕЕВ.

Ведущее предприятие – Челябинский станкостроительный завод им.С.Орджоникидзе.

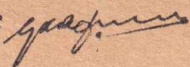
Автореферат разослан " 9 " марта 1970 г.

Защита диссертации состоится 15 апреля 1970 г. на заседании Совета по присуждению ученых степеней автотракторного и механико-технологического факультетов Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола

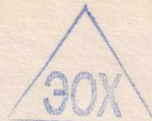
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: Челябинск, 44, проспект им.В.И.Ленина, 76, ЧПИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ –
канд. техн. наук, доцент



/С.Ф.ХАРИН/



Министерство высшего и среднего специального образования

С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

им. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

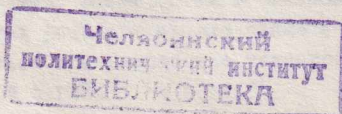
Инж. В.А. Стихин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СЖАТОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Специальность 05.167 -

"Машины и технология сварочного производства"

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Челябинск
1970

Работа выполнена на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства" Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор И.Р.ПАЦКЕВИЧ

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор В.В.СТЕПАНОВ.
2. Кандидат технических наук, доцент М.В.АВДЕЕВ.

Ведущее предприятие — Челябинский станкостроительный завод им.С.Орджоникидзе.

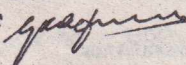
Автореферат разослан " 9 " марта 1970 г.

Защита диссертации состоится 15 апреля 1970 г. на заседании Совета по присуждению ученых степеней автотракторного и механико-технологического факультетов Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: Челябинск, 44, проспект им.В.И.Ленина, 76, ЧПИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ —
канд. техн. наук, доцент



/С.Ф.ХАРИН/

Непрерывно развивающаяся сварочная наука обогатила практику рядом новых технологических процессов, к числу которых относятся процессы, основанные на использовании плазменных источников тепла. Плазменная струя и сжатая (плазменная) дуга, являющиеся высококонцентрированными источниками тепла, обладают высокой температурой и широким диапазоном регулирования технологических характеристик. Указанные источники уже нашли практическое применение при резке, металллизации и наплавке.

Исследования ряда институтов и опыт передовых предприятий показывают высокую эффективность применения сжатой дуги при сварке. Изучению процесса и разработке оборудования для сварки сжатой дугой посвящены работы Д.А.Дудко, С.П.Лакизы, А.Н.Корниенко, А.В.Петрова, Г.А.Славина, В.Г.Вербицкого, Л.Н.Кушнарева, А.Ф.Гарбуля, Ю.А.Когана, Р.Гейджа, Д.Браунинга, Г.Филипски и других советских и зарубежных ученых и инженеров. Увеличение числа параметров, оказывающих влияние на нагрев и проплавление основного металла, расширяет технологические возможности процесса. Однако указанный способ сварки несмотря на ряд технико-экономических достоинств не получил должного развития. Одной из основных причин, тормозящих широкое внедрение его в производство, является недостаточная изученность характеристик сжатой дуги при сварке.

Основной целью настоящей работы являлось исследование энергетического баланса сжатого дугового разряда, тепловых, электрических и механических характеристик сжатой дуги применительно к процессу сварки без присадочной проволоки. Полученные данные могут служить основой рекомендаций по выбору оптимальных размеров канала сопла и режимов сварки, а также использоваться при разработке технологии и оборудования для сварки сжатой дугой.

В первой главе диссертации дан обзор работ, посвященных исследованию характеристик плазменной струи и дуги, а также процесса сварки сжатой дугой. Большие работы по изучению

плазменных струи и дуги на режимах, характерных для процессов металлизации и резки выполнены Н.Н.Рыкалинным, И.Д.Кулагинным, А.В.Николаевым, В.В.Кудиновым, К.В.Васильевым, Д.Г.Быховским и другими советскими и зарубежными учеными. Однако вследствие существенных различий процессов резки, металлизации и сварки результаты их исследований не могут быть распространены на сварку. Данных по исследованию характеристик сжатой дуги при сварке на постоянном токе недостаточно.

Процесс сварки сжатой дугой можно рассматривать как дальнейшее развитие и усовершенствование способа сварки в защитных газах неплавящимся электродом, в частности аргоно-дуговой. При сварке сжатой дугой увеличивается число параметров режима, причем большинство из них является практически независимыми переменными. Этот способ сварки, сохраняя достоинства аргоно-дуговой сварки, обладает по сравнению с ней рядом преимуществ.

Как показывает анализ литературных источников, к основным преимуществам сварки сжатой дугой относятся:

1. Высокая производительность процесса;
2. Возможность сварки металла большой толщины без разделки кромок;
3. Высокая концентрация нагрева, возможность получения узких швов с малой зоной термического влияния;
4. Высокая стабильность процесса, легкая автоматизируемость его.

К преимуществам способа, на наш взгляд, следует отнести и то, что вследствие разделения потоков газа, применяемого для защиты неплавящегося электрода и сварочной ванны, и использования различных защитных газов можно значительно расширить сортимент свариваемых материалов.

В главе показано также, что одной из основных причин, тормозящих внедрение нового, прогрессивного способа сварки, является недостаточная изученность его. Мало данных по тепловым, электрическим и механическим характеристикам сжатой сварочной дуги, по влиянию параметров режима на размеры сварных

швов и их формирование, отсутствуют рекомендации по выбору оптимальных размеров канала сопла и режимов сварки, не изучено влияние параметров режима на качество сварных соединений.

В заключение главы изложены основные задачи и общий план проведенных исследований. Здесь же описываются экспериментальная установка и общая методика исследований. В экспериментах применяли горелку с одноканальным соплом цилиндрической формы и постоянный ток прямой полярности. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон, защитного - аргон или углекислый газ.

Исследования проведены в следующем интервале режимов: ток 30-300 а, диаметр сопла (d_c) 2-5 мм, расход плазмообразующего газа ($Q_{пл}$) 50-250 л/час, углубление электрода в сопло ($l_{в}$) 1-7 мм, расстояние от сопла до детали (H) 1-9 мм. Согласно литературным источникам режимы в указанных пределах применяются при сварке наиболее часто. Для сравнения определялись по применяемым методикам соответствующие характеристики для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом.

Вторая глава посвящена исследованию тепловых и электрических характеристик сжатой сварочной дуги. Глава состоит из 3-х частей. В первой части приводится расчетно-теоретический анализ теплового баланса сжатой дуги. Сжатая дуга относится к стабилизированному виду дуг. Она горит между неплавящимся электродом и свариваемой деталью. Часть столба дуги находится в канале сопла, который оказывает сжимающее и стабилизирующее действие на дуговой разряд. Подаваемый в горелку плазмообразующий газ дополнительно сжимает столб дуги. Направленный газовый поток оказывает стабилизирующее действие и на участок столба, расположенный между соплом и деталью. Условия существования дугового разряда на этом участке во многом определяются характером окружающей (защитной) атмосферы, её теплопроводностью, теплоемкостью и потенциалом ионизации.

Участок столба дуги от конца электрода до торца сопла условно назовем закрытым столбом, а от торца сопла до детали — открытым.

Подведенная к дуге мощность выделяется в приэлектродных областях и столбе дуги. Тепловой баланс сжатой дуги в общем виде можно представить следующим образом:

$$q = q_s + q_c + q_e + q_a, \quad (1)$$

где q — тепловой эквивалент электрической мощности дуги, кал/сек;

q_s, q_c, q_a — тепло, идущее соответственно на нагрев электрода, сопла, анода (детали), кал/сек;

q_e — потери тепла дугой в окружающее пространство, кал/сек.

Теоретический анализ энергетического баланса прикатодной области показал, что выделяемая здесь мощность определяется в основном величиной тока, теплофизическими свойствами вольфрама и аргона. Указанная мощность расходуется главным образом на эмиссию электронов, нагрев воды, охлаждающей электрод; значительная часть её уносится электронами (термическая энергия электронов). Мощность, вводимая в электрод, не превышает 10% и не играет существенной роли в тепловом балансе сжатой дуги.

Мощность (q_{cm}), выделяемая в столбе дуги, расходуется на нагрев сопла, рассеивается в окружающее пространство и передается через теплообмен электродам. Эту мощность можно определить по формуле

$$q_{cm} = 0,24 \cdot I \cdot (E_s \rho_s + E_c \cdot H), \quad (2)$$

где I — сварочный ток, а;

E_s, E_c — значения градиентов напряжения на закрытом и открытом участках столба дуги, в/мм;

ρ_s, H — длина указанных участков, мм.

Ввод тепла в деталь (анод) происходит через электрический ток и путем лучистого и конвективного теплообмена детали со столбом дуги. В сжатой дуге благодаря сужению её

столба и созданию направленного потока плазмообразующего газа теплообмен детали со столбом дуги имеет, вероятно, большее значение, чем в свободной дуге. На основании теоретического анализа для расчетного определения мощности, выделяемой на аноде, предлагается следующее уравнение:

$$q_a = 0,24 \cdot I \cdot \left[(U_a + \varphi_a + \frac{3}{2} \frac{kT}{e}) + (\alpha \cdot E_a \cdot l_a + \beta \cdot E_a \cdot H) \right] \quad (3)$$

Здесь U_a - анодное падение напряжения, в;
 φ_a - работа выхода материала анода, в;
 k - постоянная Больцмана, равная $1,3804 \cdot 10^{-23}$ дж/°К;
 T - температура столба дуги, °К;
 e - заряд электрона, равный $1,602 \cdot 10^{-19}$ К;
 α, β - коэффициенты, характеризующие долю мощности, выделенной на участках столба и переданной детали.

В общем виде формула (3) примет вид

$$q_a = q_{ae} + c q_{от} \quad (4)$$

где q_{ae} - мощность, вводимая в анод электрическим током, кал/сек;
 c - коэффициент, характеризующий долю мощности, выделенной в столбе и переданной аноду.

Для расчета q_a по выражениям (3,4) необходимы значения градиентов напряжения и коэффициентов α, β, c . Коэффициенты определяют экспериментальным путем.

Во втором разделе главы приводятся результаты экспериментального исследования теплового баланса дуги. При определении распределения мощности дугу возбуждали на медном охлаждаемом аноде. Применяли методику калориметрирования энергии, отводимой охлаждающей водой от узла крепления электрода, сопла, анодного блока и теплоприемника. Последним замерялись потери через излучение открытым участком столба дуги. Установлено, что из подведенной к сжатой дуге мощности на электроде выделяется 2+6%, в канале сопла 8+42%, на аноде 35+75%; в окружающее пространство теряется 8+18%.

Мощность (q_a), вводимая в электрод, увеличивается с повышением тока; относительная величина мощности ($\frac{q_a}{q}$) при этом не изменяется. Эксперименты показали, что изменение диаметра сопла, расхода плазмообразующего газа, расстояния от сопла до детали и углубления электрода не влияет на q_a . В то же время $\frac{q_a}{q}$ снижается с увеличением $Q_{пл}, \ell_y, H$ и уменьшением d_c .

Мощность (q_c), вводимая в канал сопла, повышается с ростом тока и углубления электрода, уменьшением диаметра сопла и расхода плазмообразующего газа. Изменение H практически не отражается на q_c . Относительная величина мощности $\frac{q_c}{q}$ увеличивается при уменьшении $d_c, Q_{пл}, H$ и повышении I, ℓ_y (рис.1).

По данным экспериментов рассчитаны значения коэффициента теплоотдачи (α_c) и теплового потока в канал сопла (q'_c). Некоторые из полученных величин приведены в табл.1. Их можно использовать при расчете и проектировании плазменных горелок.

Таблица I

d_c мм	I а	$Q_{пл}$ л/ч	$q_{э,с}$ кал/сек	q'_c кал/см ² ·сек	$\alpha_c \cdot 10^{-2}$ кал/см ² ·сек·°C
4	100	120	192	150	1,0
	150	"	360	330	1,26
	200	"	576	600	1,62
3	100	65	260	420	1,68
	100	120	272	264	0,7
2	100	30	370	1260	4,27

Мощность (q_a), выделяемая на аноде, растет с повышением тока, расхода плазмообразующего газа, углубления электрода, расстояния от сопла до анода и при уменьшении диаметра сопла. В отличие от аргоно-дуговой сварки q_a зависит не только от I , но и от $d_c, Q_{пл}, \ell_y$. Относительная величина

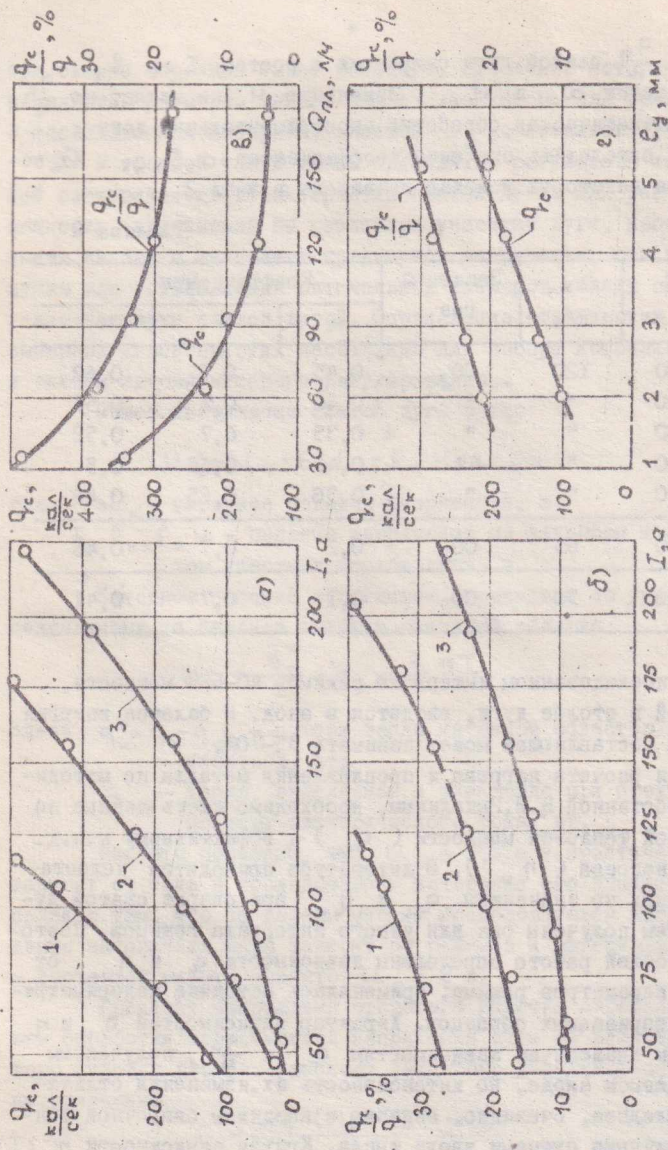


Рис. 1. Зависимость q_c и q_c/q от сварочного тока (а, б), расхода плазмобразующего газа (в) и удлинения электрода (г): а, б - $l_y = 4$ мм, $H = 5$ мм; $I - d_c = 2$ мм, $Q_{пл} = 30$ л/ч; 2 - $d_c = 3$ мм, $Q_{пл} = 65$ л/ч; 3 - $d_c = 4$ мм, $Q_{пл} = 120$ л/ч; в - $d_c = 3$ мм, $I = 100$ а, $l_y = 4$ мм, $H = 5$ мм; г - $d_c = 3$ мм, $I = 100$ а, $Q_{пл} = 65$ л/ч, $H = 3$ мм

мощности $\frac{q_a}{q}$ сжатой дуги снижается с ростом I и ℓ_y , при уменьшении d_a и $Q_{пл}$. Изменение N не влияет на $\frac{q_a}{q}$.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила определить значения коэффициентов a, b, c . Их величины для некоторых условий приведены в табл. 2.

Таблица 2

d_a мм	I а	$Q_{пл}$ л/ч	Защитный газ	Коэффициенты		
				a	b	c
4	100	120	CO ₂	0,45	0,7	0,62
	150	"	"	0,40	0,7	0,57
	200	"	"	0,35	0,7	0,52
	100	"	Ar	0,42	0,65	0,5
	150	"	"	0,38	0,65	0,46
3	150	65	CO ₂	0,2	0,7	0,46
2	100	30	CO ₂	0,1	0,7	0,41

В исследованном интервале режимов 40–62% мощности, выделяемой в столбе дуги, вводится в анод. В балансе энергии анода эта составляющая может занимать 35–70%.

Для расчета нагрева и проплавления металла по методике, разработанной Н.Н.Рыкалиным, необходимо иметь данные по эффективной тепловой мощности (q_u) и эффективному к.п.д. процесса нагрева (η_u). В литературе приводятся недостаточно данных по значениям q_u и η_u при сварке сжатой дугой, причем получены они для узкого интервала режимов. Поэтому в настоящей работе определены зависимости q_u и η_u от основных параметров режима; применялась методика калориметрирования свариваемых образцов. Характер зависимостей q_u и η_u в основном аналогичен зависимостям q_a и $\frac{q_a}{q}$, полученным на охлаждаемом аноде, но интенсивность их изменения отличается. Последнее, очевидно, связано с наличием сварочной ванны и различными схемами ввода тепла. Кривая зависимости $\eta_u(I)$

при сварке образцов имеет максимум, положение которого определяется размером канала сопла и расходом газа (рис.2). В исследованном интервале режимов $\eta_{\text{д}}$ составляет 35-75%.

В третьей части главы приводятся результаты исследования электрических характеристик сжатой дуги. Для расчетов мощности, выделяемой на различных участках дуги, необходимо иметь данные о значениях градиентов напряжения, они также нужны для установления оптимальных размеров канала сопла и режимов сварки сжатой дугой. Определение статических вольт-амперных характеристик необходимо для выбора источников тока и систем автоматического регулирования.

Общее напряжение сжатой дуги равно:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{к}} + E_{\text{з}} \cdot \rho_{\text{ч}} + E_{\text{о}} \cdot H + U_{\text{а}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{к}}$ - катодное падение напряжения, в;

$E_{\text{з}} \cdot \rho_{\text{ч}}, E_{\text{о}} \cdot H$ - падение напряжения на закрытом и открытом участках столба дуги, в.

Катодное падение напряжения определяли по уравнению, полученному из баланса энергии катодной области,

$$U_{\text{к}} = \frac{q_{\text{к}}^{\text{з}}}{I} + \varphi_{\text{к}} + \frac{\alpha}{2} \frac{kT}{e}. \quad (6)$$

Здесь $q_{\text{к}}^{\text{з}} = q_{\text{з}} - q_{\text{джк}}$ - потери тепла катодной областью в электрод, вт;

$q_{\text{джк}}$ - тепло, выделенное в электроде при прохождении по нему электрического тока, вт.

Расчеты показали, что $U_{\text{к}} = 5,5$ в и практически не зависит от тока в исследованном интервале его значений. В связи с тем, что по данным многих исследователей анодное падение напряжения мало зависит от режимов и материала анода, в настоящей работе принято $U_{\text{а}} = 2$ в.

Градиент напряжения открытого участка определяли путем обработки зависимостей напряжения дуги от величины открытого участка столба. Градиент закрытого участка рассчитывали по уравнению

$$E_{\text{з}} = \frac{U_{\text{д}} - (U_{\text{к}} + E_{\text{о}} \cdot H + U_{\text{а}})}{\rho_{\text{ч}}} \quad (7)$$

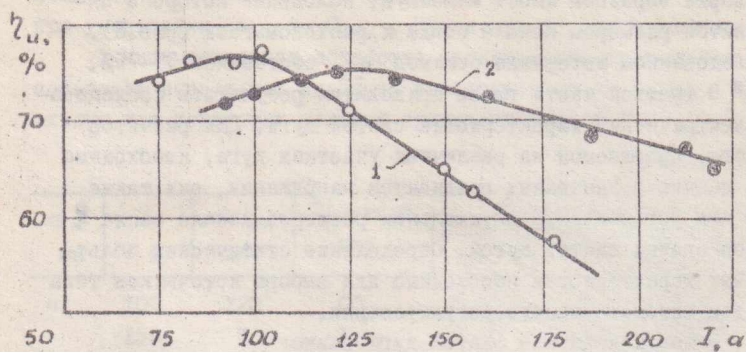


Рис.2. Зависимость эффективного к.п.д. нагрева от сварочного тока ($l_y = 4$ мм, $Q_{пл} = 120$ л/ч)
 1 - $d_e = 3$ мм; 2 - $d_e = 4$ мм

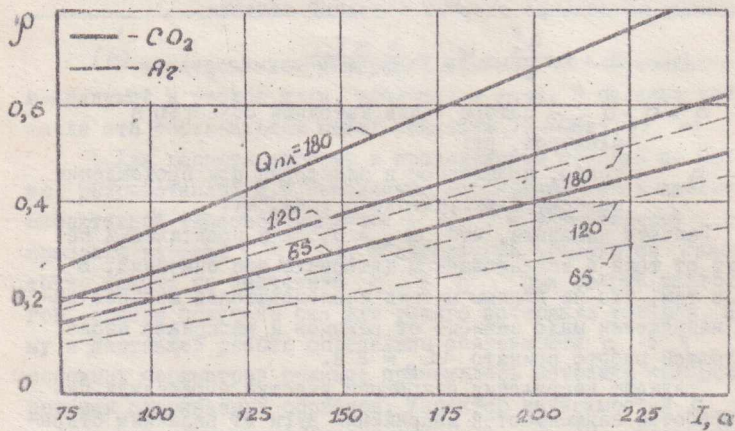


Рис.3. Зависимость относительной глубины проплавления от тока и расхода плазмообразующего газа ($d_e = 4$ мм, $l_y = 4$ мм, $n = 5$ мм, $V_{ог} = 18$ л/ч)

Часть найденных значений E_3 и E_0 приведена в табл.3.

Таблица 3

d_0 мм	I а	$Q_{пл}$ л/ч	E_3 в/мм				E_0 в/мм			
			медный анод		стальной анод		медный анод		стальной анод	
			Az	CO ₂	Az	CO ₂	Az	CO ₂	Az	CO ₂
4	100	120	2,0	2,0	2,1	1,6	1,2	2,0	0,8	1,6
	150	"	2,6	2,5	2,2	1,9	1,0	1,8	0,8	1,7
3	100	65	2,5	2,7	2,4	2,0	1,4	2,4	0,8	1,9
	150	"	3,0	3,1	2,8	2,4	1,2	2,2	0,6	1,9
2	100	30	3,5	3,8	3,5	3,2	1,8	2,6	0,8	1,7

Градиент закрытого участка увеличивается при повышении сварочного тока, расхода плазмообразующего газа и уменьшении диаметра канала сопла. Градиент открытого участка существенно зависит от вида защитного газа.

Статические вольтамперные характеристики сжатой дуги имеют возрастающий характер. Напряжение сжатой дуги растет при повышении расхода плазмообразующего газа и уменьшении диаметра сопла.

Третья глава посвящена исследованию давления (механического воздействия) сжатой дуги на сварочную ванну. Теоретическим анализом сил, вызывающих давление, показано, что основной причиной давления дуги с неплавящимся электродом является кинетическая энергия потока газов дуги, обусловленного электромагнитными силами. Следовательно, давление, создаваемое газовым потоком, можно с достаточной точностью принять за давление дуги.

При исследовании давления дуги представляет интерес изучение не только общего, но и удельного давления, поскольку изменяя лишь последнее, можно существенно влиять на технологические характеристики дуги. При определении удельного

давления дуга возбуждалась на аноде, имеющим отверстие, сообщающееся с водяным манометром. Для установления характера распределения удельного давления по поверхности сварочной ванны дугу перемещали в радиальном направлении и через 0,5 мм фиксировали удельное давление.

Удельное давление на оси дуги растет с повышением тока и расхода газа, при увеличении до определенного значения углубления электрода, при уменьшении диаметра канала сопла и расстояния от сопла до детали. Математическая обработка экспериментальных данных показала, что распределение удельного давления по поверхности с достаточной точностью описывается нормальным законом распределения.

При известных значениях удельного давления на оси дуги и его сосредоточенности общее давление (под общим давлением следует понимать установившийся в сварочной литературе термин "давление дуги") и диаметр пятна давления можно определить по уравнениям:

$$P = \frac{\pi \cdot P_m}{k}, \quad (8)$$

$$d_d = \frac{3,46}{\sqrt{k}}, \quad (9)$$

где P — общее давление дуги, г;

P_m — удельное давление на оси дуги, г/мм²;

k — коэффициент сосредоточенности мм⁻²;

d_d — диаметр пятна давления, мм.

В работе экспериментальным путем определены зависимости значений коэффициента сосредоточенности от основных параметров режима. Зависимость общего давления от тока имеет квадратичный характер. Общее давление растет с повышением тока и расхода плазмообразующего газа, при уменьшении диаметра канала сопла и расстояния от сопла до детали. Увеличение ℓ_y до значений примерно равных длине канала сопла (ℓ_c) приводит к резкому повышению P , но при дальнейшем увеличении ℓ_y рост P замедляется.

Диаметр пятна давления практически не зависит от величины тока и расхода плазмообразующего газа и сокращается при уменьшении диаметра сопла, углубления электрода и расстояния от сопла до детали.

По описанной выше методике определяли также удельное и общее давления дуги при аргоно-дуговой сварке. Значения общего давления в этом случае близки к показателям, полученным исследователями применявшими другие методики определения давления. Установлено, что сжатая дуга отличается более высоким давлением, чем дуга при аргоно-дуговой сварке, и, кроме того давление первой зависит не только от сварочного тока и длины дуги, но и от диаметра канала сопла, расхода плазмообразующего газа и углубления электрода в сопло.

В четвертой главе освещаются результаты исследований проплавления основного металла при сварке сжатой дугой. Изучено влияние основных параметров режима (сварочного тока, диаметра сопла, расхода плазмообразующего газа, углубления электрода в сопло, скорости сварки) на размеры и формирование сварного шва.

Глубина и площадь зоны проплавления, ширина шва увеличиваются при повышении тока, причем наиболее интенсивно растет глубина. Размеры сварных швов, выполненных с применением в качестве защитного газа аргона, меньше, чем в случае использования углекислого газа. Относительная глубина проплавления (ρ) при увеличении тока возрастает.

Повышение расхода плазмообразующего газа вызывает увеличение глубины и площади зоны проплавления, ширина шва при этом практически не изменяется. Верхний предел расхода определяется условиями удовлетворительного формирования сварного шва.

Зависимость глубины и площади зоны проплавления от углубления электрода в сопло проходит через максимум, положение которого соответствует ℓ_y равному ℓ_c . Ширина шва с увеличением ℓ_y увеличивается. Изменение расстояния от торца сопла до детали в пределах 2-5 мм практически не отражается на глубине проплавления, ширина шва несколько увеличивается с ростом H .

0398845

Большое влияние на размеры сварного шва оказывает диаметр канала сопла. При уменьшении его и постоянном расходе плазмообразующего газа резко увеличиваются глубина проплавления, ширина шва, площадь зоны проплавления. Относительная глубина проплавления также повышается.

Экспериментами установлено, что коэффициент полноты (μ) в исследованных интервалах величин $I, d_c, Q_{пл}, U, H$ изменяется незначительно и его можно принять с достаточной для расчетов точностью постоянным, равным 0,62.

В работе показано, что площадь зоны проплавления при сварке сжатой дугой может быть определена расчетным путем по предложенной Н.Н.Рыкалиным формуле, в которую вводится полученный экспериментально поправочный коэффициент,

$$F_{np} = m_2 \cdot \rho \cdot \eta'_t \cdot \frac{q_u}{v_{св}}, \quad (10)$$

где m_2 — постоянная, зависящая от теплофизических свойств свариваемого металла, см³/кал;

ρ — поправочный коэффициент, учитывающий схематичность расчета;

η'_t — расчетный термический к.п.д.;

$v_{св}$ — скорость сварки, см/сек.

Поправочный коэффициент по результатам обработки экспериментальных данных составляет для диаметров канала сопла 2; 3; 4 мм в защитном газе CO₂ соответственно 1,6; 1,2; 1,0, а в аргоне — 1,2; 1,0; 0,9. Значения $\rho > 1$ указывают на то, что при сварке сжатой дугой процесс проплавления происходит более интенсивно, чем при расчете, основанном на теории теплопроводности. Это связано с более высоким давлением сжатой дуги, вследствие чего расплавленный металл оттесняется из-под основания дуги, а процесс проплавления интенсифицируется. Этому же способствует повышение удельного теплового потока,

Учитывая постоянство коэффициента полноты, для расчетного определения глубины проплавления при сварке сжатой дугой можно использовать предложенную А.А.Ерохиным формулу. Но в неё, как и в формулу (10), следует вводить поправку к расчет-

ному к.п.д. проплавления:

$$\eta = \sqrt{\frac{m_2}{\mu}} \cdot \sqrt{\rho \cdot \rho \cdot \eta_c \cdot \frac{q_u}{V_{св}}} \quad (II)$$

По данным обработки экспериментов построены номограммы для выбора значений ρ (рис.3).

Во втором разделе главы приводятся результаты определения термического к.п.д. проплавления (η_c). Установлено, что η_c возрастает при повышении тока и расхода плазмообразующего газа, уменьшении диаметра сопла и расстояния от сопла до детали, увеличении до определенного значения углубления электрода. Термический к.п.д. при сварке сжатой дугой выше, чем при аргоно-дуговой. Несмотря на уменьшение эффективного к.п.д. процесса нагрева сжатой дугой, полный тепловой к.п.д., равный произведению эффективного к.п.д. процесса нагрева на термический к.п.д. проплавления, при увеличении тока не уменьшается.

Сжатая дуга вследствие увеличения давления и удельного теплового потока обладает более высокой проплавляющей способностью. Производительность сварки сжатой дугой выше, чем аргоно-дуговой неплавящимся электродом.

Пятая глава состоит из 2 разделов. Первый раздел посвящен выбору оптимальных размеров канала сопла и режимов сварки. Здесь же разработаны некоторые рекомендации по проектированию технологии сварки сжатой дугой и установлены требования к сварочному оборудованию.

На основании исследований тепловых, электрических и механических характеристик сжатой дуги, а также полученных данных по влиянию параметров режима сварки на размеры и формирование сварных швов можно предложить следующие рекомендации по выбору оптимальных размеров канала сопла и параметров режима сварки:

а) оптимальным значением длины канала сопла является величина, равная размеру его диаметра. Углубление электрода в сопло должно равняться длине канала или превышать её не более чем на 2 мм;

б) при увеличении толщины свариваемого металла от I до 10 мм расстояние от торца сопла до детали следует повышать от I до 7 мм;

в) сварку рационально выполнять при максимальном значении тока, который определяется в основном диаметром канала сопла; максимальное значение тока для диаметров 2; 3; 4 мм составляет соответственно 120; 175; 275 а;

г) в исследуемом интервале режимов удовлетворительное формирование сварных швов можно получить при расходах плазмообразующего газа 0,5-3,5 л/мин; при уменьшении диаметра сопла расход необходимо снижать;

д) между током, расходом плазмообразующего газа и скоростью сварки существует определенная взаимосвязь, поэтому режим сварки в каждом конкретном случае необходимо несколько корректировать.

Из особенностей технологии сварки сжатой дугой следует отметить необходимость соблюдения более жестких требований к точности перемещения горелки по свариваемому стыку. При сварке тонколистовых конструкций серийные сварочные трактора не обеспечивают такой точности. Для возбуждения сжатой дуги используются осциллятор и вспомогательная дуга. В работе разработаны 2 схемы возбуждения сжатой дуги.

Во втором разделе приводятся результаты исследований по разработке технологии и оборудования для сварки сжатой дугой конструкций из нержавеющей стали. При выборе размеров канала сопла и режимов сварки использовались результаты исследований тепловых, электрических и механических характеристик сжатой дуги.

В ходе разработки технологии проведены механические и коррозионные испытания, металлографические исследования и проверка склонности металла шва к образованию трещин. Сварные соединения, выполненные сжатой дугой, по прочности и пластичности не уступают соединениям при аргоно-дуговой сварке. Стойкость сварных соединений в коррозионной среде при обоих способах находится на одном уровне.

Испытания с помощью жесткой кольцевой пробы показали, что швы, выполненные сжатой дугой, имеют большую стойкость против образования трещин по сравнению со швами, выполненными аргоно-дуговой сваркой. Это объясняется тем, что в первом случае необходимая глубина проплавления достигается вследствие более высокого давления сжатой дуги при меньшем тепловложении в деталь. Металлографическими исследованиями установлено, что в швах при сварке сжатой дугой отсутствуют дефекты, структура металла шва более измельченная, а ширина его на 15-20% уже, чем при аргоно-дуговой сварке.

Для сварки деталей в производственных условиях спроектированы и изготовлены клавишный стенд и сварочная горелка. Конструкция стенда обеспечивает быструю и качественную сборку деталей под сварку и высокую точность перемещения горелки по свариваемому стыку. Горелка на специальной ползущей двигается по жесткой направляющей. Отличительной особенностью горелки является наличие плавающего сопла, что значительно упрощает её сборку.

Внедрение сварки сжатой дугой вместо автоматической аргоно-дуговой сварки позволило улучшить качество сварочных работ, повысить производительность и уменьшить расход аргона.

ВЫВОДЫ

I. Исследован тепловой баланс сжатого дугового разряда на режимах, характерных для процесса сварки. Проведен теоретический анализ составляющих баланса, предложена формула расчетного определения мощности, вводимой в деталь (анод). Экспериментально установлено, что из подведенной к сжатой дуге мощности на электроде выделяется 2-6%, в канале сопла 8-42%, на детали 35-75%; в окружающее пространство теряется 8-18% мощности дуги.

На основании экспериментальных данных оценены значения коэффициента теплообмена и теплового потока в канал сопла. Эти данные можно использовать при расчете и проектировании сварочных горелок. В балансе энергии детали 35-70% сос-

твляет энергия, вводимая путем лучистого и конвективного теплообмена из столба дуги.

2. Получены зависимости эффективных тепловой мощности и к.п.д. процесса нагрева сжатой дугой от параметров режима сварки. В исследованном интервале режимов $\eta_{\text{д}}$ составляет 35-75%, возрастая при повышении расхода плазмообразующего газа, диаметра сопла и уменьшении углубления электрода в сопло. Зависимость $\eta_{\text{д}}$ от тока проходит через максимум, положение которого определяется диаметром сопла, расходом плазмообразующего газа.

3. Установлено, что статические, вольтамперные характеристики сжатой дуги имеют возрастающий характер. Определены значения градиентов напряжения на различных участках столба дуги и их зависимости от параметров режима.

4. Теоретическим анализом показано, что основной причиной механического воздействия дуги с неплавящимся электродом является кинетическая энергия потока газов дуги. Установлены зависимости удельного давления и коэффициента сосредоточенности давления от основных параметров режима. Получены уравнения для определения общего давления и диаметра пятна давления.

5. Экспериментальным путем изучено влияние параметров режима сварки сжатой дугой на размеры и формирование сварных швов. Для расчетного определения размеров швов можно применять формулы, полученные Н.Н.Рыкалиным и А.А.Ерохиным, в которые предлагается вводить установленные в настоящей работе поправочный коэффициент и величину относительной глубины проплавления, определяемому по составленным номограммам.

6. Сжатая дуга вследствие увеличения давления и удельного теплового потока обладает высокой проплавляющей способностью. Производительность сварки сжатой дугой выше, чем аргоно-дуговой сварки.

7. На основании исследований технологических характеристик разработаны рекомендации по выбору оптимальных размеров канала сопла и параметров режима сварки. Рекомендации проверены в производственных условиях.

8. Металлографические, прочностные, коррозионные исследования и испытания металла на склонность к образованию трещин показали высокое качество сварных соединений, выполненных сжатой дугой.

9. Результаты исследований использованы при разработке технологии и оборудования для автоматической сварки сжатой дугой конструкций из нержавеющей сталей. Внедрение способа позволило улучшить качество сварных соединений, повысить производительность сварочных работ, уменьшить расход защитного газа.

Диссертация содержит 175 страниц текста и 94 рисунка и графика. Список используемой литературы включает 165 источников.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных изданиях:

1. Стихин В.А., Пацкевич И.Р. Определение тепловых характеристик сжатой дуги. — "Сварочное производство", 1967, № 9.

2. Стихин В.А., Фишбейн А.Б., Пыхов С.И. Автоматическая сварка сжатой дугой тонколистовых конструкций. Новое оборудование и передовая технология в производстве сварных конструкций. Сборник докладов У научно-технической конференции сварщиков Западного Урала. Пермь, 1967.

3. Стихин В.А., Пацкевич И.Р. Механическое воздействие сжатой дуги на сварочную ванну. Труды Уральского юбилейной научной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения. Тезисы докладов. Курган, 1967.

4. Стихин В.А., Пацкевич И.Р. О тепловом балансе сжатой дуги при сварке. Вопросы сварочного производства. Сборник научных трудов ЧПИ № 63, Челябинск, 1968.

5. Стихин В.А. Исследование проплавливающей способности сжатой дуги при сварке. Вопросы сварочного производства. Сборник научных трудов ЧПИ № 63, Челябинск, 1968.

6. Стихин В.А., Пацкевич И.Р. Исследование механического воздействия сжатой дуги на сварочную ванну. Труды Уральской юбилейной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения. Секция "Сварочное производство". Курган, 1968.

7. Еськов К.А., Стихин В.А., Фишбеин А.Б., Малаховский В.А. Определение склонности к образованию трещин некоторых аустенитных сталей при сварке. Вопросы сварочного производства. Сборник научных трудов ЧПИ № 63, Челябинск, 1968.

8. Пацкевич И.Р., Стихин В.А. Исследование электрических характеристик сжатой дуги при сварке. Технология и оборудование сварочных процессов. Сборник научных трудов № 76. Пермь, 1970.

9. Стихин В.А., Пацкевич И.Р., Малаховский В.А. Исследование распределения энергии сжатой дуги при сварке. Теория и практика сварочного производства. Сборник научных трудов ЧПИ № 82, Челябинск, 1970.

10. Пацкевич И.Р., Стихин В.А., Мясников П.С. Влияние параметров режима сварки сжатой дугой на размеры сварных швов. Сборник докладов 2-й республиканской конференции по сварке. Уфа, 1970 (в печати).

Результаты исследований доложены на следующих конференциях и совещаниях:

1. На общесоюзных научно-технических семинарах по сварке и резке сжатой дугой, г.Москва, 1964 и 1968 гг.

2. На У и УШ научно-технических конференциях сварщиков Западного Урала, г.Пермь, 1966 и 1968 гг.

3. На 3 городской научно-производственной конференции, Челябинск, 1965 г.

4. На ХУШ, XIX, XX, XXI, XXII научно-технических конференциях ЧПИ, г.Челябинск, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969 гг.

5. На I и 2-й научно-технических конференциях Уральского политехнического института им.С.М.Кирова, г.Свердловск, 1966 и 1968 гг.

6. На Уральской юбилейной научной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения, г.Курган, 1967 г.

7. На симпозиуме по вопросам теории и практики сварочного производства, г.Челябинск, 1969 г.

8. На отраслевом семинаре по применению плазменной сварки и резки, г.Ижевск, 1969 г.

=====

ФБО2100-25/П-70г. Сдано в печать 26/П-70г. Формат 60х90/16
Объем 1,5 п.л. Отпечатано на ротапринте ЧПМ. Тираж 120 экз.
Заказ №26