

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В НЕОНЕ И ЕГО СМЕСЯХ С ГЕЛИЕМ И АРГОНОМ

Чл.-кор. НАН Украины А. Я. ИЩЕНКО, И. В. ДОВБИЩЕНКО, В. С. МАШИН, кандидаты техн. наук, М. П. ПАШУЛЯ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проанализированы вольт-амперные характеристики стационарной и импульсной дуги в смесях различных инертных газов, особенности формирования и геометрические параметры швов. Показана принципиальная возможность и экономическая целесообразность применения гелий-неоновых смесей для защиты зоны сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, алюминиевые сплавы, плавящийся электрод, инертные газы, смеси газов, вольт-амперные характеристики, параметры шва, дефекты

Для изготовления и ремонта крупногабаритных конструкций из алюминиевых сплавов широко используется дуговая сварка плавящимся электродом в инертных газах. В отличие от сварки неплавящимся вольфрамовым электродом этот способ обеспечивает более высокую производительность процесса, уменьшение зоны термического влияния и снижение уровня остаточных деформаций изделий (особенно из тонколистового материала) [1]. При сварке плавящимся электродом алюминиевых сплавов в качестве защитных газов применяют аргон, гелий и их смеси [1–6]. Недостатком сварки в аргоне является значительная выпуклость шва, специфическая форма проплавления с резким сужением в корне шва, существенные потери некоторых легирующих элементов из электродного металла, повышенная пористость швов. Вследствие этого механические и коррозионные свойства соединений относительно низкие. Применение одного гелия ограничивается его высокой стоимостью, большим расходом при сварке толстолистового металла, нестабильностью горения дуги и повышенным разбрызгиванием металла. Поэтому в качестве защитных газов рекомендуется применять гелий-аргоновые смеси. Содержание гелия в таких смесях составляет от 50 до 75 %. Количество аргона и гелия в смеси зависит от химического состава свариваемого сплава, его толщины и требований, предъявляемых к качеству металла шва [4, 5]. Себестоимость процесса сварки в гелий-аргоновых смесях остается более высокой по сравнению со сваркой в одном аргоне. В технологической линии производства кислорода, азота и аргона на определенной стадии разделения воздуха образуется смесь гелия и неона (3... 25 % Ne). Возможность эффективного использования этой сравнительно дешевой (по сравнению с чистым гелием) смеси при дуговой сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом показана в работе [7].

В связи с этим представляется важным определение влияния неона и его смесей с аргонem и гелием на качество швов при сварке алюминиевых

сплавов плавящимся электродом стационарной и импульсной дугой, установление влияния различных составов защитных газов на вольт-амперные характеристики (ВАХ) дуги, стабильность ее горения, качество формирования и геометрические параметры швов.

Для исследования использовали алюминиевый сплав АМг5 (ГОСТ 4784–74) толщиной 18 мм и сварочные проволоки СвАМг5 (ГОСТ 7871–75) диаметром 1,6 и 2,0 мм. В качестве защитных газов применяли аргон высшего сорта (ГОСТ 10157–79), гелий марки А (ТУ 51-940–80), неон (ТУ-У-14299304-001–96), готовую гелий-неоновую смесь (85 % He + 15 % Ne) и приготовленные на их основе двойные и тройные смеси. Физические характеристики инертных газов по данным работы [8] приведены в табл. 1, их химический состав – в табл. 2. По своим характеристикам неон занимает промежуточное положение между гелием и аргонem. Значение его потенциала ионизации находится ближе к гелию, а коэффициент теплопроводности (удельная теплопроводность) приближается к аргону. Такие свойства неона (по сравнению с аргонem) в первую очередь приводят к заметному повышению напряжения на дуге (из-за относительно высокого потенциала ионизации по сравнению с аргонem) и увеличению ширины проплавления (из-за более высокого коэффициента теплопроводности по сравнению с аргонem). При сварке в неоне (как и при сварке в гелии), по-видимому, происходит перераспределение падения напряжения на аноде и катоде, сжимается столб дуги и повышается плотность энергии.

Смеси инертных газов готовили путем непрерывного смешивания при дозированном расходе

Таблица 1. Физические характеристики инертных газов

Параметр	Гелий	Неон	Аргон
Атомная масса	4,003	20,183	39,944
Плотность, кг/м ³	0,1785	0,8990	1,7840
Потенциал ионизации, эВ	24,58	21,56	15,76
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,1430	0,0468	0,0167
Удельная теплопроводность, Дж/(кг·С)	5190	1030	520

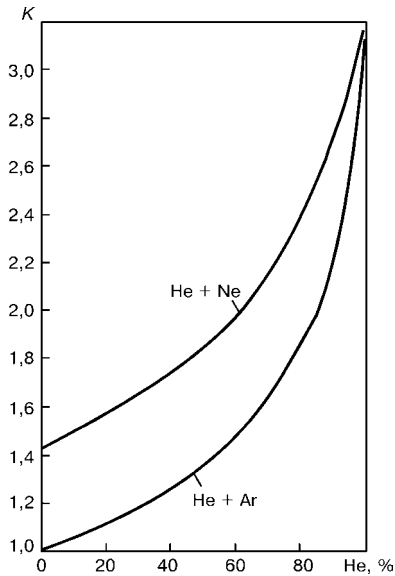


Рис. 1. Поправочные коэффициенты K для определения действительного расхода гелий-неоновой и гелий-аргоновой смесей с помощью ротаметров, градуированных по аргону

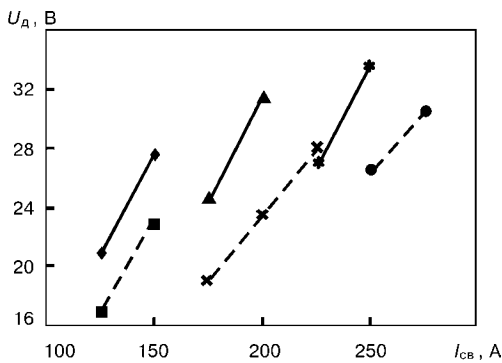


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики дуги, горящей в неоне (сплошная кривая) и аргоне (штриховая), при ИДСПЭ в зависимости от скорости подачи проволоки: ■, ◆ – 300; ▲, × – 400; *, ● – 500 м/ч

каждого компонента. Расход определяли по показаниям ротаметров, градуированных по аргону. Для их использования под неон, гелий и смеси сделан пересчет градуировочных шкал. Действительный расход газов вычисляли по следующим формулам:

$$Q_{газа} = Q_{Ar} K, K = \sqrt{\frac{\gamma_{Ar}}{\gamma_{газа}}}$$

$$\gamma_{газа} = (\gamma_{Ar} P_{Ar} + \gamma_{Ne} P_{Ne} + \gamma_{He} P_{He}) / 100,$$

где Q – расход газа, л/мин; K – коэффициент поправки (для всех ротаметров типа РС и РМ); γ – плотность газа, кг/м³; P – содержание газа в смеси, %. Поправочные коэффициенты K

Таблица 2. Химический состав газообразных инертных газов

Газ	Содержание (\leq) примесей, об. % $\times 10^4$							
	Ar	Ne	He	N ₂	O ₂	H ₂	H ₂ O	CO ₂ + CH ₄
Аргон	Основа	–	–	50	7	1	10	5
Неон	–	Основа	35	3	1	1	2	1
Гелий	1	40	Основа	5	1	1	5	3
Гелий (основа) + 15 % неона	40	Основа	Основа	10	2	1	6	4

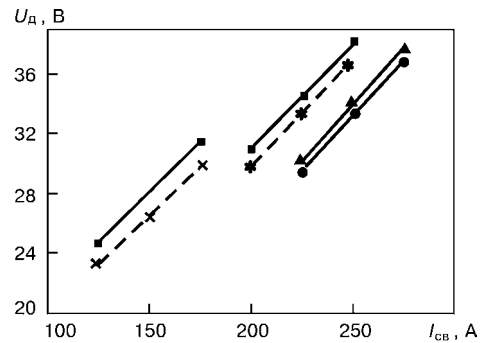


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики дуги, горящей в гелии (сплошная кривая) и гелий-неоновой смеси, содержащей 15 % Ne (штриховая), при ИДСПЭ в зависимости от скорости подачи проволоки: ◆, × – 300; ■, * – 400; ▲, ● – 500 м/ч

для определения действительного расхода гелий-неоновой и гелий-аргоновой смесей представлены на рис. 1.

Очистку поверхности основного металла выполняли путем химического травления по общепринятой методике [2]. Перед сваркой поверхность металла в зоне сварки зачищали шабером (0,05 мм). Для однопроходной сварки (наплавки) плавящимся электродом стационарной (СПЭ) и импульсной дугой (ИДСПЭ) использовали источники питания ВДУ-506, «Fronius TPS-450» и горелки «Fronius Pull MIG PM-502Z». Корень шва формировали на съемной подкладке из нержавеющей стали с канавкой. Параметры режимов СПЭ в аргоне, неоне, гелии и их смесях следующие: $d_{пр} = 2,0$ мм, $I_{св,ср} = 220...380$ А, $U_{д,ср} = 24...36$ В, $v_{п,пр} = 260...480$ м/ч, $v_{св} = 15...40$ м/ч, $l_d = 3...5$ мм; $Q_{газа} = 30...60$ л/мин. Параметры режимов ИДСПЭ: $d_{пр} = 1,6$ мм, $I_{св,ср} = 120...320$ А, $U_{д,ср} = 18...38$ В, $v_{п,пр} = 280...530$ м/ч, $v_{св} = 20$ м/ч, $l_d = 2...18$ мм, $I_{имп} = 460...540$ А, $f_{имп} = 90...210$ Гц, $t_{имп} = 3,1...3,8$ мс, $Q_{газа} = 40$ л/мин.

Геометрические параметры швов (глубина проплавления основного металла h , ширина шва с лицевой стороны B , высота его выпуклости l) определяли с помощью микроскопа ММИ-2 на поперечных макрошлифах с точностью $\pm 0,1$ мм.

Анализ ВАХ импульсной дуги, горящей в аргоне, неоне, гелии и гелий-неоновой смеси (15% неона), при различных скоростях подачи электродной проволоки ($l_d = 2...18$ мм) показал, что при одном и том же сварочном токе напряжение на дуге, горящей в неоне, на 4...8 В выше, чем в аргоне (рис. 2). При тех же скоростях подачи проволоки напряжение на дуге в гелий-неоновой смеси на 0,5...1,5 В ниже, чем в одном гелии (рис. 3). Чем выше среднее значение сварочного тока, тем меньше разница в значениях между ВАХ дуги, горящей в гелии и гелий-неоновой смеси. Введение неона в аргон вплоть до 100% (при $v_{п,пр} = const$) приводит к укорачиванию длины дуги, повышению разбрызгивания электродного металла и снижению на 20...30 А среднего сварочного тока (рис. 4, а). Для восстановления стабильности

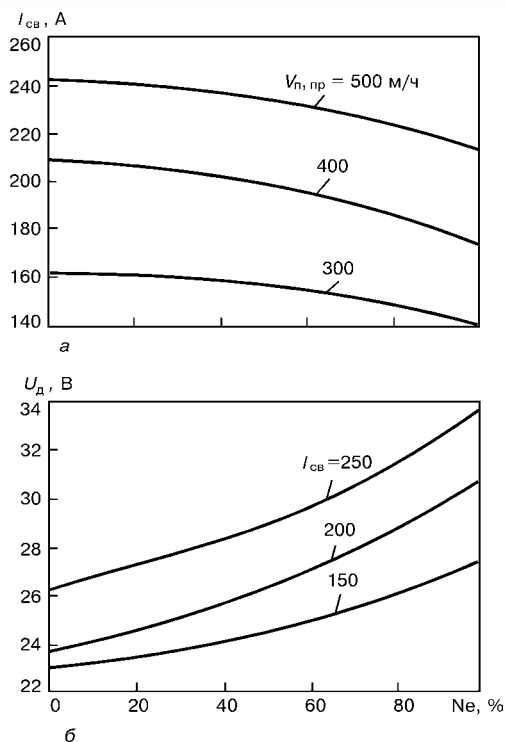


Рис. 4. Влияние неона в аргон-неоновой смеси на сварочный ток при $U_d \approx 25$ В (а) и напряжение на дуге (б) при ИДСПЭ: а — при постоянной подаче сварочной проволоки; б — при постоянном сварочном токе

процесса сварки и тока необходимо повысить напряжение на дуге на 2...8 В в зависимости от содержания неона в смеси и величины тока (рис. 4, б). При этом глубина проплавления металла и ширина шва возрастают соответственно на 0,7...1,1 и

1,9...2,3 мм. В наибольшей степени влияние неона на электрические параметры дуги и геометрическую форму швов проявляется при его содержании в смеси свыше 40 %.

Зависимость состава защитного газа и скорости сварки на геометрические параметры швов, полученных при СПЭ, показана на рис. 5, 6. Как и при ИДСПЭ, замена аргона на неон ($Ne = 0$ %) приводит к увеличению глубины проплавления, ширины шва и снижению его выпуклости. Введение гелия в неон (при постоянных значениях $I_{св}$ и l_d) способствует дальнейшему росту глубины и ширины шва, особенно с повышением содержания гелия от 30 до 65 % (рис. 5). При этом устойчивость горения дуги, стабильность формирования шва и ширина зоны катодной очистки соответствуют показателям, полученным в гелий-аргоновых смесях (при тех же содержаниях гелия).

Таким образом, при любых соотношениях неона и гелия независимо от способа и режимов сварки ширина и глубина проплавления основного металла больше, чем при тех же соотношениях аргона и гелия. Геометрические параметры швов, выполненных в гелии и гелий-неоновых смесях ($Ne \geq 85$ %; $I_{св} = 250...350$ А; $v_{св} = 15...20$ м/ч), имеют практически одни и те же значения (рис. 6). В случае применения смеси газов с содержанием более 92...95 % гелия примеси неона не влияют на размеры швов.

Исследования поперечных макрошлифов показали, что пористость в наплавленном металле, полученном в неоне и гелий-неоновых смесях, в 1,1...1,6 раза меньше, чем в аргоне и гелий-ар-

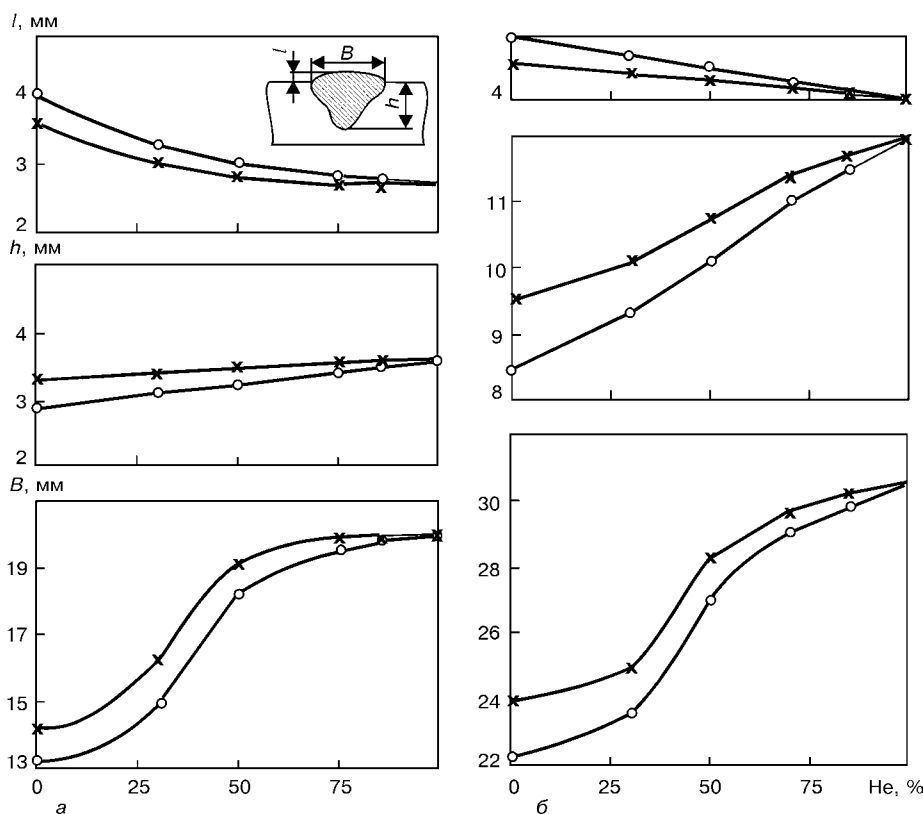


Рис. 5. Влияние состава гелий-аргоновой (O) и гелий-неоновой (X) смеси на геометрические параметры швов, полученных СПЭ ($d_{пр} = 2,0$ мм, $l_d \approx 4 \pm 1$ мм, $v_{св} = 20$ м/ч): а — $I_{св} = 250$, б — 350 А

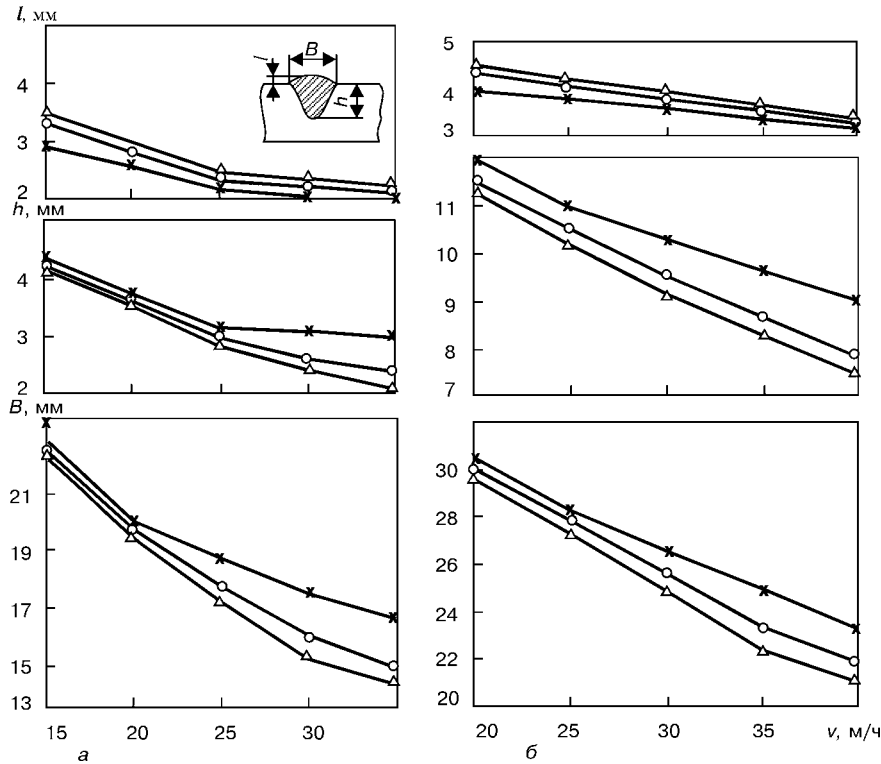


Рис. 6. Влияние скорости сварки и состава защитного газа (X — гелий; O — гелий (основа) + 15% неона; Δ — гелий (основа) + 15% аргона) на геометрические параметры швов при СПЭ ($U_d = 36 \pm 1$ В, $d_{np} = 2,0$ мм): а — $I_{св} = 250$ А, $v_{н.пр} = 275$ м/ч; б — $I_{св} = 350$ А, $v_{н.пр} = 470$ м/ч

гоновых смесях. Это связано с теплофизическими свойствами неона и меньшим по сравнению с аргоном содержанием в нем «вредных» примесей (водород, влага, углеводороды и др.).

В связи с увеличением объема (массы) сварочной ванны при сварке в неоне (см. рис. 5) можно предположить, что неон, как и гелий [9, 10], снижает среднюю температуру капель электродного металла и повышает среднюю температуру сварочной ванны. Это создает более благоприятные условия для снижения растворимости водорода в электродных каплях и повышения скорости его выделения из сварочной ванны в виде газовых пузырьков [6].

Технико-экономические расчеты показывают, что применение в качестве защитного газа одного неона нецелесообразно из-за его дефицита и высокой стоимости (неон дороже гелия). В то же время стоимость 1 м^3 готовых гелий-неоновых смесей ($\text{Ne} = 3 \dots 25 \%$) практически не зависит от количества неона и в среднем на 25 % ниже стоимости одного гелия. Использование тройных смесей инертных газов, приготовленных на поставляемых в баллонах гелий-неоновых смесях и аргоном ($50 \dots 70 \%$ He + $3 \dots 23 \%$ Ne + $7 \dots 47 \%$ Ar), позволяет дополнительно уменьшить затраты на защитный газ и соответственно снизить себестоимость сварочных работ.

Следует отметить, что замена гелий-аргоновых смесей на готовые гелий-неоновые смеси при сварке алюминиевых сплавов приводит к повышению напряжения на дуге, росту глубины проплавления ме-

талла, увеличению ширины шва, уменьшению его выпуклости и снижению пористости в наплавленном металле.

1. *Повышение прочности швов при дуговой сварке сплава 1420 с применением скандийсодержащих присадок* / А. Я. Ищенко, А. В. Лозовская, А. Г. Покляцкий и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 1. — С. 11–16.
2. *Рабкин Д. М., Игнатьев В. Г., Довбищенко И. В.* Дуговая сварка алюминия и его сплавов. — М.: Машиностроение, 1982. — 95 с.
3. *Влияние режимов импульсно-дуговой сварки алюминия АД0 на форму и пористость швов* / В. С. Машин, В. М. Павшук, И. В. Довбищенко и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 57–60.
4. *Машин В. С., Довбищенко И. В., Цыплюхин А. В.* Нограмма режимов сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом в гелий-аргоновых смесях // Там же. — 1991. — № 10. — С. 55–56.
5. *Довбищенко И. В., Ищенко А. Я., Машин В. С.* Особенности сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом в гелий-аргоновых смесях // Там же. — 1993. — № 6. — С. 38–43.
6. *Довбищенко И. В., Ищенко А. Я., Машин В. С.* Применение гелия при сварке алюминиевых сплавов плавящимся электродом // Там же. — 1997. — № 2. — С. 14–19.
7. *Влияние состава защитных газов на технологические характеристики дуги при сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом* / А. Я. Ищенко, В. П. Будник, А. Г. Покляцкий и др. // Там же. — 2000. — № 2. — С. 19–22.
8. *Фишкельштейн Д. Н.* Инертные газы. — М.: Наука, 1979. — 200 с.
9. *Средняя температура металла электродных капель при сварке алюминиевых сплавов в инертных газах* / А. Я. Ищенко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко и др. // Там же. — 1994. — № 1. — С. 48–49.
10. *Средняя температура металла ванны при дуговой сварке алюминиевых сплавов в инертных газах* / А. Я. Ищенко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко и др. // Там же. — 1994. — № 11. — С. 15–19.

Volt-ampere characteristics of stationary and pulsating arcs burning in different mixtures of inert gases, peculiarities of formation and geometric parameters of the welds are analysed. The feasibility and cost effectiveness of using helium-neon mixtures for shielding the welding zone are proved

Поступила в редакцию 11.03.2002